

# guía

## metodológica

para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos



MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN



 **Consolider**

**tragua**

[www.consolider-tragua.com](http://www.consolider-tragua.com)



# guía

## metodológica

para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

Este manual ha sido elaborado dentro del programa  
CONSOLIDER-TRAGUA por los siguientes autores:

### Grupo R1 - Universidad de Barcelona

Albert Casas  
Josefina Tapias

### Grupo R2 - Universidad de Alcalá

Irene de Bustamante  
José Antonio Iglesias  
Ángel de Miguel

### Grupo R3 - Universidad Rey Juan Carlos

Javier Lillo  
María Leal

### Grupo R4 - Universidad Politécnica de Cataluña

Lucila Candela

### Grupo R6 - Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

M. Carmen Cabrera  
Pino Palacios-Díaz

### Fundación CENTA

Juan José Salas  
Isabel Martín

### Con la colaboración de C1

Jordi Mas

índice

guía  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

índice

## 1. Introducción [4]

## 2. Procedimientos comunes [8]

- 2.1. Caracterización climática [9]
- 2.2. Caracterización hidrogeológica y edafológica del medio receptor [9]
- 2.3. Estudio de las interacciones del agua reutilizada con el medio [10]
  - 2.3.1. Caracterización del agua a reutilizar [10]
  - 2.3.2. Evaluación de la compatibilidad química y de las interacciones físicas con el medio [11]
- 2.4. Evaluación de las afecciones a captaciones [11]
- 2.5. Normas de seguridad e higiene [12]

## 3. Procedimientos específicos [13]

- 3.1. Uso para riego [14]
  - 3.1.1. Consideraciones climáticas [14]
  - 3.1.2. Parámetros agronómicos [15]
  - 3.1.3. Elección de especies [15]
- 3.2. Recarga artificial de acuíferos [16]

## 4. Evaluación de impacto ambiental [20]

## 5. Marco legal y procedimientos administrativos [23]

## 6. Referencias [26]

## Anexos [28]

- Anexo I. Caracterización hidrogeológica e hidroquímica de la zona no saturada y saturada (propiedades físicas, físico-químicas y químicas de la fase sólida) [29]
- Anexo II. Tabla resumen de los criterios de calidad requeridos según los usos del agua en el RD 1620/2007 [31]
- Anexo III. Tabla de parámetros agronómicos y manejo del agua y los sistemas de riego [34]
- Anexo IV. Legislación específica de Evaluación de Impacto Ambiental [37]

## Glosario [41]

# introducción

**guía**  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

1

capítulo

El objetivo de la presente Guía Metodológica es ofrecer a los usuarios de la reutilización de aguas regeneradas una serie de indicaciones que les permitan llevar a cabo esta práctica teniendo en cuenta todos los aspectos que pueden afectar a la propia reutilización y al medio natural. Esta guía no solamente recoge aquellos aspectos de obligado cumplimiento establecidos en la legislación (fundamentalmente de calidad), sino también todos aquellos estudios previos y comprobaciones posteriores que deben llevarse a cabo para reutilizar con garantías.

En España, la legislación específica que regula la reutilización desde 2007 se recoge en el Real Decreto 1620/2007 por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. En él se incorpora el concepto y la definición de 'agua regenerada', cuyo uso requerirá una concesión administrativa que se concederá según la posterior utilización del agua. En el Real Decreto se distinguen los siguientes usos: urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental y en su anexo I se recogen los criterios de calidad diferenciados según estos usos, aportando límites de obligado cumplimiento. Los criterios definidos tienen la consideración de mínimos obligatorios exigibles, incluyendo parámetros físico-químicos y sanitarios. Además, para el resto de los parámetros es necesario que las aguas depuradas cumplan con las condiciones necesarias para el vertido de aguas residuales según se recoge en el Real Decreto 1315/1992 (BOE, 1992).

La reutilización de las aguas depuradas para usos diversos, como el riego o la recarga artificial, permite además de la recuperación parcial de los costes asumidos en el proceso de depuración, proporcionar un recurso de agua alternativo, que resulta crítico sobre todo en las zonas áridas y semiáridas. Por ello, se trata de una práctica recomendada en un país como España, aunque no se conocen suficientemente los efectos desfavorables que pudieran producirse, tanto en las masas de agua como en el sistema suelo-planta. Estos efectos, que dependen en gran medida de las propiedades del medio receptor y de la propia agua regenerada, deben ser identificados previamente a su reutilización.

El riego (tanto urbano, recreativo como agrícola) presenta el principal potencial de utilización del agua regenerada, ya que los mayores consumos de agua se producen en este sector. Así los recursos hídricos convencionales pueden ser destinados a cubrir las demandas que exigen una mayor calidad. Por otro lado, la recarga de acuíferos con aguas regeneradas es una aplicación cada vez más usual. La tabla 1 muestra algunas ventajas e inconvenientes de ambas aplicaciones.

Tabla 1: Ventajas y limitaciones del uso de aguas regeneradas para riego y recarga de acuíferos

## RIEGO

### VENTAJAS

Disponición de un volumen constante de agua para riego incluso en épocas de sequía

Reducción de costes de abonado

Tratamiento adicional del agua infiltrada por los procesos que se producen en el suelo y zona no saturada

### LIMITACIONES

Posibilidad de empobrecimiento de la calidad de la cobertura vegetal y del suelo por sustancias no controladas

Desequilibrio de los cultivos en determinados momentos fenológicos por aporte continuo de nutrientes

Encarecimiento de las instalaciones para filtrado y desinfección y para almacenamiento especial

Desconocimiento de la asimilabilidad de los nutrientes aportados, lo que complica la gestión del abonado y aumenta la necesidad de análisis foliares y de suelo

## RECARGA DE ACUÍFEROS

### VENTAJAS

Aumento de los recursos hídricos disponibles

Ausencia de evaporación, algas y tratamiento adicional del agua a través del continuo suelo-acuífero

Menor coste como embalse natural y sistema de distribución respecto a otras obras de ingeniería

Control de la intrusión marina

### LIMITACIONES

Existencia de formaciones geológicas aptas para recargar y disponibilidad de terreno para aplicación de métodos de recarga superficiales

Complejidad de los dispositivos para inyección directa

Control exhaustivo de la calidad del agua encarece las instalaciones de tratamiento

Interacciones no deseadas con el medio receptor: suelo y acuíferos

Previo a la puesta en marcha de un proyecto de reutilización debe realizarse un estudio de viabilidad que incluya un análisis económico-financiero detallado en el que se consideren tanto los beneficios ambientales y sociales como los costes que la aplicación del RD de Reutilización lleva consigo (incluyendo aspectos como la necesidad de seguimiento analítico, mantenimiento cuidadoso de las instalaciones, necesidad de mayor cualificación del per-



sonal implicado, puesta en marcha de un plan de seguridad e higiene específico, etc). Sin embargo, la elaboración de dicho estudio queda fuera del objeto del presente documento, por lo que se remite a la lectura de la "Guía para la realización de estudios de viabilidad en proyectos de reutilización de aguas depuradas" (De Las Fuentes et al., 2010).

Esta Guía Metodológica recoge algunas indicaciones que son comunes a todos los usos y otras específicas para los usos más extendidos: riego y recarga de acuíferos. La tabla 2 muestra los apartados de la Guía a tener en cuenta según el uso que vaya a darse al agua regenerada, clasificados según el Real Decreto 1620/2007.

**Tabla 2: Apartados de la Guía a tener en cuenta según el uso que vaya a darse al agua regenerada.**

USO DEL AGUA REGENERADA SEGÚN EL RD 1620/2007	ÍTEM DE LA GUÍA A TENER EN CUENTA
1.1.a. Riego de jardines privados	2. Procedimientos comunes en usos del RD
1.2.a. Riego de zonas verdes urbanas	3.1. Procedimientos específicos: riego
2.1.a. Riego agrícola	
2.2.a. Riego de productos de consumo humano	
2.2.b. Riego de pastos	
2.3.a. Riego localizado de cultivos leñosos(...)	
2.3.b. Riego de cultivos de flores ornamentales(...)	
2.3.c. Riego de cultivos industriales(...)	
4.1.a. Riegos de campos de golf	
5.3.a. Riego de bosques, zonas verdes(...)	
5.3.b. Silvicultura	
5.1. Recarga por percolación	2. Procedimientos comunes en usos del RD
5.2. Recarga por inyección directa	3.3. Procedimientos específicos: recarga artificial de acuíferos

# procedimientos comunes

**guía**  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

capítulo

2

Se entienden por procedimientos comunes aquellos que deberán ser tenidos en cuenta en los supuestos que afecten al terreno (suelo y subsuelo) como medio receptor, según se indica en la tabla 2. De forma natural, el contacto entre el agua y el medio (suelo y rocas) produce una serie de procesos físico-químicos y microbiológicos que deben ser tenidos en cuenta en cada caso. Las interacciones que se producen dependen tanto de las características del medio (apartado 2.2) como del agua a reutilizar (apartado 2.3) y van a estar controladas por factores climáticos (apartado 2.1).

