

## CALIDAD DEL AGUA PARA EL RIEGO: EFECTOS SOBRE PLANTAS Y SUELOS

R. ARAGÜÉS. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC).

raragues@aragon.es

Avda de Montañana 930, 50059 Zaragoza (España).

www.cita-aragon.es

### INTRODUCCIÓN

La calidad del agua es una variable fundamental del riego, ya que afecta tanto a las plantas como a los suelos. En este artículo (1) se resumen las variables principales que definen la calidad de un agua para el riego, (2) se recomiendan algunas prácticas de manejo que minimizan los problemas de calidad del agua, y (3) se define la calidad de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro en base a dos variables fundamentales: la salinidad y la sodicidad.

### VARIABLES QUE DEFINEN LA CALIDAD DEL AGUA PARA EL RIEGO

La Tabla 1 resume las variables principales que deben evaluarse y los parámetros correspondientes a medir para establecer la aptitud de calidad de las aguas para el riego.

### EFECTOS SOBRE LAS PLANTAS

La **salinidad** (# 1 en Tabla 1) es la variable de calidad que tiene un mayor efecto sobre las plantas.

En base al parámetro de medida CE, la FAO establece que aguas con una CE < 0.7 dS/m no tienen ningún grado de restricción de uso para riego, aguas con una CE > 0.7 dS/m y < 3.0 dS/m tienen un grado de restricción entre ligero y moderado, y aguas con una CE > 3.0 dS/m tienen un grado de restricción severo.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que esta clasificación general se ve muy afectada por otras variables indicadas en la Tabla 1, tales como (a) las concentraciones de sodio (Na<sup>+</sup>) y cloruro (Cl<sup>-</sup>) en el agua de riego, (b) la tolerancia de los cultivos a la salinidad, (c) el sistema de riego y (d) la fracción de lavado.

(a) Las concentraciones de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> (# 4, Tabla 1) son muy negativas para los cultivos sensibles a toxicidad iónica específica, sobre todo en riego por aspersión debido a la absorción directa de estos iones a través de las hojas mojadas por el agua de riego. La Tabla 2 presenta las concentraciones de estos iones que producen daño foliar en distintos cultivos. Valores inferiores a 5 meq/L pueden

#	Variable	Parámetro de medida
1	Salinidad	Conductividad Eléctrica (CE, dS/m)
2	Sodicidad	Relación de Adsorción de Sodio [RAS, mmol/L] <sup>0.5</sup>
3	Alcalinidad	pH
4	Toxicidad iónica específica	Concentraciones de Sodio (Na <sup>+</sup> ) y Cloruro (Cl <sup>-</sup> ) (meq/L)
5	Tolerancia de los cultivos a la salinidad	CE-umbral, Pendiente
6	Tolerancia de los suelos al efecto combinado de la salinidad, sodicidad y alcalinidad	CE, RAS y pH
7	Riego	Sistema de riego, Fracción de lavado (FL)

Tabla 1. Variables y parámetros de medida que definen la calidad del agua para el riego.

< 5 meq/L	5 - 10 meq/L	10 - 20 meq/L	> 20 meq/L
Almendro	Viña	Alfalfa	Coliflor
Albaricoquero	Pimiento	Cebada	Algodón
Cítricos	Patata	Maíz	Remolacha
Ciruelo	Tomate	Sorgo	Girasol

El grado de daño foliar depende también de las condiciones atmosféricas, tamaño de las gotas de agua, estado de desarrollo del cultivo y de ciertas prácticas de manejo del riego.

Tabla 2. Concentración de sodio o cloruro en el agua de riego por aspersión que produce daño foliar debido a toxicidad iónica específica.

ser perjudiciales para los cultivos más sensibles (la mayoría de los frutales), mientras que otros cultivos tolerantes no se ven afectados por concentraciones de 20 meq/L. Esta Tabla señala además que el grado de daño foliar depende también de otras variables, en particular de las condiciones atmosféricas como la temperatura, la insolación y la humedad relativa.

