

**MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO**

SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO AMBIENTE

**Dirección General del Agua**

**PROPUESTA DE PROYECTO DE PLAN  
HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN  
HIDROGRÁFICA DEL SEGURA  
(REVISIÓN PARA EL TERCER CICLO: 2022-2027)**

**ANEXO VIII DEL ANEJO III  
ESTUDIO DEL CEDEX SOBRE LÍMITE IMPUESTO  
AL BORO EN LAS AGUAS DEL POST TRASVASE**

**Junio de 2021**

---



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
------------------------------	----------



## 1. INTRODUCCIÓN

A continuación se incluye el estudio realizado por el CEDEX en el que se revisa el límite impuesto al boro en las aguas a aplicar en las zonas regables del post trasvase redotadas con agua desalinizada.



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
------------------------------	----------





## 1. INTRODUCCIÓN

A continuación se incluye el estudio realizado por el CEDEX en el que se revisa el límite impuesto al boro en las aguas a aplicar en las zonas regables del post trasvase redotadas con agua desalinizada.



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD  
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA  
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**CEDEX**  
CENTRO DE ESTUDIOS  
Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

# REVISIÓN DEL LÍMITE IMPUESTO AL BORO EN LAS AGUAS DEL CANAL DEL POST TRASVASE

## Informe de avance

**Marzo de 2020**

CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

PASEO BAJO DE LA VIRGEN DEL  
PUERTO, 3  
28005 MADRID  
TEL.: 91 335 79 00  
FAX: 91 335 79 22



ES09/6695



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA GENERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A ESTUDIAR.....</b>	<b>2</b>
3.1	ÁMBITO DEL ESTUDIO .....	2
3.2	ZONA REGABLE DE CAMPO DE CARTAGENA.....	4
3.3	PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA IDAM DE TORREVIEJA .....	6
<b>4</b>	<b>AFECCIÓN DEL BORO EN CULTIVOS Y NORMATIVA EXISTENTE.....</b>	<b>6</b>
4.1	ACLARACIÓN PREVIA DEL INFORME DE AVANCE .....	6
4.2	EL BORO EN EL AGUA .....	7
4.3	EL BORO EN EL SUELO.....	8
4.4	EL BORO EN LA PLANTA .....	12
4.5	VALORES LÍMITE PARA EL AGUA DE RIEGO .....	14
<b>5</b>	<b>LAS CONDICIONES EN EL CAMPO DE CARTAGENA.....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>PROPUESTA NORMATIVA PARA AGUA DE RIEGO EN EL CAMPO DE CARTAGENA .....</b>	<b>17</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>18</b>



CEDEX

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ámbito de la desalinizadora de Torrevieja. Postrasvase Tajo-Segura: Margen Derecha (Alicante) y Campo de Cartagena (Murcia).....	3
Figura 2. Comparación de los caudales registrados en el Canal Principal del Campo de Cartagena con los caudales producidos en la desaladora de Torrevieja, cuyos aportes van directamente al canal como al trasvase. ....	4
Figura 3. Distribución de $H_3BO_3/H_2BO_3^-$ en función del pH (N. Kabay et al, 2010). ....	7

## 1 ANTECEDENTES

La escasez de agua en la Cuenca del Segura ha condicionado que se deba recurrir frecuentemente a la utilización de recursos no convencionales, como la desalación y la reutilización de aguas residuales. La disponibilidad de estos recursos ha sido fundamental para poder mantener las dotaciones necesarias en el regadío de muchas zonas, pudiendo llegar a constituir una parte muy significativa de las aguas aportadas. Sin embargo, estas aguas presentan algunas características especiales, que las diferencian de las aguas naturales y que deben ser controladas para evitar problemas.

Uno de las características singulares de las aguas desaladas y que puede condicionar su utilización en agricultura es el elevado contenido en boro que pueden presentar. Este es un micronutriente esencial pero que en elevadas concentraciones puede llegar a ser perjudicial para algunos cultivos más sensibles.

La Confederación Hidrográfica del Segura, dentro de las Disposiciones normativas del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura, Artículo 8, apartado 13, establece que “Salvo situaciones excepcionales, y siempre con la debida justificación técnica, en relación con la idoneidad del agua para su uso, se considera como referencia un nivel máximo admisible de concentración de boro de 0,3 mg/l en las aguas que circulen o se almacenen en el sistema general de conducción y regulación del post trasvase Tajo Segura. En ese mismo sentido, la incorporación de aguas desalinizadas al referido sistema general quedará condicionada al cumplimiento de este requisito.”

Dentro de las aportaciones al sistema del post trasvase Tajo Segura se encuentran, entre otras, las provenientes de la Instalación Desaladora de Aguas de Mar (IDAM) de Torre vieja, que aporta recursos para el regadío del Campo de Cartagena. En las diferentes resoluciones de la Confederación que regulan la asignación de recursos de la desaladora limitan el contenido de boro a 0,5 mg/L. Este límite en ocasiones en las que la temperatura del agua de mar es elevada se puede ver superado, si bien existen ciertas dudas sobre si el límite debiera ser entendido como una situación media más que como un umbral insuperable y, además, existen ciertas discrepancias respecto a las técnicas analíticas utilizadas en la comprobación.

Con la intención de poder avanzar, si es posible, en el conocimiento de la incidencia que pueda tener la incorporación de los recursos no convencionales en los sistemas de riego, en diciembre de 2020, desde la Confederación del Segura, a través de la Dirección General del Agua, se ha trasladado al CEDEX la solicitud de realización de un estudio con un primer objetivo: poder determinar los valores de boro con que se pueden incorporar a los circuitos hidráulicos, bien directamente o bien mediante dilución previa y valorar si es oportuno modificar los valores máximos que propone el plan de cuenca vigente.

Puesto que las conclusiones de este estudio deberían tomarse en consideración en la actualización del plan hidrológico de la Demarcación del Segura, cuya publicación está prevista en marzo de 2021, se emite el presente informe avance donde se recogen las principales conclusiones del estudio y como avance del informe definitivo, que recogerá toda la documentación analizada y que será emitido previsiblemente durante el periodo de consulta pública del plan.



CEDEX

## **2 OBJETO DEL ESTUDIO Y METODOLOGÍA GENERAL.**

El objeto principal del estudio es tratar de realizar un estado del arte del conocimiento en la materia sobre las posibles afecciones del boro en los cultivos y de la forma en que debería regularse, para a partir del mismo llegar a proponer, en su caso, una revisión de la forma en que está regulada en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura.

Dado el escaso tiempo disponible para llevarlo a cabo, no puede plantearse ningún tipo de estudio experimental y solamente se basa en revisiones bibliográficas y en consultas con expertos en la materia.

Con estas pautas, se ha procedido a analizar diversos aspectos relacionados con el boro y su relación con el regadío, siguiendo en líneas generales el siguiente índice metodológico:

- El boro en las aguas salobres y desaladas
- Evaluación de las técnicas de laboratorio utilizadas en su determinación por el explotador
- Interacción del boro con el suelo en la zona regable
- Efecto del boro sobre los cultivos en dichos suelos
- Problemas asociados al boro en el sistema agua-suelo-cultivo
- Valores límite establecidos en las normativas, guías y recomendaciones
- Consultas con expertos en la materia a nivel nacional y mundial
- Análisis de la problemática en el Campo de Cartagena
- Resumen general del problema y conclusiones obtenidas del mismo

El informe definitivo dará cuenta de toda la información consultada y de las reuniones mantenidas con expertos, así como un resumen de las aportaciones de cada documento. El presente avance, como se ha dicho, constituye una síntesis en la que, brevemente, se describe el problema, se expone el problema del boro en el regadío y su regulación y se expone una propuesta de revisión de la regulación para el caso del Campo de Cartagena.

