

ORIGINAL

NIVEL DE ARSÉNICO EN ABASTECIMIENTOS DE AGUA DE CONSUMO DE ORIGEN SUBTERRÁNEO EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Nuria Aragonés Sanz (1,2), Margarita Palacios Díez (1), Antonio Avello de Miguel (1), Pilar Gómez Rodríguez (3), Mercedes Martínez Cortés (1) y María José Rodríguez Bernabeu (4)

(1) Servicio de Sanidad Ambiental, Dirección General de Salud Pública, Consejería de Sanidad, Comunidad de Madrid.

(2) Centro Nacional de Epidemiología. Instituto de Salud Carlos III. Ministerio de Sanidad y Consumo.

(3) Servicio de Salud Pública del Área 5 de la Dirección General de Salud Pública. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.

(4) Laboratorio de Salud Pública. Dirección General de Salud Pública. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.

RESUMEN

Fundamento: En 1998 se detectaron en la Comunidad de Madrid concentraciones de arsénico mayores de 50 µg/l en algunos abastecimientos de agua de consumo de origen subterráneo, concentración máxima admisible en el agua de bebida en España. El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de arsénico en el agua procedente de abastecimientos subterráneos en la Comunidad de Madrid.

Métodos: Se presentan los resultados de los dos primeros muestreos realizados en el plan de seguimiento de niveles de arsénico establecido. En la primera fase se analizaron muestras de agua de los 353 abastecimientos censados por la Dirección General de Salud Pública de la Comunidad de Madrid. Con estos primeros resultados se realizó una clasificación de riesgo de los abastecimientos. En una segunda fase, seis meses después, se repitieron los análisis en los 35 abastecimientos que se considero podrían suponer un riesgo para la salud pública.

Resultados: El 74% de los abastecimientos estudiados en la primera fase presentaron una concentración de arsénico menor de 10 µg/l.; el 22,6% contenía niveles entre 10 y 50 µg/l.; y en el 3,7% eran superiores a 50 µg/l. La mayoría de los abastecimientos con niveles de arsénico superiores a 10 µg/l. se encuentran situados en la misma zona geográfica. En el segundo muestreo (6 meses después) se incluyeron los 35 abastecimientos clasificados de riesgo. De ellos, 26 presentaron el mismo nivel de arsénico (10-50 µg/l) y 9 cambiaron de categoría: 6 pasaron a tener menos de 10 µg/l. y 3 más de 50 µg/l.

Conclusiones: La vigilancia periódica de la calidad del agua realizada por la Dirección General de Salud Pública ha permitido detectar la presencia de 16 abastecimientos de agua de consumo de origen subterráneo con más de 50 µg/l. de arsénico, nivel máximo admisible según la legislación vigente en nuestro país. Se han adoptado medidas para evitar el consumo de agua en estos abastecimientos.

Palabras clave: Arsénico. Agua de consumo. Salud ambiental. Vigilancia epidemiológica.

Correspondencia:

Mercedes Martínez Cortés. Servicio de Sanidad Ambiental, Dirección General de Salud Pública, Consejería de Sanidad, Comunidad de Madrid.

C/ O'Donnell, 52 28009 - Madrid.

Correo electrónico: mercedes.martinez@comadrid.es

ABSTRACT

Arsenic Levels in Drinking water Supplies from Underground Sources in the Autonomous Community of Madrid

Background: In 1998, arsenic concentrations of more than 50 µg/l. were detected in some drinking water supplies from underground sources in the Autonomous Community of Madrid, which is the maximum permissible concentration for drinking water in Spain. These two facts have meant the getting under way of a specific plan for monitoring arsenic in the drinking water in the Autonomous Community of Madrid.

Methods: The results of the first two sampling processes conducted in the arsenic level monitoring plan set out are presented. In the initial phase, water samples from 353 water supplies comprised within the census of the Public Health Administration of the Autonomous Community of Madrid were analyzed. A water supply risk classification was made based on these initial results. In a second phase, six months later, the analyses were repeated on those 35 water supplies which were considered to possibly pose a risk to public health.

Results: Seventy-four percent (74%) of the water supplies studied in the initial phase were revealed to have an arsenic concentration of less than 10 µg/l., 22.6% containing levels of 10-50 µg/l., and 3.7% over 50 µg/l. Most of the water supplies showing arsenic levels of more than 10 µg/l. are located in the same geographical area. In the second sampling process (six months later), the 35 water supplies classified as posing a risk were included. Twenty-six (26) of these supplies were revealed to have the same arsenic level ((10-50 µg/l.), and nine changed category, six of which had less than 10 µg/l. and three more than 50 µg/l.

Conclusions: In the Autonomous Community of Madrid, less than 2% of the population drinks water coming from supplies which are from underground sources. The regular water quality monitoring conducted by the Public Health Administration has led to detecting the presence of more than 50 µg/l. of arsenic in sixteen drinking water supplies from underground sources, which is the maximum permissible level under the laws currently in force in Spain. Measures have been taken to prevent water from being used from these water supplies. Around 20% of the water supplies studies must take measures in the near future to lower the arsenic concentration to below 10 µg/l. when the water directive which is currently in the process of being written into Spanish law enters into effect.