(b) **La tolerancia de los cultivos a la salinidad (# 5, Tabla 1)** determina asimismo la aptitud de un agua para el riego, ya que conforme más tolerante es el cultivo pueden utilizarse aguas más salinas sin mermas de producción. La tolerancia a la salinidad se cuantifica por la CE-umbral (salinidad por encima de la cual el cultivo desciende en rendimiento) y la pendiente (porcentaje de descenso lineal del rendimiento del cultivo por incremento unidad de la salinidad). La Tabla 3 clasifica dicha tolerancia para los cultivos más importantes de la cuenca del Ebro. En general, los cereales de invierno son los cultivos más tolerantes, y los frutales y hortalizas los más sensibles a salinidad.

(c) **El sistema de riego (# 7, Tabla 1)** debe asimismo tenerse en cuenta, ya que los problemas potenciales de salinidad dependen del mismo. La Tabla 4 resume los problemas potenciales de salinidad del agua de riego para los sistemas de riego más importantes, así como algunas prácticas de manejo o medidas correctoras de estos problemas.

En términos generales, si el agua de riego es salina el sistema menos recomendado es el de riego por aspersión debido a la absorción iónica foliar, y el más recomendado es el de riego por goteo superficial de alta frecuencia debido a que en las proximidades de los goteros (zona de extracción preferente del agua del suelo por los cultivos), la fracción de lavado es muy alta y la salinidad del suelo es similar a la del agua de riego.

(d) **La fracción de lavado (FL) (# 7, Tabla 1)**, definida como la fracción del agua infiltrada en el suelo que percola por debajo de la zona de raíces de los cultivos, es una variable crítica ya que determina la salinidad que resulta en el suelo para una salinidad dada del agua de riego.

La Figura 1 presenta para sistemas de riego convencional (inundación y aspersión) la relación entre la salinidad del agua de riego, la FL y la salinidad resultante en el suelo expresada como CE del extracto saturado (CEe) media de la zona de raíces. Por ejemplo, para una CE del agua de riego de 2 dS/m, la CEe resultante es de 1.5 dS/m si la FL es muy alta (0.5), 2.5 dS/m si la FL es moderada (0.2) y hasta casi 6 dS/m si la FL es muy baja (0.05). Es decir, conforme mayor es la FL, menor es la salinidad resultante en el suelo, por lo que pueden utilizarse cultivos más sensibles a salinidad o, para un cultivo determinado, pueden utilizarse aguas más salinas sin mermas de producción.

Alfalfa-MS (2.0)	Espárrago-T (4.1)	Girasol-MT (7.1)	Olivo-MT (4.0)	Tomate-MS (2.5)
Arroz-MS (3.0)	Festuca-MT (3.9)	Hortalizas-S (1.5)	Soja-MT (5.0)	Trigo-MT (6.0)
Cebada-T (8.0)	Frutales-S (1.5)	Maiz-MS (1.7)	Sorgo-MT (6.8)	Viña-S (1.5)

Tabla 3. Tolerancia a la salinidad de los cultivos principales de la cuenca del Ebro ordenados alfabéticamente: tolerante-T, moderadamente tolerante-MT, moderadamente sensible-MS y sensible-S. En paréntesis se presenta la CEe-umbral (CE del extracto saturado del suelo en dS/m).

Sistema de riego	Problema potencial	Medidas correctoras
Inundación	Baja uniformidad en la distribución del agua ==> lavado diferencial de sales	Nivelación por láser; evitar encharcamientos prolongados; incrementar la frecuencia del riego (con dosis menores en cada riego)
Surcos	Evaporación del agua y acumulación de sales en la parte superior de los caballones	Acolchado del caballón; reformado del caballón; sembrar a los lados del caballón; riego en surcos alternantes
Aspersión	Mojado de las hojas y absorción iónica foliar ==> toxicidad iónica específica	Evitar el mojado de las hojas; regar por la noche; reducir la frecuencia y aumentar los tiempos de riego; aplicar post-riegos con agua dulce si está disponible
Goteo	Acumulación de sales en los bordes del bulbo húmedo; obturación de goteros  Goteo subterráneo: acumulación de sales entre la superficie del suelo y las líneas de goteo	Aumentar la densidad de goteros; conectar el riego si llueve (evitar la entrada de sales en la zona de raíces); acidificar el agua  Goteo subterráneo: lavar las sales acumuladas en superficie regando por inundación o aspersión

Tabla 4. Salinidad y sistemas de riego: síntesis de problemas potenciales y medidas correctoras.