## **3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A ESTUDIAR**

### **3.1 ÁMBITO DEL ESTUDIO**

El ámbito del presente estudio está referido a la zona regable que recibe las aportaciones de aguas desaladas provenientes de la IDAM de Torre Vieja (Alicante).

En 1979 llegan las primeras aguas del Tajo hasta los campos del Segura, con una asignación para regadío de 400 hm<sup>3</sup>/año - netos. Los volúmenes se reparten entre distintas zonas regables principalmente de Murcia y Alicante: Vega Alta y media del Segura, regadíos de Mula y su comarca, Lorca y Valle del Guadalentín, Riegos de Levante y Vega Baja del Segura y Campo de Cartagena. Una pequeña parte llega también a regadíos de Almería. Los trasvases desde la cabecera del Tajo han sido variables ya que estos caudales se ven fuertemente influidos por la situación hidrológica en la cabecera de la

cuenca cedente. Esta situación se ve acentuada en épocas de sequía cuando los trasvases llegan a valores muy bajos.

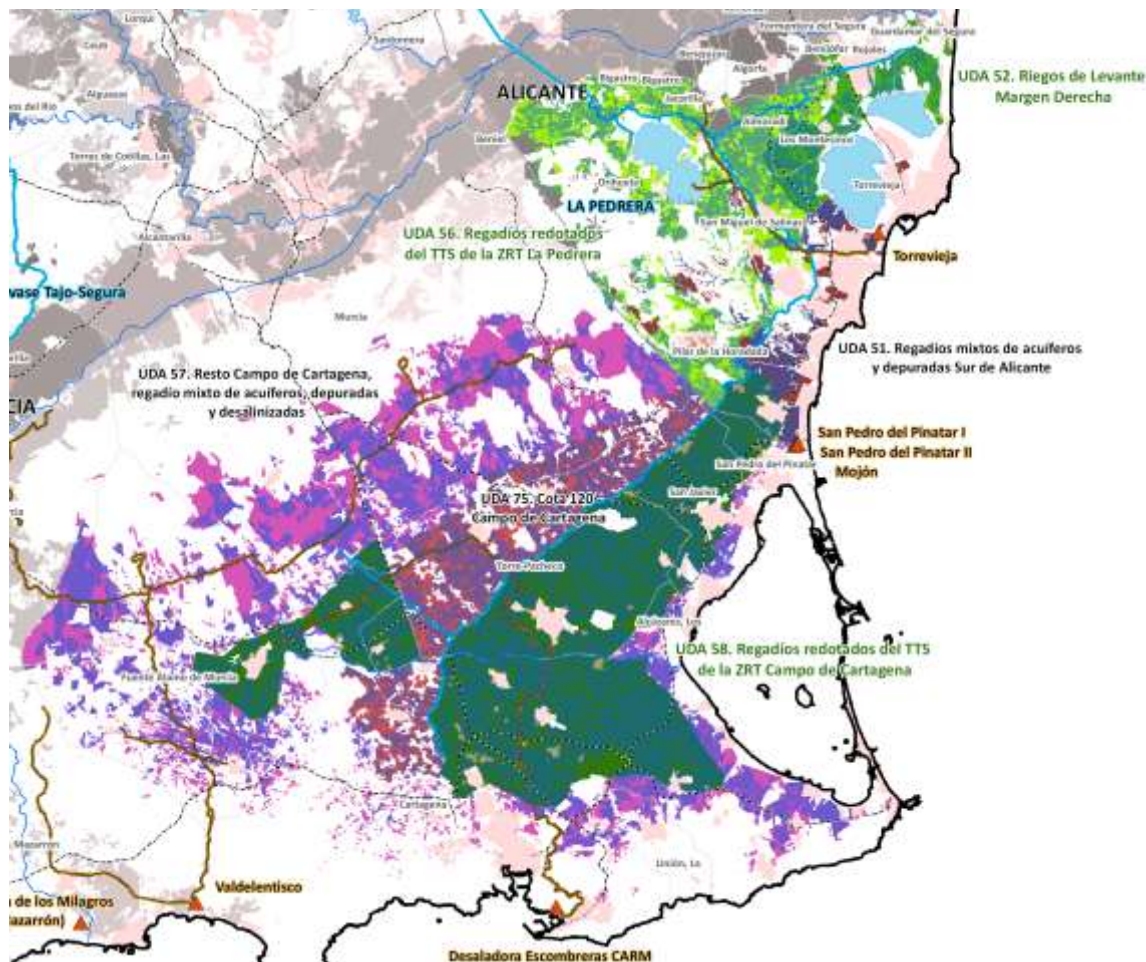


Figura 1. Ámbito de la desalinizadora de Torrevieja. Postrasvase Tajo-Segura: Margen Derecha (Alicante) y Campo de Cartagena (Murcia).

El déficit de aplicación correspondiente a los regadíos del trasvase Tajo-Segura se ha estimado que se puede encontrar entorno a los 90 hm<sup>3</sup>/año y la falta de garantía en los envíos genera situaciones problemáticas para los dos usos a los que van destinados los recursos. La IDAM de Torrevieja tiene una capacidad de producción de 80 hm<sup>3</sup> anuales y permite eliminar o, al menos, reducir el déficit de aplicación de las zonas regables asociadas al mismo.

Las entregas de los volúmenes producidos por la IDAM de Torrevieja se realizan, por un lado, al canal del Campo de Cartagena y, por otro, al embalse de La Pedrera, integrándolos de esta manera en las infraestructuras del post trasvase para su empleo en el riego y, para el abastecimiento, a un futuro depósito de la Mancomunidad ubicado en las proximidades de la potabilizadora de La Pedrera.



De los 80 hm<sup>3</sup> /año que es capaz de producir la desaladora, la Autorización temporal Desaladora Torrevieja (ASV-87/2019) asigna 1 hm<sup>3</sup> a abastecimiento y 79 hm<sup>3</sup> a regadío. La asignación correspondiente a la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena proveniente de la IDAM de Torrevieja, es de 22,29 hm<sup>3</sup>, si bien se puede incrementar en caso de que alguna comunidad de regantes del SCRATS renuncie a parte del agua desalada que le corresponde. Además, dado que hay comunidades de regantes que puedan no tener acceso a estas aguas, se pueden permutar bajo autorización.

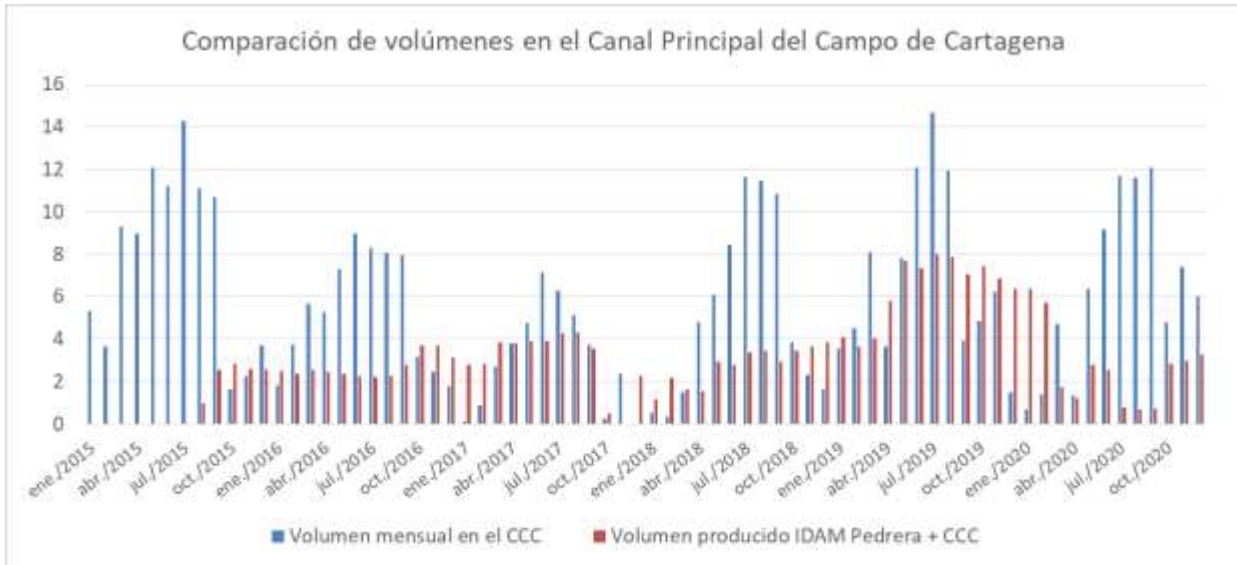


Figura 2. Comparación de los caudales registrados en el Canal Principal del Campo de Cartagena con los caudales producidos en la desaladora de Torrevieja, cuyos aportes van directamente al canal CCC o al embalse de La Pedrera.

