

ORIGINAL

ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PLOMO, CADMIO, ZINC Y ARSÉNICO, EN AGUAS DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA *

**Proyecto de Investigación Coordinado Multidepartamental subvencionado por la Junta de Castilla
León n.º 1884**

**Angel Luis Blanco Hernández (1), Dionisio Alonso Gutiérrez (2), Oroncio Jiménez de Blas (3),
Margarita Santiago Guervós(1), Benito de Miguel Manzano (1)**

(1) Hospital de Nuestra Señora de Sonsoles. Ávila.

(2) Hospital Universitario, Salamanca

(3) Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Salamanca.

RESUMEN

Fundamentos: Conocer el grado de contaminación por plomo, cadmio, cinc y arsénico de las aguas de la provincia de Salamanca y su relación con la zona de procedencia de las muestras y el punto de recogida de las mismas.

Método: Estudio epidemiológico transversal, observacional y descriptivo. Se han estudiado aguas procedentes de redes de abastecimiento, fuentes, manantiales, pozos, ríos, riveras y lagunas de la provincia de Salamanca, analizándose los contenidos de plomo, cadmio, zinc y arsénico de 180 muestras, mediante espectroscopía de absorción atómica. Se han comparado los niveles de contaminación por los cuatro elementos de las muestras de agua entre las cuatro unidades comarcales de la provincia. Se han comparado los niveles de contaminación por los cuatro elementos entre las aguas procedentes de redes de abastecimiento y aquellas muestras de pozos, fuentes, manantiales y aguas de superficie.

Resultados: Los resultados indican que un 56% de las muestras analizadas superan las concentraciones máximas admisibles de cadmio, y un 28% del total de muestras analizadas supera las concentraciones máximas admisibles de plomo, según la legislación vigente presentando niveles tolerables de zinc y arsénico. No se han observado diferencias importantes en el grado de contaminación de las aguas por los elementos estudiados entre las cuatro unidades comarcales de la provincia. No se han observado diferencias en los niveles de contaminación por los cuatro elementos entre las aguas procedentes de redes de abastecimientos y aquellas muestras de pozos, fuentes, manantiales y aguas de superficie.

Conclusiones: Los resultados sugieren que las aguas de la provincia de Salamanca presentan de forma "natural" altos contenidos de cadmio y plomo, probablemente debido a las características geológicas del terreno.

Palabras clave: Contaminación. Aguas. Plomo. Cadmio. Zinc. Arsénico.

ABSTRACT

Levels of Lead, Cadmium, Zinc and Arsenic in the Water in the Province of Salamanca

Background: To establish the degree of contamination by lead, cadmium, zinc and arsenic in the water in Salamanca province and its relationship with the provenance of the samples and their collection point.

Methods: Transverse, observational, descriptive epidemiological study. Province of Salamanca

Results: Water from water pipes, fountains, springs, wells, rivers, streams and lakes in the province of Salamanca were studied, analyzing the lead, cadmium, zinc and arsenic contents of 180 samples using Atomic Absorption Spectroscopy. Results indicated that 56% of samples analyzed showed toxic levels of cadmium, and 28% of samples gave toxic levels of lead, but showed tolerable levels of zinc and arsenic. No major differences were observed in the degree of contamination by the four elements between the four provincial district areas. Levels of contamination by the four elements were compared for water from the water supply, and samples from wells, fountains, springs and surface water, showing similar contents of the elements studied.

Conclusions: Findings suggest that the water in the province of Salamanca shows «naturally» high cadmium and lead content, probably due to the geological characteristics of the terrain.

Key words: Contamination. Water. Lead. Cadmium. Zinc. Arsenic.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental y determinante en la vida humana. La escasez y el uso abusivo del agua dulce plantea una creciente y seria amenaza para el desarrollo

sostenible y la protección del medio ambiente. La salud y el bienestar humanos, la seguridad alimenticia, el crecimiento industrial y el ecosistema del que dependen se hallan en peligro, a no ser que la gestión de los recursos hídricos y del suelo se efectúe en el presente decenio de forma más eficaz que en el pasado^{1,2}.