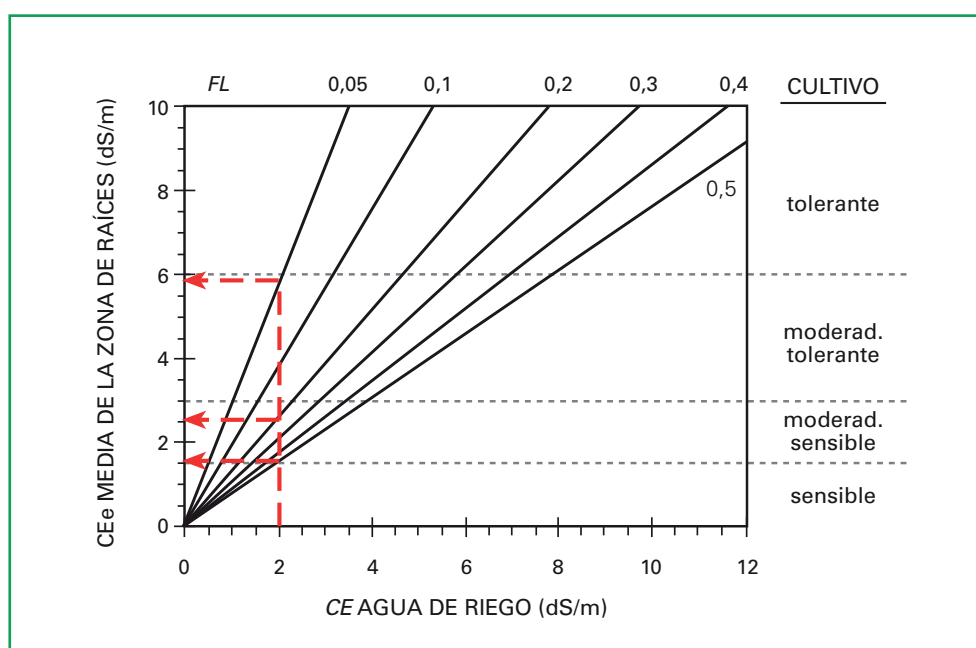


Figura 1. Relación entre la salinidad (CE) del agua de riego, la fracción de lavado (FL) y la salinidad resultante en el suelo (CEe media de la zona de raíces). Como un ejemplo, las líneas rojas presentan la CEe resultante en el suelo para una CE del agua de riego de 2 dS/m y tres FL (0,5, 0,2 y 0,05).

Para sistemas de riego de alta frecuencia (goteo), se considera que la CEe resultante de una determinada combinación de FL y CE del agua de riego es entre un 10 y un 30% menor que la que resulta en riego convencional. Esta es una de las razones por las que se recomienda el riego por goteo en vez del convencional si las aguas de riego son salinas.

Trabajos recientes sugieren asimismo que las clasificaciones clásicas de calidad de las aguas para el riego son conservadoras, de tal manera que sería posible regar con aguas más salinas de lo que se aceptaba anteriormente, sobre todo en zonas donde las lluvias pueden lavar las sales acumuladas en el suelo.

### EFFECTOS SOBRE LOS SUELOS

La sodicidad (# 2, Tabla 1) es la variable más negativa para los suelos, seguida de la alcalinidad (# 3). Ello es debido a que valores elevados de RAS (sodicidad) y pH (alcalinidad) conducen a la pérdida de estabilidad estructural de los suelos que se produce fundamentalmente por la dispersión y/o hinchamiento de las arcillas sensibles a estos procesos. Esta pérdida de estabilidad de los suelos reduce su capacidad para transmitir agua (descensos de la conductividad hidráulica y/o infiltración). Por el contrario, la salinidad tiene un efecto beneficioso sobre la estructura de los suelos, ya que reduce los procesos de dispersión y/o hinchamiento de arcillas. Por ello, el efecto de la calidad del agua de riego sobre la estabilidad estructural de los suelos debe evaluarse teniendo en cuenta el resultado combinado de los efectos beneficioso de la salinidad (CE) y perjudicial de la sodicidad (RAS).