### 3.2 ZONA REGABLE DE CAMPO DE CARTAGENA

En Campo de Cartagena los regadíos tradicionales comenzaron con la extracción de aguas subterráneas impulsadas por molinos de viento. En los años 1960-70 se intensificó la extracción de las aguas subterráneas con nuevos sondeos. En los '80, con el funcionamiento del Trasvase del Tajo-Segura, se ampliaron la dotación y los regadíos del Campo de Cartagena (CRCC-SCRATS, 2014). La Comunidad de Regantes de Campo de Cartagena gestiona dos Unidades de Demanda Agraria, UDA58 con 20.771,72 hectáreas y UDA75 con 7.272,39 hectáreas, con un total de 28.044,10 hectáreas bajo regadío.

De acuerdo a la información contenida en el informe “El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión” elaborado por la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena en 2014, los cultivos predominantes en la zona regable, por orden de importancia, son los hortícolas (lechuga, melón, alcachofa y brócoli), los cítricos (limonero, naranjo y mandarina) y los cultivos de invernadero (pimiento). La mayor parte de las 8.257 hectáreas de leñosos son cítricos, distribuidos principalmente entre limones y naranjas, más mandarinos. El sistema de riego predominante (96 %) en la CR de Campo de Cartagena es el riego localizado.

Los cítricos presentan una intensidad de cultivo ( $SrS_T$ , representa en porcentaje la superficie de un cultivo respecto a la superficie regable) de 19,7 % en una año normal y 21,3 % en un año muy seco. Este parámetro ofrece información sobre la importancia relativa que tiene un determinado cultivo en una zona regable, que en el caso de la CR de Campo de Cartagena representa el segundo grupo de cultivos en cuanto a superficie.

El agua de riego aplicada (IWA) a los cítricos por unidad de área regada está entre aproximadamente 4.790 y 4.340 m<sup>3</sup>/ha, dependiendo si se trata de año normal y muy seco respectivamente. Los agricultores que cultivan cítricos suelen reducir, en base a su experiencia, las dosis de riego (70% ETc) en aquellas etapas del desarrollo del cultivo que presentan menor sensibilidad al déficit hídrico. Esta técnica podría denominarse riego deficitario sin control específico.

Las necesidades orientativas de agua en el limonero se obtienen de una publicación de la Dirección General de Modernización de Explotaciones y Capacitación Agraria de la Consejería de Agricultura y Agua de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, donde se expresan, como orientación, las cantidades de agua a aportar con valores mínimos y máximos. Las cantidades mínimas deberán emplearse con aguas de buena calidad y en lugares con menor evapotranspiración, y las cantidades de agua máximas deberán utilizarse en lugares de mayor evapotranspiración, y con aguas de contenido salino para garantizar el lavado de las sales.

Tabla 1. Necesidades hídricas orientativas para limonero en la región de Murcia (Fuente: CAyA).

Meses	Agua (m <sup>3</sup> /ha.)	Nº riegos/mes	Intervalo
<b>Enero</b>	60-80	9	2 riegos a la semana aproximadamente
<b>Febrero</b>	95-125	12	3 riegos a la semana aproximadamente
<b>Marzo</b>	300-400	20	8 riegos 1ª quincena, y 12 la segunda
<b>Abril</b>	460-610	30	Regar todos los días
<b>Mayo</b>	625-830	31	Regar todos los días
<b>Junio</b>	715-935	30	Regar todos los días
<b>Julio</b>	1.150-1.450	31	Regar todos los días
<b>Agosto</b>	1.010-1.350	31	Regar todos los días
<b>Septiembre</b>	760-990	30	Regar todos los días
<b>Octubre</b>	500-675	20	12 riegos 1ª quincena y 8 la segunda
<b>Noviembre</b>	170-225	14	8 riegos 1ª quincena y 6 la segunda
<b>Diciembre</b>	55-80	9	2 riegos a la semana aproximadamente
<b>Total</b>	<b>5.900-7.750</b>		



CEDEX

Los datos de la tabla son para Limonero, la variedad Fino sobre *Citrus MacroPhylla*, en toda la Región, con una producción media de 45.000 Kg/ha y un marco de 7 x 6 con un número de plantas por hectárea igual a 238. Los meses de mayor consumo van de junio a septiembre, coincidiendo con los meses de verano.

### **3.3 PRODUCCIÓN DE AGUA EN LA IDAM DE TORREVIEJA**

La IDAM de Torrevieja, gestionada por la Sociedad Estatal ACUAMED y operada por la empresa ACCIONA Aguas, se ubicada en el término municipal del mismo nombre. Se ha diseñado para una capacidad de producción de 80 hm<sup>3</sup> anuales, ampliable hasta los 120 hm<sup>3</sup> y cuenta con una instalación de doble paso de ósmosis inversa para asegurar la reducción del boro en el agua producto.

En la figura 2 puede verse como la importancia relativa de la desaladora se ha incrementado en los últimos años en los aportes que se reciben en el Campo de Cartagena. Los caudales que circulan por dicho canal son del orden de 70 hm<sup>3</sup>/año, mientras que los aportes al sistema de la desaladora pueden estar en torno a un 65% de ese valor, si bien con importantes variaciones de un año para otro.

Debido a los requisitos impuestos por el Plan Hidrológico al contenido en boro de las aguas del canal, la desaladora tiene impuesta a su vez una limitación a la concentración del boro del agua producto de 0,5 mg/L.

La cercanía de este límite a la capacidad técnica de la instalación para reducir el boro procedente del agua de mar, especialmente cuando las temperaturas son más altas, ha provocado de puntualmente no haya podido mantener por debajo de los valores impuestos. Sin embargo, siempre se ha planteado la duda de si los umbrales establecidos debieran entenderse, desde la perspectiva de sus efectos en los cultivos, como límites infranqueables o como situaciones tipo a alcanzar. Además, en la determinación de estas posibles infracciones, hay también una componente de incertidumbre en las técnicas analíticas empleadas, puesto que diferentes laboratorios acreditados pero que emplean diferentes técnicas no siempre dan los mismos resultados.

## **4 AFECCIÓN DEL BORO EN CULTIVOS Y NORMATIVA EXISTENTE.**

### **4.1 ACLARACIÓN PREVIA DEL INFORME DE AVANCE**

En el apartado de referencias se incluye la documentación científica y técnica relativa al comportamiento del boro en el agua, terreno y cultivos, así como recomendaciones y normas, tanto a nivel internacional como nacional y específicamente sobre la zona de estudio, que ha sido revisada para la realización de este estudio.

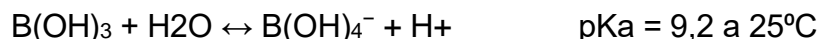
Adicionalmente y con objeto de aclarar conceptos y consolidar el conocimiento se han mantenido diferentes reuniones con expertos en la materia.

