

**Enero, 2010**

**El Boro en la desalación.  
Experiencia en la Planta  
de Valdelentisco.**

**Dr Manuel Latorre**

## **Contenido**

### **1. Introducción**

### **2. Antecedentes**

### **3. Normativa y estándares**

### **4. Aspectos Sanitarios**

### **5. Aguas de riego**

### **6. Utilización política**

### **7. Experiencia en Valdelentisco**

### **8. Aspectos económicos**

### **9. Conclusiones**

## **Resumen.**

El presente informe trata sobre los aspectos más significativos del Boro en el contexto de la Desalación, desde su aparición por el año 2000 hasta nuestros días. Se repasan los principales hechos que motivaron su presencia en el contexto de las aguas desaladas y se presenta un análisis de las diferentes normativas y estándares, que son utilizados por los diferentes países, a la hora de regular sus niveles en el agua de abastecimiento.

Los efectos perjudiciales y beneficiosos del Boro, son mencionados tanto en el caso del impacto sobre la salud humana como en determinados cultivos, en caso de su utilización en aguas de riego.

La Desaladora de agua de mar de Valdelentisco es una de las mayores plantas de Osmosis Inversa en el mundo, con una toma de captación abierta. La producción es destinada para abastecimiento a través de la Mancomunidad de los Canales del Tabilla, y para el riego a través de las tuberías de distribución ejecutadas por Acsegura.

Desde la puesta en marcha de las primeras membranas en enero de 2008 hasta ahora, la planta Valdelentisco ha venido operando de acuerdo con los parámetros de diseño.

El requisito inicial de Boro fue diseñado para cumplir con una concentración máxima de 1 mg/l. Después de algunas discusiones iniciales sobre el diseño del proceso, se instaló un solo paso con dos etapas a fin de lograr una recuperación del 50%, para obtener la calidad final de permeado para su uso en abastecimiento y regadío.

Este informe muestra los resultados de la concentración de Boro en el permeado y cómo los niveles se sitúan dentro de los límites demandados, a pesar de las fluctuaciones estacionales de temperatura que han oscilado entre 14 y 27 °C.

Por último se presentan algunas magnitudes económicas comparando la importancia de la elección de un simple o doble paso, y su incidencia en los costes de inversión y explotación de las plantas desaladoras.

## **1. Introducción**

En los últimos años el Boro se ha convertido en un elemento químico de rabiosa actualidad en el campo de la Desalación, especialmente tras la puesta en escena del Programa Agua promovido por el Ministerio de Medio Ambiente y la derogación del Trasvase del Ebro en el año 2004.

Defensores del Trasvase del Ebro vieron en el Boro un arma arrojada contra quienes promovían la desalación como fuente de suministro alternativa al Trasvase. La mayor parte de las veces los detractores de la desalación, sin criterios técnicos contrastados que avalaran sus posiciones, se lanzaron a una agresiva campaña desprestigiando la desalación en su totalidad. Los medios de comunicación, han contribuido en gran medida a amplificar la falta de rigor técnico y científico, de las manifestaciones vertidas gratuitamente por políticos de escasa preparación y normalmente mal asesorados en la mayoría de las ocasiones.

La negativa imagen dada a la sociedad, ha hecho incrementar el rechazo de los ciudadanos hacia una tecnología llamada a convertirse en la principal fuente de suministro de agua para la población en el futuro. Desprestigiando sin fundamentos no se consigue nada más que retrasar el desarrollo y evitar mejorar un proceso que está siendo utilizado desde hace muchos años en otras partes del mundo.

Países como Singapur y Emiratos Árabes han basado el crecimiento de sus economías en la desalación, y gracias a ella han conseguido situarse entre los países más prósperos del planeta. El Boro en el agua desalada para ellos, nunca ha sido un problema sino una solución.

El tiempo pone a cada uno en su sitio, y en este caso el Boro está comenzando a recuperar su lugar dentro de la desalación, un lugar del que nunca debió salir.

## **2. Antecedentes**

El origen del Boro en las aguas suele ser diferente según la fuente de la cual se esté extrayendo el agua. Algunos acuíferos tienen en su composición ciertos materiales con Boro (principalmente turmalita) que dan al agua un contenido en Boro que puede estar cerca de 3 mg/l. Otro mecanismo de contaminación es la fuga de aguas residuales, procedentes de la red de saneamiento.

El contenido en Boro de las aguas residuales está en torno a 3 mg/l y procede de los perboratos utilizados en la formulación de los detergentes. El agua de mar presenta 5 mg/l de Boro en su composición media (Hounslow y col 1995), que provienen principalmente del lavado de materiales geológicos. Otros orígenes de contaminación por Boro los podemos encontrar en el mal uso de las aguas residuales para riego, o en el abuso de pesticidas, plaguicidas o fertilizantes que llevan en su formulación cantidades apreciables de Boro (Catalán y col 1990).

El problema de la ósmosis inversa con el Boro es que al encontrarse el Boro en forma de ácido bórico, tener hidrógenos ácidos y no tener carga, es capaz de hacer puentes de hidrógeno con los grupos activos de la membrana, y difundir de forma similar a como lo hace el ácido carbónico o el misma agua. Esto explica que el permeado salga sensiblemente más ácido que el agua de alimento.

En el mundo de la desalación, la primera planta que estableció unos niveles de Boro inferiores a 0,5 mg/l fue la Desaladora de Ashkelon en Israel, en el año 2000 justificando unos límites tan bajos, por el destino del agua desalada en la irrigación de cítricos. Aquel nuevo requisito iba a marcar un cambio significativo en el diseño de las instalaciones, ya que hasta entonces, el Boro no había sido un elemento a tener en cuenta en la calidad del permeado procedente de las plantas desaladoras.

Hasta la licitación de Valdelentisco, las plantas desaladoras en España, eran licitadas demandando unos máximos en el contenido de sales totales en permeado, pero no hacían ninguna referencia a contenidos máximos en Boro, como por ejemplo la Desaladora de Javea, licitada en 1999, que exigía únicamente que la concentración en sales totales en el producto fuera inferior a 400 mg/l. Las Desaladoras de Alicante I y San Pedro del Pinatar, fueron licitadas exigiendo el cumplimiento del Real Decreto 1138/1990 relativo a la calidad del agua de abastecimiento, que no establecía ningún límite para el Boro.

En el año 2000, según un estudio realizado por Infilco y presentado en el Congreso Nacional de Aedyr, ninguna de las membranas existentes en el mercado, conseguían reducir los niveles de Boro por debajo de 1 mg/l partiendo de un agua de mar con una concentración de 4,9 mg/l, lo que obligaba a incorporar un segundo paso en las desaladoras, si se quería mantener el nivel de Boro incluso por debajo de 1 mg/l.

Los estudios llevados a cabo por Acsegura en 2001 y 2002 en una planta piloto con membranas de última generación de tres de los principales fabricantes a nivel mundial, demostraron que si bien los niveles variaban considerablemente entre ellos, se podían obtener valores inferiores a 1 mg/l con un simple paso.

El establecimiento del nuevo límite para aguas potables en la UE pasó a ser en el 2003 de 1 mg/l. La tercera edición de la Guía de Calidad de Agua Potable de la OMS, elevó en 2004 el límite a 0,5 mg/l frente al valor de la segunda edición de 0,3 mg/l.

Cuando se promovió el programa AGUA por parte del Ministerio de Medio Ambiente en el año 2004, el límite de Boro ya se había incrementado a 1 mg/l, pero la falta de agilidad administrativa y la precaución ante su uso también en regadío, hicieron que las nuevas desaladoras se diseñaran para un contenido máximo en Boro de 0,5 mg/l. Solamente la planta de Valdelentisco, permaneció con los niveles de Boro por debajo de 1 mg/l, como veremos más adelante.

### **3. Aspectos Sanitarios.**

#### **3.1 Efectos beneficiosos del Boro**

De acuerdo con un estudio publicado por el UK Expert Group on Vitamins and Minerals en 2002, el Boro es un nutriente esencial para los humanos, de modo que una carencia continuada de Boro en la dieta, produce cambios fisiológicos funcionales, que pueden ser corregidos mediante la ingesta de Boro, y que consisten fundamentalmente en una disminución del crecimiento y en la reducción de ciertos índices sanguíneos como la concentración de esteroides en particular.

Otro informe publicado por Naghii y Samman en 1997 alerta de la importancia de una dieta equilibrada en Boro y sus efectos en la prevención sobre ciertos procesos metabólicos tales como afecciones coronarias, artritis y osteoporosis.

Cuando se incrementa el nivel de Boro en la dieta de las personas, se ha demostrado un aumento de los niveles de estrógenos y testosterona, así como del calcio en plasma, y una reducción en los efectos negativos de la deficiencia en Magnesio y vitamina D. Estas y otras conclusiones fueron obtenidas por Nielsen y sus colaboradores en las investigaciones realizadas durante 1990.

En un estudio más reciente, publicado en 2004, Cui afirmaba que la cantidad de Boro en la dieta, es inversamente relacionada con el cáncer de próstata, sugiriendo que una mayor ingesta de Boro, podría tener un efecto beneficioso sobre la prevención de dicho cáncer.

### 3.2 Toxicidad del Boro

Respecto a los efectos perjudiciales del Boro, múltiples han sido los estudios realizados sobre animales, fundamentalmente, ratones, ratas y perros, pero ninguno de los estudios referenciados a humanos han demostrado efectos adversos, tal y como aseguran las Guías de Referencia sobre la Dieta, publicadas en Estados Unidos en 2001.

Por el contrario, en un estudio realizado en Turquía, con elevados niveles de Boro de hasta 29 mg/l en la región de WWW, Sayli concluía que ningún efecto adverso sobre la fertilidad de la población que habitualmente bebía agua con esas concentraciones, había sido observado.

En esta línea se posicionó la Agencia Americana de Protección del Medio Ambiente (EPA), cuando en 2008 consideró que la falta de efectos negativos del Boro sobre la salud humana, no implicaba que la regulación del Boro en el agua de abastecimiento llevara consigo una reducción del riesgo sobre la salud.

## **4. Abastecimiento. Normativa y estándares**

### **4.1 Normativa Española**

El Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre, fijaba a los criterios de calidad que deben satisfacer las aguas que se dedican a consumo público, sin que apareciera incluida ninguna referencia a la necesidad u obligatoriedad de controlar el Boro.

Este decreto, del Ministerio de Relaciones con las Cortes y de la Secretaría del Gobierno, aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria, adoptando la legislación española en esta materia a la Directiva Europea 80 / 778 / CEE de 15 de Julio sobre la misma materia.

En él, se definían las características de un agua potable, con las concentraciones máximas admisibles que no debían ser rebasadas ni en cantidades significativas ni de forma sistemática, y además fijaba unos niveles “guía” deseables para el agua potable y mencionaba que las Comunidades Autónomas podrán fijar excepciones siempre que no entrañen un riesgo para la salud pública.