El agua de consumo puede ser una fuente de intoxicación por plomo, cuando se combinan aguas de carácter ácido con un sistema de conducción por tuberías plomadas. Un claro ejemplo de esta vía de contaminación es la región francesa de Les Vosges, que se considera zona endémica de saturnismo hídrico^{3,5}.

En España se han constatado zonas con alta concentración de plomo en el agua de consumo, cuyos índices alcanzan alrededor de 6.000 ppb⁶. En algunos casos de saturnismo hídrico, se llegaron a detectar hasta 19.000 ppb de plomo en el agua de consumo procedente de la grifería doméstica⁷. Recientes estudios publicados resaltan la importancia del agua como factor epidemiológico determinante para la intoxicación crónica por plomo. En todos los casos son viejas conducciones de plomo las que se han visto implicadas⁸.

De una a otra zona del planeta, se multiplican los trabajos que descubren tasas elevadas de cadmio, tanto en seres vivos, como en aguas y suelos de áreas sometidas a una fuerte contaminación⁹⁻¹¹. Los efectos de la contaminación por cadmio del subsuelo y de las aguas subterráneas, permanecen en el tiempo de forma aún no determinada. En este sentido, las investigaciones realizadas sobre el agua de consumo, en zonas de Alemania en las que durante la Segunda Guerra Mundial se ocasionaron vertidos y depósitos residuales extremadamente tóxicos, han detectado concentraciones elevadas de cadmio, plomo y zinc, aun hoy, más de 50 años después del desastre¹². Los efectos nocivos de la contaminación ambiental por cadmio sobre la salud humana son bien conocidos.

En 1968 se describió el síndrome de Itai-Itai, en familias agrícolas de Toyama (Japón)¹³, y recientemente se han descrito casos similares por exposición crónica al cadmio en Tiangxi (China), relacionados con la contaminación de alimentos por aguas de regadío procedentes de lugares próximos a explotaciones mineras de tungsteno¹⁴⁻¹⁶. En Europa, los casos conocidos de exposición ambiental al cadmio se han ligado tanto a la contaminación atmosférica como a los residuos sólidos, y, sobre todo, a la contaminación de las aguas de superficie. Todos estos factores repercutirían en un aumento del contenido de cadmio en los alimentos vegetales, con los efectos nocivos sobre la salud humana que esto conlleva. El agua de consumo humano está considerada también fuente de exposición al cadmio^{17,18}.

La contaminación ambiental por zinc, y sus efectos sobre la población, no son tan conocidos como en el caso de la producida por los elementos anteriormente comentados. Sin embargo, cada vez son más numerosos los estudios que ponen de manifiesto su elevada concentración en aguas subterráneas y de superficie, y en las destinadas al consumo humano, siempre acompañando a concentraciones elevadas de otros elementos: cadmio, plomo y mercurio, especialmente en determinadas zonas de Centro Europa^{18,19}.

Las labores agrícolas, y, en particular, la utilización de compuestos arsenicales como productos fitosanitarios, han supuesto una fuente común de contaminación ambiental, no sólo al actuar directamente sobre los alimentos, sino, y esto es fundamental, al perpetuar la cadena contaminante, por sus muy dilatados efectos en el tiempo sobre los suelos y las aguas residuales empleadas en el riego de estas labores²⁰⁻²³. Cada vez son más numerosos los datos que avalan la importancia del agua de consumo humano como fuente de exposición al arsénico^{24,25}. Recientes estudios epidemiológicos han encontrado regiones en las que una amplia población se encuentra expuesta a concentraciones muy

elevadas de arsénico en el agua de consumo, originando gravísimos problemas sanitarios que se están evaluando en la actualidad²⁶⁻²⁸. La mayoría de los estudios reconocen que la fuente de contaminación hídrica no es otra que la composición geológica del terreno, descartándose otras fuentes de aporte del arsénico al agua de consumo²⁹.