De toda esta documentación revisada se dará cuenta en el informe definitivo, cuya redacción se espera finalizar durante proceso de consulta pública del Plan Hidrológico de la Demarcación. En este informe de avance, se adelanta la síntesis del problema del Boro y su consideración en las normas internacionales, extraída de la revisión bibliográfica.

## 4.2 EL BORO EN EL AGUA

### *El boro en disolución*

El boro se encuentra en el agua principalmente en dos formas: ácido bórico y borato y el porcentaje de cada una depende básicamente del pH. El anión monovalente borato  $B(OH)_4^-$  domina a un pH más alto, mientras que a un pH más bajo lo hace el ácido bórico  $B(OH)_3$  no ionizado. La disociación del ácido bórico en agua se puede describir como sigue:



La siguiente figura ilustra como varía la presencia de cada una de las formas conforme aumenta el pH.

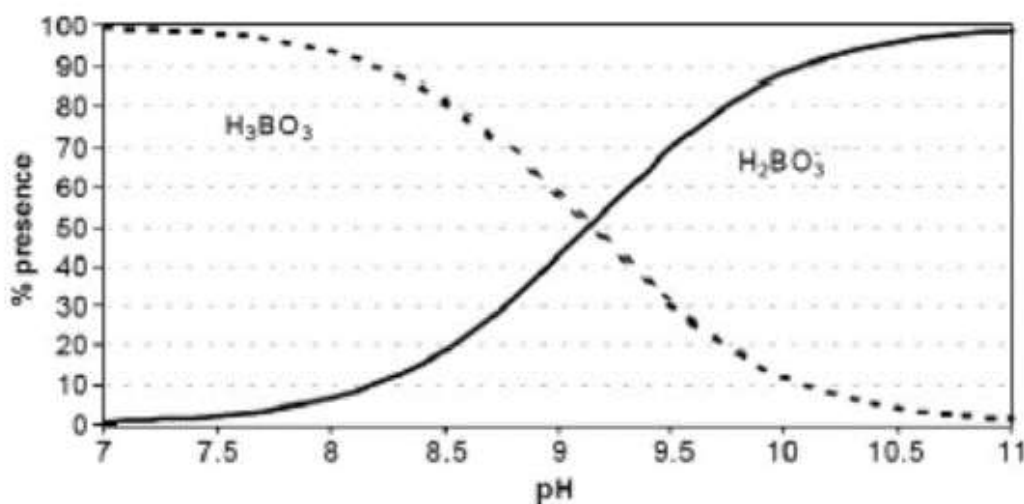


Figura 3. Distribución de  $H_3BO_3/H_2BO_3^-$  en función del pH (N. Kabay et al, 2010).

La proporción de disociación también depende de la salinidad del agua: a mayor salinidad, la relación de disociación equivalente cambia a un pH más bajo

### *El boro en el agua del mar*

El boro es un elemento relativamente abundante en agua de mar. En orden de magnitud se puede estimar que el boro en el Mar Mediterráneo se encuentra con una concentración en torno a los 5 mg/L

En el agua de mar, el boro se encuentra presente principalmente como ácido bórico.

Por otra parte es de destacar que las temperaturas del este mar son relativamente altas. Los datos considerados en el proyecto de la desaladora de Torre Vieja consideraban

- Temperatura mínima                      14°C
- Temperatura media                         20°C
- Temperatura máxima                        26°C



### ***La reducción del boro en las desaladoras***

Las membranas típicas de ósmosis inversa (OI) alcanzan un elevado rechazo del boro cuando se encuentra en la forma cargada, predominante a pH alto, mientras que el rechazo es bajo para las especies sin carga (ácido bórico en forma molecular), que predominan a pH más bajos. Debido a la ausencia de cargas iónicas en el medio acuoso, la hidratación de la molécula de ácido bórico es menos pronunciada, lo que resulta en un menor tamaño y menor rechazo por la membrana. La forma disociada, por su parte, estará totalmente hidratada, formando un ion con carga negativa y mayor radio, lo cual resulta en mayor rechazo por tamaño y por la carga negativa de la membrana. Por ejemplo, con membranas de alto rechazo se puede pasar del 90% de rechazo de boro si se trabaja con un pH entre 8-8,2 a un 84% de rechazo con un pH entre 7-7,5.

La calidad del permeado de la OI va a depender además de la temperatura del agua de mar, de tal modo que un descenso mejora la calidad del permeado. Se ha comprobado que el pKb del  $H_3BO_3$  disminuye a mayor temperatura, dando como resultado una fuerte presencia de  $H_3BO_3$  y por lo tanto una menor tasa de rechazo de boro en las membranas de OI. Por ejemplo, con las mismas membranas de alto rechazo se puede obtener a la salida 1,1 mg/L de boro cuando el agua de alimentación es de 11°C y de tan sólo 1,9 mg/L aumentando la temperatura a 23°C. De allí las diferencias observadas en los datos aportados por el operador que muestran un descenso del rendimiento de eliminación en los meses de verano.

Debido a la baja de retención del boro, cuando se requiere de rendimientos elevados, generalmente se recurre a sistemas de ósmosis en doble paso.

## **4.3 EL BORO EN EL SUELO**

### ***Interacción del boro con el suelo***

Cuando el agua con boro llega a los suelos, una parte puede ser fijada en el mismo, permaneciendo el resto en la solución del suelo. Se consideran tres mecanismos de fijación:

- a) Adsorción molecular de  $B(OH)_3$  en minerales y/o superficies orgánicas,
- b) Intercambios aniónicos de  $B(OH)_4^-$  en superficies minerales o a través de procesos de intercambio de 'ligandos' (molécula o ion que posee cuando menos un par de electrones que pueda donar),
- c) Precipitación química como fases inorgánicas minerales.

Debido a la complejidad de la matriz del suelo y su variabilidad no es fácil poder determinar el mecanismo predominante. En general la capacidad de retención del boro por parte del suelo va a variar de unos lugares a otros dependiendo de las características del mismo.

La posición del boro en el tercer grupo de la tabla periódica y su carácter anfótero, como el aluminio, ofrece la posibilidad de que pueda ser fijado en forma de compuesto radical por el suelo o los minerales, ya sea como ácido o como base, es decir tanto por intercambio aniónico/catiónico o por precipitación química como fases inorgánicas minerales

La mayor adsorción se da en suelos arcillosos por su carga iónica, ya que el boro tiene déficit de electrones, posee un orbital p vacante y se encuentra normalmente en la forma

$B_3^+$ , teniendo una afinidad mayor con las arcillas que tienen capacidad de intercambio catiónico.

Las arcillas y la materia orgánica son los que más capacidad de intercambio catiónico tienen (los dos materiales presentan propiedades coloidales). Es por esto que, en la materia orgánica, aunque en menor medida que en las arcillas, la adsorción de boro es también muy significativa.

La adsorción de boro en las arcillas aumenta con la fuerza iónica de la solución del suelo. Por otro lado, la adsorción es mayor para las arcillas de sodio que para las arcillas de calcio.

La capacidad de adsorción de boro en arenas y limos de zonas áridas con bajo contenido de arcillas y materia orgánica habitualmente es baja. No obstante en ocasiones puede ser apreciable por las agrupaciones y recubrimientos de hidróxido de magnesio sobre minerales de silicato.

Cuando el pH de la solución es ácido, el boro se encuentra mayoritariamente como ácido bórico. A diferencia del borato, la fijación del ácido bórico habitualmente es por adsorción molecular y por tanto menos intensa.

Es por este motivo que a un pH bajo de la solución del suelo la capacidad de fijación del boro es menor. Por el contrario, a un pH básico la fijación tiene lugar predominantemente por intercambio aniónico o precipitación química, donde el hecho de que haya reacciones químicas involucradas implica una capacidad de fijación mucho mayor.