La Figura 2 presenta la combinación de valores de CE y RAS para la que un suelo es estable (área por encima de la curva roja) e inestable (área por debajo de la curva roja). Esta Figura indica que (a) para una CE determinada, un suelo es tanto más estable cuanto menor es la RAS, y que (b) para una RAS determinada, un suelo es tanto más estable conforme mayor es la CE. De esta Figura se deduce que aguas de muy baja CE (inferiores a unos 0.3 dS/m) pueden desestabilizar los suelos para cualquier valor de RAS. Así, las aguas de lluvia, con valores muy bajos de CE y RAS, pueden producir la pérdida de estabilidad de los suelos, sobre todo en superficie, produciendo su encostrado («encarado») y los correspondientes efectos negativos sobre la infiltración y sobre la germinación y emergencia de las plántulas.

Este diagrama de estabilidad estructural es diferente para cada suelo, ya que depende de sus caracte-

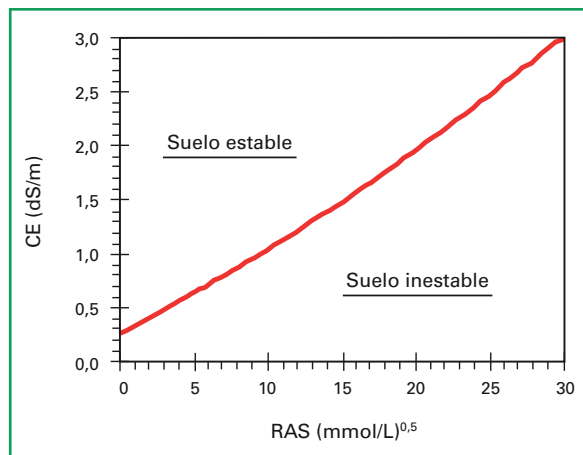


Figura 2. Diagrama de estabilidad de los suelos: la combinación de CE y RAS del agua de riego que cae por encima de la curva produce suelos estables. La combinación que cae por debajo de la curva produce suelos inestables.

terísticas físico-químicas y, en particular, de la textura, el contenido de materia orgánica, el pH y el tipo de arcillas presentes en el mismo. Por ello, el efecto de la calidad del agua debe evaluarse mediante ensayos de campo específicos para cada suelo en particular. A pesar de esta especificidad, puede generalizarse cuándo son más relevantes estos efectos (Tabla 5). La situación más negativa para los suelos sería la aplicación de aguas dulces, alcalinas y sódicas en sistemas de riego por aspersión de elevada intensidad (gotas de elevado tamaño y energía cinética). Sin embargo, una ventaja del riego por aspersión en relación con el riego por inundación es que pueden reblandecerse los suelos encostrados aumentando la frecuencia del riego con dosis mínimas de aplicación de agua. En la Tabla 5 se resumen ésta y otras opciones de manejo para reducir los efectos negativos sobre los suelos.

La pérdida de estabilidad estructural de los suelos es relevante para:	
1. Aguas de baja salinidad (CE)	4. Riegos con pluviometría de elevada intensidad
2. Aguas de alta sodicidad (RAS)	5. Suelos con baja materia orgánica (MO)
3. Aguas de alta alcalinidad (pH)	6. Suelos con elevado limo y arcillas inestables
Opciones de manejo para reducir los efectos negativos:	
1. Aplicación de enmiendas químicas (yeso, polímeros, etc.)	3. Adición de residuos de cultivos (aumento de la MO), mínimo laboreo
2. Cambiar a sistemas de riego con baja intensidad pluviométrica	4. Acolchado del suelo
3. Aumentar la frecuencia del riego para reblandecer los suelos encostrados	5. Uso de cultivos con cubierta permanente y/o temprana

Tabla 5. Efectos de la calidad del agua sobre los suelos: ¿Cuándo son relevantes? ¿Qué opciones de manejo existen para reducir los efectos negativos?

### CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DE LA CUENCA DEL EBRO

La salinidad (CE, dS/m) y sodicidad [RAS, (mmol/L)<sup>0.5</sup>] media de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro se ha determinado en base a los datos de 80 estaciones de calidad de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) de los años 1988, 89 y 90. La combinación de los valores de CE y RAS de cada estación se ha representado sobre el diagrama de estabilidad estructural (infiltración) de los suelos (Figura 3). En esta Figura, el riego con aguas situadas a la izquierda de la línea roja produciría en el suelo descensos serios de infiltración, las situadas entre las líneas roja y marrón producirían descensos de infiltración entre moderados (las más próximas a la línea roja) y bajos (las más próximas a la línea marrón) y las situadas a la derecha de la línea marrón no producirían descensos de infiltración. Esta clasificación es aproximada y sujeta a revisión, puesto que se ha señalado anteriormente que depende también de las características físico-químicas de los suelos.