El presente trabajo de investigación epidemiológica tiene un estricto carácter observacional y descriptivo, pretendiendo descubrir la existencia de elementos contaminantes (plomo, cadmio, zinc y arsénico) en aguas de la provincia de Salamanca, sin estudiar las causas que condicionan la existencia de contaminación en dichas muestras, dejando, pues, las puertas abiertas a posteriores investigaciones.

Se ha estudiado la asociación de diferentes circunstancias al grado de contaminación de las muestras de agua; en particular, la zona de procedencia y el punto de recogida de dichas muestras.

Dentro de la línea de investigación de nuestro equipo y teniendo como soporte el Proyecto de Investigación Coordinado Multidepartamental subvencionado por la Junta de Castilla León (n.º 1884), acometimos la tarea de realizar un estudio del contenido de distintos elementos (plomo, cadmio, zinc y arsénico) en aguas naturales y de consumo en la provincia de Salamanca, aproximándonos, de una forma general, al nivel de contaminación de sus aguas por estos cuatro elementos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se ha llevado a cabo en el Departamento de Medicina de la Facultad de Medicina y en el Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Facultad de Ciencias Químicas, de la Universidad de Salamanca.

El presente estudio se circunscribe a la provincia de Salamanca, de la Comunidad

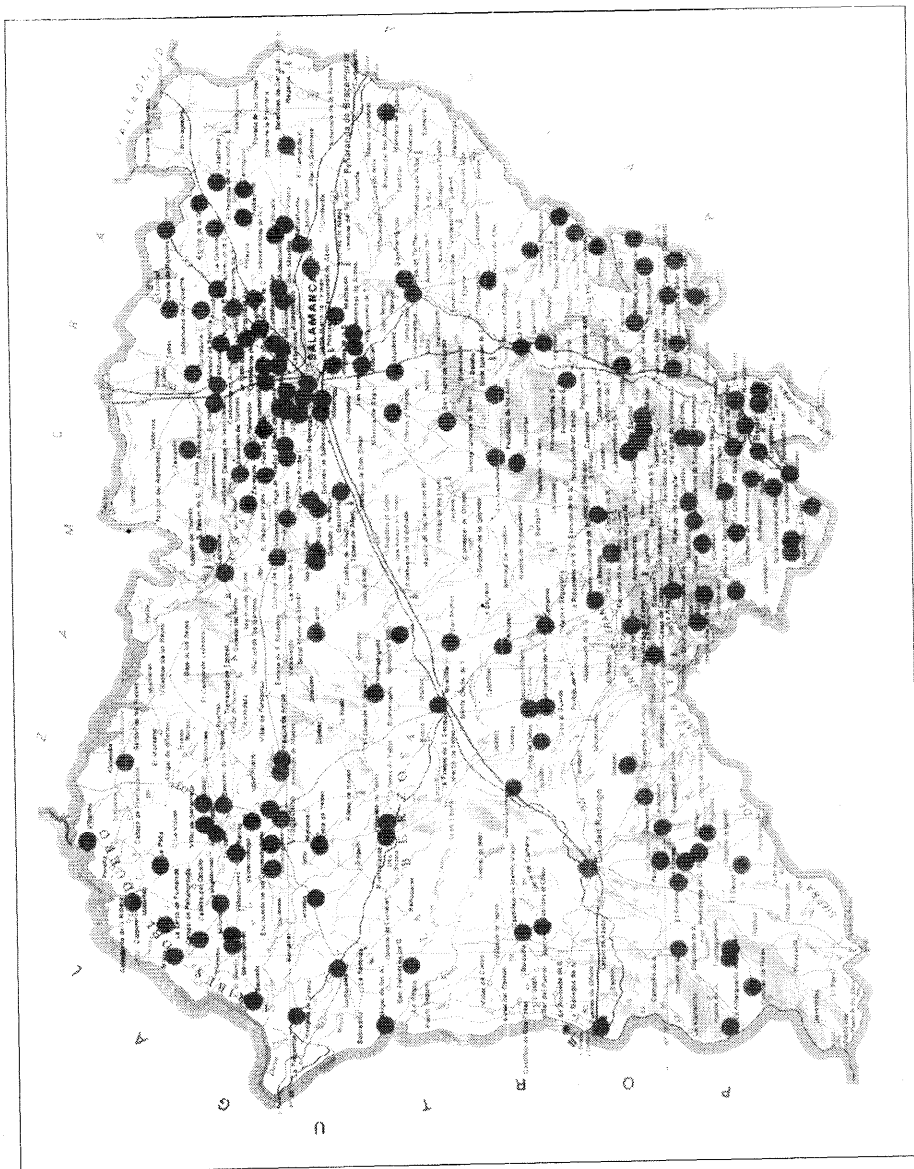
Autónoma de Castilla León. Aunque son muchas las comarcas definidas en nuestra provincia, se han considerado, en lo que se refiere a nuestro estudio, cuatro grandes zonas, cada una de las cuales integra suficientes criterios comunes para hacerla diferente de las otras. Así, tendremos: Zona 1, *Campo de Salamanca*. Zona 2, *Los Arribes*. Zona 3, *La Sierra*, Zona 4, *La Armuña*.