Keywords: Arsenic. Water Pollutants. Environmental monitoring.

INTRODUCCIÓN

El arsénico es un metal que aparece de manera natural y ubicua en el medio ambiente, en forma de diferentes compuestos inorgánicos y orgánicos, tanto en estado sólido como líquido. Aunque en algunas zonas geográficas la concentración puede ser más alta, su contenido medio en la corteza terrestre es de 5 gramos por tonelada, apareciendo normalmente combinado con más de 150 elementos diferentes (cobre, plomo, azufre, níquel, hierro, cobalto, zinc, etc.)¹.

La toxicidad de un compuesto con arsénico para los humanos depende en gran medida de su forma química, diferenciándose dos grupos de compuestos: los inorgánicos y los orgánicos. Los inorgánicos son los más tóxicos y aparecen sobre todo en aguas (su principal vía de transporte en el ambiente), donde se encuentran principalmente en forma de pentóxido de arsénico (As_2O_5) o trióxido de arsénico (As_2O_3)². Generalmente aparecen por disolución de minerales, aunque también pueden aparecer por contaminaciones industriales, uso de plaguicidas o deposición atmosférica³. Los compuestos orgánicos, mucho menos tóxicos que los inorgánicos, se encuentran sobre todo en alimentos y suponen la principal vía de exposición de la población al arsénico^{4,5}. Sin embargo, la exposición al arsénico inorgánico por la ingesta es pequeña, salvo en regiones donde el arsénico inorgánico produce contaminación de aguas de bebida, pudiendo originar envenenamientos crónicos⁴.

El arsénico inorgánico fue una de las primeras sustancias químicas considerada carcinógena⁶, habiéndose confirmado que su inhalación produce cáncer de pulmón y su ingestión cáncer de piel en humanos⁷. No obstante, mientras que la valoración de riesgo realizada para la vía inhalatoria ha sido aceptada, existen discrepancias sobre la evaluación del riesgo realizada para la ingesta. Esta evaluación, basada en el riesgo de padecer cáncer de piel, es cuestionada por quienes piensan que debería prestarse

más atención a la posibilidad de que el arsénico aumente el riesgo de padecer tumores internos^{6,7}. Aunque no existen datos concluyentes, se sospecha que su ingestión podría aumentar el riesgo de cáncer en otras localizaciones (hígado, tracto gastrointestinal, vejiga, riñón y sistema hematopoyético). Así, pese a que las intoxicaciones agudas son tremendamente llamativas y graves, la intoxicación crónica por arsénico es un problema de salud pública de gran magnitud en muchos lugares del mundo.

Hasta 1990 el máximo nivel permitido de arsénico en España en aguas de consumo humano era de 100 $\mu\text{g}/\text{l}$. Actualmente la concentración máxima admisible de arsénico por la legislación española⁹ y en la mayoría de países de nuestro entorno es de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$, si bien la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda no superar los 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ ². En este sentido, la Directiva 98/83/CE de aguas de consumo¹⁰, en vías de transposición a la legislación nacional, fija en 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ la concentración máxima admisible para este elemento. Estos datos dan fe de la controversia existente acerca del riesgo para la salud de la ingestión de arsénico inorgánico y de la conveniencia de los límites actuales y futuros.

En distintas partes del mundo se ha descrito la presencia de arsénico en agua de bebida por encima de niveles admisibles, habiéndose relacionado con la aparición de alteraciones en la salud como cáncer, enfermedades dermatológicas y vasculares, entre otras¹¹⁻¹⁸. Ya en los años 70, en China, el consumo de agua de pozos con altos niveles de arsénico se relacionó con el cáncer de piel y la llamada *blackfoot disease* (una alteración vascular periférica)^{14,19}. Posteriormente, otros estudios informaron de un exceso de mortalidad por tumores de vejiga, riñón, piel, próstata, pulmón e hígado en esta población, con una relación dosis respuesta positiva¹⁵⁻¹⁶ y, recientemente, se ha sugerido que el efecto sobre la salud del arsénico es sistémico, incrementando la probabilidad de morir tanto por enfermedades no tumorales (enfermedad isquémica

ca del corazón, hipertensión, diabetes y bronquitis) como tumorales (cáncer de senos nasales, huesos, laringe, colon, estómago, linfoma)²⁰.

En la India, en 1978, una gran contaminación por arsénico en el agua de bebida de 30 millones de personas produjo lesiones dérmicas en más de 175.000 individuos¹⁷. Sin perjuicio de los efectos perniciosos del arsénico, se ha sugerido que podría haber otras causas añadidas de este desastre, pues concentraciones similares de arsénico no han producido una toxicidad tan exagerada en otros lugares, barajándose que determinadas carencias nutricionales de la población (déficit de vitamina C y A, metionina) se asocian a un mayor efecto tóxico¹⁸.