## 2.1. Caracterización climática

Las características climáticas de la zona donde se vaya a aplicar la reutilización son importantes en el riego y la recarga artificial de acuíferos a cielo abierto, debido a que el agua queda en contacto directo con la atmósfera. En ambos casos, aunque en diferente grado, hay que considerar los siguientes parámetros: precipitación, temperatura, viento, radiación solar, evaporación y evapotranspiración. Además, en el caso del riego es necesario tener en cuenta la información recogida en el apartado 3.1.

## 2.2. Caracterización hidrogeológica y edafológica del medio receptor

De aplicación en todos los usos que afectan al suelo y al subsuelo, el objetivo de esta caracterización debe ser establecer el estado general del medio receptor (zona no saturada y acuífero) como base previa a los estudios específicos establecidos para cada uso, con el fin de conseguir una valoración preliminar de las interacciones que se establecerán entre el agua tratada y el medio receptor y sus efectos en ese medio utilizado como sistema depurador.

El estudio incluirá las siguientes actividades: a) recopilación de información previa sobre la geología (incluyendo mapa geológico, sondeos, geofísica, etc.), suelos (incluyendo mapa de clasificación de suelos), e hidrogeología (mapa hidrogeológico, datos de niveles piezométricos, inventario y fichas de puntos de agua, datos hidroquímicos, etc.); y b) realización de análisis, determinaciones y obtención de datos específicos sobre el medio receptor en el que se vaya a realizar la aplicación de agua tratada. Los parámetros y propiedades a tener en cuenta están recogidos en el Anexo I.

## 2.3. Estudio de las interacciones del agua reutilizada con el medio

### 2.3.1. Caracterización del agua a reutilizar

En lo referente a criterios de calidad del agua, el RD 1620/2007 establece un conjunto de valores de referencia en función del uso, para garantizar la ausencia de riesgo sanitario de origen químico o microbiológico en humanos o animales (Anexo II). Se debe destacar, que aunque la presencia de determinados microcontaminantes específicos (plaguicidas, emergentes, prioritarios y metales pesados) no están regulados en el RD, debe prestarse atención a su posible presencia.

Los parámetros físico-químicos que deben controlarse en cumplimiento de este RD son los sólidos en suspensión y la turbidez en todos los casos, el fósforo total para los usos ambientales y recreativos y el nitrógeno total para la recarga de acuíferos. Para evitar la salinización de suelos y acuíferos, en todos los casos es importante controlar que no exista una excesiva salinidad del agua. En el caso del uso para riego, será conveniente caracterizar además los parámetros físico-químicos de interés agronómico que se recogen en el ANEXO III.

En función del uso, por lo que respecta a microorganismos y parásitos, se establecen los límites indicados respecto a *Escherichia coli* (*E. coli*), huevos de nematodos intestinales y *Legionella spp.* Los géneros que contempla el RD de nematodos intestinales son al menos: *Ancylostoma*, *Trichuris* y *Ascaris*. Para determinados usos también contempla la determinación de cestodos, concretamente *Taenia saginata* y *Taenia solium*. Además, aunque no esté contemplada en el RD de reutilización, sería conveniente valorar la presencia de quistes de *Giardia* y ooquistes *Cryptosporidium* en el agua destinada a usos que resulten en contacto directo o indirecto con humanos, al menos durante el primer año de explotación. Así mismo, sería recomendable el análisis de los nematodos fitoparasitarios en el agua de uso agrícola, dado el riesgo que suponen para los cultivos receptores.

Uno de los factores a tener en cuenta es la peculiaridad que presentan los microorganismos de poder crecer y reproducirse en depósitos y en redes de distribución, hecho que se ve potenciado por los niveles relativamente elevados de nutrientes que suelen encontrarse en las aguas regeneradas. Como consecuencia, el hecho de que un agua sea microbiológicamente correcta en el punto de entrega, no garantiza necesariamente que la calidad microbiológica sea correcta en el punto de uso.

Otro aspecto a considerar es el aporte de contaminantes externos, particularmente en sistemas en los que el agua se almacena en depósitos abiertos al aire libre, expuestos a la defecación de aves u otros animales, así como a la entrada de aguas superficiales durante episodios de lluvias intensas; crecimiento microbiano en el interior de la instalación de dis-

tribución, fomentado por la presencia de materia orgánica biodegradable y por la ausencia de residual de desinfectante.

Los problemas microbiológicos detectados con más frecuencia durante la utilización de aguas regeneradas tienen que ver con la formación de biofilms en las superficies expuestas al agua regenerada; superficies interiores de conductos de distribución, depósitos de almacenaje y, en general, los elementos sumergidos que forman parte de la instalación. La mera presencia de biofilms no constituye necesariamente un riesgo sanitario, pero tiene una serie de consecuencias que es importante tener en cuenta: acelera la corrosión de materiales colonizados, disminuye la eficacia de tratamientos de desinfección que puede fomentar la supervivencia de patógenos de transmisión hídrica, permite el recrecimiento de determinados microorganismos distorsionando la validez de su uso como indicadores de contaminación y puede llegar a originar obturación total o parcial de sistemas de riego localizado. En sistemas de riego localizado, sometidos periódicamente a temperaturas elevadas a causa de la exposición al sol, se desarrollan biofilms con presencia de microorganismos esporulados que presentan una elevada resistencia a los agentes desinfectantes, con los riesgos que esto puede comportar.

### 2.3.2. Evaluación de la compatibilidad química y de las interacciones físicas con el medio

Independientemente de la presencia de microcontaminantes orgánicos e inorgánicos o microbiológicos en el agua para riego o de la composición y textura del suelo, uno de los mayores impactos en el medio físico es el derivado de la aplicación de aguas con elevada salinidad o dureza. En este caso, la interacción agua-medio puede provocar cambios en la estructura del suelo además de salinización y sodicidad del suelo y de las aguas subterráneas.

Como primera medida, debe evaluarse el riesgo de salinidad del suelo y sodicidad a partir de los parámetros químicos del agua a reutilizar y del propio suelo (Índice SAR, Conductividad eléctrica, índice Langelier), analizándose su evolución en el tiempo. La aplicación de modelos informáticos hidrogeoquímicos permite simular las interacciones con el medio, tales como precipitaciones o disoluciones de minerales (que conllevan cambios en la porosidad y permeabilidad), cambios en las condiciones químicas y en las propiedades físico-químicas y físicas del medio (por ejemplo alteración del estado de oxidación/reducción, variaciones texturales, etc.).

## 2.4. Evaluación de las afecciones a captaciones

La evaluación de las afecciones de la aplicación de aguas regeneradas al acuífero o acuíferos infrayacentes requiere establecer redes de control de piezometría y calidad del agua,

diseñadas y gestionadas por la Administración Hidráulica competente. El diseño de las redes debe contemplar las características y requerimientos particulares de cada caso. Se debe tener en cuenta la dirección y sentido del flujo del agua subterránea (tanto en régimen natural como el relacionado con la aplicación de estas aguas) así como la situación de los diferentes usuarios del acuífero, el tipo de uso, el régimen de explotación y los ecosistemas hidrodependientes que existan.

La red de control puede estar integrada por captaciones ya existentes (pozos, galerías o manantiales) y/o por piezómetros construidos específicamente. En caso que el acuífero se destine a abastecimiento, los puntos de control deberán equiparse con sensores de nivel piezométrico y de calidad (parámetros físico-químicos y microbiológicos), así como de un sistema de registro de datos. Se definirán y desarrollarán programas de mantenimiento de los sensores (verificación y calibración), así como de desarrollo de los piezómetros (mantenimiento de la capacidad de aportación de agua).

En todos los casos, se deben realizar tomas periódicas de datos de forma semestral o anual que incluyan calidad del agua subterránea, datos de niveles piezométricos y volúmenes de agua extraídos y recargados. El análisis de estos datos permitirá evaluar las posibles afectaciones al acuífero producidas y las previsible en el futuro.

## 2.5. Normas de seguridad e higiene

El uso de agua regenerada puede comportar riesgos sanitarios, tanto para el público como para los usuarios, ya que en estos casos es generalmente más elevada la exposición a microorganismos patógenos y a sustancias tóxicas que en el caso de uso de aguas naturales.