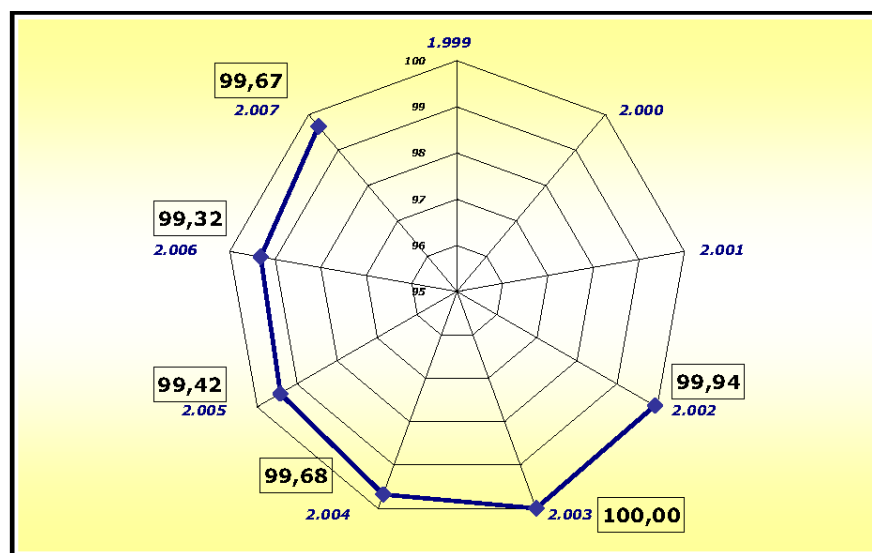
La publicación de la Directiva 98/83/CE, de 3 de noviembre de 1998, exigía la incorporación de la misma al derecho interno español con la elaboración de un nuevo texto que recogiera las nuevas especificaciones

de carácter científico y técnico y posibilitaran un marco legal más acorde, tanto con las necesidades del momento, como con los avances y progresos de los últimos años en lo que a las aguas de consumo humano se refiere, estableciendo las medidas sanitarias y de control necesarias para la protección de la salud de los consumidores, siendo éste el objeto principal de la disposición.

Como consecuencia de la adaptación de la anterior Directiva Europea, se publica el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, actualmente vigentes. Es en este Decreto cuando el Boro aparece incluido por primera vez en el Anexo 1, como parámetro químico a controlar con un valor máximo de 1 mg/l.

De acuerdo con el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo perteneciente al Ministerio de Sanidad y Política Social, no fue hasta 2002, cuando empiezan a recabarse datos sobre el contenido en Boro de las aguas de abastecimiento. En el trienio 2002 – 2004, la conformidad media de las zonas de abastecimiento sobre un valor paramétrico (VP) de 1 mg/l fue del 99,8%, porcentaje muy superior por ejemplo al del Nitrato que para el mismo periodo fue del 97,4% sobre un VP de 50 mg/l, y en línea con los Nitritos cuyo nivel de cumplimiento fue del 99,7% para un VP de 0,1 mg/l.

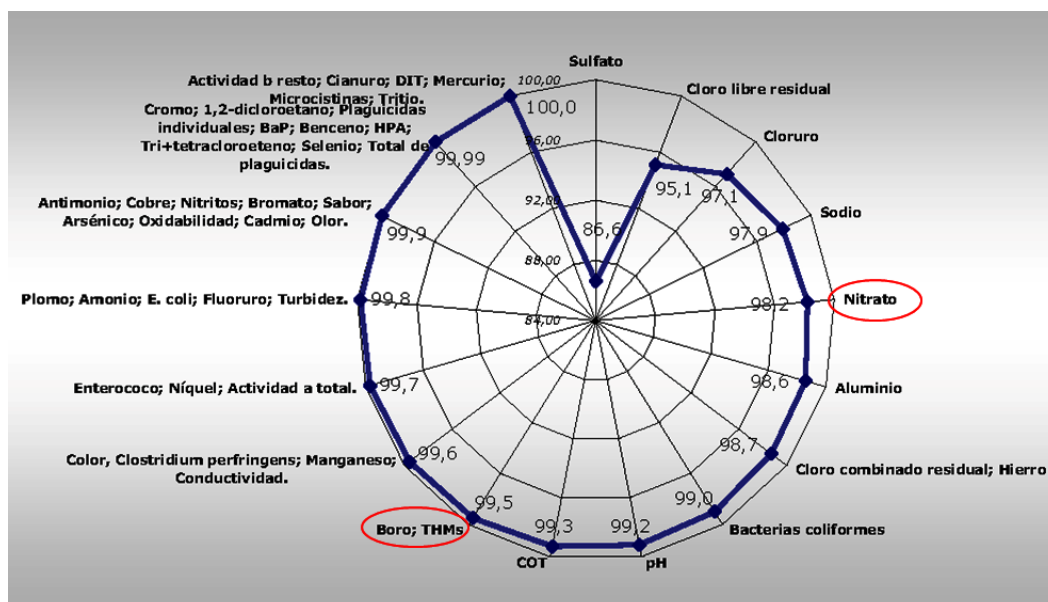
**Figura 1. Cumplimiento niveles de Boro 2002 - 2007**





En el periodo 2002-2007, los porcentajes de cumplimiento de los niveles de Boro en las aguas de abastecimiento han sido exactamente iguales a los de trihalometanos y bastante mejores que los de los nitratos, tal y como se puede observar en el grafico siguiente.

**Figura 2. Cumplimiento parámetros RD 140/2003 periodo 2002 - 2007**



La tabla 1 adjunta muestra el número de veces que se supero el valor guía de 1 mg/l a lo largo de los últimos años, así como los valores máximos de las determinaciones efectuadas, donde su puede observar cómo se alcanzó hasta 23,64 mg/l en el año 2005.

**Tabla 1. Nivel de Boro en los abastecimientos en España**

	N determinaciones totales	N determinaciones > 1 mg/l	Nivel máximo .mg/l
2002	-	-	-
2003	1172	-	1
2004	4712	15	13.2
2005	6418	197	23.64
2006	9163	480	3.18
2007	10686	711	3.36

## 4.2 Normativas a nivel mundial.

Como señalábamos anteriormente, la inclusión del Boro como parámetro cuyos niveles han de ser vigilados en el agua destinada a abastecimiento, se ha planteado en el diseño y condiciones de licitación para las plantas de desalación en los últimos 10 años. Los requisitos de los niveles de Boro cambian de país a país y nos encontramos con una gran variedad de límites en función de cada una de las diferentes normas.

El impacto del Boro en la salud humana es controvertido y, por tanto, las directrices de agua potable para el Boro varían mucho entre las autoridades gubernamentales de todo el mundo. El Boro en el agua potable varía de 1 a 5 mg/l en función de la fuente de agua. La OMS ha establecido un valor guía provisional para el Boro en el agua potable de 0,5 mg/l. Por otra parte, las normas de calidad de agua de abastecimiento japonesa, australiana y canadiense han fijado el límite de concentración de Boro en el agua potable en 1, 4 y 5 mg/l, respectivamente. Todos estos valores de referencia se establecieron de manera provisional porque ninguno de los estudios de toxicidad de investigación ha proporcionado una evidencia clara acerca de la toxicidad de Boro en la salud humana. Por otra parte, es difícil alcanzar los límites bajos (<0,5 mg/l) por medio de desalación mediante Osmosis Inversa sin un segundo paso, aumentando tanto las necesidades de inversión como los costes de explotación de las plantas desaladoras.

La tabla 2 muestra los niveles de Boro admisibles en algunos de los principales países industrializados, así como los recomendados por la Directiva 83/98 de la Unión Europea y la 3<sup>a</sup> Edición de la Guía de Calidad de Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud OMS [8].

**Tabla 2. Nivel de Boro en las diferentes normativas**

Normativa	Nivel máximo (mg/l)	Año
2 <sup>a</sup> Edición de la OMS	0,3	1993
3 <sup>a</sup> Edición de la OMS (T)	0,5	2004
Japón DW Calidad	1	2007
Directiva Europea 98/83	1	1998
EPA / EE.UU. (no incluido)	1,4	2006
Australia DW	4	2004
Canadá	5	1990

T = valor guía provisional porque el valor guía calculado está por debajo del nivel que puede lograrse a través de métodos de tratamiento práctico, protección de fuentes, etc.

En Arabia Saudita los niveles de Boro en el agua potable procedente de plantas de desalación se encuentran entre 2 y 3 mg/l desde hace 25 años, y no hay problemas específicos relacionados con la salud humana, al menos, que hayan sido encontrados hasta ahora. [4]

De acuerdo con el estudio elaborado por Erika Weinthal y otros, publicado por Wiley Inter Science en 2005 [2], sobre los estándares de Boro y la incertidumbre científica de su toxicidad, se cuestiona la necesidad o no de su regulación en la Directiva Europea, ya que por ejemplo en la cuenca del río Cornia en Italia, la población local ha estado consumiendo agua potable durante generaciones con un contenido de Boro de hasta 4 mg/l sin que se hayan detectado problemas en la salud de los individuos.

Turquía cuenta con uno de los depósitos más grandes de Boro que origina elevadas concentraciones en el agua de abastecimiento. Sayli (1998, 2001) estudió el impacto sobre la reproducción en las poblaciones altamente expuestas (0.7-29 mg/l) en comparación con zonas de baja exposición de Boro (0.05-0.45 mg/l) y no encontró diferencias significativas.

La Directiva Europea 98/83 optó por el principio de precaución para prever cualquier potencial efecto peligroso sobre los humanos, el medio ambiente, la flora o la fauna, ante la ausencia de contrastadas evidencias científicas que pudieran probar lo contrario, fijando el límite de Boro en 1 mg/l.

El valor límite vigente de acuerdo con la 3 edición de la OMS, es de 0,5 mg/l, pero se ha visto la necesidad de revisar el Boro en próxima edición de la Guía de Calidad de Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud OMS, una vez que se han conocido nuevos datos sobre los efectos del elemento. En la reunión del Grupo de Trabajo sobre la Calidad de Agua Potable de la OMS celebrada en Ginebra en 2006, se decidió volver a examinar los niveles Boro para la cuarta edición. En la reunión celebrada en Berlín un año más tarde, se acordó la hoja de ruta a seguir para acometer las reformas. En la reunión que el mismo grupo mantuvo en Singapur en 2008, se accedió a publicar un borrador del documento revisado sobre el Boro en la web para comentarios del público. En dicho borrador (WHO/HSE/WSH/09.04/5W - Boro en el agua potable) para exposición pública se sugiere un nivel de Boro con un valor guía de 2,4 mg/l como se indica a continuación [1].

"Con el uso de un factor de incertidumbre de 60 aplicado, el TDI, es 0,17 mg/kg de peso corporal redondeado a 0,20 mg/kg de peso corporal por día. Datos procedentes de Reino Unido y los EE.UU. sobre la ingesta alimentaria del grupo de interés principal indica que la ingesta de otras

fuentes distintas del agua es baja y así la asignación en la bebida podría aumentar considerablemente, sin acercarse a la TDI. Una asignación del 40% da lugar a un valor guía de 2,4 mg/litro. "

Como vemos, el valor guía depende de una serie de factores como el factor de incertidumbre de extrapolación de los experimentos con animales a humanos, el peso corporal, la asignación de agua en la ingesta diaria de Boro, el volumen de agua bebida al día.