Recogida de muestras. Han sido analizadas 180 muestras de agua de la provincia de Salamanca. El número total de muestras analizadas se distribuye de la siguiente manera: 137 procedentes de aguas de las redes de abastecimiento destinado al consumo de otros tantos núcleos de población; 35 han sido obtenidas de fuentes, pozos y manantiales, situados en núcleos de población, o en sus proximidades; y 8 pertenecientes a los ríos, riveras y lagunas. En la figura 1 se representa la situación de los puntos de recogida de las muestras.

Las 137 redes de abastecimiento, cuya agua ha sido analizada, pertenecen a otras tantas localidades elegidas al azar, mediante la técnica de muestreo aleatorio, entre los 368 municipios existentes en la provincia de Salamanca, lo que supone un estudio del 37,2% del total de los 368 municipios que tiene la provincia. Las muestras procedentes de aguas de abastecimiento han sido obtenidas en un punto de la red de su distribución, bien comunitaria (grifos o caños públicos), bien particular, desechando el agua acumulada en la grifería, dejándola correr por espacio de unos segundos.

Dada la enorme amplitud del trabajo, sólo se ha recogido una muestra de agua del abastecimiento de cada localidad, a fin de abarcar al mayor número de éstas. Se han excluido del estudio los municipios de más de 50.000 habitantes, con el objeto de que éste tenga un carácter eminentemente rural. Los pozos, fuentes y manantiales, cuya agua ha sido analizada, tienen una localización variada, conseguida gracias a una investigación de campo durante las salidas para recoger

Figura 1
Puntos de recogida de las muestras



muestras de agua de abastecimiento. Se han analizado las aguas de 6 ríos y riveras, tomando una sola muestra de cada uno. No ha habido uniformidad en el punto del curso del río en el que se ha obtenido la muestra. La recogida de muestras de aguas se realizó entre los meses de mayo de 1988 y junio de 1989. Las muestras fueron recogidas en recipientes de pet, sin ningún conservante ni reactivo, y fueron transportadas, directamente y sin período de almacenaje, al laboratorio para su determinación analítica. Durante la recogida de muestras, se ha cumplimentado la hoja de control, consignando los siguientes datos: número secuencial de la muestra, municipio de procedencia, punto de obtención de la muestra y fecha de recogida.

Análisis de las muestras. Las determinaciones analíticas han sido llevadas a cabo en el Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Salamanca. Se han analizado 180 muestras de agua, determinándose en cada muestra plomo, cadmio, cinc y arsénico, por lo que el número total de determinaciones ha sido de 720.