Asimismo, en esta Figura se han establecido dos zonas de CE en base a la respuesta de los cultivos a la salinidad: independientemente de la RAS, las aguas situadas en la zona entre 0 y 0,7 dS/m no tendrían restricciones de uso, mientras que las situadas a la derecha de 0.7 dS/m sufrirían descensos de ren-

dimiento que serían tanto mayores conforme mayor sea la CE. Esta clasificación es aproximada y sujeta a revisión, puesto que se ha señalado anteriormente que depende también de otras variables (Tabla 1) y, en particular, de la tolerancia del cultivo y de la fracción de lavado impuesta con el riego.

Las aguas representadas en la Figura 3 se han caracterizado con distintos símbolos para distinguir aquellas que no se utilizan generalmente para el riego de las que se utilizan para los regadíos situados en el eje del río Ebro y en sus márgenes derecha e izquierda. Las aguas de la margen izquierda que riegan casi el 70% del regadío total en la cuenca del Ebro, son de excelente calidad para los cultivos ya que tienen una CE muy baja (inferior a 0.4 dS/m) por provenir en su mayoría de los Pirineos (área en verde claro de la Figura 4). Sin embargo, a pesar de su baja sodicidad estas aguas pueden producir descensos moderados de infiltración (Figura 3) debido a su baja salinidad.

Por el contrario, la mayoría de las aguas de los regadíos del tramo medio e inferior de la margen derecha del Ebro y del propio Ebro tienen una CE próxima o superior a 1 dS/m (Figura 4) y una sodicidad baja, por lo que no producen en general pérdidas de infiltración, pero pueden afectar negativamente al rendimiento de los cultivos sensibles a salinidad, sobre todo si se riegan con bajas FL y en zonas con