### **4.3 Método de cálculo de los límites de Boro**

De acuerdo con la OMS, los límites de Boro se calculan teniendo en cuenta los siguientes factores:

- Factor de incertidumbre para variación intra especies (6)
- Factor de incertidumbre para la variación inter especies (10)
- Factor de incertidumbre total (60)
- El peso corporal (60 kg)
- La distribución del agua en la ingesta diaria (10%)
- Agua potable por día (2 litros)
- Nivel sin efectos adversos observados (9,6 mg/kg peso corporal-día)

La cantidad de Boro que puede ser ingerida diariamente sin presentar efectos adversos (TDI), se obtiene como el cociente entre el nivel de Boro sin efectos adversos observados (NOAEL) y el factor de incertidumbre total para variación entre individuos de la misma especie y entre especies (UF).

Así, fijando un valor para NOAEL de 9,6 mg/kg de peso al día, para una persona de 60 kg de peso y aplicando un factor de incertidumbre de 60, la TDI coincide con el NOAEL, resultando un valor de 9,6 mg de Boro al día. Este valor representa la cantidad total de Boro que un individuo puede ingerir por cualquier medio, bien sea por alimentación, bebidas u otros medios.

Si consideramos que la cantidad de Boro ingerido por medio de bebidas es del 10% del total, esta proporción representa un valor de 0,96 mg de Boro, mientras que los 8,64 mg restantes hasta completar el valor NOAEL de 9,6 mg serían aportados por la ingesta de alimentos.

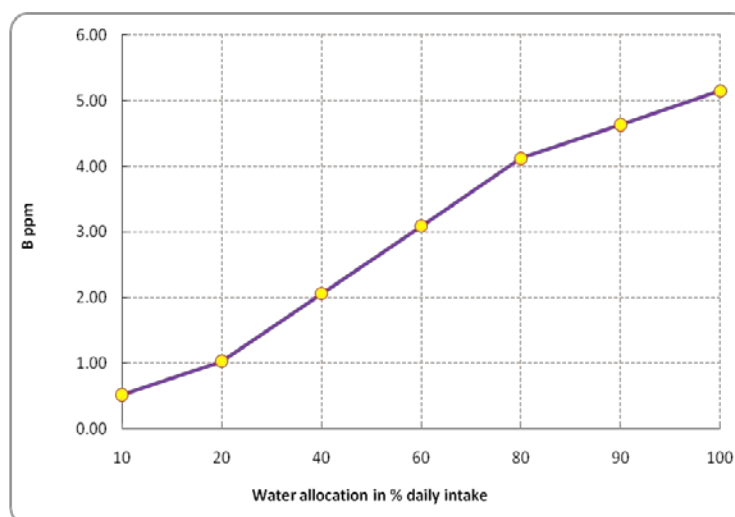
Asumiendo que el volumen medio que una persona bebe a lo largo del día es de 2 litros, resulta que la concentración de Boro por litro de agua no puede superar los 0,48 mg/l. Esta cifra ha sido redondeada en la normativa a 0,5 mg/l por cuestiones prácticas a efectos analíticos, para ser incluida en los valores guía de la Segunda Edición de la Guía sobre la Calidad del Agua Potable de la OMS.

Ahora bien, como hemos visto existen una serie de parámetros que afectan significativamente a la hora de calcular este valor límite.

El primero es la cantidad de Boro ingerido por medio del agua bebida. El valor límite por litro de agua depende del porcentaje considerado, de forma que en el ejemplo anterior hemos visto que el valor resultante era de 0,5 mg/l porque el porcentaje del Boro ingerido por medio del agua era del 10 % de la ingesta total. En caso de dietas pobres en frutas y verduras, este porcentaje se incrementa, por lo que el contenido en Boro en el agua puede elevarse por encima de 2 mg/l, en caso de considerar un porcentaje del 40%. (Figura 3).

La normativa australiana considera un 80 % de asignación de Boro ingerido por medio del agua bebida, por lo que el valor límite asciende a 4 mg/l.

**Figura 3. Boro vs asignación agua ingerida**

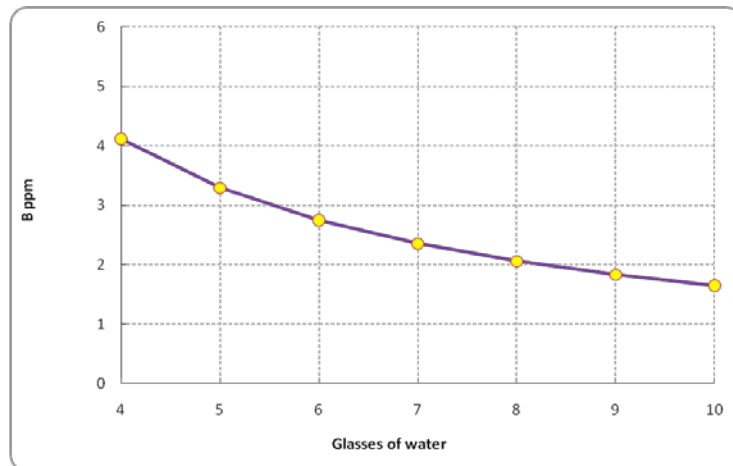


Factor Incertidumbre total: 60

Otro factor que influye en cálculo del valor guía (VG), es el volumen de agua ingerido al día. Los cálculos anteriores para fijar el VG están basados en que una persona bebe una media de 2 litros al día, o lo que es lo mismo, 8 vasos de agua.

Si aplicamos un porcentaje de ingestión por bebida del 40% sobre el total ingerido, podemos obtener para una persona de 60 kg la cantidad de Boro que podría contener el agua, en función del volumen diario bebido (Figura 4), resultando que en caso de beber 1 litro de agua al día el contenido en Boro, podría ser de hasta 4 mg/l.

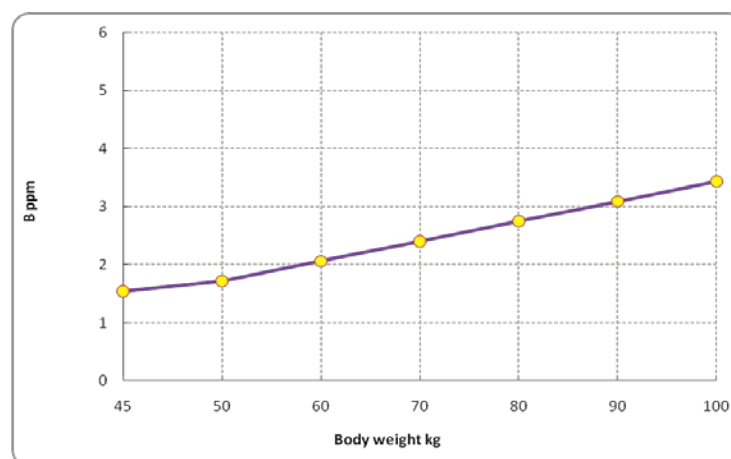
**Figura 4. Boro vs volumen agua ingerida**



Factor Incertidumbre total: 60

El siguiente factor que influye en el VG del Boro, es evidentemente el peso de la persona, de modo que podemos afirmar que aquellas personas gruesas pueden beber agua con mayor concentración de Boro que las personas delgadas. En la Figura 5 se presenta la variación, de los niveles de Boro en función del peso corporal, para un porcentaje de ingesta del 40 % y un consumo de 2 litros al día.

**Figura 5. Boro vs peso corporal**



Según la publicación Water Desalination Report Vol.45 No. 23 de Junio de 2009, el valor esperado para el Boro será 2,4 mg/l: "En la reunión del Comité de la OMS que tuvo lugar en Singapur este fin de semana pasado, el nivel de Boro del agua potable fue de nuevo debatido. Ahora parece que la aceptación final de los 2,4 mg/l se puede producir en noviembre y se publicará a finales de 2010. "

Por lo tanto, se espera que en las próximas directrices de la OMS para el agua potable, aumente el nivel límite de Boro y si esto ocurre, el Boro no será más un problema en la calidad del agua de permeado de las plantas desaladoras, evitando la instalación del segundo paso en las desaladoras de agua de mar. Así mismo se conseguiría una reducción de los costes de inversión y operación de las plantas entre un 15 y 20% de media.

## 5. Aguas de riego

El efecto favorable del Boro sobre el crecimiento de las plantas fue observado por primera vez por Bertrand (1911) y Agulhon (1910), siendo muy conocidos los síntomas de deficiencia en un gran número de cultivos por lo que se ha convertido en un micronutriente muy importante en la agricultura.

Sin embargo, el Boro también puede causar síntomas de toxicidad en determinadas áreas provocando graves daños a las plantas, debido por ejemplo, al uso de agua de riego con una alta concentración de este elemento. Dicha contaminación puede ser provocada por: vertidos urbanos (ricos en detergentes y productos de limpieza); vertidos industriales y productos químicos utilizados en la agricultura. Las concentraciones de Boro en agua de riego menores de 0,70 µg B/ml, suelen ser beneficiosas para la mayoría de las plantas y, sin embargo, los valores comprendidos entre 1,0 y 4,0 µg B/ml producen necrosis celular siendo inadecuadas para las plantas [12]

Los cultivos pueden clasificarse, atendiendo a la concentración máxima permitida de Boro en el agua de riego, en tres categorías por orden de tolerancia creciente:

a) Cultivos sensibles (0,30-1,00 µg B/ml): manzano, cerezo, limonero, naranjo, peral, melocotonero, pomelo, aguacate, olmo, albaricoquero, higuera, vid, ciruelo y judías.

b) Cultivos semitolerantes (1,00-2,05 µg B/ml): cebada, alfalfa, repollo, zanahoria, lechuga, cebolla, patata, calabaza, espinaca, tabaco, olivo, rosal, tomate y trigo.

c) Cultivos tolerantes (2,05-4,00  $\mu\text{g B/ml}$ ): espárrago, arándano, algodón, pepino, gladiolo, sésamo, tulipán, remolacha, haba, pasto, menta y centeno.

Las plantas tolerantes acumulan Boro a una velocidad baja mientras que las plantas sensibles lo hacen muy rápidamente. Se establece que las diferencias de tolerancia al Boro en plantas puedan ser causadas por las distintas proporciones de acumulación de Boro en hojas y no por las diferencias de sensibilidad en ellas. Así, las diferencias del tiempo necesario en las plantas para mostrar síntomas de toxicidad se basan únicamente en dicha acumulación.

Otras causas de los síntomas de toxicidad en las plantas pueden ser los suelos derivados de sedimentos marinos, suelos de las regiones áridas o semiáridas o de suelos derivados de una roca madre rica en Boro encontrándose éste en solución como ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) o como Bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

La adsorción del Boro juega un papel importante en la determinación de la cantidad de Boro disponible para la absorción por las plantas. El Boro asimilable (extraíble en agua caliente), que consiste sobre todo en ácido bórico  $\text{B}(\text{OH})_3$ , es muy pequeño en relación al Boro total (entre 0,1 y 3  $\mu\text{g B/ml}$ ). El Boro total (entre 2 y 200  $\mu\text{g B/ml}$ ) que principalmente depende del tipo de suelo, se encuentra bajo las siguientes formas: en el interior de los minerales silicatados (no asimilable por las plantas); adsorbido sobre los minerales arcillosos (con un máximo de absorción hacia pH 8,5-9); adsorbido sobre hidróxidos de hierro y aluminio (con un máximo de absorción entre pH 8-9 para hidróxidos de hierro y hacia pH 7 para hidróxido de aluminio); y ligado a la materia orgánica (provocando un aumento del contenido en Boro en las plantas). Generalmente al aumentar el pH del suelo, la adsorción del Boro por parte de éste es mayor y, en consecuencia, la disponibilidad para las plantas menor.