Por este motivo, es necesario reducir al mínimo la exposición a estos agentes, manteniendo los posibles peligros sanitarios dentro de un nivel aceptable. En general, el riesgo sanitario que estas actividades pueden provocar está relacionado con el grado de contacto del agua regenerada con las personas, el tipo y la calidad del agua regenerada y la fiabilidad de los procesos de tratamiento.

Es recomendable que todo el personal implicado (trabajadores de planta, usuarios, etc.) esté informado sobre la posible transmisión de enfermedades por el contacto con el agua regenerada, así como de las precauciones que deben tomarse al respecto. Por ello se establecerán unas normas de higiene personal, que dependerán en cada caso del tipo de agua y de su aplicación, así como indicar mediante carteles informativos el uso de agua regenerada en la zona.

**guía**  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

capítulo

3

**procedimientos  
específicos**

## 3.1. Uso para riego

Las recomendaciones presentadas en este apartado son válidas para cualquier uso que aporte agua regenerada a través de un sistema de riego, es decir, son válidas en un sentido amplio independientemente del cual sea el tipo de reutilización considerada en el RD 1620/2007.

### 3.1.1. Consideraciones climáticas

Tal como se expuso en el apartado 2.1., se deberán controlar las variables climáticas teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Precipitación - Es importante determinar los periodos en los que la intensidad de la precipitación supera la capacidad de infiltración del suelo pues en estos periodos el riesgo de escorrentía es máximo y con ella se arrastran tanto las sustancias disueltas como las adsorbidas por la materia orgánica. Además, los excesos de agua en los periodos lluviosos pueden suponer riesgo de lixiviación de sustancias disueltas, considerando que se producen en las épocas frías cuando la vegetación disminuye su consumo de nutrientes.
- Temperatura - Los valores de la media, mínimas absolutas, oscilación térmica, etc. condicionan las exigencias térmicas de las diferentes especies vegetales (temperaturas mínimas de germinación, crecimiento y floración) siendo básico su conocimiento para predecir su crecimiento y, en su caso, la parada vegetativa. Por otro lado, cuando las temperaturas son favorables y coinciden con las óptimas de crecimiento, la extracción de nutrientes será máxima, minimizando el riesgo de lixiviación de los nutrientes que pudieran ser transportados por el agua aplicada.
- Viento - Factor crítico para determinar el tipo de riego que puede ser utilizado. En zonas ventosas, determinados sistemas como la aspersión y la microaspersión tiene su uso limitado al comprometer la uniformidad del riego. Además, dicho factor contribuye a la posible dispersión de microorganismos en las gotas de deriva, aumentando el riesgo sanitario del riego con aguas regeneradas.
- Insolación - La elevada insolación puede aumentar el riesgo de fitotoxicidad en las hojas por acumulación de sustancias presentes en el agua regenerada. Este proceso se incrementa con el uso de sistemas de riego que suponen contacto directo del agua con la hoja, como por ejemplo la aspersión.
- Evapotranspiración - Depende de la temperatura, la radiación, la humedad relativa y el viento y permite determinar la pérdida de agua a la atmósfera y por tanto, calcular el



consumo de agua por parte de la planta. Este consumo se satisface mediante la precipitación y el riego, de forma que las dosis de riego deben ser calculadas a partir de los balances planta-agua-suelo. Además, habrá que considerar la cantidad de agua de riego destinada al lavado del suelo para evitar su posible salinización. A la hora de dimensionar las instalaciones, debe considerarse la coincidencia de altas temperaturas y baja humedad relativa que puede incrementar las necesidades de agua de la planta.

### 3.1.2. Parámetros agronómicos

Desde este punto de vista, es necesario determinar todos aquellos parámetros que condicionan el riego (tanto por su influencia sobre los cultivos como por su influencia en el medio) aunque algunos no están contemplados en la normativa de reutilización. En este sentido cabe destacar que la normativa se centra fundamentalmente en aspectos sanitarios y de protección de las instalaciones, pero presta poca atención a algunos parámetros agronómicos fundamentales para garantizar la sostenibilidad de la reutilización. En el Anexo III se presenta una tabla que contempla los parámetros fundamentales, su importancia agronómica y algunas recomendaciones prácticas para evitar en lo posible las consecuencias desfavorables. En dicha tabla se presenta como se interpretan los parámetros en función de la caracterización del suelo, el manejo del agua y el tipo de sistema de riego y la elección de la especie cultivada.

La respuesta de los cultivos es variable en función no sólo de la calidad del agua sino también de su manejo (tipo, dosis y frecuencia de riegos), de las características de los suelos y de las especies regadas, que muestran diferentes valores de tolerancia a los factores adversos. En caso de duda, se aconseja la consulta a las oficinas de asesoramiento agrícola existentes.

### 3.1.3. Elección de especies

La elección de especies que se adecúen a la calidad del agua, el clima y las características del suelo garantizará que las plantas vegeten más vigorosas y sanas, minimizando la necesidad de uso de productos fitosanitarios. Este hecho mejorará la sostenibilidad y rentabilidad de los cultivos. El éxito de los proyectos de reutilización quedará garantizado si, una vez estudiados los factores limitantes que impone el medio, se hace una elección de aquellas especies que resulten más tolerantes a los factores desfavorables y cuya capacidad productiva aproveche al máximo las potencialidades del agua empleada (por ejemplo, el cultivo de gramíneas forrajeras muy exigentes en nitrógeno cuando el agua aporte grandes concentraciones de este nutriente).

## 3.2. Recarga artificial de acuíferos

La recarga artificial de acuíferos se contempla en el artículo 4 del RD 1620/2007 como un uso ambiental del agua residual tratada. En el documento se establecen los requerimientos de calidad que ha cumplir el agua utilizada para ese uso (Anexo II). Sin embargo, es fundamental además garantizar que no se van a generar afecciones negativas en el acuífero (tanto en su comportamiento hidráulico como en la calidad de sus aguas), en los ecosistemas hidrodépendientes de este, así como en los usos que se le den a las aguas que se extraigan del acuífero. Por estas razones, en las actuaciones de recarga con agua residual urbana tratada se han de cumplir dos condiciones: a) que el agua y el medio receptor sean adecuados para llevar a cabo la actuación, y b) que el diseño y la ejecución del proyecto sean correctos.

El artículo 4.4.a del RD 1620/2007 prohíbe la reutilización de aguas para el consumo humano. En consecuencia, no será de aplicación la recarga artificial con estas aguas en masas de agua subterránea que sean utilizadas para captación de agua destinada al consumo humano o las que pudieran ser destinadas a tal uso en el futuro dentro de cada demarcación hidrográfica, a las que se hace referencia en el artículo 7 de la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento europeo y del Consejo y que están recogidas en los Planes Hidrológicos de Cuenca.

A continuación se exponen algunas actividades y aspectos a considerar:

- Caracterización hidrogeológica del medio receptor (véase apartado 2.2 y Anexo I).
- Estudio de la interacción del agua reutilizada con el medio (véase apartado 2.3).
- Diseño y planificación del sistema de recarga artificial y del sistema de control:

### a) Elección del método y de los dispositivos de recarga

La recarga por percolación a través del terreno (recarga superficial) se aplicará en caso de acuíferos someros en los que no existan capas impermeables entre la superficie del terreno y el acuífero. La recarga por inyección directa (recarga profunda) se realizará cuando se quiera llevar el agua hasta acuíferos profundos o cuando existan capas impermeables entre la superficie del terreno y los acuíferos aunque estos no se encuentren a gran profundidad; en estos casos también debe ser considerada la velocidad de circulación vertical del agua (Tabla 3).