En la determinación de plomo, las dos opciones más utilizadas en la evolución de los métodos de espectroscopía de absorción atómica, han sido los métodos de cámara de Delves y de horno de grafito. El método de horno de grafito (análisis por absorción atómica con atomización electrotrémica con horno de grafito) puede ser fácilmente automatizado, es un método simple, cuya precisión y exactitud son similares o superiores a los del procedimiento de la cámara de Delves.

Para muestras con contenidos de cadmio a nivel de ultratrazas, la técnica más apropiada es la espectroscopía de absorción atómica con atomización electrotrémica (EAA-horno de grafito), preferiblemente con plataforma a temperatura estabilizada y con corrector por efecto Zeeman³⁰.

Para la determinación de zinc en el tipo de muestras analizadas, la espectroscopía de absorción atómica con llama es la técnica adecuada.

En el caso del arsénico, la utilización de la espectroscopía de absorción atómica con generación de hidruros (EAA-GH), incrementa la sensibilidad en unas dos órdenes de magnitud, en relación con la espectroscopía de absorción atómica con llama³¹.

En definitiva, las razones para el uso de estas técnicas son muy consistentes, debiendo tener en cuenta aspectos como matriz, operador, experiencia y razones económicas, a la vez que características analíticas, como límite de detección, exactitud y precisión. La utilización de una u otra técnica se ha determinado valorando todos estos factores.

Para la determinación de plomo y cadmio se ha empleado el espectrofotómetro de absorción atómica modelo VARIAN AA-1475, con corrector de fondo de lámpara de deuterio y atomizador electrotrémico de Horno de Grafito, VARIAN GTA-95.

En el caso del zinc, se ha utilizado el espectrofotómetro de absorción atómica ya señalado para el plomo y cadmio. Para la determinación de arsénico, la técnica utilizada ha sido la espectroscopía de absorción atómica con generación de hidruros, modelo VARIAN VGA-76, con separador gas líquido, ya que su sensibilidad es la más apropiada para el nivel de contenido de los elementos a determinar.

Determinación de niveles. Según la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público (Real Decreto 1138/1990)³², tanto el plomo como el cadmio y el arsénico, son considerados componentes tóxicos del agua, y la concentración máxima admisible, está fijada en 50 ppb para el plomo y el arsénico, y en 5 ppb para el cadmio. El zinc es considerado "componente no deseable" para las aguas de con-

sumo humano y la concentración máxima admisible es de 5000 ppb.

Los límites de detección se han definido por las distintas técnicas analíticas y son los siguientes: plomo y cadmio: 0,05 ppb; zinc: 0,80 ppb y arsénico: 0,20 ppb.