La textura del suelo es también un factor importante a considerar. Los suelos con textura ligera contienen en general mayores cantidades de Boro soluble que los suelos de textura gruesa debido a que en estos el Boro es adsorbido por la arcilla, quedando restringida la lixiviación.

Las condiciones climáticas pueden tener relación con la tolerancia al Boro, pero no en todos los cultivos los efectos son los mismos, sino que unos acumulan más Boro en condiciones de altas temperaturas y climas secos y otros lo hacen a bajas temperaturas y humedades más altas.

Los componentes minerales del suelo también influyen en la disponibilidad de Boro. En suelos alcalinos con presencia de iones Ca



libres la disponibilidad de Boro es mucho menor. Lo mismo ocurre para el magnesio.

El Boro es absorbido por un flujo hídrico a través de las raíces de las plantas bajo la forma de ácido bórico no disociado, sigue el flujo de la transpiración, y es transportado únicamente en el xilema, ya que es en gran parte inmóvil en el floema. Se ha demostrado que puede haber un control genético en el transporte de dicho elemento [Domínguez, *Los microelementos en la agricultura*. Ed. Mundi-prensa].

La distribución de Boro en las plantas no es uniforme. Su acumulación es más alta en las hojas que en raíces, tallos y frutos, aunque existen excepciones como el melocotonero y el cerezo.

El contenido de Boro en las plantas varía con las especies, la edad y los órganos analizados, de tal manera que los síntomas de toxicidad generalmente aparecerán por encima de 200 µg B/ml. Estos síntomas coinciden en la mayoría de los cultivos con necrosis progresiva de las hojas que comienza por un amarilleamiento de los bordes de las hojas, progresa entre los nervios laterales hacia la nervadura central y termina con un oscurecimiento y la posterior necrosis. Las monocotiledóneas muestran necrosis en las puntas, mientras que en las dicotiledóneas la necrosis es tanto marginal como apical. Existen excepciones, como la cebada, en donde la necrosis aparece primero en forma de manchas en la sección terminal de la hoja y finalmente las manchas necróticas se funden [Sardá y de Torres, *Boro micronutriente agrícola*. Ed Borax España, S.A.].

A pesar de que los síntomas de toxicidad son provocados por una aplicación excesiva de Boro, el rendimiento comercial del cultivo no se ve afectado hasta que los síntomas visibles son muy graves. Sin embargo, en el caso de plantas ornamentales esto no ocurre ya que un buen rendimiento implica la ausencia total de hojas con síntomas necróticos.

Según Leeden et al. [5] algunos cultivos como limón y naranja son sensibles al Boro, clasificando el agua para el riego como excelente si el nivel de Boro es inferior a 0,33 mg/l y bueno si la concentración es de entre 0,33 y 0,67 mg/l.

#### **Aguas de riego según su concentración de Boro, mg/l (Leeden, 1991)**

	Óptima	Buena	Inapropiada
Algodón	< 0.67	0.67-1.33	> 2.50
Brócoli, lechuga, cebolla	< 1	2 – 3	> 3.75
Tomate	< 0.67	0.67-1.33	> 2.50
Cítricos	< 0.33	0.67-1.25	> 1.50

Otros autores como Rowe y Abdel-Magid [6] distinguir entre los usos del agua a corto y largo plazo y considerar 0,75 mg/l para el riego a largo plazo y 2 mg/l para uso a corto plazo como los límites de Boro por encima de los cultivos se ven afectados.

**Aguas de riego según su concentración de Boro, mg/l (Rowe, 1986)**

Corto plazo	Largo plazo
< 2	< 0.75

En algunas plantas de desalación destinadas a riego como en Ashkelon, Israel, los niveles de Boro requeridos han de ser inferiores a 0,5 mg/L ya que el agua se utiliza para el riego de cítricos. La Desaladora Virgen del Milagro en Mazarrón, España se encuentra en operación desde 1995, con niveles de Boro superiores a 1 mg/L para el riego de cítricos, si bien el permeado de esta planta, se mezcla con aguas de otras fuentes, reduciendo los niveles en el agua que finalmente se aplica a los cultivos por debajo de 1 mg/l.

Por el contrario, sí que existen estudios realizados por investigadores, como el desarrollado por los técnicos del CEBAS, J.J. Alarcón y F. Pedrero en 2006 [10], donde se pone de manifiesto que las aguas reutilizadas, contienen concentraciones de Boro superiores a 0,5 mg/l. Estas aguas vienen siendo utilizadas en agricultura desde hace bastantes años en la Región de Murcia, sin que nadie las haya calificado de no aptas para el riego, aun cuando sus niveles de Boro oscilan entre 0,84 y 1,39 mg/l de acuerdo con el citado estudio. En estudio de analizan los efectos del riego con dos tipos de aguas; en el primer caso el agua procede de un sistema de depuración terciario mezclado al 50% con agua de pozo, mientras que en el segundo caso el agua procede de una depuradora con un tratamiento secundario, lo que lleva a pensar que los niveles de Boro de las aguas reutilizadas se encuentran en su mayoría por encima de 1 mg/l.

En dicho estudio, se demostró que tras regar durante más de un año limoneros, con aguas cuyos niveles de Boro eran de 0,84 y 1,39 mg/l, los niveles de Boro foliares eran de 27 y 42 mg/l respectivamente, cuando los primeros síntomas de toxicidad aparecen con niveles foliares entre 100 y 130 mg/l, considerando fitotóxicos niveles foliares superiores a 200 mg/l. Concluía el estudio afirmando que, si bien la concentración de Boro (entre 0,84 y 1,39 mg/l) era uno de los principales problemas asociados al uso de aguas depuradas, no se habían observado niveles de toxicidad en hojas de limoneros.

A finales de 2008, se reutilizaban en la región de Murcia, casi 100 Hm<sup>3</sup> de aguas depuradas procedentes de estaciones desaladoras, de las cuales

el 50 % disponen de tratamiento terciario, cuyas concentraciones de Boro no se han dado a conocer, pero siguiendo los ejemplos de las dos instalaciones reseñadas en el estudio anterior, sobrepasarían 1 mg/l, límite que por otra parte es propuesto por J.J. Alarcón como máximo admisible, para calificar un agua de riego como optima, a diferencia de Leeden que establecía el máximo admisible en 0,33 mg/l.

Así pues, la calificación de un agua de riego como optima o buena en función de su contenido en Boro, varía de un autor a otro, pero lo que es cierto es que en la mayoría de las plantas de desalación para riego, el permeado se mezcla con aguas de otras fuentes como pozos o plantas depuradoras, con lo que el nivel de Boro en el permeado, no constituye un problema.

El agua desalada puede ser empleada en agricultura, con las mismas limitaciones que cualquier otra, y que no pasan más que por considerar su composición junto con las características del suelo, método de irrigación, tipo de cultivo y fertilización, todo ello dentro del pertinente estudio agronómico.

## **6. Utilización política**

Otro motivo de la actualidad del Boro, ha sido la utilización política que se ha hecho en los últimos años. La derogación del Transvase del Ebro mediante el RD 11438 Real Decreto Ley 2/2004, de 18 de junio, por el que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional., supuso el inicio de una campaña mediática sin precedentes entre partidarios y detractores del trasvase, y como consecuencia entre partidarios y detractores de la desalación. En este entorno, el Boro se convierte en protagonista involuntario de noticias y artículos carentes la mayoría de las veces de rigor científico. Columnistas, comentaristas y periodistas se lanzan a una carrera por publicar artículos donde se vierten una gran cantidad de falsas acusaciones contra los efectos del Boro y su concentración en el agua desalada. Cualquiera podía escribir sin contrastar y documentar las informaciones vertidas, lo que origina una gran alarma social y una predisposición de la sociedad en contra de la desalación.

Titulares y afirmaciones como las enunciadas a continuación muestran el alarmismo generado por las publicaciones en los diarios.

“Desalación de agua de mar: la muerte anunciada de los cítricos” (La Verdad, 9/9/04)

“Si las desaladoras nos van a matar lentamente, entonces debemos pararlas” (El Faro, 29/11/04)

“El Boro es un componente que puede causar vómitos mareos y problemas de fertilidad cuando se bebe” (Esther Mucientes, El Mundo, 21/04/09)

La desalación es un fracaso que no puede evitar la presencia de Boro en el agua permeada” (Antonio Cerdá, ABC, 23/4/09)

“El PP justifica la oposición a la Desaladora de Torrevieja debido al riesgo de atrofia testicular” (Pere Rostoll, Levante, 3/04/08)

“La exposición al Boro -una sustancia que, según el diputado, aparece en el agua desalada- genera irritación gastrointestinal leve y atrofia testicular” (Domingo Soler, Levante, 3/04/08)

Un ejemplo de la manipulación informativa es el artículo publicado por el diario La Verdad en Septiembre de 2004, y cuyo texto integro se reproduce más adelante. En dicho artículo, el Director General de Modernización de Explotaciones y Capacitación Agraria de la Región de Murcia, Ángel García Lidón afirmaba que las desaladoras producían agua desalada con hasta 2,5 mg/l de Boro y que su empleo provocaría que los suelos quedaran inservibles para la agricultura. Dichas cifras provenían de un estudio elaborado por la Universidad Politécnica de Orihuela, que nunca se publicó. Este informe fantasma daba pie una vez más a la publicación de una noticia culpando al Boro de los daños en los cítricos.

### [Un ensayo con aguas de una desalobrador de Cartagena causó daños en los cítricos](#)

La Verdad, 29-09-2004.

#### **El responsable de Modernización de Explotaciones y Capacitación Agraria cree que «los suelos quedarán inservibles» con la desalinización**

El director general de Modernización de Explotaciones y Capacitación Agraria de Murcia, Ángel García Lidón, consideró ayer en un comunicado que el mensaje de «la desalinización masiva que practica la ministra de Medio Ambiente, Cristina Narbona, genera preocupación entre los agricultores de la Región y supondría una seria amenaza para los cítricos, dejando los suelos inservibles».

El Departamento de Citricultura del IMIDA ha elaborado un caso práctico en una planta desalobrador que utiliza aguas procedentes del campo de Cartagena, cuyo contenido total en Boro es de 0,75 mg/l. «El riego con este recurso provocó graves

problemas en los cítricos con daños en hojas y desfoliaciones de árboles que redujeron drásticamente la cosecha», recuerda Lidón.

García Lidón subraya que la desalinización es una solución puntual al problema del déficit estructural de la cuenca del Segura «y nunca la respuesta definitiva a nuestros problemas, tal y como ha defendido siempre el Gobierno Regional».

García Lidón ha hecho estas declaraciones tras haberse hecho ayer públicos, a través del diario La Verdad, los detalles de un estudio de la Universidad Politécnica de Orihuela que advierten de que el agua desalinizada «causa graves daños a los cítricos».