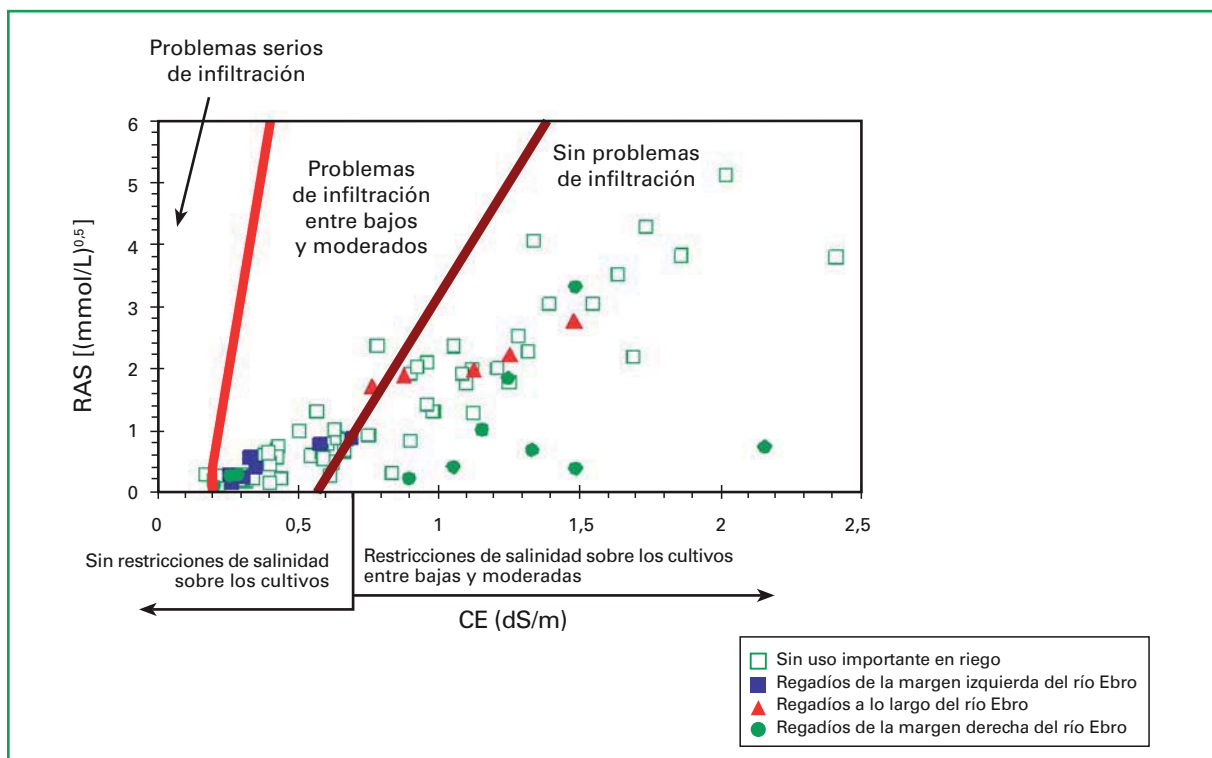


Figura 3. Valores medios de salinidad (CE) y sodicidad (RAS) de 80 estaciones de calidad de aguas de la cuenca del Ebro (CHE) representados sobre el diagrama de estabilidad estructural (infiltración) de los suelos.

baja precipitación. Así, los regadíos del PEBEA (Plan Estratégico del Bajo Ebro Aragonés, zona climática con precipitaciones anuales inferiores a 350 mm) utilizan las aguas del embalse de Mequinenza (CE igual o superior a 1.25 dS/m, Figura 4) para el riego mayoritario de frutales, por lo que pueden producir pérdidas de rendimiento por salinidad. En estos regadíos debe descartarse el riego por aspersión (ya que las aguas tienen concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  superiores a 5 meq/L) y promoverse el riego por goteo de alta frecuencia y  $\text{FL} > 0.2$ . En este sentido, trabajos recientes efectuados por el CITA dentro del proyecto Rideco-Consolider indican problemas potenciales serios de salinización del suelo en riego deficitario controlado donde las FL bajas pueden limitar el lavado de las sales aportadas con el riego.



Figura 4. Isolinias de salinidad (CE, dS/m) de las aguas superficiales de la cuenca del Ebro.

## BIBLIOGRAFÍA EN ESPAÑOL

- Amézketa, E., Aragüés, R. (1989). *Estabilidad estructural de suelos afectados por sales: Revisión bibliográfica*. An. Edaf. y Agrobiol. XLVIII: 765-785.
- Aragüés, R. (1989). *Calidad de las aguas para el riego*. Boletín Agropecuario 13: 37-42.
- Aragüés, R., Quílez, D., Isidoro, D. (1996). *Riego, calidad del agua y calidad del suelo: la cuenca del Ebro como caso de estudio*. En «Las aguas subterráneas en las cuencas del Ebro, Júcar e internas de Cataluña y su papel en la planificación hidrológica». Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Actas de las Jornadas celebradas en la Universidad de Lleida: 361-367.
- Aragüés, R., Cerdá, A. (1998). *Salinidad de aguas y suelos en la agricultura de regadío*. Cap. 12 en «Agricultura Sostenible». Editorial Mundi-Prensa: 249-274.
- Convenio CHE-CITA (2005). *Caracterización de la calidad de las aguas superficiales y control de los retornos del riego en la cuenca del Ebro*. <http://oph.hebro.es/DOCUMENTACION/Calidad/cemas/inicio.htm>.
- FAO (1987). Ayers, R.S., Westcot, D.W. *Calidad del agua para la agricultura*. Cuadernos de Riego y Drenaje n.º 29, FAO, Roma.
- Isidoro, D., Aragüés, R. (2006). *Calidad de las aguas superficiales y agricultura de regadío en la Cuenca Media del Ebro: una visión de síntesis*. Cap. 7 en «Gestión del Agua en Aragón», Editorial Thomson-Aranzadi: 135-155.
- Porta, J., López Acevedo, M., Roquero, C. (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Mundi Prensa. Madrid.
- Rideco (2006-2011). *Programa Integral de Ahorro y Mejora Productiva del Agua de Riego en la Horticultura Española*. Proyecto Consolider-Ingenio n.º CSD2006-00067.
- Royo, A., Aragüés, R. (1989). *Efectos de la salinidad sobre las plantas: tolerancia, manejo agronómico, genética y mejora*. Diputación General de Aragón.