**Tabla 3: Ventajas e inconvenientes de los métodos de recarga superficial y subterránea (modificado de IGME, 2000).**

FACTOR	MÉTODO	
	SUPERFICIAL	SUBTERRÁNEO
Disponibilidad del terreno	Puede ser muy difícil o imposible establecerlos en una zona poblada o muy cultivada por no disponer de espacio o por la carestía de los terrenos. Precisa, en general una gran superficie de terreno	Pequeño: precisan poco espacio
Factores estéticos y ambientales	Pueden presentar problemas de proliferación de insectos y roedores. Requieren cercados y vallas para proteger a personas y animales	Escasos
Permeabilidad del acuífero	Media a elevada	Variable. Se emplean de una forma generalizada en terrenos formados por una alternancia de niveles permeables e impermeables o cuando existen niveles poco permeables entre la superficie del suelo y el acuífero
Construcción de instalaciones	Pueden requerir acondicionamientos previos del terreno para nivelarlo, retirar coberturas poco permeables o arcillosas, retirar vegetación, obtener diques resistentes, construir estructuras para la conducción del agua, etc.	Instalaciones de inyección complicadas
Volumen recargable	Puede llegar a ser muy significativa	Notablemente inferior si se compara con el medio de las instalaciones superficiales
Pérdidas por evaporación	En determinados casos pueden llegar a ser muy grandes	Nulas
Colmatación	Los problemas derivados de la colmatación son generalmente moderados	Muy grandes. Implican un coste de mantenimiento a veces muy importante

## b) Diseño del sistema de recarga y del sistema de control

El proyecto del sistema de recarga, además de la definición del propio sistema deberá incluir el diseño del sistema de monitorización y control:

- Sistema de recarga superficial: Incluye el diseño de las balsas de recarga (dimensiones, número y ubicación) y los dispositivos de aporte de agua al sistema.
- Sistema de recarga subterránea: Incluye la distribución (número y ubicación) de los pozos de recarga, así como el esquema constructivo (diámetros, material de las tuberías, colocación de zonas filtrantes, cementaciones anulares, dispositivos de introducción del agua de recarga en el interior del pozo, equipos de bombeo, equipos de toma de datos), y los dispositivos de aporte de agua al sistema.
- Diseño del sistema de control, tanto en métodos superficiales como subterráneos (véase apartado 2.4): distribución y número de piezómetros, profundidad, ubicación, esquema constructivo (diámetros de perforación y entubación, cementaciones, situación de zonas filtrantes, materiales de la tuberías de revestimiento, equipos de toma de datos).

## c) Planificación de la recarga

- Establecimiento de un programa de trabajo en el que se definirán:
  - Períodos de recarga (estableciendo el caudal y el volumen).
  - Períodos de reposo (en especial cuando se apliquen métodos de inyección directa).
  - Períodos de mantenimiento de la capacidad de infiltración y métodos a aplicar.
- Análisis de la evolución de la tasa de recarga para optimizar los ciclos de recarga y de mantenimiento de la capacidad de recarga.

## d) Planificación del control y monitorización

- Establecimiento de un programa de trabajo en el que se definirá la recogida (sistemática y periodicidad) de los siguientes datos:
  - En sistemas de recarga en superficie (balsas): control del nivel en la balsa de recarga, medida del caudal de recarga (caudalímetro instalado en el canal de entrada del agua de recarga), control de la calidad del agua de recarga a la llegada a la balsa y de la calidad del agua en la balsa a distintas profundidades.

- En sistemas de recarga subterráneos (pozo de recarga): control de caudal de recarga (caudalímetro), control de caudal de bombeo (caudalímetro), control del nivel piezométrico (sensor piezorresistivo), control de calidad del agua de recarga.
  - En ambos sistemas: control de la evolución de la superficie piezométrica y evolución de la calidad del agua del acuífero tras la recarga (piezómetros de control a distintas profundidades con sensores de nivel, de calidad y posibilidad de toma de muestras con equipo de bombeo).
  - Establecimiento de un programa de verificación y calibración de los equipos de medida.
- Evaluación de las afecciones a las captaciones:  
Se desarrollará lo establecido en el apartado 2.4 de esta Guía.



# evaluación de impacto ambiental

**guía**  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

capítulo

4

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento técnico-administrativo que permite definir, prevenir y caracterizar los impactos ambientales que una determinada actividad o proyecto causarán en el entorno. Le corresponde a la administración competente evaluar dicho proyecto, y en base a los impactos que cause, podrá aceptarlo, rechazarlo o modificarlo (RD 1/2008). En el caso de los proyectos de reutilización de aguas residuales el impacto es claro: la posible entrada de contaminantes en los compartimentos ambientales, así como los posibles problemas sanitarios derivados de su uso.

Aunque la normativa aplicable a este procedimiento (Ley 6/2001 de Evaluación de Impacto Ambiental así como sus desarrollos legislativos complementarios) no contempla específicamente la reutilización de aguas como un proyecto que deba someterse a EIA, sí contempla muchas de las actividades derivadas de proyectos que incluyen el uso de las aguas regeneradas. Tal es el caso de:

- Proyectos para la extracción de aguas o la recarga artificial de acuíferos. En el Anexo I el RD 1/2008, se indica que los proyectos de recarga artificial de acuíferos serán sometidos a Evaluación de Impacto Ambiental cuando el volumen total recargado sea superior a 10 hm<sup>3</sup>/año. Según el Anexo II de dicho RD, cuando el volumen sea superior a 1 hm<sup>3</sup>/año y no se incluyan en el Anexo I y así lo decida el órgano ambiental.
- Corta de arbolado con propósito de cambiar a otro tipo de uso de suelo.
- Transformaciones de uso del suelo que impliquen eliminación de la cubierta vegetal arbustiva.
- Proyectos para destinar terrenos incultos o áreas seminaturales a la explotación agrícola intensiva.
- Proyectos de gestión de recursos hídricos para la agricultura, con inclusión de proyectos de riego o de drenaje de terrenos.
- Construcción de campos de golf.
- Presas y otras instalaciones destinadas a retener el agua o almacenarla permanentemente
- Conducciones de agua a larga distancia.

Los límites de las áreas, longitudes, caudales y habitantes equivalentes a partir de los cuales los proyectos deben ser o no sometidos a EIA varían en función de la Comunidad Autónoma de la que se trate, por lo que se recomienda consultar la legislación facilitada en el Anexo IV.

Casi ninguna Comunidad Autónoma, a excepción de Madrid, Baleares o Navarra hace referencia en su legislación autonómica a la obligación de someter los proyectos de reutilización a los distintos instrumentos de Evaluación Ambiental. Es por ello, que cada proyecto concreto deberá estudiar si debe someterse a la EIA o no, en función de las obras asociadas y de la Comunidad Autónoma en las que vaya a desarrollarse.

Como último aspecto a tener en cuenta, y para valorar si un proyecto debe o no someterse a EIA, hay que determinar si se localiza en un espacio natural protegido, pues las restricciones son mayores (consultar RD 1997/1995 sobre la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres y Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad).

Por otro lado, según la Ley 9/2006 de evaluación de determinados planes y programas, deberán someterse a Evaluación de Impacto todos aquellos planes y programas que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente siempre que *“se elaboren o aprueben por una Administración Pública o que su elaboración y aprobación venga exigida por una disposición legal o reglamentaria o por acuerdo del Consejo de Ministros o del Consejo de Gobierno de una Comunidad Autónoma”*. Es decir, todos aquellos planes y/o programas que contemplen la reutilización de aguas residuales deberán ser sometidos a este tipo de Evaluación.





**guía**  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

capítulo

5

# marco legal y procedimientos administrativos

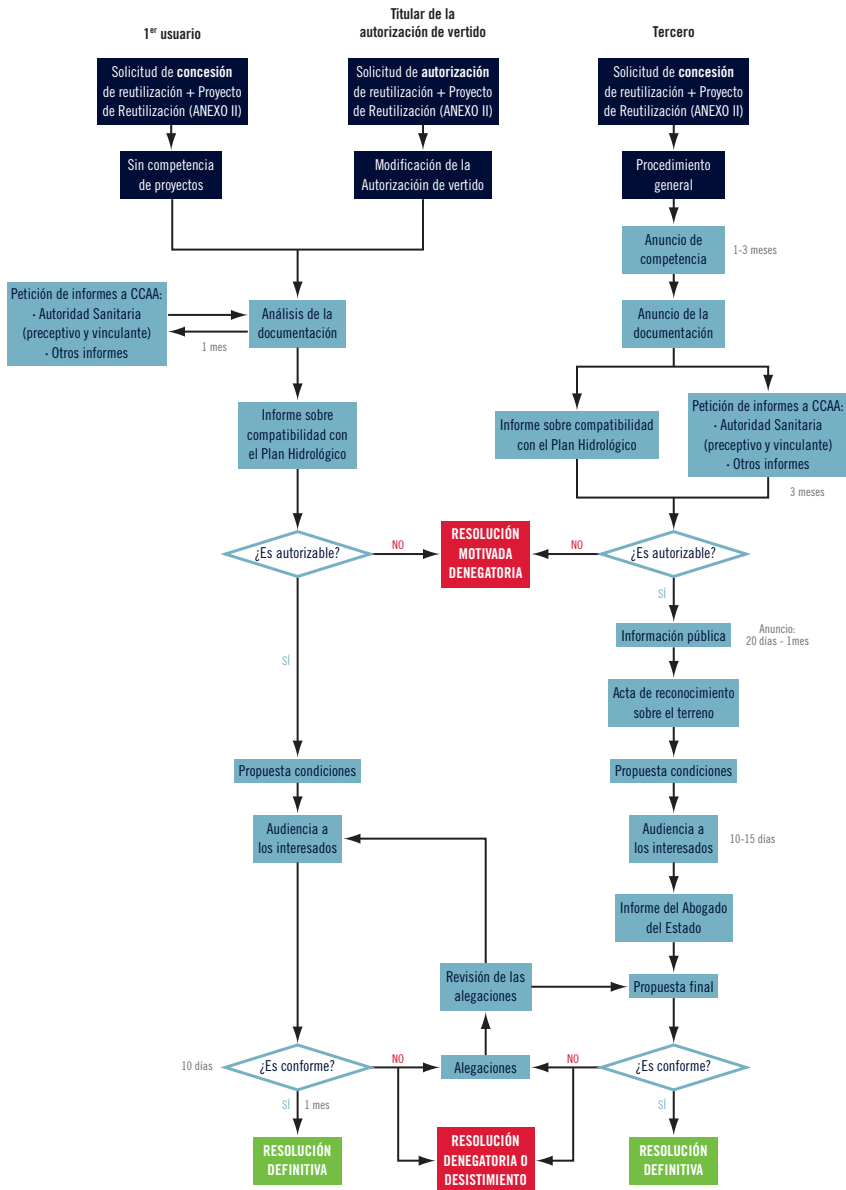
La figura 1 muestra el procedimiento a seguir para la obtención del permiso de reutilización de aguas. Este procedimiento es diferente en función de quien sea el solicitante de la concesión, identificándose 3 casos:

- a) El solicitante es primer usuario de la concesión de aguas (todo aquel que teniendo la concesión de agua, decida hacerse cargo por sus propios medios del proceso de reutilización).
- b) El solicitante es titular de la autorización de vertido (gestores de depuradoras, que deciden ceder el efluente, siendo ellos los responsables de que el agua cumpla con todos los requisitos exigidos).
- c) El solicitante es un tercero, no siendo ni el concesionario ni el titular de la autorización de vertido (será por tanto responsable de que el agua cumpla con los criterios establecidos en la legislación).

En cada caso, será el propio solicitante de la concesión el que deberá hacerse cargo de todos los costes derivados de la misma, independientemente de si es o no el usuario final del agua.

Los plazos de los procedimientos serán de 6 meses en el caso de la autorización y de 18 meses en el caso de la concesión. Si transcurrido este tiempo, el solicitante no recibe respuesta, se sobreentenderá como petición desestimada, pues se le aplica el procedimiento administrativo negativo.

Figura 1: Procedimiento para la obtención de la autorización o concesión de reutilización de aguas (fuente: MARM, 2010)



# referencias

**guía**  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

capítulo



- de las Fuentes, L.; Urkiaga, A.; Hernández, F. (Ed.) (2010). Guía para la realización de estudios de viabilidad en proyectos de reutilización de aguas depuradas. AQUAREC. 150 pp.
- B.O.E. (1992). Real Decreto 1315/1992, por el que se modifica parcialmente el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, aprobado por el Real Decreto 849/1986. BOE nº 288 de 1/12/1992, pp. 40563-40565.
- B.O.E. (1995). Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestre. BOE nº 310 de 28/12/1995, pp. 37310-37333.
- B.O.E. (2005). Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios estándares para la declaración de suelos contaminados. BOE nº 15 18/01/2005. pp. 1833-1843.
- B.O.E. (2007). REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE nº 294 08/12/2007. pp. 50639-50661.
- B.O.E. (2007). Ley 42/2007 de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. BOE nº 299 de 14/12/2007, pp 51275-51327.
- D.O.U.E. (1991). Directiva Europea 91/271 de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. DOUE nº 135 de 30/5/1991, p. 40-52.
- D.O.U.E. (2000). Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOUE nº L 327 de 23/10/2000. pp 1-72.
- D.O.U.E. (2001). Decisión 2455/2001/CE por la que se aprueba la lista de sustancias prioritarias en el ámbito de la política de aguas, y por la que se modifica la Directiva 2000/60/CE. DOUE nº L 331 de 20/11/2001. pp 1-5.
- IGME (2000): Recarga artificial de acuíferos. Síntesis metodológica. Estudio de actuaciones realizadas en la provincia de Alicante. López Geta, J.A. y Rodríguez Hernández, L. (eds.). Ed. IGME-Excma. Diputación Provincial de Alicante.
- MARM (2010): Guía para la aplicación del RD 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.
- MMA (2000). EL LIBRO BLANCO DEL AGUA EN ESPAÑA. Madrid. 638 pp.

**anexos**

**guía**  
metodológica  
para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

**anx**

## ANEXO I

Caracterización de la zona no saturada y saturada (propiedades físicas, fisico-químicas, y químicas de la fase sólida)

### SUELOS

Propiedad/parámetro	Descripción
Identificación de horizontes del perfil edáfico	Espesor, color, profundidad
Textura	Granulometría. Fracciones granulométricas (% arenas, % limos, % arcillas)
Estructura edáfica	Desarrollo y tipo de agregados
Densidad y porosidad	Densidad aparente, densidad real, porosidad
Parámetros físico-químicos	pH de la solución del suelo, conductividad de la solución del suelo
Composición mineralógica	Determinación de los minerales principales. Identificación de tipos de arcillas
Materia orgánica, carbono orgánico	Cantidad, tipo de humus
Contenido en bases	Porcentaje de saturación en bases (K, Na, Ca, Mg). Abundancia de carbonato
Composición química	Elementos mayoritarios. Metales (B, Fe, Cu, Mn, Zn, Cd, Cr, Hg, Pb, Ni y aquellos de interés local). Contenido en Ntotal, nitrato, amonio, Ptotal y ortofosfato
Capacidad de intercambio catiónico	Capacidad de intercambio para sodio, calcio, magnesio, y potasio
Capacidad de intercambio aniónico	Capacidad de intercambio aniónico para nitrato, fosfato y sulfato

### SUBSTRATO ROCOSO

Propiedad/parámetro	Descripción
Litología	Tipos de roca. Sucesión estratigráfica
Textura	Granulometría
Estructura	Identificación de estructuras sedimentarias y deformativas
Orientación	
Porosidad	Densidad. Porosidad efectiva
Composición mineralógica	Determinación de los minerales principales
Composición química	Elementos mayoritarios. Elementos traza

## Caracterización hidrogeológica e hidroquímica de la zona no saturada y saturada

### ZONA NO SATURADA

Propiedad/parámetro	Descripción
Nivel freático	Cota del nivel. Variación del nivel
Parámetros hidráulicos	Capacidad de infiltración. Capacidad de retención. Conductividad hidráulica,
Contenido en agua del suelo	Punto de saturación. Capacidad de campo
Parámetros físico-químicos	pH. Conductividad. Oxígeno disuelto. Eh
Composición química	Concentraciones de especies iónicas mayoritarias. Elementos minoritarios y contaminantes prioritarios y emergentes
Patógenos	Contenido en huevos de nematodos intestinales y <i>Escherichia coli</i>

### ZONA SATURADA (ACUÍFERO)

Propiedad/parámetro	Descripción
Nivel piezométrico	Cota del nivel. Variación del nivel
Parámetros hidráulicos	Transmisividad, conductividad hidráulica, tasa de recarga, coeficiente de almacenamiento
Parámetros físico-químicos	pH, conductividad, oxígeno disuelto, Eh
Composición química	Concentraciones de especies iónicas mayoritarias, elementos minoritarios y contaminantes prioritarios y emergentes
Patógenos	Contenido en huevos de nematodos intestinales y de <i>Escherichia coli</i>



## ANEXO II

Tabla resumen de los criterios de calidad requeridos según los usos del agua en el Real Decreto 1620/2007

### REAL DECRETO 1620/2007 – ESPAÑA

Usos del agua	Criterios de calidad Valor máximo admisible
<b>Uso Urbano</b>	
1.1 Residencial: Riego de jardines privados y descarga de aparatos sanitarios	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 0 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 10 mg/L</li> <li>· Turbidez - 2 UNT</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</li> </ul>
1.2 Servicios: Riego de zonas verdes urbanas, baldeo de calles, Sistemas contra incendios, lavado industrial de vehículos	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 200 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 20 mg/L</li> <li>· Turbidez - 10 UNT</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</li> </ul>
<b>Riego agrícola</b>	
2.1 Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 100 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 20 mg/L</li> <li>· Turbidez - 10 UNT</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</li> <li>· En algunos casos es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.)</li> </ul>
2.2 Riego de productos para consumo humano con tratamiento industrial posterior Riego de pastos Acuicultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> -1.000 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 35 mg/L</li> <li>· Turbidez – No se fija límite</li> <li>· <i>Taenia saginata</i> y <i>Taenia solium</i>: 1 huevo/L (si se riegan pastos para consumo de animales productores de carne)</li> </ul>