El pequeño tamaño del átomo de boro permitiría estar rodeado por cuatro átomos de oxígeno estrechamente empaquetados, como en el caso de los tetraedros de aluminio y silicio. La formación y fijación de tales tetraedros como adiciones o sustituciones en las caras de los materiales del suelo, como cuando se abren nuevas superficies con enlaces insatisfechos, dan como resultado un boro tenazmente retenido.

El hecho de que el boro se encuentre fuertemente fijado al suelo no excluye que se pueda dar su sustitución con otros aniones de la solución del suelo, con lo cual se vuelve a disolver y queda disponible nuevamente para la planta.

La concentración de boro en el suelo, tanto si el mecanismo predominante es la adsorción como si es el intercambio aniónico, vendrá determinada por el equilibrio del suelo con la solución del suelo, por lo que si en un momento dado se cambia el agua de riego y se comienza a aportar un agua con una concentración de boro mayor a la que se regaba en origen, la cantidad de boro fijado será mayor. Si por el contrario se riega con un agua con una concentración menor de la que se regaba en origen, parte del boro fijado en el suelo se liberará, aumentando la concentración de boro en la solución del suelo, pero en cualquier caso ésta nunca será mayor que la concentración de la solución del suelo que se tenía con el riego originario.

De la misma forma, cuando se producen precipitaciones, el boro acumulado en el suelo será lavado, puesto que tenderá a liberarse en parte en la disolución, pudiendo pasar a capas más profundas del suelo y a las aguas subterráneas y superficiales. Nuevamente el tipo de suelo es importante, puesto que en suelos arcillosos, donde más se retiene, también resultará más lento (difícil) su lavado, puesto que al ser más impermeables se



infiltra menos agua de lluvia y, además, el boro se encuentra más fuertemente ligado al terreno.

### ***Boro disponible en el suelo para la planta***

El transporte de boro en el suelo y el boro disponible para la absorción de las plantas es principalmente una función de la concentración de boro en la **solución del suelo**. El boro en la solución del suelo está determinado por:

- (i) Boro soluble que se aporta al sistema suelo-agua a través de aguas subterráneas o de riego;
- (ii) Boro soluble proveniente de la redisolución de la fracción mineral del suelo; y
- (iii) Boro soluble proveniente de las interacciones de fijación y liberación de B en la fase sólida del suelo.

Por tanto, para conocer adecuadamente la concentración del boro en un suelo debe medirse tanto la concentración de boro en la solución del suelo como la cantidad total de boro adsorbida por el suelo, considerada soluble en agua.

### ***Exposición de casos singulares con diferentes tipos de suelos***

Definidos los conceptos anteriores, para ilustrar las interacciones suelo-solución del suelo-planta se exponen dos situaciones diferentes y los planteamientos técnicos para dar explicación a los mecanismos descritos: una en suelos francos o de textura más gruesa, con una salinidad de entre 1 y 1,1 mmho/cm de CE, en Riverside, California, USA y la otra en suelos arcillosos en Israel, ambos con un régimen de precipitaciones bajo, con unos 250 mm anuales.

En la primera situación la cantidad de boro absorbida por la planta está influenciada principalmente por la fracción de lixiviación que tiene lugar, de modo que cuanto menor es, mayor boro a disposición de la planta hay en la solución promedio del suelo. *En la publicación "Evaluation of the Impact of Boron on Citrus Orchards in Riverside County" (Stephen R. Grattan, 2013) el autor estudia este caso y no considera la aportación de boro de la parte adsorbida en el suelo en las reacciones de 'adsorción-desorción' por considerarla despreciable. La explicación vendría dada por la limitada capacidad de adsorción de ese tipo de suelo y por las buenas/moderadas condiciones de drenaje, que hace que la interacción de la solución del suelo con el suelo sea muy escasa. Por lo tanto, en los suelos franco-arenosos los aspectos críticos para evaluar la afección del boro al cultivo serían la carga de boro aportada en el agua de riego y el factor de lixiviación que tiene lugar.*

La segunda situación, considera que la fracción de lixiviación no es tan decisiva en la determinación de la concentración de boro en la solución del suelo, ya que lo realmente importante es el boro adsorbido en el suelo debido a la utilización durante muchos años de agua de riego con altas concentraciones en boro. El riego anterior ha provocado que el boro se haya ido acumulando y esté disponible para su desorción cuando se riega con aguas con concentraciones de boro más bajas que con las que se alcanzó el equilibrio, algo que se puede dar con aguas de lluvia o con aguas de riego de otras fuentes con bajo contenido en boro. El problema se encuentra, por tanto, en la afección con el tiempo a los suelos, que al regarse con concentraciones altas de boro y acumular los suelos arcillosos el mismo, no podrían utilizarse en el futuro para cultivos sensibles o poco tolerantes. Esta

situación se ha dado en el valle del río Jordán donde se estuvo regando una amplia zona de cultivos de algodón, tolerantes al boro, con un agua con un contenido de boro de más de 1 mg/L por muchos años sobre suelos franco-arcillosos y al cabo del tiempo se decidió cambiar por otro cultivo más rentable, como los citrus, pero sensibles al boro, cambiando el tipo de agua de riego por una de menor concentración de boro; sin embargo, aunque la concentración de boro del agua de riego era baja la afección a los cultivos era muy importante debido a la desorción del boro acumulado en el suelo (*Uri Yermiyahu*).

### **Conclusiones sobre la disponibilidad del boro**

En suelos pesados (arcillas o limos), la aparición de daños en los cultivos cuando se riega con concentraciones de boro altas o por encima de su tolerancia puede retrasarse en comparación con los cultivados en suelos ligeros, debido a su retención en el suelo.

En los suelos ligeros (franco-arenosos o franco-limosos) los efectos adversos suelen hacerse evidentes antes que en los pesados, pero cuando se sustituye el agua de riego por otra de menor contenido en boro, la mejora es más rápida.

Resumiendo, se podría decir que:

- **Suelos pesados**
  - Mayor capacidad de fijación:
    - Menor efecto sobre plantas a corto plazo.
    - Posibles problemas de contaminación de suelos si se riegan con elevadas concentraciones que posteriormente limitarían su uso
  - Poca permeabilidad: menor lavado pero menor infiltración hacia acuíferos
- **Suelos ligeros**
  - Mayor presencia de gruesos y menor retención de boro
  - La fracción de lixiviación resulta más crítica.
  - Cuanto mayor sea el contenido de materia orgánica mayor será la capacidad de adsorción del suelo
  - Al tener mayor permeabilidad se lavan más rápido por efecto de lluvias -> libera el boro más rápidamente hacia acuíferos
- En general en **todo tipo de suelos**
  - Parte del boro aplicado con el agua de riego, en lugar de permanecer en solución, puede acumularse en el suelo en una forma no disuelta, pero potencialmente disponible para el cultivo.
  - Para obtener un porcentaje similar de reducción de boro que de sales de un suelo es necesario aplicar volúmenes de lixiviación mucho mayores de agua en el terreno. Según los estudios consultados, los volúmenes de agua que es necesario aplicar varían entre 3-4 hasta, incluso, 10 veces más de lo que es necesario aplicar para reducir la salinidad.





CEDEX

#### 4.4 EL BORO EN LA PLANTA

##### *Mecanismos de absorción del boro por la planta*

Los nutrientes esenciales para las plantas son absorbidos generalmente en su forma iónica y su carga reduce en gran medida su permeabilidad a través de las membranas celulares. Las células epidérmicas en los pelos radicales de las raíces de la planta regulan el flujo de nutrientes mediante el uso de proteínas transportadoras de membrana, cruzando la pared o el citoplasma de las células de la corteza y les permite expulsar o compartimentar internamente moléculas tóxicas o nutrientes en exceso. Sin embargo, el boro es una excepción entre los nutrientes, ya que a pH fisiológico existe como ácido bórico no cargado y los solutos pequeños de esta naturaleza tienen una alta permeabilidad a través de las capas de lípidos que constituyen la base de las membranas biológicas. De esta forma, en muchos cultivos no puede evitarse su entrada, llegándose rápidamente al equilibrio del boro interno con la solución externa a través de las raíces.