En Estados Unidos se han estudiado poblaciones expuestas a altos niveles de arsénico en el agua de bebida, no encontrándose evidencias de arsenicalismo²¹, ni aumento de la incidencia de cáncer de piel²² o vejiga²³. Estos trabajos concluyeron que, de existir, la magnitud del efecto del arsénico en estas poblaciones debía ser muy pequeña, y que sus resultados podían diferir de los realizados en otras partes del mundo al tratarse de poblaciones bien nutridas y con alto nivel socioeconómico (aparentemente no expuestas a otros tóxicos ambientales), por el menor nivel de contaminación del agua o por diferencias en el tipo de arsénico.

En otras partes del continente americano se han encontrado efectos en salud asociados a altos niveles de arsénico en aguas de consumo humano. En Argentina se ha descrito una mayor mortalidad por cáncer de vejiga¹³ y en Chile por cáncer de vejiga y pulmón¹², mientras que en Méjico, individuos expuestos a concentraciones tóxicas de arsénico en agua de bebida presentaron mayor número de alteraciones citogenéticas que aquellos expuestos a concentraciones tolerables de arsénico¹¹.

En España no se han realizado estudios de los efectos sobre la salud de la exposición al

arsénico por el agua de bebida. En 1998, Blanco Hernández y colaboradores²⁴ publicaron un estudio sobre el nivel de arsénico en aguas procedentes principalmente de redes de abastecimiento en la provincia de Salamanca. Estos autores midieron el contenido en arsénico en agua de la red de 137 localidades elegidas al azar entre los 386 municipios de la provincia, detectando niveles de arsénico de más de 50µg/l. únicamente en una muestra y entre 20-50µg/l. en un 50% de las muestras aproximadamente.

El suministro de agua de consumo en la Comunidad de Madrid (CM) es realizado mayoritariamente por la empresa Canal de Isabel II, que abastece al 95% de los habitantes. Un menor segmento de la población está atendido por el Canal de aguas del Sorbe, que abastece al municipio de Alcalá de Henares (3,2% de la población). El abastecimiento realizado por ambas empresas procede esencialmente de aguas superficiales. El resto de la población consume agua procedente de abastecimientos autónomos de origen subterráneo, tanto municipales (1,1% población) como privados (0,5% población). La legislación vigente⁹ establece que cada empresa abastecedora (Canal de Isabel II, Canal de Aguas del Sorbe, Ayuntamientos y empresas privadas) tiene la responsabilidad del control analítico de las aguas que distribuye, siendo competencia de la Administración Sanitaria el realizar controles de vigilancia de dichas empresas.

En 1998, la vigilancia de la calidad del agua de consumo llevada a cabo por la Dirección General de Salud Pública de la Consejería de Sanidad de la CM detectó la presencia de arsénico superior a los niveles permitidos por la normativa vigente en el agua de bebida procedente de abastecimientos autónomos de origen subterráneo. En un principio se pensó que el origen del arsénico podía ser una contaminación y se inspeccionó el contenido de arsénico en abastecimientos situados en una zona circular alrededor de los pozos en los que aparecieron las primeras alteraciones analíticas. En ese

momento, la revisión de datos propios y de otros organismos sugerían, por un lado, que el arsénico no provenía de una contaminación y, por otro lado, que el problema podía no estar enteramente localizado.

A pesar de que en términos de Salud Pública se trataba de un problema limitado, dado que menos del 2% de la población de la CM consume agua de abastecimientos autónomos de origen subterráneo, varias fueron las razones por las que se decidió la puesta en marcha de un plan de vigilancia específico para el arsénico en el agua de bebida en la Comunidad de Madrid. Por un lado, existían consideraciones como la alta toxicidad del arsénico y la ausencia de datos que permitieran describir con fiabilidad la situación de todo el territorio de la Comunidad (los datos existentes de los abastecimientos censados procedían de distintos laboratorios, lo que planteaba un problema de homogeneidad de resultados). Por otro lado, la futura transposición de la Directiva 98/83/CE (como muy tarde en el año 2003) reducirá el contenido máximo de arsénico permitido en aguas de consumo a 10 µg/l, hecho que contribuyó a estimular la necesidad de conocer mejor la calidad del agua de estos abastecimientos.

Además de las variaciones espaciales, se consideró conveniente estudiar la posible variación de los niveles de arsénico en el tiempo, al poder coexistir un comportamiento estacional de los mismos en aguas profundas, asociado quizás con regímenes pluviales. También se pensó en estudiar otras variables con posible influencia en los niveles de este contaminante, como los regímenes de explotación (que aumenta mucho en verano) y la profundidad de la captación.

Los objetivos fueron los siguientes: 1) conocer la concentración de arsénico en los abastecimientos de agua de consumo público de origen subterráneo censados en la CM; 2) evaluar la adecuación de los niveles de arsénico de cara al cumplimiento de la nueva directiva europea de aguas de consu-

mo; y 3) estudiar la variabilidad del contenido de arsénico en el agua de bebida de origen subterráneo, analizando muestras correspondientes a cuatro períodos de tiempo diferentes.