Usos del agua	Criterios de calidad Valor máximo admisible
<b>Riego agrícola</b>	
2.3 Riego de cultivos leñosos que impida el contacto del agua con los frutos, flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo, cultivos industriales no alimentarios, forrajes, cereales y semillas oleaginosas	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 10.000 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 35 mg/L</li> <li>· Turbidez – No se fija límite</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L</li> </ul>
<b>Uso Industrial</b>	
3.1 Aguas de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria y otros usos industriales	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - No se fija límite</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 10.000 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 35 mg/L</li> <li>· Turbidez - 15 UNT</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L</li> </ul>
Aguas de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 1.000 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 35 mg/L</li> <li>· Turbidez – No se fija límite</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</li> <li>· En algunos casos es obligatorio llevar a cabo la detección de patógenos Presencia/Ausencia (Salmonella, etc.)</li> </ul>
3.2 Torres de refrigeración y condensadores evaporativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - ausencia UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 5 mg/L</li> <li>· Turbidez - 1 UNT</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> Ausencia UFC/L</li> </ul>
<b>Usos Recreativos</b>	
4.1 Riego de campos de golf	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 200 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 20 mg/L</li> <li>· Turbidez - 10 UNT</li> <li>· <i>Legionella spp.</i> 1.000 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)</li> </ul>

Usos del agua	Criterios de calidad Valor máximo admisible
<b>Usos Recreativos</b>	
4.2 Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales en los que está impedido el acceso al público	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - No se fija límite</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 10.000 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 35 mg/L</li> <li>· Turbidez – No se fija límite</li> <li>· PT: 2 mg/L (en agua estancada)</li> </ul>
<b>Usos ambientales</b>	
5.1 Recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - No se fija límite</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 1.000 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 35 mg/L</li> <li>· Turbidez – No se fija límite</li> <li>· NT: 10 mg N/L</li> <li>· NO<sub>3</sub>: 25 mg NO<sub>3</sub>/L</li> </ul>
5.2 Recarga de acuíferos por inyección directa	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - 1 huevo/10 L</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - 0 UFC /100 mL</li> <li>· Sólidos en suspensión - 10 mg/L</li> <li>· Turbidez - 2 UNT</li> <li>· NT: 10 mg N/L</li> <li>· NO<sub>3</sub>: 25 mg NO<sub>3</sub>/L</li> </ul>
5.3 Riego de bosques, zonas y de otro tipo no accesible al público Silvicultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nematodos intestinales - No se fija límite</li> <li>· <i>Escherichia coli</i> - No se fija límite</li> <li>· Sólidos en suspensión - 35 mg/L</li> <li>· Turbidez – No se fija límite</li> </ul>
5.4 Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· La calidad mínima requerida se estudiará caso por caso</li> </ul>

## ANEXO III

Tabla de parámetros físico-químicos agronómicos y manejo del agua y los sistemas de riego

Parámetro	Importancia	Manejo
DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Su aporte supone un cambio en la presencia de especies microbianas por lo que, al alterarse su equilibrio, podría representar un cambio tanto en los ciclos de nutrientes como en la incidencia de plagas y enfermedades de los cultivos, así como en el riesgo biológico de obstrucción de goteros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Preventivo: filtración mediante filtros de arena que retengan los microorganismos asociados a los sólidos en suspensión.</li> <li>· Limpieza periódica del sistema de riego utilizando biocidas (cloración, lámparas uv, ozono,...)</li> </ul>
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Básico: en el suelo condiciona la disponibilidad de nutrientes, reduciendo la disponibilidad del fósforo y muchos micronutrientes metálicos (Fe, Mn Zn, Cu, B) y en el sistema de riego fomenta la formación de precipitados</li> <li>· Ácido: condiciona la disponibilidad de nutrientes, reduciendo la disponibilidad de algunos macro y micronutrientes (K, Ca, Mg, Mo). Puede estropear las instalaciones por corrosión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Preventivo: Instalar filtros de malla o “de ciclón” en el cabezal de riego Evitar valores altos que potencien la formación de precipitados</li> <li>· Acidificar periódicamente el agua</li> <li>· Elegir abonos de acción acidificante</li> <li>· Preventivo: elegir materiales poco corrosivos</li> <li>· Añadir enmiendas que eviten la acidificación del suelo</li> <li>· Elegir abonos de acción basificante.</li> <li>· Ambos pH extremos: vigilar los contenidos de nutrientes en hojas realizando análisis foliares periódicos</li> </ul>
Conductividad eléctrica (CE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Incrementa el potencial osmótico de las soluciones del suelo</li> <li>· Puede provocar fitotoxicidad por Cl y Na</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Incrementar las dosis de consumo con las fracciones de lavado</li> <li>· Elegir especies y variedades resistentes</li> <li>· Elegir especies y variedades poco sensibles a fitotoxicidad por Cl y Na</li> <li>· Diseñar sistemas de riego que permitan el lavado de sales y que eviten el contacto del agua con las hojas para minimizar el efecto de la fototoxicidad</li> <li>· Evitar regar por aspersión en las horas de máxima insolación</li> </ul>

Parámetro	Importancia	Manejo
Sólidos en suspensión (SS)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Puede provocar obstrucciones en los sistemas de riego localizado</li> <li>· Puede colmatar los capilares del suelo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Instalar filtros de arena en el cabezal de riego si no se dispone de sistemas avanzados</li> <li>· Diseñar sistemas en los que el lavado de las líneas de riego se realice rápida y cómodamente (preferiblemente automatizados)</li> </ul>
Materia Orgánica (MO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Aunque el aporte de MO al suelo mejora su fertilidad, algunos nutrientes esenciales pueden quedar parcialmente bloqueados, apareciendo carencias en los cultivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Vigilar los contenidos de nutrientes en hojas realizando análisis foliares periódicos</li> </ul>
SAR (Bicarbonatos y Ca activo en el suelo)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Puede desestabilizar la estructura del suelo. La cantidad de bicarbonatos del agua y el calcio disponible matizan la importancia de este factor. La salinidad de las soluciones del suelo disminuye el riesgo. Debe interpretarse junto con el valor de CE. Su efecto dependerá tanto de la estabilidad estructural del suelo como de su textura. A partir de un valor de SAR de 6 en aguas poco salinas se recomienda un estudio más específico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Debe estudiarse el aporte de materia orgánica del suelo</li> <li>· Debe estudiarse el aporte de yeso, consultando con un especialista. Esta medida no se aplicará en el caso de suelos ándicos</li> <li>· Deben evitarse los sistemas de riego que supongan un aporte masivo de agua y preferirse los sistemas de riego de alta frecuencia</li> <li>· Elección de especies tolerantes a encharcamiento</li> </ul>
Nitrógeno (N) Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )	<p>El aporte de nitrógeno puede:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· suponer una reducción de costes de abonado o, si supera las extracciones de los cultivos, provocar la lixiviación de nitratos, contaminando los acuíferos y las aguas superficiales</li> <li>· desequilibrar el cultivo y hacerlo más susceptible a incidencia de plagas y enfermedades</li> <li>· provocar un exceso de desarrollo vegetativo y limitar la floración y cuajado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· El aporte de abonos nitrogenados debe ser corregido con el aportado por el agua regenerada</li> <li>· Debe evitarse el exceso, sobre todo en épocas de floración</li> </ul>

Parámetro	Importancia	Manejo
Fósforo total (P) Ortofosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Debe conocerse la proporción de ortofosfato/P total porque sólo el ortofosfato es directamente disponible por la planta y como tal puede ser traído en una proporción variable según las condiciones de los programas de abonado</li> <li>· El P aportado puede ser inmovilizado por los microorganismos del suelo hasta llegar incluso a disminuir el valor de P asimilable</li> </ul> <p>También su aporte puede:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· incrementar el nivel de fertilidad del suelo, la resistencia a accidentes, plagas y enfermedades y mejorar la calidad de los frutos</li> <li>· producir carencias inducidas de microelementos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Deben corregirse los programas de abonado</li> <li>· Debe realizarse un seguimiento del pH del suelo para estudiar posibles cambios en su asimilabilidad</li> <li>· Debe realizarse un seguimiento en los contenidos de nutrientes de P en hojas para estudiar su evolución</li> </ul>
Potasio (K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· El K aportado con el agua regenerada puede considerarse directamente asimilable por la planta</li> <li>· Su aporte puede incrementar el nivel de fertilidad del suelo, la resistencia a accidentes, plagas y enfermedades y mejorar la calidad de los frutos</li> <li>· Puede producirse consumo de lujo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Deben corregirse los programas de abonado</li> <li>· Debe realizarse un seguimiento en los contenidos de nutrientes de K en hojas para estudiar su evolución</li> </ul>
Boro (B)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· El límite entre la carencia y fitotoxicidad es muy estrecho, debe determinarse la cantidad de B asimilable en suelo (en agua caliente) y en extracto saturado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Elegir especies tolerantes a fitotoxicidad por B, matizando con valores de salinidad y contenido de arcilla (que incrementan la tolerancia a exceso de B)</li> <li>· Para evitar fitotoxicidad: incrementar los contenidos de MO, que disminuye su biodisponibilidad del B</li> </ul>
Metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Estudiar su asimilabilidad en función del pH, los contenidos de MO y arcilla (que incrementan la retención de metales en el complejo de cambio)</li> </ul>	

## ANEXO IV

### Legislación específica de Evaluación de Impacto Ambiental

#### Nacional

- Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental.