Existen tres vías principales por las que el boro entra y sale de las células:

- (i) Difusión pasiva bidireccional a través de capa lipídica: la bicapa de fosfolípidos, estructura básica de la membrana biológica, presenta alta permeabilidad al boro. Las plantas tienden a optimizar sus mecanismos de absorción y distribución de boro mediante canales y/o bombas de transporte activo del exceso de boro.
- (ii) Difusión pasiva bidireccional a través de canales selectivos o no selectivos: hay evidencia de al menos un camino paralelo en las membranas plasmáticas que implica el empleo de canales de membrana para facilitar el movimiento del boro en las plantas, pero no queda claro si el boro en este caso es un sustrato deseado o usa el camino sin más.
- (iii) Transporte activo por excreción de boro: generan un gradiente de concentración a través de la membrana plasmática manteniendo la concentración interna por debajo de la del medio externo, en cultivos tolerantes. Este mecanismo es muy reducido en los cultivos sensibles.

En los cultivos sensibles los dos primeros mecanismos son predominantes, con lo cual la concentración aumenta más que en los tolerantes. Dentro de la lista de cultivos sensibles que figura en la bibliografía, destacan, por su importante presencia de la zona regable de Campo de Cartagena, los cítricos y en especial los limoneros.

El boro es capaz de moverse en las plantas a través de la ruta simplástica y apoplástica a través de difusión y flujo másico. En el apoplasto, el flujo de agua impulsado por la transpiración puede llevar cualquier soluto disuelto, por lo que el boro viaja rápidamente en el xilema. En esta ruta, las diferencias de concentración de boro en el xilema y los tejidos circundantes (tallo y hojas) crean un gradiente de concentración que hace que el boro entre en estos tejidos por difusión pasiva, con o sin la participación de canales de boro. Los vasos xilemáticos terminan en los márgenes y puntas de las hojas, que es donde se observan los síntomas de toxicidad. No se han encontrado datos de que el boro pase a los frutos.

Debido a la dificultad de la planta para expulsar boro, la cantidad de boro retenida por la planta es creciente con el tiempo.

Con respecto a las tasas de absorción se han encontrado dos opiniones diferentes entre los expertos consultados: Uri Yermiyahu (Agricultural Research Organization: The Volcani Center) considera que la tasa de absorción de la planta no se ve limitada, siendo proporcional a la concentración del boro en la solución del suelo (a más concentración, más entra) y el aumento de la acumulación en la planta es lineal, estando en teoría el límite en el punto donde la planta muere, mientras que Stephen R. Grattan (Department of Land, Air and Water Resources, UC Davis), considera que la tasa alcanzaría un punto máximo de entrada a partir del cual comenzaría a bajar, por lo que la absorción sería mayor a bajas concentraciones.

### ***Toxicidad del boro***

La toxicidad del boro es un desorden que afecta tanto al crecimiento del cultivo como a su calidad. El síntoma típicamente visible de la toxicidad es la decoloración de las hojas, las manchas o el secado del tejido foliar en las puntas y los bordes, así como la reducción de la fuerza de la planta, retraso en el desarrollo, descenso del número, tamaño y peso de los frutos.

Los efectos sobre la producción se han detectado en cultivos anuales, sometidos a elevadas concentraciones de boro, pero de momento no se han descrito en plantas o cultivos arbóreos, donde no hay (o no se han encontrado de momento) datos de producción a largo plazo. Los estudios de mayor duración realizados en citrus, que abarcan períodos largos (10-20 años), se centran en los daños en la planta y estudios de la matriz suelo-agua-cultivo, pero no aportan datos de producción.

En el caso de los citrus, los primeros efectos de toxicidad se detectan en las hojas viejas (manchas amarillentas en los bordes). Cuando aparecen en las hojas nuevas se considera que el fenómeno está muy avanzado. Los citrus, a pesar de ser árboles de hoja perenne, van cambiando de hojas periódicamente y normalmente cada dos años las renuevan.

El exceso de boro también puede afectar negativamente la absorción de nitrato por las raíces, el primer paso clave del metabolismo del nitrógeno.

En resumen, si las concentraciones no son excesivamente altas, el efecto tóxico del boro sobre los cultivos se produce debido a la acumulación que tiene lugar a lo largo del tiempo. Por tanto, se puede hablar más de un efecto crónico que de una toxicidad aguda y sería más crítica la carga acumulada y en consecuencia la carga aportada (Kg B/ hectárea de suelo) que la concentración con la que aporte el agua (mg B /L).

### ***Efectos de la fertilización y otros iones sobre la toxicidad del boro***

Se ha visto que la gravedad de la lesión por boro mostrada por limones y pomelos en experimentos controlados, tanto en terreno como en cultivos hidropónicos, se reduce cuando se aumenta la concentración del nitrógeno suministrado. Es por ello que el uso abundante de fertilizantes nitrogenados reduce la gravedad del daño causado por el boro en las plantaciones de cítricos.

Por otra parte, el potasio y el sodio suministrados en concentraciones relativamente altas modifican la forma, pero no la intensidad, del daño foliar causado por el boro.

No hay evidencia de que las concentraciones de cloruros, sulfatos y fosfatos afecten significativamente la gravedad de los síntomas del boro.



#### 4.5 VALORES LÍMITE PARA EL AGUA DE RIEGO

Como se ha visto, salvo casos especiales de suelos contaminados, el aporte que entra en el sistema será principalmente el que llegue con el agua de riego. Cuando las concentraciones de boro en el agua de riego son moderadas, la toxicidad se produce por acumulación en las plantas y afectaría, por tanto, a cultivos sensibles que vivan muchos años. Aunque lo importante sería limitar la carga de boro que se aplica con el agua de riego y que el cultivo toma, los límites hasta el momento siempre se han impuesto como concentraciones en el agua de riego, seguramente porque resulta un control más sencillo que el de la carga aplicada.

A día de hoy parece que no existe un conocimiento suficiente en la materia como para que haya un acuerdo internacional respecto a los límites a imponer en las aguas de riego. Así, existe mucha discrepancia entre los valores límites establecidos en diferentes normativas, guías y recomendaciones. Los valores mínimos propuestos para cultivos sensibles, como los citrus y, en especial para el limonero, encontrados en la literatura varían entre 0,3 y 0,75 mg/L.

En el Plan de Cuenca del Segura actualmente existe un límite establecido para las aguas de riego del campo de Cartagena de 0,3 mg/L (Anexo X, Artículo 8. Orden de preferencia entre diferentes usos y aprovechamientos, apartado 13).

El valor de 0,3 es un dato usado de referencia en los estudios en la materia desde que apareció citado por Frank M. Eaton en 1935 (*Boron in soils and irrigation waters and its effects on plants with particular reference to the San Joaquin valley of California*). En dicho estudio se trabajó en 32 cuadrantes de 18 por 24 millas, con una superficie total aproximada de 1.120 km<sup>2</sup>; donde cada cuadrante se regaba con aguas de distintas calidades. Realiza un exhaustivo análisis de los tipos de agua de riego en cada cuadrante y en los suelos (se analizan carbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, álcalis, sodio y boro), para luego determinar los daños en los diferentes cultivos. Finalmente el estudio proponía una clasificación de los cultivos en función de su sensibilidad y unos valores diferentes para el boro en función de la clase de sensibilidad, siendo el límite más exigente (para los cultivos más sensibles) de 1 mg/L. El párrafo del documento donde aparece el valor de 0,3 venía a decir que “*en términos de idoneidad del agua para aquellas plantas que figuran como sensibles al boro, para la parte sur del Valle de San Joaquín, una limitación más conservadora sería que por encima de una concentración de 0,3 ppm; cuanto menos boro haya en el agua de riego, mejor.*” Si bien, lo cierto es que no quedan claras las razones para proponer este valor y no otro, dado que no se muestra una interpretación de los datos o resultados que lleven a deducir que este sea el límite idóneo.