En el presente artículo se presentan los resultados de las dos primeras fases del plan de seguimiento, que consistieron en dos cortes transversales realizados con un lapso de tiempo de 6 meses.

MATERIAL Y MÉTODOS

Plan de seguimiento de los niveles de arsénico

En el momento en el que se puso en marcha el plan de seguimiento de los niveles de arsénico en abastecimientos de agua de consumo de origen subterráneo en la Comunidad de Madrid, la Dirección General de Salud Pública contaba con un censo de 375 abastecimientos, lo que permitía tener un conocimiento detallado de la calidad del agua que consumen poblaciones aisladas que no son abastecidas por las grandes empresas suministradoras presentes en esta Comunidad. Este plan consiste en la ampliación de la vigilancia periódica que marca la legislación actual española para el arsénico en aguas de bebida, realizando campañas de análisis en abastecimientos de origen subterráneo y cuyas determinaciones se efectúan en un único laboratorio (Laboratorio Regional de Salud Pública de la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid).

En la primera fase se determinó la concentración de arsénico en todos los abastecimientos autónomos censados. Se excluyeron los que habían perdido la autorización sanitaria por falta de potabilidad. La toma de muestras se realizó entre los meses de mayo a julio de 1999. Los resultados del primer muestreo permitieron obtener una clasificación de los abastecimientos según su riesgo en función de dos criterios: el nivel de arsénico y el tipo de abastecimiento (ta-

bla 1). La clasificación por tipo de abastecimiento sin ser exhaustiva, intenta obtener una valoración del riesgo para la salud en función del uso del agua, considerándose de riesgo aquellos abastecimientos que podían dar lugar a un consumo continuado del agua (internados, urbanizaciones y abastecimientos municipales) y la industria alimentaria. Con estos dos criterios, se calificaron como abastecimientos de riesgo aquellos que pudiendo producir un consumo habitual de agua presentaban más de 10 µg/l.

Tabla 1

Criterios para la clasificación de los abastecimientos de aguas de consumo de origen subterráneo de la Comunidad de Madrid en función del riesgo sanitario

Nivel de arsénico en µg/l.	
No detectable	(< 1)
Bajo	(1-10)
Tolerable	(10-50)
Tóxico	(> 50)
Tipo de abastecimiento	
<i>Riesgo bajo:</i>	
* Riego	
* Restauración: campings, piscinas con bar o similar, restaurantes	
* Industrias no alimentarias	
<i>Riesgo alto:</i>	
* Internados: colegios, residencias, hospitales	
* Abastecimientos municipales	
* Abastecimientos de urbanizaciones	
* Industrias alimentarias	

Considerando los recursos disponibles, dado que los abastecimientos con menos de 10µg/l de arsénico no representaban un riesgo que requiriera una vigilancia específica, se decidió limitar la toma de muestras para las siguientes fases a los abastecimientos clasificados de riesgo. Se excluyeron del seguimiento los abastecimientos con más de 50µg/l en alguna de las fases, ya que este resultado condiciona su clausura por falta de potabilidad. La segunda fase se realizó entre los meses de enero y febrero del año 2000.

Recogida de muestras y análisis

La recogida de muestras de agua fue realizada por los Técnicos Superiores de Salud Pública de cada área. Las muestras de agua se tomaron del grifo en abastecimientos que poseían un solo pozo, y del grifo y de los pozos cuando existía más de un pozo de captación. Dado que el tratamiento posterior a la extracción es exclusivamente la desinfección por hipoclorito se descarta la contaminación por arsénico posterior a la misma, por lo que los valores obtenidos en grifo son representativos del agua original. Para cada abastecimiento, se cumplimentó un cuestionario con la identificación del abastecimiento, localización geográfica (dirección postal), profundidad de los pozos, volumen de extracción y población abastecida.

El Laboratorio Regional de Salud Pública proporcionó los envases para la toma de muestras (envases de plástico de 250 a 500 ml, siendo el volumen mínimo a recoger de 250 ml), que fueron conservadas en frigorífico en el Centro de Salud Pública del área sanitaria correspondiente hasta su traslado al laboratorio. Todas las determinaciones analíticas de arsénico fueron realizadas por el Laboratorio Regional de Salud Pública. El método analítico utilizado fue la absorción atómica con generador de hidruros, con un límite de detección de 1 g de arsénico por litro de agua.

Se ha realizado una distribución de frecuencias de la variable nivel de arsénico categorizada en niveles (tabla 1) por área sanitaria y por tipo de abastecimiento de los datos resultantes del primer y segundo muestreo. Se han tipificado como de riesgo alto los suministros donde el consumo de agua por el usuario es continuo en el tiempo, implicando una exposición crónica. Al no disponer de las coordenadas geográficas de todos los abastecimientos, la variable por la que se ha realizado la representación geográfica ha sido la variable municipio.