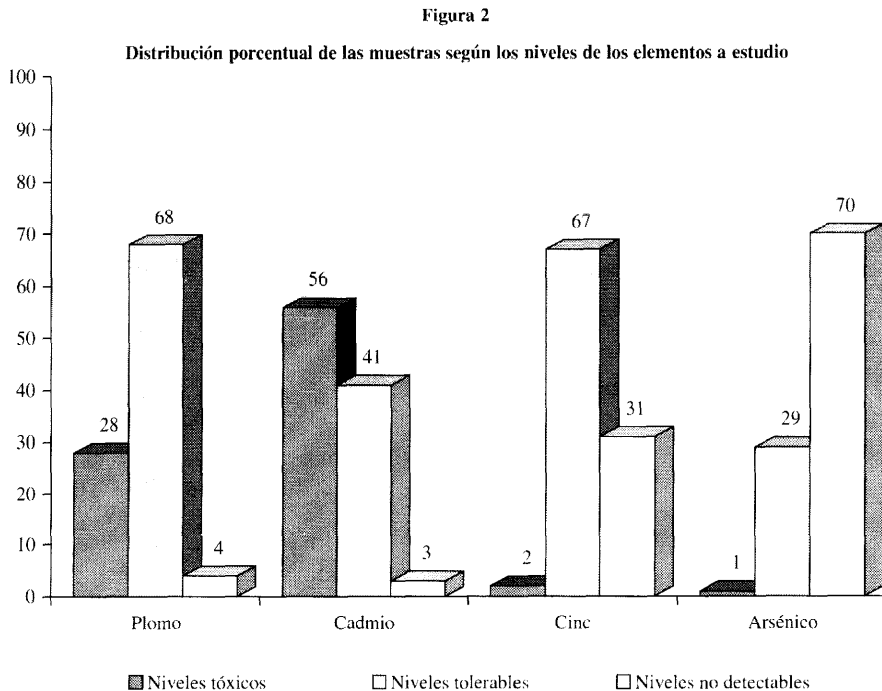
Con estos criterios se han fijado tres categorías de niveles de contaminación, según los contenidos en los elementos estudiados. Se han denominado "niveles tóxicos" aquellos que superan las concentraciones máximas admisibles, según la legislación vigente; "niveles tolerables", aquellos que, aunque detectándose contenidos de los elementos estudiados, no superan las concentraciones máximas admisibles, según la legislación vigente; y "niveles no detectables", aquellos en los que, mediante las técnicas utilizadas no se detectan trazas de los elementos estudiados.

Análisis estadístico. El estudio estadístico se ha llevado a cabo en la Unidad de

Informática ubicada en el Hospital N.^a Señora de Sonsoles, de Ávila, mediante el programa Excel, desarrollado en un ordenador tipo PC/AT compatible con el sistema IBM. Dado el marcado carácter observacional y descriptivo del trabajo epidemiológico, se ha optado por el estudio de las variables, una vez transformadas en variables cualitativas y agrupadas en distribuciones porcentuales. Así, se han obtenido tres categorías diferentes de muestras: muestras con niveles no detectables; muestras con niveles tolerables, y muestras con niveles tóxicos. Para la comparación entre distribuciones porcentuales de variables cualitativas, se ha utilizado la prueba de hipótesis de test de chi cuadrado, y se ha fijado el grado de significación para p,01

RESULTADOS

En la figura 2 se representan las distribuciones porcentuales de muestras de agua, según sus contenidos de plomo, cadmio, Zinc y arsénico. Un total del 56% de las muestras



analizadas presentan niveles tóxicos de cadmio, siendo estas diferencias significativas estadísticamente, incluso si las comparamos con el porcentaje de muestras de agua con niveles tóxicos de plomo.

En el caso del plomo, si bien el grado de contaminación de las muestras es menor, su presencia en las aguas de nuestra provincia, es muy amplia, ya que un 28 % de las muestras analizadas presentan niveles tóxicos, siendo estas diferencias estadísticamente significativas, cuando las comparamos con los porcentajes de muestras de agua con niveles tóxicos de cinc y de arsénico. ($P < 0,001$).

Niveles de plomo en aguas, en relación con la zona de procedencia (figura 3)

Cuando comparamos los porcentajes de muestras con niveles tóxicos y tolerables de

plomo, no existen diferencias significativas entre las distintas comarcas. Tan sólo, al centrarse en las muestras con niveles de plomo no detectables, se objetiva que en la zona de El Campo Charro ninguna muestra presenta niveles no detectables, siendo estas diferencias significativas, si las comparamos con las de Los Arribes o La Sierra.

Niveles de cadmio en aguas, en relación con la zona de procedencia (figura 4)

Con carácter general, se puede decir que el cadmio presenta un comportamiento similar al plomo. Pero, cuando comparamos las muestras de aguas procedentes de Las Arribes (zona 2), con las procedentes de La Armuña (zona 4), aquellas presentan un mayor porcentaje de muestras con niveles tóxicos, siendo estas diferencias estadísticamente significativas.