A su juicio, «diferentes experiencias con aguas salobres en la Región ya han demostrado la inconveniencia de la desalinización como único modo de obtener recursos hídricos para la agricultura».

Lidón Añadió que los cítricos «son plantas sensibles a la salinidad, sobre todo a los cloruros y al Boro, presente en exceso en las aguas desaladas».

Este elemento provoca en los cítricos el envenenamiento de los sistemas enzimáticos que regulan la fisiología de las plantas, así como daños en las hojas y disminuciones de la cosecha.

La presencia de Boro en el agua de mar desalada alcanza los 4 y 5 miligramos por litro y las membranas de las plantas desalinizadoras sólo son capaces de reducir este elemento en un 50%, por lo que la presencia del Boro sería de hasta 2,5 miligramos por litro de agua, agregó el experto.

De igual forma, indicó que tal cantidad sería «excesiva para la supervivencia del cultivo de cítricos en la Región de Murcia, que sólo toleran entre 0,50 y 0,75 miligramos por litro».

Según dijo, este elemento se convierte en más perjudicial con el paso del tiempo, puesto que se acumula en el suelo salinizándolo «e hipotecando el futuro del desarrollo de los cítricos».

Sin embargo, no hubo ninguna referencia en prensa, del estudio elaborado por los investigadores del CEBAS mencionado en el capítulo anterior, con conclusiones claras respecto a las concentraciones de Boro en el agua depurada y la ausencia de efectos tóxicos de su uso en el riego de cítricos y más concretamente sobre limoneros.

Igualmente sucedía con el abastecimiento, donde se alarmaba a la población de la Región de Murcia, que empezaba a sentir cada vez más irritaciones de nariz, garganta y ojos, conforme se iban inaugurando desaladoras promovidas por el gobierno central. El artículo reproducido a continuación y publicado por Manuel Buitrago en La Verdad en 2007, es un claro ejemplo de ello.

## Los parámetros del Boro

La Verdad, 15-07-2007.

### **El agua sale de las desalinizadoras con niveles de Boro superiores a los permitidos para la población.**

Ministra, tenemos un problema. El departamento de Cristina Narbona se ha encontrado con un serio inconveniente en su programa de desalinización. Los niveles de Boro que se encuentran en el agua desalinizada superan el máximo autorizado por la ley para el consumo humano, principalmente en verano. Los técnicos y analistas han encontrado concentraciones de este elemento químico hasta un 20% por encima de lo tolerable para la salud. La consecuencia es que las aguas desalinizadas tienen que ser mezcladas con aguas continentales para reducir la concentración de este elemento, ya que resulta perjudicial para la salud en elevadas concentraciones.

El agua desalinizada que suministra la Mancomunidad de los Canales del Taibilla se puede consumir sin problemas, pero siempre que se mezcle con otras naturales de mejor calidad, subrayan fuentes del ministerio.

Los responsables de Medio Ambiente ya están estudiando la posibilidad de instalar un doble sistema de membrana en las grandes plantas desalinizadoras, lo cual encarecerá el proceso y probablemente el precio final del agua. De las tres plantas desalinizadoras que hay en marcha en la cuenca del Segura, en dos de ellas el Boro se dispara. Ambas se pusieron en marcha entre los años 2004 y 2005 y producen 48 hectómetros cúbicos anuales, el consumo equivalente a casi medio millón de habitantes de Murcia y Alicante.

Un real decreto de febrero del año 2003 de vigilancia alimentaria determinó que la tolerancia del ser humano al Boro no puede sobrepasar una concentración de 1 miligramo por litro (una parte por millón). En los cultivos, especialmente cítricos, el margen es todavía más reducido y no debe superar los 0,5 miligramos.

Según ha podido saber La Verdad, las membranas que se encargan de separar la sal del agua en el proceso de ósmosis inversa no retienen suficientemente el Boro de los caudales procedentes del mar. Ello se debe a la temperatura del agua y al hecho de que en verano aumenta la concentración de este elemento en el mar. Si a eso se une el envejecimiento de las membranas, el resultado es que la retención de Boro no es óptima.

En concreto, en las dos primeras desalinizadoras que se pusieron en marcha en la cuenca del Segura, en Alicante y San Pedro del Pinatar, los niveles oscilan entre 1,1 y 1,2 partes por millón. No sucede lo mismo en la segunda planta de San Pedro, que es la más moderna y se puso en funcionamiento en enero pasado. Sus membranas no están envejecidas y la concentración está al límite de lo permitido de 1 miligramo. La incertidumbre ahora es que estas membranas pierdan su eficacia con el paso de los años y se genere el mismo problema.

El inconveniente del Boro se produce sobre todo durante los meses de más calor en los que aumenta su concentración en el agua de mar. También son los meses de mayor consumo. Este problema no se produce con el agua salobre. Aunque los pozos próximos a la costa puedan estar en contacto con el mar, existe un primer filtrado natural que rebaja la salinidad y la carga de otros minerales.

Diversas fuentes consultadas explicaron que las dos primeras desalinizadoras se

adjudicaron antes del real decreto del 2003, por lo que se han encontrado con un «problema imprevisto»; si bien la entrada en funcionamiento de la primera planta de San Pedro del Pinatar se produjo, con un vertido provisional, en mayo del 2005. En las desalinizadoras que están a punto de ponerse en marcha, como la de Valdelentisco, en Cartagena, las membranas son de última generación y retienen más el Boro.

Lo mismo sucederá con las plantas de Torrevieja y Águilas que tiene en construcción la sociedad Aguas de las Cuencas Mediterráneas, según informa el Ministerio de Medio Ambiente. En estas tres últimas instalaciones, los niveles de Boro no pueden superar los 0,5 miligramos por litro, ya que la mayor parte de la producción va destinada a los regadíos. Está comprobado que el Boro alto produce en los cítricos un daño irreversible, con quemaduras, manchas y caídas de las hojas. En los seres humanos puede afectar al estómago, hígado y riñones siempre que se consuma en grandes cantidades. Si la exposición es pequeña, causa irritación de nariz, garganta y ojos.

En otra noticia publicada también por el periodista Manuel Buitrago en ABC, en Agosto de 2007, el gerente del Ente Público del Agua de la Región de Murcia, Amalio Garrido afirmaba que la Desaladora de Escombreras promovida por el gobierno regional, no tenía ningún problema con el Boro porque sus membranas eran de última generación.

Las desaladoras promovidas por Ministerio tras la derogación del Trasvase del Ebro tienen graves problemas con el Boro, y las dependientes del Gobierno Regional de Murcia, por el contrario no presentan ningún tipo de problema. No parece muy serio que las desaladoras tuyas son malas y las mías buenas.

### [La desalinizadora de Valcárcel se retrasa por problemas técnicos.](#)

ABC, 22-8-2007.

Los municipios que han firmado convenios con el Gobierno regional murciano para comprar agua de la desalinizadora de Escombreras tendrán que esperar a octubre, debido al retraso que se está produciendo con la puesta a punto de la planta, según explicaron ayer el consejero murciano de Agricultura y el gerente del Ente Público del Agua, Antonio Cerdá y Amalio Garrido. Este último puntualizó que el retraso no es significativo «porque estamos dentro de los plazos razonables para poner en marcha una instalación tan compleja como ésta».

El pasado 25 de abril se inauguró la unidad de pruebas por parte del presidente regional Ramón Luis Valcárcel. Un acto en el que se anunció que en julio empezaría a llegar el agua a cuatro de los 19 municipios dispuestos a comprarla. Esta nueva

desalinizadora producirá en una primera fase 13 hectómetros cúbicos anuales, para llegar a los 50 hectómetros en el año 2010. El Gobierno regional y el Ente aseguran que esta agua será más barata que la que produce el Ministerio de Medio Ambiente.

Amalio señaló ayer que los problemas técnicos a los que se enfrentan «son normales cuando se trata de ajustar los equipos». Explicó que hay que modificar los bombeos de alta presión, ya que han comprobado que el aumento de la temperatura del agua hace que aumente la permeabilidad de las membranas y dejen pasar más agua de mar de la necesaria. Esto redundaría en la calidad del líquido y en la capacidad de retención de elementos no deseables, como el Boro.

#### Enfrentamiento

Precisamente el Ministerio se está enfrentando a este problema derivado de la temperatura del agua, puesto que en dos desalinizadoras los niveles de Boro son superiores a los permitidos.

Garrido precisó que «no tenemos ningún problema con el Boro porque nuestras membranas son de última generación», al combinar un sistema de micro filtrado con la ósmosis inversa.

El Ministerio de y el Gobierno regional han tenido sus roces con esta desalinizadora, ya que en el primero sostienen que carece de los permisos necesarios.

También en octubre empezará la producción de agua desalinizada en la planta de Valdelentisco (Cartagena), una vez que termine la construcción del entronque con las tuberías de Canales del Taibilla y se resuelva el suministro de electricidad por parte de Iberdrola. En una primera fase se

Se han vertido sandeces y estupideces sobre la desalación, pero quizás de entre todas las manifestaciones que a modo de ejemplo se incluyen en este informe, destaquen las publicadas en el Diario Levante en Abril de 2008, donde un político se atrevió a decir que nunca consentirían que la desaladora de Torrevieja funcionara porque hundiría el turismo de la ciudad, ya que causaba atrofia testicular.

No deja de sorprender cómo semejante panda de indocumentados pueden tener tanto eco mediático, y lo que es más grave, cómo en vez de empujar juntos el carro del progreso de nuestro país, se dedican a obstruir cualquier atisbo de crecimiento. Sucede a menudo que actitudes pesebriles se vean estimuladas por políticos de medio pelo, que no miran más allá de su ombligo.



## El PP justifica el bloqueo a la desaladora de Torrevieja por el riesgo de atrofia testicular

Diario Levante, Comunidad Valenciana, 03-04-2008

Ya lo dijo, en su día, Miguel Arias Cañete, ministro del último gabinete de José María Aznar, cuando aseguró que el trasvase del Ebro se aprobaría "por cojones" durante la legislatura que terminó, a la postre, en 2004 con la victoria de Rodríguez Zapatero y, por extensión, con la supresión de la conducción hídrica por decreto ley.

Pere Rostoll, Alicante Es decir, los socialistas acabaron con el trasvase casi por la misma regla de tres que proponía Arias Cañete.

Ayer la Diputación, en el enésimo debate sobre el agua que acoge el Palacio Provincial, siguió la estela que marcó Cañete. Se discutía una moción socialista en la que se exigía a las administraciones controladas por el PP -Generalitat y Ayuntamiento de Torrevieja- que desbloqueen la puesta en marcha de una desaladora que producirá 80 hm<sup>3</sup> anuales y que dará servicio a la mayoría de municipios de la Vega Baja. Tras un primer turno plagado de acusaciones, fue el diputado del PP, Domingo Soler, el que, en réplica al socialista Roque Moreno, anunció el voto en contra de su grupo alegando que el uso del agua que pueda generar la futura planta desalinizadora podría acabar originando, entre otras dolencias, atrofia testicular.