RESULTADOS

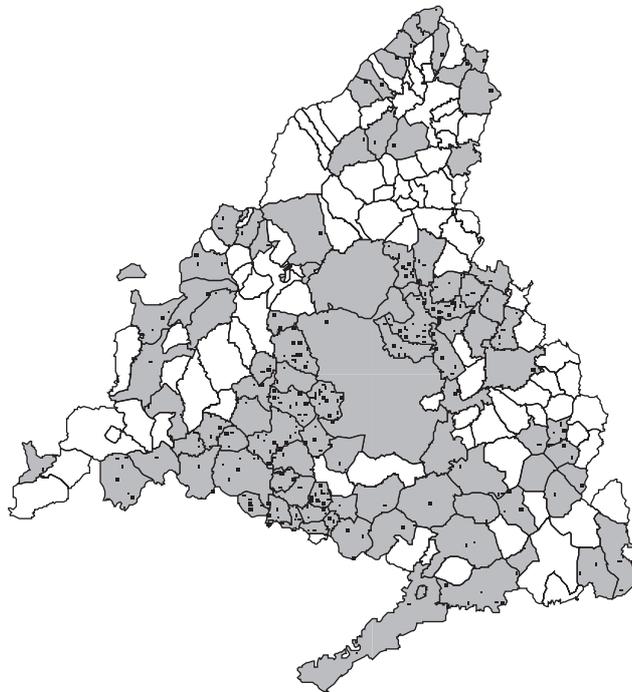
Primera fase (mayo-julio 1999)

En la primera fase del estudio se analizaron muestras de agua de 353 abastecimientos, en los que el contenido de arsénico osciló entre 0 y 363 $\mu\text{g}/\text{l}$, con un valor

medio de 12,7 $\mu\text{g}/\text{l}$ y una mediana de 3. En la tabla 2 se observa la distribución de los abastecimientos por áreas sanitarias y nivel de arsénico. La mayor parte se localizan en tres áreas de salud (áreas 5, 6 y 8). La figura 1 muestra la distribución por municipios de los 353 abastecimientos estudiados.

Figura 1

Distribución geográfica, por municipios, de los 353 abastecimientos de agua de bebida de origen subterráneo en la Comunidad de Madrid (mayo-julio 1999)



El 74% de los abastecimientos presentaron un nivel de arsénico menor o igual a 10 $\mu\text{g}/\text{l}$, mientras que 80 abastecimientos contenían entre 10 y 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ y 13 presentaban más de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$. La mayoría de los abastecimientos con niveles de arsénico superiores a los 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ se localizan en el área 5 de salud. En la figura 2 se muestra la distribución geográfica de los abastecimientos según el nivel de arsénico.

La tabla 3 muestra los resultados de la primera fase desagregados por nivel de arsénico y tipo de abastecimiento. No aparecieron abastecimientos con más de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ de arsénico en las categorías internado y municipal, mientras que la categoría urbanización presentó el mayor número de abastecimientos con más de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$. Hubo 36 abastecimientos con niveles de arsénico entre 10 y 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ entre las categorías internado, urba-

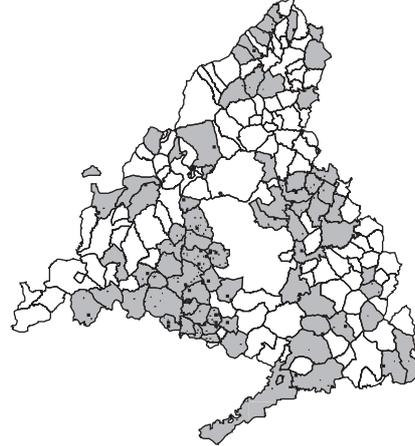
Figura 2

Distribución geográfica de los 353 abastecimientos de agua de bebida de origen subterráneo en la Comunidad de Madrid, según nivel de arsénico (mayo-julio de 1999)

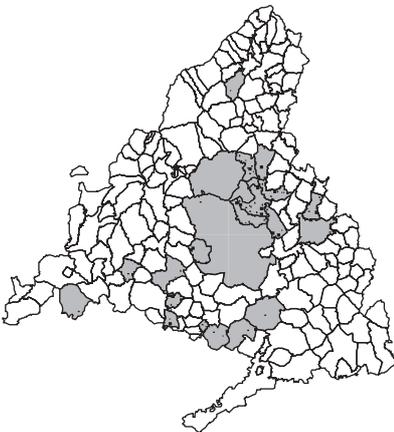
abastecimientos con nivel de As <1µg/l o no detectable (56)



Abastecimientos con nivel de As entre 1-10µg/l o bajo (204)



Abastecimientos con nivel de As entre 10-50µg/l o no detectable (80)



Abastecimientos con nivel de As >50 µg/l o tóxico (13)