Figura 3

Distribución porcentual de las muestras de agua, en relación con los niveles de plomo y la zona de procedencia

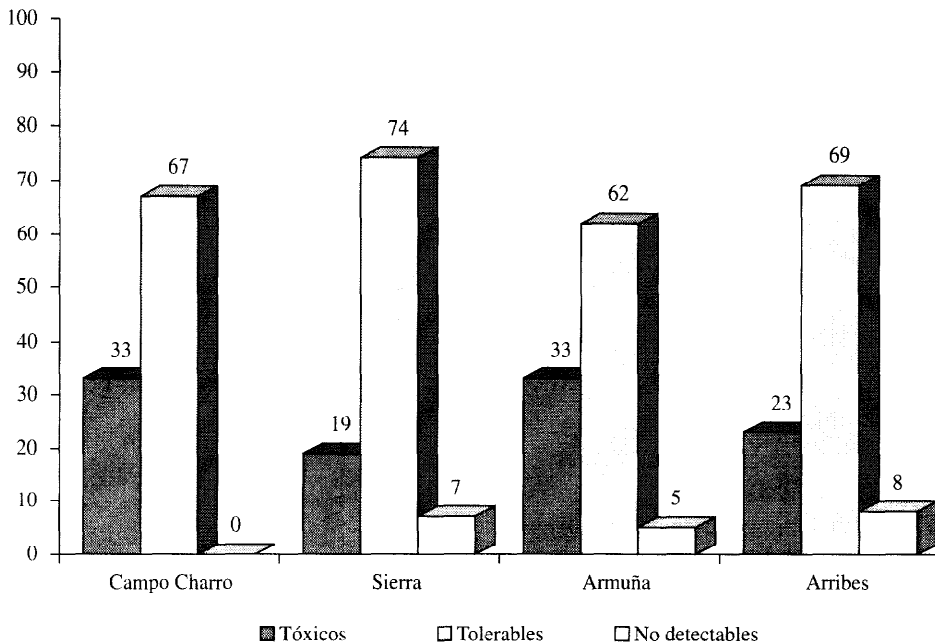
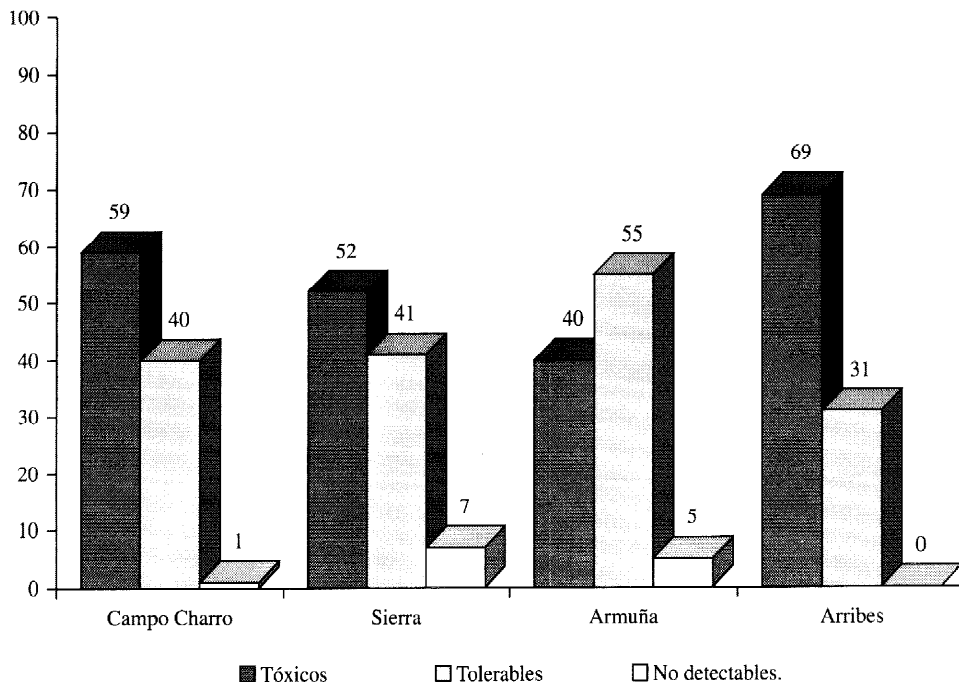