Posteriormente, esta referencia se incluye en un trabajo de L.V. Wilcox en 1960 (*Boron injury to plants*), donde esta vez se adopta como límite mínimo para los cultivos más sensibles, pero tampoco se incluye una justificación de los límites incluidos en la tabla. A partir de ese momento, dicho valor se ha menciona como concentración recomendable para cultivos sensibles, como el limonero, en numerosas publicaciones. Sin bien no se tiene conocimiento de su inclusión como límite exigido en ninguna normativa a nivel país de agua para riego agrícola.

Por contra, normativas de entidades de suficiente prestigio y se supone que conocimiento en la materia han adoptado valores algo superiores. Así, la ISO 16075-1, que es la norma

de carácter internacional más conservadora y moderna, recoge los valores establecidos en la norma israelí, con un límite de 0,4 mg/L de media mensual y 0,5 mg/L como valor máximo instantáneo. La FAO establece 0,5 mg/L (*Paper 29. Water quality for agriculture*, 1985) como valor de concentración máxima tolerada y la EPA 0,7 mg/L (*Guidelines for water reuse*, 2012) como valor de concentración a partir del cual no hay restricciones para el uso del agua en regadío. Tampoco se conocen las razones o estudios concluyentes que en estos casos han llevado a establecer los umbrales señalados.

La realidad es que no se cuenta con estudios suficientemente prolongados y representativos del efecto del boro sobre los cultivos en condiciones reales, excepto los mencionados en California, y tampoco hay datos sobre los efectos reales sobre las producciones, con la única salvedad de menciones puntuales sobre algunos cultivos de ciclo anual o de ensayos en laboratorio.

Además, del análisis realizado queda claro que otros factores como el tipo de suelo, el nivel de precipitación, la fracción de lixiviación, el tipo de riego o el uso de fertilizantes pueden tener una influencia muy notoria en la concentración de la solución del suelo, por lo que resulta complicado establecer un único límite sin tener en cuenta las circunstancias locales.

Para poder determinar un límite con conocimiento suficiente se debería contar con estudios de largo plazo y preferentemente realizados sobre los cultivos y terrenos característicos del Campo de Cartagena.

## **5 LAS CONDICIONES EN EL CAMPO DE CARTAGENA**

### ***Características de la zona regable del campo de Cartagena***

De acuerdo a la información disponible en la página web de la Comunidad de Regantes de Campo de Cartagena y de modo general, los suelos en la zona de estudio se pueden incluir dentro de los de Estepa parda caliza, que pueden adscribirse al orden Aridisoles, suborden Orthids y gran grupo Calciorthids de la clasificación americana (Soil Survey Staff, 1975).

Los suelos, de modo general, son de textura franca, notablemente calizos, con una capacidad de intercambio catiónico media (24 cmol(+)/kg), bajos niveles de materia orgánica (1,4%), Nitrógeno y Fósforo asimilable, de nivel medio en Potasio asimilable y desde el punto de vista de salinidad, ligeramente salinos (CE = 1,7 dS/m) y un pH de 8. Es un suelo con grado de erosión nulo y bien drenado, con un espesor efectivo >100 cm.

La zona tiene una precipitación media anual de 315 mm, una temperatura media en época cálida en torno a los 23°C y de 12°C de media en época fría, con episodios de gota fría o técnicamente “depresión asilada en niveles altos” (DANA), asociado con aguaceros y tormentas extremadamente violentas y en ocasiones con velocidades de viento de 100 a 200 km/hora, pero no siempre acompañadas de lluvias importantes.

De las 8.257 hectáreas de leñosos que se riegan en la CR de Campo de Cartagena, la mayor parte son cítricos, distribuidos principalmente entre limones (41%) y naranjas (24%), más mandarinos.



CEDEX

El riego es de tipo localizado y al parecer por debajo de la capacidad de campo en épocas de mayor necesidad hídrica (práctica normal de riego informada por la CR de Campo de Cartagena en sus documentos).

Al tratarse de suelos bien drenados y estar en zona con episodios de lluvias torrenciales se podría esperar un buen lavado en épocas de fuertes lluvias. No obstante, por ser una zona en general de baja precipitación, sería recomendable hacer un seguimiento de los suelos para determinar el contenido de boro adsorbido en los mismos, además del boro en la solución del suelo. De este modo se vería la tendencia o no de acumulación del boro en el suelo con los sucesivos riegos en el tiempo.

### ***El boro a la salida de la desaladora***

Dado que estaba previsto destinar agua desalada al abastecimiento, la exigencia de calidad venía determinada por el cumplimiento del R.D. 140/2003 de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Por otra parte, de cara a asegurar el logro de los objetivos de calidad fijados para el agua de riego en el Campo de Cartagena, desde la Confederación del Segura, en Resolución de 27 de marzo de 2019, se ha limitado el boro en el agua desalada aportada al sistema del postravase también en 0,5 mg/L.

Una vez remineralizada, se establecía que el agua desalada debía cumplir las siguientes limitaciones:

- Índice de Langelier  $-0,5 < LSI < 0,5$
- Concentración de boro  $< 0,5 \text{ mg/L}$
- pH  $7 - 8$
- Sólidos totales disueltos (STD)  $< 400 \text{ mg/L}$

De acuerdo a los análisis realizados por tres laboratorios acreditados por AENAC en el agua producto, durante los meses de mayo de 2019 a enero de 2020, sobre más de 30 muestras, la concentración en boro varía según la época del año, siendo la media de 0,44 mg/L y llegando a un valor máximo de 0,65 mg/L registrado en verano.

### ***Los aportes de boro a la zona regable de Campo de Cartagena***

Las aguas aplicadas en el Campo de Cartagena proceden de varias fuentes, ya que reciben aportaciones del trasvase Tajo-Segura, de fuentes superficiales (río Segura), aguas subterráneas, reutilización, desalinización y otros recursos extraordinarios en períodos de sequía. Estas aportaciones varían según el año hidrológico, dependiendo de la capacidad del río Tajo en cabecera para derivar agua al trasvase, y las aportaciones teóricas de la desaladora deberían ser del orden de un tercio de las totales. Si este fuera el escenario real y solo aportara boro la desaladora de Torrevieja, teniendo el resto de fuentes un contenido nulo, en la zona de la CR de Campo de Cartagena, la concentración media de boro estaría en torno a 0,16 mg/L, lo que no supondría ningún riesgo.

Sin embargo, la realidad no es esa porque, por una parte, los aportes del agua desalada han sido generalmente mayores de los previstos y, por otra, las fuentes locales que pueden estar aportando la mitad de los recursos, tienen un contenido en boro que supera incluso al de las aguas desaladas.

Así, las aguas regeneradas en la zona, aunque son el aporte minoritario, presentan valores medios de boro entre 0,36 y 1,45 mg/L. Se debe tener en cuenta que, a su vez, pueden proceder de poblaciones abastecidas con aguas desaladas y la limitación en boro para el abastecimiento es mucho menos estricta que para los cultivos sensibles (1 mg/L de boro de acuerdo a al RD 140/2003).

Además, en las aguas subterráneas, de acuerdo con información de Calidad de Aguas disponible de la Confederación del Segura, sobre un total de 174 mediciones de Boro disuelto en un período de 10 años (2010-20) en ocho acuíferos, se ha obtenido un promedio de 1,48 mg/L. El aporte de aguas subterráneas en el sistema sí es muy importante y deberían controlarse, al menos, los caudales aportados a los cultivos sensibles.