"La exposición al Boro -una sustancia que, según el diputado, aparece en el agua desalada- genera irritación gastrointestinal leve y atrofia testicular", expuso Soler en medio de la sorna general tanto de sus compañeros del PP como de la bancada socialista mientras dejaba claro que "nunca vamos a consentir" que la infraestructura funcione tal y como ha previsto el Ejecutivo socialista porque sería "hundir el turismo de Torrevieja". Durante el pleno, en argumentos que confirmó a este periódico tras la sesión, el diputado del PP, que citó un estudio de la Universidad de Chile, explicó que el agua desalada contiene restos de Boro que las membranas de la instalación, en el punto de salida del líquido, no son capaces de neutralizar.

Si los restos de la sustancia que aparecen en el agua desalada, según el relato de Domingo Soler, se unen a los de agua depurada o a los de las propias conducciones de la red general, el volumen de Boro, en ese caso, alcanzaría los dos gramos por metro cúbico, el doble de lo permitido. Y, como recalcó Soler, una exposición "continuada" a esta sustancia genera, entre otras cosas, la citada atrofia testicular.

En Abril de 2009, una nueva batalla política se entabló cuando la Consejería de Sanidad del Gobierno de Canarias, prohibió el uso del agua del grifo para beber, cocinar o elaborar alimentos, debido al elevado contenido en Boro. Dicha prohibición generó un enfrentamiento entre las autoridades sanitarias municipales y autonómicas, curiosamente en

manos de diferentes partidos políticos. Nuevamente el Boro causante de una gran alarma social y único responsable de la mala calidad del agua de abastecimiento.

Una vez más el gobierno regional de Murcia, aprovecho el episodio para seguir vertiendo manifestaciones en contra de la Desalación como las recogidas por el diario La Verdad, en Abril de 2009 acerca de los niveles de Boro en Las Palmas de Gran Canaria.

### **NIVELES DE BORO EN LAS PALMAS.**

La Verdad, 22-4-09.

Por otra parte, Cerdá insistió en que "la desalación es un fracaso", en referencia al "exceso" de Boro detectado en Las Palmas en el agua procedente de la desalinización. El consejero murciano indicó que las membranas utilizadas en las plantas desalinizadoras "no pueden impedir la presencia de este elemento en el agua", y explicó que para eliminarlo "habría que multiplicar el precio del agua por cuatro". Por último, recordó que en Las Palmas "nunca se ha utilizado el agua desalada para beber ni para cocinar", tras lo que comentó que los filtros de las plantas "han quedado obsoletos, lo que ha incrementado la concentración de los niveles de Boro, y ha obligado a las autoridades de salud pública a prohibir su uso para consumo humano".

Pues bien, a pesar de todos los intentos por demostrar cuan perjudicial es el agua desalada debido a su contenido en Boro, nada se ha demostrado, ya que hasta la fecha no ha existido ningún informe científico que lo demuestre, y si han existido declaraciones interesadas de políticos que por mantener la disciplina de partido, han antepuesto los intereses particulares frente a los del conjunto de la sociedad.

## **7. Experiencia en Valdelentisco**

### **7.1. Introducción**

Como se ha señalado en los capítulos anteriores, la planta de desalación de Valdelentisco se concibió inicialmente en el año 2000 para su uso exclusivamente en regadío. La posterior incorporación de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, extendió la aplicación del agua desalada al abastecimiento, mediante la firma en el año 2003 del Convenio de Explotación con Acsegura.

La tabla siguiente muestra la cronología de los principales hechos acaecidos relativos la Desaladora de Valdelentisco, tanto desde el punto de vista administrativo como de ejecución de las obras.

**Tabla 3. Valdelentisco**

Enero 2000	Redacción Estudio Alternativas
Junio 2000	Elaboración Pliegos Concurso
Febrero 2001	Memoria Resumen Inicio Evaluación Impacto ambiental
Abril 2001	Planta Piloto
Agosto 2001	Licitación Concurso Proyecto y Obra
Noviembre 2001	Anulación Concurso
Diciembre 2001	Nueva licitación Concurso
Febrero 2002	Entrega de ofertas
Diciembre 2002	Incorporación MCT como usuario para abastecimiento
Mayo 2003	Firma Convenio Usuarios y pre adjudicación
Febrero 2004	Declaración Impacto Ambiental
Julio 2004	Aprobación Proyecto Constructivo
Noviembre 2004	Publicación en el BOE de la Adjudicación
Enero 2005	Acta Replanteo e Inicio de las Obras
Marzo 2007	Fin de las obras

## 7.2. En la fase de licitación

Los estudios de viabilidad iniciados por Aguas de la Cuenca del Segura en el año 2000 con la participación activa de entonces las dos agrupaciones de regantes, que englobaban las denominadas Desaladora Norte y Desaladora Sur, no hacían ninguna recomendación sobre la calidad del agua desalada, ni que debía ser tal que su contenido en Boro no superara los 0,5 mg/l.

No obstante, durante la redacción de los Pliegos de Condiciones del Concurso de licitación del proyecto en 2003, se introduce la demanda de los agricultores de exigir un nivel de Boro inferior a 0,5 mg/l, debido a que un porcentaje importante de los cultivos a ser regados eran cítricos.

De esta forma se exigía la presentación de una solución variante obligatoria, que recogiera la opción de mantener el nivel de Boro por debajo de 0,5 mg/l.

Textualmente, el pliego de licitación de la Desaladora de Valdelentisco, solicitaba:

” La calidad del agua producto, teniendo en cuenta que su destino será el riego, ha de cumplir con los siguientes requisitos:

Solución Base y Variante 2 (Opcional)

- 1º.- El contenido en Cloruros ha de ser inferior a 275 mg/l
- 2º.- Salinidad total inferior a 600 mg/l.
- 3º.- La concentración de Boro será inferior a 1 mg/l
- 4º.- El pH debe estar comprendido entre 7 y 8
- 5º.- El SAR del agua permeada tras la corrección del pH será inferior a 8

Solución Variante 1 (Obligatoria)

- 1º.- El contenido en Cloruros ha de ser inferior a 210 mg/l
- 2º.- El contenido en ión Sodio ha de ser inferior a 115 mg/l
- 3º.- Salinidad total inferior a 450 mg/l.
- 4º.- La concentración de Boro será inferior a 0.5 mg/l
- 5º.- El pH debe estar comprendido entre 7 y 7.5
- 6º.- El SAR del agua permeada tras la corrección del pH será inferior a 7”

Como se puede observar es la primera vez que en un concurso público, se especificaban otra serie de parámetros a cumplir en la calidad del agua desalada, aparte de las sales totales disueltas o el cumplimiento del RD vigente de calidad de las aguas de abastecimiento. En Valdelentisco se incorporaron parámetros relativos a la calidad de las aguas de riego y su efecto sobre los cultivos y los suelos.

Una vez que se presentaron las ofertas, los regantes se dieron cuenta de que el agua permeada con un nivel de Boro inferior a 0,5 mg/l era entre un 15 y un 20% más cara que aquella cuyo nivel de Boro se situaba por debajo de 1 mg/l, por lo que aceptaron como agua de buena calidad para riego esta última. En este caso, la inversión también fue sancionada con un 16% extra frente al nivel de 1 mg/l. En la tabla 4 se muestran las diferentes inversiones en euros, para las plantas con niveles de Boro en permeado de 0,5 y 1 mg/l basadas en los datos reales de las ofertas presentadas al concurso de licitación de la planta de Valdelentisco en el año 2002.

**Tabla 4 Ofertas de licitación de Valdelentisco 2002**

CAPEX (Euros)	Nivel de Boro		Diferencia	
	<1 mg /l	<0,5 mg /l	%	Euros
A	89.314.830	104.523.625	17%	15.208.795
B	87.798.694	99.754.669	14%	11.955.975
C	74.622.458	89.050.000	19%	14.427.542
D	76.355.477	88.229.000	16%	11.873.523
E	77.261.180	87.345.550	13%	10.084.370
Media	81.070.528	93.780.569	16%	12.710.041

Teniendo en cuenta la ampliación de la desaladora a 200.000 m<sup>3</sup>/día de producción, el costo adicional debido a la aplicación del segundo paso para obtener un permeado con el nivel de Boro inferior a 0,5 mg/l habría sido alrededor de 20 M Euros.

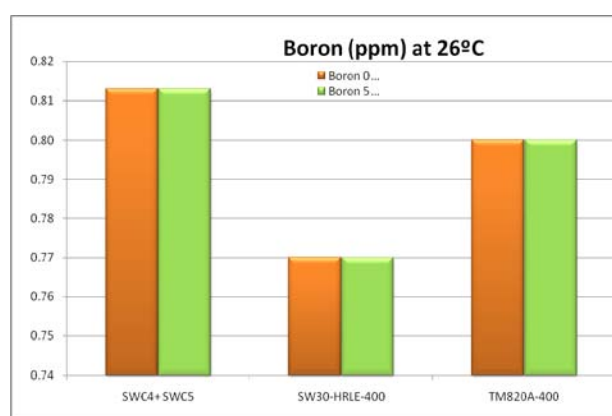
### 7.3. En la fase de diseño de las instalaciones

Un análisis profundo de diferentes fabricantes de membranas se llevó a cabo durante la fase de diseño a través de una planta piloto, incluyendo no sólo el rechazo de Boro, sino también la presión de trabajo y la calidad del permeado. Tres fabricantes de membranas fueron analizados con respecto a los niveles Boro garantizados en el permeado en relación con la temperatura y pH.

Tal y como se mencionó en los antecedentes, según un estudio realizado por Infilco y presentado en el Congreso Nacional de Aedyr en el año 2000, ninguna de las membranas existentes en el mercado, conseguía por aquel entonces, reducir los niveles de Boro por debajo de 1 mg/l partiendo de un agua de mar con una concentración de 4,9 mg/l.

Sin embargo, durante las pruebas piloto realizadas por Acsegura durante los años, 2001 y 2002, con membranas de nueva generación, se demostró que era posible obtener niveles de Boro en el permeado por debajo de 1 mg/l con un simple paso, a partir de concentraciones en el agua de mar entre 4 y 5,2 mg/l.

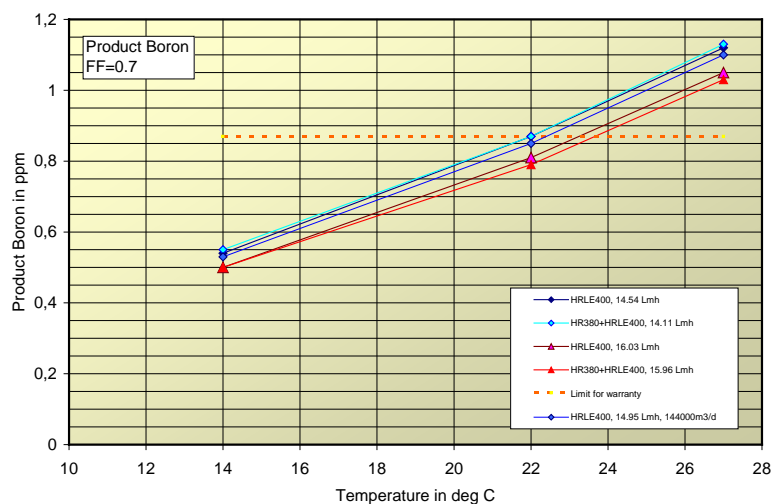
**Figura 6 Los niveles de Boro en planta piloto**



Una vez que se selecciono el fabricante de las membranas (Filmtec, Dow) se procedió a ajustar el diseño final en base a las garantías definitivas

acordadas con el fabricante. En la figura 7, se muestra el Boro máximo garantizado por Dow en función de la temperatura para un pH de 7,95. Básicamente, establecía la garantía en un nivel de Boro por debajo de 1 mg/l hasta 22 °C lo que ocurría el 80% del tiempo. Según las proyecciones [3] la temperatura podría alcanzar hasta 25 ° C lo que ocurría el 90% del tiempo. El fabricante añadía un factor de garantía de 1,25 para garantizar los valores de las proyecciones de software por debajo de 1 mg/l.