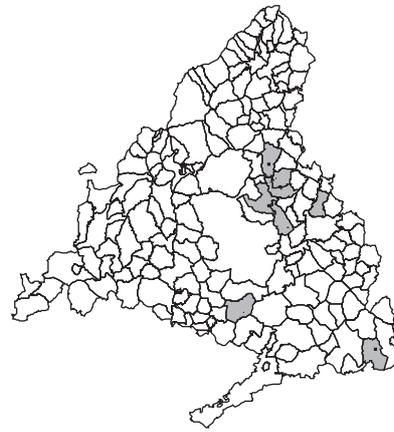


Tabla 2

Clasificación de los abastecimientos de aguas de consumo de origen subterráneo de la Comunidad de Madrid por Área y por nivel de arsénico

Nivel de arsénico en $\mu\text{g/l}$	Área Sanitaria ¹									Total
	1	2	3	5	6	8	9	10	11	
No detectable (< 1)	16	1	—	6	16	12	3	—	2	56 (15,8%)
Bajo (1-10)	13	2	6	30	63	51	16	14	9	204 (57,8%)
Tolerable (10-50)	—	—	8	53	4	6	—	6	3	80 (22,6%)
Tóxico (> 50)	1	—	1	10	—	—	—	1	—	13 (3,7%)
Total	30	3	15	99	83	69	19	21	14	353

¹ Las Áreas 4 y 7 son enteramente urbanas y están abastecidas íntegramente por el Canal de Isabel II.

nización, abastecimiento municipal e industria alimentaria, abastecimientos considerados de riesgo y seleccionados por tanto para las siguientes fases del plan de seguimiento.

Los 13 abastecimientos con más de $50\mu\text{g/l}$ de arsénico no fueron incluidos en los abastecimientos de riesgo por quedar prohibido su uso para consumo humano.

Tabla 3

Clasificación de los abastecimientos de aguas de consumo de origen subterráneo de la Comunidad de Madrid por tipo de abastecimiento y nivel de arsénico

Nivel de arsénico en $\mu\text{g/l}$	Tipo de abastecimiento							Total
	Riego	Restauración	Industria no alimentaria	Internado	Urbanización	Municipal	Industria alimentaria	
No detectable (< 1)	1	12	8	5	13	14	3	56 (15,8%)
Bajo (1-10)	—	31	40	10	71	36	16	204 (57,8%)
Tolerable (10-50)	—	16	28	8 ¹	16 ¹	4 ¹	8 ¹	80 (22,6%)
Tóxico (> 50)	1	3	3	—	5	—	1	13 (3,7%)
Total	2	62	79	23	105	54	28	353

¹ Los abastecimientos clasificados en estas categorías se consideraron de «riesgo alto» para la salud.

Segunda fase (enero-febrero 2000)

En la segunda fase del plan de seguimiento se analizaron 35 de los 36 abastecimientos seleccionados en la primera fase (se excluyó un abastecimiento de una empresa alimentaria que, por decisión propia, interrumpió su utilización y buscó un suministro alternativo).

En la tabla 4 se muestra la distribución por áreas de salud y por nivel de arsénico de los 35 abastecimientos estudiados. La ma-

yor parte de ellos se localizaron en el área 5 de salud. En la segunda fase la concentración de arsénico de los 35 pozos presentó una media de $26,4\mu\text{g/l}$ y un rango de 2 ($2-54\mu\text{g/l}$). La tabla 5 muestra los resultados del segundo muestreo por nivel de arsénico y tipo de abastecimiento. Los abastecimientos con más de $50\mu\text{g/l}$ corresponden a las categorías internado, urbanización y municipal, y entre aquellos con niveles entre 10 y $50\mu\text{g/l}$, la mayoría (11 abastecimientos) suministran urbanizaciones.

Tabla 4

Clasificación de los abastecimientos de aguas de consumo de origen subterráneo de la Comunidad de Madrid por Área y nivel de arsénico, segunda fase

Nivel de arsénico en µg/l	Área Sanitaria ¹										Total
	1	2	3	5	6	8	9	10	11		
No detectable (< 1)			—	—	—	—			—		—
Bajo (1-10)			—	3	1	2			—		6 (17,1%)
Tolerable (10-50)			5	13	2	4			2		26 (74,3%)
Tóxico (> 50)			1	1	—	—			1		3 (8,6%)
Total			6	17	3	6			3		35

Tabla 5

Clasificación de los abastecimientos de aguas de consumo de origen subterráneo de la Comunidad de Madrid por tipo de abastecimiento y nivel de arsénico, segunda fase

Nivel de arsénico en µg/l	Tipo de abastecimiento			
	Internado	Urbanización	Municipal	Industria alimentaria
No detectable (< 1)	—	—	—	—
Bajo (1-10)	2	2	1	1
Tolerable (10-50)	7	11	2	6
Tóxico (> 50)	1	1	1	—
Total	10	14	4	7

Comparación entre las fases primera y segunda

En 35 abastecimientos se tienen datos de los dos muestreos, realizados con un intervalo temporal de 6 meses. En relación con la concentración de arsénico, 26 abastecimientos (74%) se han mantenido en la misma categoría de nivel de arsénico (10-50µg/l) en los dos muestreos del plan de seguimiento. Sin embargo, 9 de los 35 abastecimientos (26%) con niveles de arsénico entre 10 y 50 µg/l en el primer muestreo han cambiado de categoría en el segundo muestreo: 6 pasan a tener menos de 10µg/l y 3 pasan a tener más de 50 µg/l

Las diferencias en las concentraciones de arsénico en estos 35 abastecimientos oscilaron entre 0,10 y 17,3 µg/l, siendo la variación media de 4,8 µg/l (mediana 3,7). En 20 abastecimientos la concentración de arséni-

co disminuyó (entre los dos muestreos), mientras en 15 aumentó.

DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo han detectado la existencia 16 abastecimientos de agua de consumo en la Comunidad de Madrid con una concentración de arsénico superior a los 50 µg/l permitidos por la legislación. En todos ellos se han adoptado medidas para evitar el consumo humano de este agua. La situación geográfica de los abastecimientos con más de 50µg/l de arsénico muestra cierta agregación espacial en la zona nordeste del territorio de la Comunidad, situación que se repite en los abastecimientos con concentraciones entre 10 y 50µg/l, que además se distribuyen dibujando una banda que cruza el territorio en sentido nordeste-suroeste, superponiéndose al acuífero detrítico de Madrid.

Otro factor de interés es la variación en el tiempo del nivel de arsénico en los abastecimientos censados. De los 35 abastecimientos en los que se tomaron dos muestras con un intervalo temporal de 6 meses, en 20 de ellos la concentración de arsénico disminuyó, mientras que aumentó en 15, siendo en general pequeña la variación de la concentración de arsénico en los dos momentos del tiempo. Estos resultados no apoyan la hipótesis de que la estación del año explique las variaciones del nivel de arsénico en aguas subterráneas, y la variabilidad tampoco parece estar asociada con la zona geográfica. La dificultad en la recogida de información acerca de otras variables como el volumen de explotación o la profundidad de los pozos, ha hecho que su implicación haya quedado sin valorar, ya que no se conoce la profundidad de los pozos en un 56,4% de los mismos, y no existía información acerca de los volúmenes de extracción en el 83% de los casos.

Los abastecimientos con más de 50µg/l de arsénico en agua fueron informados de la no potabilidad del agua captada y advertidos de su falta de aptitud para consumo humano. Por su parte, los abastecimientos con concentraciones de arsénico entre 10 y 50µg/l fueron informados de la existencia de una nueva directiva de aguas en vías de transposición, que reducirá la concentración máxima admisible de arsénico a 10µg/l, y que obligará a buscar suministros alternativos a los abastecimientos que superen esta concentración de arsénico. En relación con ello, se ha constatado que algo más de un 20% de los abastecimientos estudiados deberán tomar medidas si la concentración de arsénico se mantiene en un nivel similar al actual, bien buscando un abastecimiento alternativo de agua potable o estableciendo mecanismos de eliminación del arsénico del agua. Por ello, es necesario conocer su distribución para planificar las medidas a adoptar en el futuro. En zonas donde es posible el suministro por empresas que mezclan aguas de origen superficial y profundo, como es el caso de algunas áreas de Madrid, la solución es fácil desde el punto de vista técnico (ex-

clusivamente económica). Sin embargo, allí donde no es posible este tipo de abastecimiento o es desproporcionado (por la gran infraestructura que puede suponer en relación con la pequeña proporción de población beneficiaria), la solución se complica. Al mismo tiempo, en nuestro entorno son escasas las empresas especializadas en métodos para eliminar el arsénico, por la falta de demanda.

Por otro lado, el desconocimiento de la estabilidad de los niveles de arsénico en aguas profundas complica el manejo de los resultados analíticos por parte de los Técnicos Superiores de Salud Pública, que se enfrentan en su trabajo cotidiano al cierre de un abastecimiento con concentraciones de arsénico por encima del límite establecido en la legislación y a su eventual apertura cuando el nivel de arsénico baja. En este sentido, el conocimiento de los factores que pudieran estar asociados a la variabilidad de los niveles de arsénico en distintos momentos del tiempo (estación del año, régimen pluvial, etc.), podría tenerse en cuenta a la hora de protocolizar las actuaciones de los Técnicos de Salud Pública encargados de la vigilancia más directamente.

Otro tema a tener en consideración es el origen del arsénico. El uso y producción comerciales de compuestos arsenicales puede ser la causa de la presencia de arsénico en algunas zonas geográficas, aunque esta hipótesis no parece compatible con la amplia extensión geográfica del problema. Prevalence la hipótesis de un origen natural del arsénico en el acuífero del que captan agua los abastecimientos estudiados. Con la finalidad de conocer el origen del arsénico, la Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid y el Instituto Geológico y Minero de España han puesto en marcha un estudio de la calidad del agua del acuífero en el que se vigilará el nivel de arsénico en distintos puntos, incluidos los estudiados por nosotros. Quedamos a la espera, pues, de que nuevas investigaciones aporten más datos para la valoración de este aspecto.