#### Andalucía

- Ley 7/2007, de 9 de julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental.
- Decreto 292/1995, de 12 de Diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- Ley 7/1994, de 18 de mayo, de Protección Ambiental.

#### Aragón

- Corrección de errores de la Ley 7/2006, de 22 de junio, de Protección Ambiental de Aragón.
- Ley 7/2006, de 22 de junio, de Protección Ambiental de Aragón.
- Decreto 45/1994, de 4 de marzo de Evaluación de Impacto Ambiental.

#### Asturias

- Ley 1/1987, de 30 de marzo, de coordinación y ordenación territorial.

### Islas Baleares

- Ley 6/2009, de 17 de noviembre, de medidas ambientales para impulsar las inversiones y la actividad económica en las Illes Balears.
- Ley 11/2006, de 14 de septiembre, de evaluaciones de impacto ambiental y evaluaciones ambientales estratégicas en las Illes Balears.

### Islas Canarias

- Ley 11/1990, de 13 de julio de 1990, de prevención de Impacto Ecológico.

### Cantabria

- Ley 17/2006, de 11 de diciembre, de control ambiental integrado.
- Decreto 38/1999, de 12 de abril, por el que se modifica el Decreto 50/1991, de 29 de abril, de Evaluación de Impacto Ambiental para Cantabria.
- Decreto 77/1996, de 8 de Agosto, por el que se modifica el Decreto 50/1991, de 29 de abril, de Evaluación de Impacto Ambiental para Cantabria.
- Decreto 50/1991, de 29 de abril de 1991, de Evaluación de Impacto Ambiental.

### Castilla-La Mancha

- Ley 4/2007, de 8 de marzo, de Evaluación Ambiental en Castilla La Mancha.
- Decreto 178/2002, de 17 de diciembre de 2002, por el que se aprueba el Reglamento General de Desarrollo de la Ley 5/1999, de 8 de abril, de Evaluación del Impacto Ambiental de Castilla-La Mancha, y se adaptan sus Anexos.
- Ley 5/1999, de 8 de abril, de Evaluación de Impacto Ambiental.

### Castilla y León

- Ley 1/2009, de 26 de febrero, de modificación de la Ley 11/2003, de 8 de abril, de prevención ambiental de Castilla y León.
- Ley 8/2007, de 24 de octubre, de modificación de la Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.
- Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.



- Decreto Legislativo 1/2000, de 18 mayo, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental y Auditorías Ambientales de Castilla y León.
- Ley 5/1998, de 9 de julio, por la que se modifica la Ley 8/1994, de 24 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental y Auditorías Ambientales de Castilla y León.
- Ley 6/1996, de 23 de octubre, de modificación de la Ley 8/1994 de Evaluación de Impacto Ambiental y Auditorías Ambientales de Castilla y León.
- Decreto 209/1995 de 5 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental de Castilla y León.
- Ley 8/1994, de 24 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental y Auditorías Ambientales.

### Cataluña

- Ley 6/2009, de 28 de abril, de evaluación ambiental de planes y programas.
- Ley 12/2006, de 27 de julio, de medidas en materia de medio ambiente y de modificación de las Leyes 3/1988 y 22/2003, relativas a la protección de los animales, de la Ley 12/1985, de espacios naturales, de la Ley 9/1995, del acceso motorizado al medio natural, y de la Ley 4/2004, relativa al proceso de adecuación de las actividades de incidencia ambiental.
- Decreto 114/88, de 7 de abril, de Evaluación de Impacto Ambiental.

### Galicia

- Ley 1/1995, de 2 de enero, de protección ambiental.

### La Rioja

- Ley 5/2006, de 2 de mayo, de Ordenación del Territorio y Urbanismo de La Rioja.

### Madrid

- Ley 2/2005, de 12 de abril, de modificación de la Ley 9/2001, del Suelo de la Comunidad de Madrid.
- Ley 9/2001, de 17 de julio, del Suelo, de la Comunidad de Madrid,
- Ley 2/2004, de 31 de mayo, de Medidas Fiscales y Administrativas.
- Ley 2/2002, de 19 de junio, de Evaluación Ambiental de la Comunidad de Madrid.

## Murcia

- Orden de 18 de febrero de 2008, por la que se establecen las bases reguladoras de las ayudas para el aprovechamiento en regadío de las aguas residuales regeneradas procedentes de las Estaciones Depuradoras de la Región de Murcia.
- Ley 13/2007, de 27 de diciembre, de modificación de la Ley 1/1995, de 8 de marzo, de protección del medio ambiente de la Región de Murcia, y de la Ley 10/2006, de 21 de diciembre, de Energías Renovables y Ahorro y Eficiencia Energética de la Región de Murcia, para la adopción de medidas urgentes en materia de medio ambiente.
- Ley 1/1995, de 8 de marzo, de protección del medio ambiente.

## Navarra

- Decreto Foral 93/2006, de 28 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo de la Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, de intervención para la Protección Ambiental.
- Ley Foral 4/2005, de 22 de marzo, de intervención para la protección ambiental.
- Decreto Foral 229/1993 (Navarra), de 19 de julio de 1993, que regula los estudios sobre afecciones medioambientales de los planes y proyectos a realizar en el medio natural.

## País Vasco

- Decreto 183/2003 de 22 de julio, por el que se regula el procedimiento de evaluación conjunta de impacto ambiental.
- Ley 3/1998, de 27 de febrero, General de Protección del Medio Ambiente del País Vasco.

## Valencia

- Ley 9/2006, de 5 de diciembre, reguladora de campos de golf en la Comunidad Valenciana
- Ley 2/2006, de 5 de mayo, de prevención de la contaminación y calidad ambiental.
- Decreto 32/2006, de 10 de marzo, del Consell de la Generalitat, por el que se modifica el Decreto 162/1990, de 15 de octubre, del Consell de la Generalitat, por el que se aprobó el Reglamento para la ejecución de la Ley 12/1989, de 3 de marzo de la Generalitat, de Impacto Ambiental.
- Orden de 3 de enero de 2005, de la Conselleria de Territorio y Vivienda por la que se establece el contenido mínimo de los estudios de impacto ambiental que se hayan de tramitar ante esta Conselleria.
- Decreto 162/1990, de 15 de octubre, reglamento que desarrolla la Ley 2/1989, de 3 de marzo, de impacto ambiental.
- Ley 2/1989, de 3 de marzo, de 3 de marzo de 1989, de Estudios de impacto ambiental.

# guía

metodológica

para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos

# glosario

# glo

**Acuífero:** Formación geológica que almacena agua y que es capaz de transmitirla de manera que puede ser aprovechada como recurso.

**Acuífero confinado:** acuífero donde el agua se encuentra sometida a una presión superior a la atmosférica. El agua ocupa la totalidad de los poros de la formación geológica que lo contiene, saturándola totalmente.

**Acuífero libre:** también denominado no confinado o freático. Acuífero en que existe una superficie libre de agua en contacto directo con el aire y en consecuencia a presión atmosférica.

**Acuífero somero:** acuífero cuyo nivel freático se encuentra muy próximo a la superficie del terreno.

**Agua tratada:** agua sometida a algún tipo de proceso que le confiere la calidad requerida al uso al que se destine (vertido al medio, abastecimiento, etc.).

**Aguas depuradas:** aguas residuales que han sido sometidas a un proceso de tratamiento que permita adecuar su calidad a la normativa de vertidos aplicable (RD 1620/2007).