## **6 PROPUESTA NORMATIVA PARA AGUA DE RIEGO EN EL CAMPO DE CARTAGENA**

Tras la revisión bibliográfica y normativa realizada y las conversaciones mantenidas con expertos se puede concluir que el efecto tóxico del boro es acumulativo, por lo que sería más adecuado fijar límites normativos basados en cargas anuales que en concentraciones instantáneas.

La Universidad Politécnica de Cartagena está llevando a cabo estudios sobre los cultivos y los terrenos en la zona pero hasta el momento solo se cuenta con una serie de tres a cuatro años de datos lo que resulta insuficiente. En estas experimentaciones sí se ha visto que hasta el momento no se identifica ningún efecto en cultivos regados con una concentración de 0,5 mg/L y empieza a detectarse algún ligero rastro de acumulación (las hojas que empiezan a verse afectadas son pocas y viejas) en cultivos regados con 1 mg/L, pero presumiblemente sin ninguna afección importante a los árboles ni a la producción.

El límite actual en el canal del Trasvase Tajo-Segura está establecido en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica (2015 2021) en su Anexo X, Artículo 8. Orden de preferencia entre diferentes usos y aprovechamientos, apartado 13, en 0,3 mg/L como valor límite insuperable.

A la vista de lo expuesto, y a falta de finalizar una propuesta formal que podría variar en algún matiz, se considera que este límite como valor insuperable para el agua de riego parece excesivamente estricto. Podría ser aumentado, al menos, hasta 0,4 mg/L y seguiría siendo conservador, puesto que este valor corresponde al encontrado en las normas más exigentes. Además, debería ser entendido como un indicador de la carga a aportar y, por tanto, como valor promedio, que podría ser superado puntualmente o por periodos, siempre y cuando estos no fueran muy prolongados y la media continuara quedando por debajo. Por ello, se propone como norma un valor de 0,4 mg/L como media semestral, lo que impediría que hubiera periodos excesivamente largos por encima de ese valor. Además, se propone un valor máximo no superable de 0,6 mg/L, lo que aseguraría que se mantiene en valores moderados de boro, que es donde se ha visto que no se producen efectos y, ante la falta de conocimiento, se prevén posibles efectos en otros tipos de cultivo que se pudieran ver afectado por niveles puntuales elevados.



CEDEX

Se debe tener en cuenta que estos límites se consideran conservadores, pero se proponen con un escaso conocimiento en la materia y se plantean para que su vigencia se mantenga en un ciclo de planificación. Durante el siguiente ciclo sería muy recomendable asegurar la continuidad de los estudios llevados a cabo sobre los cultivos y terrenos del Campo de Cartagena, para poder dar seguridad o incluso poder revisar con mayor conocimiento los límites establecidos para este plan.

A la hora de trasladar los límites a imponer a la desaladora de Torrevieja deben tomarse en consideración una serie de circunstancias, como son:

- La capacidad real de las instalaciones actuales para reducir el boro en el agua desalada y su dependencia de la temperatura
- La aportación que el agua de la desaladora supone al sistema y consecuentemente la concentración media que se podría estar aportando, tanto en el escenario medio como en los posibles escenarios desfavorables.
- Condicionantes ligados al control efectivo que se realice desde la Confederación y a las técnicas analíticas

Actualmente la desaladora tiene un nivel límite de boro impuesto por la Confederación a las aguas producidas de 0,5 mg/L. Este límite, en la estación más cálida, resulta difícil de conseguir por las instalaciones actuales, aunque el aporte medio sí tiene una concentración menor. En cualquier caso y teniendo en cuenta, además, los otros aportes actuales al sistema, va a ser necesario mantener un aporte de otras aguas con menor contenido en boro (trasvase) para asegurar que en el Canal se mantiene con una concentración por debajo de los niveles establecidos.

Finalmente señalar que esta propuesta de regulación se plantea exclusivamente con objeto de asegurar en el sistema general de conducción y regulación del post trasvase una calidad de las aguas sin riesgos para la agricultura, pero en su determinación no se ha tenido en cuenta el estado de las otras fuentes de agua en la zona.

Zonalmente sería conveniente hacer un seguimiento de las aportaciones de otras fuentes y sus posibles efectos, especialmente cuando se riegan cultivos sensibles. Durante el siguiente ciclo de planificación debería realizarse un programa de seguimiento de la concentración del boro en diferentes tipos de suelo, así como en las aguas subterráneas, por si se estuviera produciendo alguna acumulación significativa.

Si se pretendiera regular, además de la concentración de boro del canal, la aplicación en el riego, hay otros aspectos relevantes que podrían ser considerados, como el tipo de cultivo, el tipo de suelo o el establecimiento de unas fracciones de lixiviación cuando el riesgo de toxicidad del boro sea significativo (cuando no se pueda evitar aportar valores de boro medio más elevados). Si bien, en estos casos debería controlarse la concentración de boro en las aguas subterráneas.

## **7 REFERENCIAS**

- BOE, 2003. Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

- BOE, 2016. Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro. ANEXO X. Disposiciones Normativas del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Segura. Artículo 8.
- CRCC-SCRATS, 2014. El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión.
- M. Palsia Princi et al., 2016. Chapter 5. Boron toxicity and tolerance in plants: recent advances and future perspectives. Plant Metal Interaction
- N. Kabay et al., 2010. Boron in seawater and methods for its separation – A review.
- M. Riaz et al, 2019. Excess boron inhibited the trifoliolate orange growth by inducing oxidative stress, alterations in cell wall structure, and accumulation of free boron.
- R. Keren et al., 1985. Plant uptake of boron affected by boron distribution between liquid and solid phases in soils.
- U. Yerminyahu et al., 2016. Chapter 6. Toxic elements. Treated Wastewater in Agriculture: Use and Impacts on the Soil Environment and Crops.
- F.M. Eaton, 1935. Boron in Soils and Irrigation Waters and its Effects on Plants. With Particular Reference to The San Joaquin Valley of California.
- Shah et al., 2017. Deficiency and toxicity of boron: Alterations in growth, oxidative damage and uptake by citrange orange plants.
- F. García-Sánchez et al., 2020. Multiple stresses occurring with boron toxicity and deficiency in plants.
- FAO, 1985. Water quality for Agriculture. FAO irrigation and drainage paper 29. Rev.1, FAO. ed. Food and Agriculture Organization.
- EPA, 1972. Water Quality Criteria 1972. A report of the Committee on Water Quality Criteria.
- Texas A&M, 2003. Irrigation Water Quality Standards and Salinity Management Strategies.
- EPA, 2012. Guidelines for Water Reuse.
- USDA, 1954. Agriculture Handbook No. 60. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.
- L.V. Wilcox, 1960. Boron injury to plants. Agriculture information bulletin No. 211. Agricultural Research Service.
- Y.W. Jame et al., 1980. High boron content in irrigation water.
- FAO-IAEA, 2018. Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques.





CEDEX

- V. Mendoza-Grimón et al., 2019. Sustainable Irrigation Using Non-Conventional Resources: What has happened after 30 Years Regarding Boron Phytotoxicity?
- ISO 16075-1, 2015. Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - part 1: The basis of a reuse project for irrigation.
- S. Simón-Grao et al., 2018. Response of three citrus genotypes used as rootstocks grown under boron excess conditions.
- S.R. Grattan et al., 2015. Assessing the suitability of saline wastewaters for irrigation of Citrus spp.: Emphasis on boron and specific-ion interactions.
- S.R. Grattan et al., 2013. Evaluation of the impact of Boron on citrus orchards in Riverside Country.
- S. Simón-Grao, 2015. Respuestas fisiológicas de los cítricos al exceso de boro. Estudio de portainjertos y micorrización.
- V. Martínez Álvarez et al, 2015. Problemática de la aplicación de agua marina desalinizada al riego agrícola. Caso de estudio del canal de Campo de Cartagena.