AGRADECIMIENTOS

A los Técnicos superiores de Salud Pública de los Servicios de Salud Pública de Área. A la Comisión del Programa de Control de Aguas de Abastecimiento y al Laboratorio de Salud Pública, todos ellos pertenecientes a la Dirección General de Salud Pública de la Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

- Ladrón de Guevara J y Moya Pueyo V. Toxicología médica. Clínica y laboral. Interamericana McGraw-Hill de España; 1995.
- WHO. Guidelines for drinking-water quality. (Second Edition) Vol 2. Health criteria and other supporting information. Geneva: World Health Organization; 1996.
- Lippmann M. Environmental toxicants. Human Exposures and Their Health Effects. New York: Van Nostrand Reinhold; 1992.
- WHO. International Programme on Chemical Safety: Health and Safety Guide No. 70. Inorganic arsenic compounds other than arsine health and safety guide. Geneva: World Health Organization; 1992.
- Harrison. Principios de Medicina Interna 14 edición. Wilson JD, Braunwald E, Isselbacher KJ y cols. Madrid: Interamericana McGraw-Hill de España; 1997.
- Bates MN, Smith AH, Hopenhayn-Rich C. Arsenic ingestion and internal cancers: A review. Am J Epidemiol 1992;135:462-476.
- Morales KH, Ryan L, Kuo T, Wu MM, Chen CJ. Risk of internal cancers from arsenic in drinking water. Environ Health Perspect 2000;108:655-661.
- IARC. Some metals and metallic compounds. IARC Monographs 23, 39-141, 1980 (www.iarc.fr).
- Real Decreto 1138/90 de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico Sanitaria para el abastecimiento y el control de la calidad de las aguas potables de consumo público. BOE núm 226 del 20 de septiembre de 1990.
- Directiva 98/83/CE del Consejo del 3 de noviembre de 1998 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. DO núm L 330 del 5 de diciembre de 1998.
- Wyatt CJ, Fimbres C, Romo L, Méncéz RO, Grijalva M. Incidence of heavy metal contamination in water supplies in Northern Mexico. Environ Res 1998;76:114-9.
- Smith AH, Goycolea M, Haque R, Biggs ML. Marked Increase in Bladder and Lung Cancer Mortality in a Region of Northern Chile Due to Arsenic in Drinking Water. Am J Epidemiol 1998;147:660-9.
- Hopenhayn-Rich C, Biggs ML, Fuchs A, Bergoglio R, Tello EE, Nicoli H, Smith AH. Bladder Cancer Mortality Associated with Arsenic in Drinking Water in Argentina. Epidemiology 1996;7:117-124.
- Tseng WP. Effects and dose-response relationships of skin cancer and blackfoot disease with arsenic. Environ Health Perspectives 1977;19:109.
- Chen KJ, Chuang YC, Lou SL, Lin TM, Wu HY. A retrospective study on malignant neoplasms of bladder, lung and liver in blackfoot disease endemic area in Taiwan. Br J Cancer 1986;53:399-405.
- Chen C-J, Kuo T-L, Wu M-M. Arsenic and cancers. Lancet 1988;1:414-5.
- Chatterjee A, Das D, Mandal BK, Chowdhury TR, Samanta G, Chakraborti D. Arsenic in Ground Water in Six Districts of West Bengal, India: the Biggest Arsenic Calamity in the World. Part 1. Arsenic Species in Drinking Water and urine of the Affected People. Analyst 1995; 120:643-650.
- Das D, Chatterjee A, Mandal BK, Samanta G, Chakraborti D. Arsenic in Ground Water in Six Districts of West Bengal, India: the Biggest Arsenic Calamity in the World. Part 2. Arsenic Concentration in Drinking Water, Hair, Nails, Urine, Skin-scale and Liver Tissue (Biopsy) of the Affected People. Analyst 1995;120: 917-924.
- WHO. Environmental Health Criteria 18: Arsenic. World Health Organization: Geneva, 1981.
- Tsai SM, Wang TN, Ko YC. Mortality for certain diseases in areas with high levels of arsenic in drinking water. Arch Environ Health 1999; 54:186-193.

21. Harrington JM, Middaugh JP, Morse DL, Housworth J. A survey of a population exposed to high concentrations of arsenic in well water in Fairbanks, Alaska. *Am J Epidemiol* 1978;108:377-385.
22. Morton W, Starr G, Pohl D, Stoner J, Wagner S and Weswig P. Skin cancer and water arsenic in Lane county, Oregon. *Cancer* 1976; 37: 2523-2532.
23. Bates MN, Smith AH, Cantor KP. Case-control study of bladder cancer and arsenic in drinking water. *Am J Epidemiol* 1995;141:523-530.
24. Blanco Hernández AL, Alonso Gutierrez D, Jiménez de Blas O, Santiago Guervós M, de Miguel Manzano B. Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca. *Rev Esp Salud Pública* 1998;72:53-65.