**Aguas regeneradas:** aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan (RD 1620/2007).

**Biofilm:** película de microorganismos adherida a una superficie.

**Capacidad de intercambio catiónico:** la capacidad de un suelo para absorber e intercambiar cationes.

**Caudalímetro:** es un instrumento para la medición de caudal o gasto volumétrico de un fluido.

**Colmatación:** acumulación de sedimentos. Esta puede producirse en la rejilla de pozos disminuyendo su eficiencia, o en el fondo de las balsas de recarga, afectando a la capacidad de infiltración de las mismas, etc.

**Complejo de cambio:** se puede explicar como el conjunto de partículas con capacidad para adsorber los iones de las soluciones del suelo.

**Contaminantes emergentes:** compuestos químicos cuya presencia en el agua se ha detectado recientemente y cuyos efectos sobre la salud y el medio ambiente causan una preocu-

pación creciente. En este campo se incluyen productos farmacéuticos, de higiene personal, plaguicidas y desinfectantes entre otros.

**DBO:** la demanda bioquímica de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica biodegradable susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación orgánica biodegradable. Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción ( $\text{DBO}_5$ ), y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg/L).

**Dureza del agua:** suma de las concentraciones del calcio y magnesio disueltos en el agua. Suele expresarse como una concentración equivalente de  $\text{CaCO}_3$ . Se manifiesta como la dificultad de que el jabón forme espuma.

**Ecosistema hidrodependiente:** ecosistema cuyo funcionamiento está condicionado por la existencia de agua superficial o subterránea.

**Edafología:** ciencia que estudia el suelo en su conjunto, su composición, estructura, formación, evolución, clasificación y su distribución geográfica.

**Eh:** el potencial redox es una medida (expresada en voltios) que nos indica cuantitativamente la facilidad que tiene una sustancia para oxidar o reducir a otras.

**Elemento traza:** elemento o compuesto presente en una muestra de agua con una concentración menor de 100  $\mu\text{g/L}$  (microgramo por litro).

**Escorrentía:** fracción de la precipitación que no se filtra en el terreno y circula por la superficie en forma de torrentes, ríos o arroyos.

**Evaluación de Impacto ambiental (EIA):** procedimiento jurídico-administrativo de recogida de información, análisis y predicción destinado a anticipar, corregir y prevenir los posibles efectos directos e indirectos que la ejecución de una determinada obra o proyecto causa sobre el medio ambiente, permitiendo a la Administración adoptar las medidas adecuadas a su protección.

**Evapotranspiración:** proceso por el cual el agua pasa de estado líquido a gaseoso retornando a la atmósfera directamente a través de un proceso físico o indirectamente a través del metabolismo de las plantas .

**Fenología:** Parte de la meteorología que investiga las variaciones atmosféricas en su relación con la vida de animales y plantas.

**Fitotoxicidad:** capacidad de producir reacciones venenosas o tóxicas en plantas.

**Flujo:** movimiento de un fluido (líquido o gas).

**Geofísica:** ciencia que estudia la Tierra desde el punto de vista de la Física y su objeto de estudio está formado por todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. Los métodos geofísicos de investigación del subsuelo son conjuntos de técnicas instrumentales de operación de campo y de interpretación de resultados, utilizados para predecir la estructura geológica del subsuelo.

**Habitante equivalente:** carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días ( $DBO_5$ ) de 60 g de oxígeno por día.

**Hidrogeología:** ciencia de carácter multidisciplinar donde se combinan los conocimientos de geología y química con el estudio del flujo en medio poroso y la gestión de recursos naturales. Tiene como objetivo el conocimiento y la evaluación de los recursos hídricos existentes en el subsuelo, la posibilidad de su captación y de su explotación en un contexto de gestión sostenible.

**Horizontes del perfil edáfico:** diferentes capas resultantes de la actuación de procesos físicos, químicos y biológicos de un suelo. El conjunto de los horizontes se denomina perfil edáfico.

**Humus:** producto resultante de la descomposición microbiana, mineralización y reorganización de la materia orgánica.

**Índice Langelier:** refleja el equilibrio del pH del agua con respecto al calcio y la alcalinidad. Si el índice es negativo indica que el agua es corrosiva, pero si es positivo indica que el carbonato de calcio puede precipitar.

**Índice SAR:** "relación de absorción de sodio" hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran el ión sodio y los iones calcio y magnesio es usado para estimar el problema de permeabilidad esperado en el suelo después de un período de uso del agua de riego.

**Inocuo:** elemento o sustancia cuya ingestión o contacto no afecta la salud, es decir que no causa ningún efecto nocivo.

**Intrusión marina:** se produce cuando agua salina desplaza o se mezcla con agua dulce de un acuífero. El proceso tiene lugar en acuíferos profundos cuando se origina un ascenso vertical de aguas con un origen geológico salino y en acuíferos costeros debido a intrusión de aguas marinas.

**Inyección directa:** mecanismos de introducción de fluidos directamente en el acuífero mediante pozos de inyección, no por infiltración.

**Lixiviación:** proceso en el que diversas sustancias de las capas superiores del suelo son disueltas y arrastradas hacia las capas inferiores y, en algunos casos hasta el agua subterránea.

**Medio receptor:** substrato físico del terreno afectado de manera directa e inmediata (plazo de días o semanas) con la aplicación del agua tratada sobre el terreno.

**Microbiología:** es la rama de la biología encargada del estudio de los microorganismos o microbios, sólo visibles al microscopio.

**Microorganismos esporulados:** microorganismos en su etapa inactiva, lo que les permite la dispersión y la supervivencia por largo tiempo, en un medio desfavorable. Es sinónimo de endoesporas. La endoespora es una célula reproductiva asexual.

**Nematodos intestinales:** gusanos pseudocelomados, parásitos del hombre y otros animales que provocan enfermedades como la triquinosis, filariasis, anquilostomiasis, ascariasis, estrongiloidiasis, toxocariasis, etc.

**Nivel freático:** nivel del agua subterránea en un acuífero libre ( a presión atmosférica).

**Nivel piezométrico:** nivel del agua subterránea en acuíferos confinados (presión superior a la atmosférica).

**Oscilación térmica:** diferencia entre la temperatura más alta y la más baja registrada en un lugar o zona, durante un determinado período.

**Parada vegetativa:** parada en el crecimiento de las plantas, bien por bajas temperaturas (inverno) o por exceso de calor.

**Patógeno:** organismo capaz de producir enfermedades o daños a la biología de un huésped (humano, animal, vegetal, etc.) sensiblemente predispuesto.

**Percolación:** filtración del agua hacia las capas profundas de un terreno.

**Permeabilidad:** capacidad de un suelo o roca para ser atravesado por un fluido.

**pH:** medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Varía de 1 a 14. Por debajo de 7 la solución se considera ácida y por encima de 7 básica.

**Potencial osmótico:** fuerza ejercida por el agua para cruzar una membrana semipermeable hacia el interior de una disolución; se calcula midiendo la presión que debe ejercerse sobre la disolución para evitar la entrada osmótica de agua en la disolución.

**Recarga artificial:** conjunto de técnicas que permiten la introducción directa o inducida de agua en un acuífero.

**Salinización:** proceso de acumulación de sales en el suelo.

**Sensor:** dispositivo capaz de identificar, medir y/o evaluar parámetros de tipo físico, químico o biológico.

**Sodicidad:** se presenta cuando el % de  $\text{Na}^+$  intercambiable respecto al valor total es mayor del 15 %, lo cual afecta a las propiedades del suelo y al desarrollo de las plantas cultivadas.

**Sólidos en suspensión:** contenido en materiales sedimentables o que pueden ser retenidos por un filtro (se expresa en mg/L).

**Sondeo:** perforación de pequeño diámetro que permite reconocer la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno, así como extraer muestras del mismo y realizar ensayos "in situ".

**Subsuelo:** término común para denominar a las capas que yacen debajo de la capa vegetal de los suelos.

**Suelo:** capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. No tendrán tal consideración aquellos permanentemente cubiertos por una lámina de agua.

**Turbidez:** es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba. La turbidez del agua es producida por materias en suspensión, materia coloidal, plancton y otros microorganismos (se expresa en unidades nefelométricas - UNT).

**Zona no saturada/Zona vadosa:** medio parcialmente saturado en agua, con aire en los poros. En general, hace referencia a la franja de terreno comprendida entre la superficie del terreno y el nivel freático.

**Zonas filtrantes:** tramo de la tubería de revestimiento de un pozo que permite el paso del agua a su interior.





editor

Consolider Tragua

ISBN

978-84-694-9257-4

diseño y maquetación

base 12 diseño y comunicación



# guía

## metodológica

para el uso de aguas regeneradas  
en riego y recarga de acuíferos



[www.consolider-tragua.com](http://www.consolider-tragua.com)