**Figura 7 Garantía nivel de Boro**



En contra de la tendencia generalizada durante la época de la fase de licitación, que promulgaba la adopción de un segundo paso en las desaladoras para garantizar concentraciones de Boro en el permeado inferiores a 0,5 mg/l, la decisión de elegir un solo paso, con el nivel de Boro inferior a 1 mg/l a un pH de 8, podría llevar implícito un incumplimiento de las exigencias de calidad del agua para el 20% del tiempo, es decir para aquellos periodos en que a lo largo del año la temperatura del agua de mar superara los 22° C. Sin embargo, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones para apoyar a la decisión adoptada, aparentemente arriesgada.

- Límite de Boro de 1 mg/l. No había en la fecha de licitación de la obra en agosto de 2001, ningún estudio concluyente con respecto al impacto sobre la salud en los seres humanos, así como el hecho de que límite máximo admisible había ido cambiando en las últimas revisiones de la OMS y por lo tanto se esperaba que un nuevo límite más tolerante se podría establecer en un futuro más o menos cercano.

- El ajuste del pH mediante la adición cáustica entre pasos podría aumentar el rechazo de Boro, en caso de que fuera necesario para los periodos de altas temperaturas.
- Las proyecciones de las membranas mostraron un mayor rechazo de Boro que el garantizado por el fabricante de la membrana, que adicionalmente proponía la utilización de un factor de seguridad de 1,25 sobre los valores obtenidos en las proyecciones.
- La distribución de temperaturas en la zona del futuro emplazamiento de la captación, era en el 90% del tiempo inferior a 25 ° C y en el 98% del tiempo inferior a 26 ° C, lo que significaba que teóricamente los niveles de Boro serian superiores a 1 mg/l únicamente un 8 % del tiempo (1 mes).

**Tabla 5 Percentiles de proyecciones y garantías**

Boro (mg/l)	PERCENTIL PROYECCION % (INFERIOR)	PERCENTIL GARANTIA % (INFERIOR)	T <sup>a</sup> °C	PERCENTIL PROYECCION % (SUPERIOR)
0.61	1	1	18	46
0.78	46	36	22	30
0.97	69	56	24	10
1.19	95	68	26	2

Por lo tanto, debido al ahorro tanto en inversión como en operación y teniendo en cuenta las consideraciones anteriormente expuestas, se optó en la Desaladora de Valdelentisco, por mantener los niveles de Boro por debajo de 1 mg/l mediante la instalación de un simple paso.

#### 7.4. En fase de operación

La planta desaladora comenzó a operar en Enero de 2008, si bien durante el último trimestre de 2007, comenzaron las pruebas de puesta en marcha con el arranque de algunos de los primeros 6 bastidores instalados para una capacidad total de 72,000 m<sup>3</sup>/día.

Durante la fase de operación los registros de temperatura en alimentación a las membranas fueron entre 1 y 1,5 ° C más elevados que la temperatura del agua del mar considerada durante la fase de diseño. Este aumento de temperatura de 1 ° C por encima del mar debe ser añadido a las proyecciones de la membrana de diseño, debido al efecto de la temperatura sobre el rechazo de Boro. Basándose en los datos de

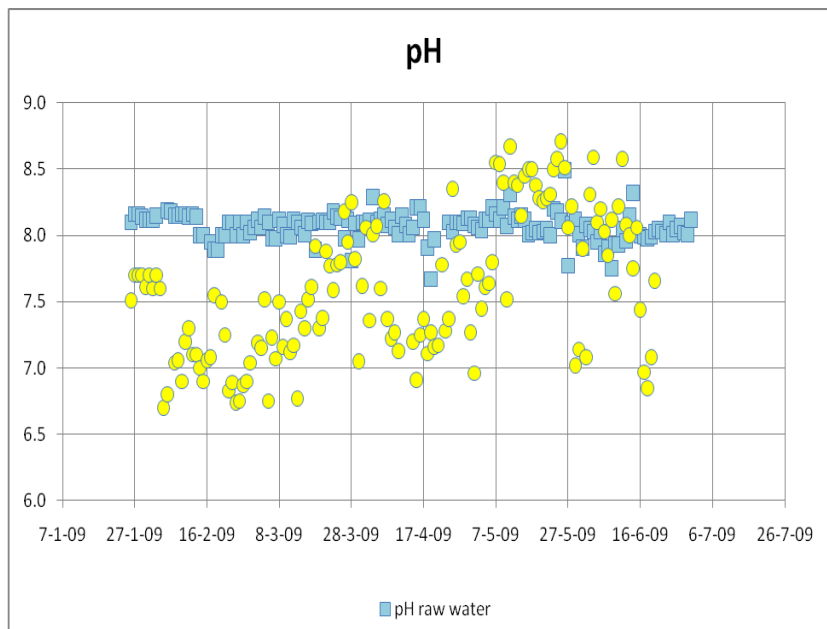
campo se observó que la distribución de temperaturas por encima de los 26° C era casi un 5% superior a lo proyectado.

**Tabla 6. Percentiles de proyecciones y operación**

PERCENTILES				
Boro mg/l	Temp. C	Proyección %	Real %	Dif. %
0.61	14	1	1,2	0.2
0.78	18	46	27	-19
0.97	22	69	93	24
1.19	26	95	99.8	4.8

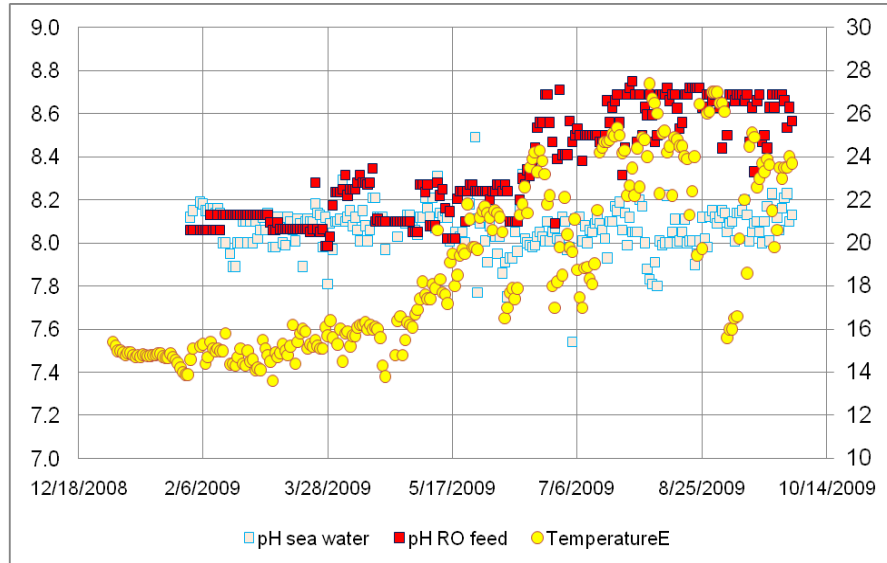
En los gráficos siguientes se pueden observar la variación de los niveles de Boro en función del pH y temperatura, tanto del agua de mar como de la alimentación a osmosis.

**Figura 8. Niveles de pH en agua de mar y segundo paso**

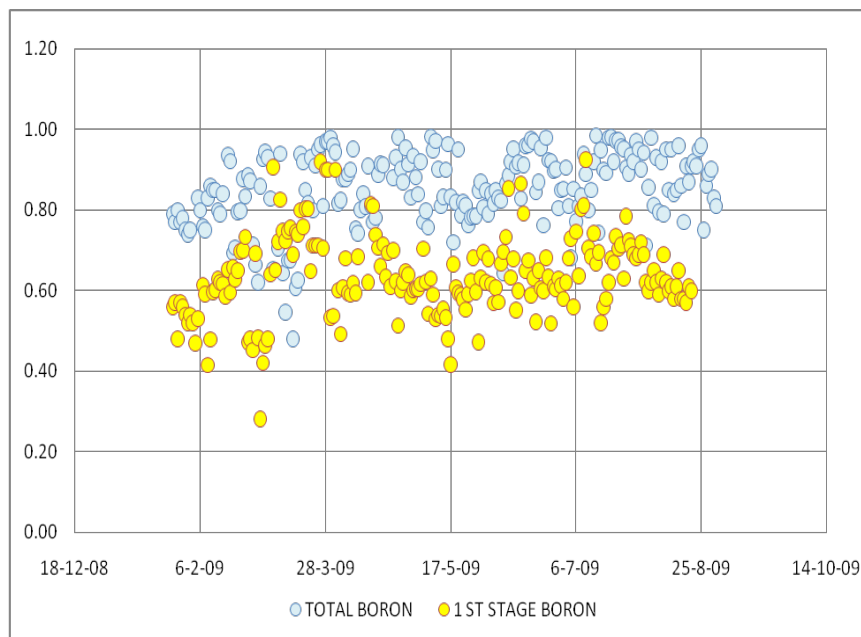




**Figura 9. Temperatura y pH en agua bruta y alimentación**



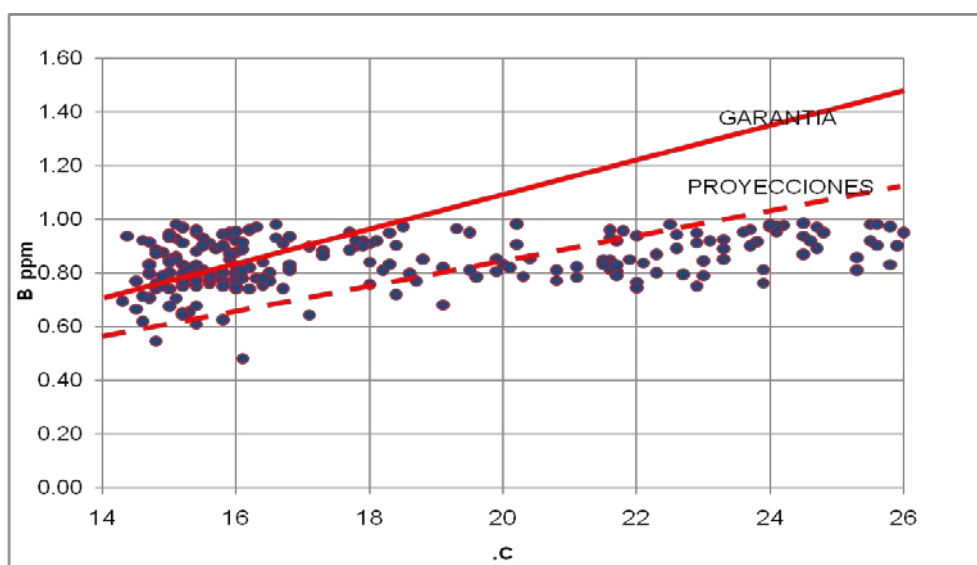
**Figura 10. Niveles de Boro en el permeado**



La figura 11 muestra los valores de Boro obtenidos durante la operación de la planta, en relación tanto con los valores de las proyecciones y los garantizados por el fabricante en función de la temperatura. En dicha gráfica, se observa que para bajas temperaturas, las membranas se han comportado peor de lo esperado, ya que los valores de Boro en el permeado, están por encima tanto de las proyecciones como de las garantías.

En el rango de temperaturas entre los 17 y los 20 °C, las membranas se han comportado de acuerdo con las garantías, pero no de acuerdo con las proyecciones, mientras que por encima de los 21 °C, los niveles de Boro han resultado incluso mejores de los proyectados y los garantizados.

**Figura 11. Comparativa entre los valores reales y los proyectados**

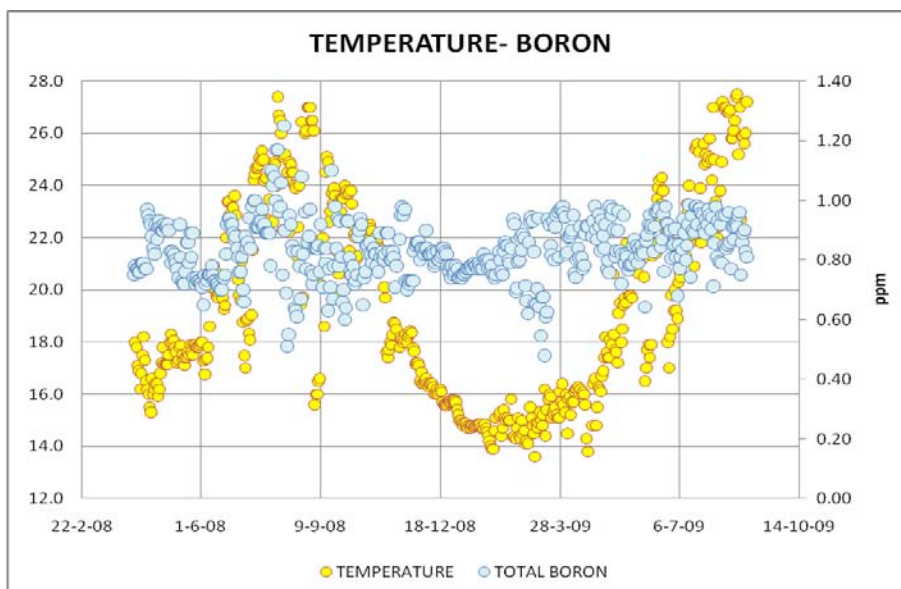


Por último, la figura 12 muestra los niveles de Boro y la fluctuación de temperatura a lo largo del periodo de operación de la planta desde Febrero de 2008 a Octubre de 2009, para el pH natural de agua de mar 8,1. Se puede observar que durante el verano de 2008, se presentaron periodos con valores puntuales de Boro por encima de 1 mg/l, llegando incluso a alcanzar valores máximos de 1,20 mg/l. Se desconocen los valores de pH y su gestión en el agua de alimentación a segundo paso durante esa época, pero presumiblemente no se operó de forma correcta

resultando en un incremento de los niveles de Boro por encima de 1 mg/l.

Sin embargo, en verano de 2009, la adecuada gestión de los niveles de pH y temperatura en los bastidores dieron lugar a que en ningún momento se sobrepasara el valor máximo de 1 mg/l en el permeado.

**Figura 12. Boro vs temperatura**



## 8. Aspectos económicos

Como se mencionó anteriormente, durante la fase de licitación para la planta de Valdelentisco, se alcanzó un aumento medio del 16% de coste adicional debido a la aplicación del segundo paso para obtener un permeado con el nivel de Boro inferior a 0,5 mg/l. Así, el costo de inversión extra estimada para la planta de Valdelentisco representaba cerca de 20 M de euros para 0,5 mg/l los niveles de Boro.

Si extrapolamos estas cifras a la inversión efectuada en las plantas de agua de mar incluidas en el programa AGUA del Ministerio de Medio Ambiente, podemos observar que en torno a 75 M Euros se han empleado en instalar un segundo paso en las principales desaladoras, como Torrevieja, Águilas, Bajo Almanzora o las ampliaciones de Alicante y San Pedro del Pinatar.

En cuanto a gastos de explotación, la diferencia entre 0,5 y 1 mg/l en los niveles de Boro fue de 7 cts Euro/m<sup>3</sup> más caro para el primer caso, lo que significa más de 125 M de euros para la vida útil de 25 años. Por lo tanto, la diferencia en los niveles de Boro para la Desaladora de Valdelentisco alcanzaría los 145 millones de Euros, sin tener en cuenta la actualización de la financiación de en los 25 años el tiempo la vida útil de las instalaciones. Esta cifra equivaldría a la inversión equivalente para una planta nueva de 162.000 m<sup>3</sup>/día asumiendo un coste medio de 893 euros por m<sup>3</sup> de capacidad instalada diaria.

Según el último inventario Mundial de Plantas Desalinizadoras [9], durante los últimos 7 años, más de 8,2 Hm<sup>3</sup>/día de nueva capacidad de agua de mar se han instalado en todo el mundo. Si del total anterior suponemos que el 60% de las plantas han exigido un nivel de Boro por debajo de 0,5 mg/l, el costo adicional que ha supuesto la instalación de un segundo paso (16% más de inversión frente una planta de 1 mg/l) se estima en más de 605 M Euros, lo que equivale a una planta de 678.000 m<sup>3</sup>/día de producción con un nivel de Boro de 1 mg/l.

**Tabla 7. Capacidad equivalente**

Nueva Capacidad de Desalación ('00-'08)	27.337.885	m <sup>3</sup> /día
Desaladoras por Osmosis Inversa (50%)	13.668.943	m <sup>3</sup> /día
Desaladoras de agua de mar (60%)	8.201.365	m <sup>3</sup> /día
Desaladoras con B <0,5 mg/l (60%)	4.920.820	m <sup>3</sup> /día
Inversión equivalente (123 Euros/m <sup>3</sup> )	605	M Euros
Capacidad equivalente con B <1 mg/l	678,000	m <sup>3</sup> /día

Nota: La inversión equivalente se considera como la diferencia entre el coste de una planta con segundo paso (B < 0,5 mg/l) (893 Euros/m<sup>3</sup>) y el coste medio de una planta con simple paso (770 Euros/m<sup>3</sup> para B <1 mg/l).

## 9. Conclusiones

1. Los límites de Boro recogidos en las diferentes normativas de calidad de las aguas para consumo humano, varían entre países y regiones habiéndose demostrado en algunos casos, que el uso localizado de las aguas con alto contenido en Boro no ha tenido ningún impacto significativo para la salud humana. Por lo tanto, el límite exigido en la actualidad por la OMS de 0,5 mg/l es muy restrictivo, como así lo demuestra el borrador propuesto para su aprobación en la próxima edición (4ª Ed.) de las Guía de Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud, que será publicada probablemente a lo largo de 2010, y donde el límite de Boro para agua de abastecimiento se eleva hasta 2,4 mg/l.
2. El Boro en la fase de operación de la planta de Valdelentisco fue mayor de lo esperado comparado con las proyecciones de la membrana presentadas por el fabricante, especialmente para temperaturas bajas. Para temperaturas por encima de 22 ° C, el rechazo fue del 15% por encima de las cifras esperadas de acuerdo con las proyecciones. A pesar de haberse registrado temperaturas en el agua de alimentación, entre 1 y 1,5 °C por encima de las previstas, la adición de sosa para elevar el pH de alimentación a segundo paso ha permitido mantener los niveles de Boro por debajo de 1 mg/l en los meses de verano.
3. El nivel de 0,5 mg/l de Boro implica un 16% adicional en costes de inversión y de operación en comparación con el nivel de 1 mg/l. Más de 605 M euros invertidos en los últimos 8 años en las nuevas plantas de osmosis inversa construidas en todo el mundo para alcanzar los niveles de Boro en el agua producto por debajo de 0,5 mg/l, lo que equivale a una planta de osmosis inversa de 678.000 capacidad m<sup>3</sup>/día. En España la demanda de dichos niveles de Boro, ha supuesto una inversión evitable de 80 Millones de Euros en las plantas desaladoras incluidas en el Programa AGUA.
4. La decisión adoptada durante la fase de diseño de instalar un solo paso demandando un nivel de Boro en el permeado inferior a 1 mg/l, en contra de la tendencia generalizada en el resto de plantas construidas o diseñadas en España durante la misma época, ha sido la correcta, no solo desde el punto de vista económico, sino desde el punto de vista sanitario, ya que la próxima reglamentación de la OMS, así lo avalará. Dicha decisión ha supuesto para la Desaladora de Valdelentisco, un ahorro económico de 20 M Euros en inversión y se anticipó en más de cinco años a las tesis de la OMS.



## Bibliografía

1. WHO/HSE/WSH/09.04/5W – Boron in Drinking Water DRAFT (2009)
2. The EU Drinking water Directive: The Boron Standard and Scientific Uncertainty by Erika Weinthal and others published by Wiley Inter Science in 2005
3. Valdelentisco desalination plant: 200,000 m<sup>3</sup>/day of water for irrigation and drinking by Manuel Latorre and Alberto Letona. IDA World Congress 2007
4. Boron Levels in Seawater Desalination Plants in Saudi Arabia by Radwan A. Al-Rasheed, Saad Al-Sulami and Ghazi Hasan. IDA World Congress 2007.
5. The water Encyclopedia, Second Edition. Van der Leeden, F., F.L. Troise and D.K. Todd. 1990.
6. Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse. CRC Press, Inc. 1995. Rowe, D.R. and I.M. Abdel-Magid.
7. Boron rejection in SWRO at high pH conditions versus cascade design. M Faigon and D. Hefer published by Elsevier, Desalination, 2006.
8. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality Vol. 1, Recommendations. 3<sup>rd</sup> ed. 2006
9. Desalination in 2008, Global Market Snapshot. 21<sup>st</sup> GWI/International Desalination Association. Worldwide Desalting Plant Inventory, 2009.
10. Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. J.J. Alarcón, F. Pedrero. CEBAS-CSIC. Murcia, España, 2007.
11. Boron experience in Spain: 200.000 m<sup>3</sup>/day Valdelentisco SWRO plant. Manuel Latorre. IDA World Congress, Dubai, 2009.
12. Martínez J.L., de la Fuente M.M., Muñoz E. El Boro en los vertidos industriales. Ingeniería Química 9: 163-169 (1999)].

13. M<sup>a</sup> del Mar de la Fuente. *"Diseño y desarrollo de un sistema de tratamiento para la eliminación de Boro en vertidos industriales"* (2000). Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid]
14. Calidad del agua de consumo humano en España. Trienio 2002-2004. Ministerio de Sanidad y Consumo.
15. Calidad del agua de consumo humano en España. Trienio 2005-2007. Ministerio de Sanidad y Consumo.