Figura 4

Distribución porcentual de las muestras de agua, en relación con los niveles de cadmio y la zona de procedencia



Niveles de cinc en aguas, en relación con la zona de procedencia (figura 5)

Las distintas comarcas salmantinas presentan similares porcentajes de muestras con niveles tóxicos. Sin embargo, al estudiar las muestras de agua en las que no se ha detectado ningún contenido de zinc, se observa que la comarca de La Armuña y El Campo Charro, presentan un porcentaje de este tipo de muestras significativamente inferior a las que proceden de las zonas de La Sierra y Los Arribes.

Niveles de arsénico en aguas, en relación con la zona de procedencia (figura 6)

No existen diferencias entre las distintas comarcas, cuando se examinan los niveles tóxicos. Pero si estudiamos las muestras de agua con niveles tolerables, se observa que la zona de la Sierra presenta un porcentaje de

muestras con trazas de arsénico más elevado que aquellas procedentes de las restantes.

Estudio de los niveles de plomo, cadmio, cinc y arsénico, en aguas, en relación con el punto de recogida de las muestras

En la tabla 1, se representan las distribuciones porcentuales de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas, en relación con el punto de recogida de las muestras. No existen diferencias significativas entre el grado de contaminación por los elementos estudiados de las muestras de agua de las redes de abastecimiento y las procedentes de otros puntos de recogida.

DISCUSION

Los resultados ponen de manifiesto que el elemento que está más presente y con unos

Figura 5

Distribución porcentual de las muestras de agua, en relación con los niveles de cinc y la zona de procedencia

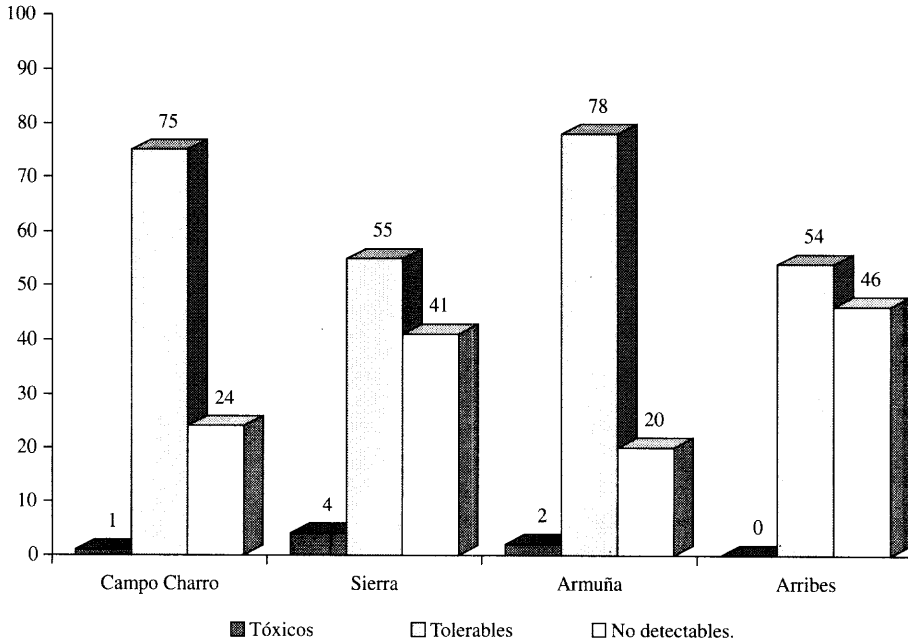


Figura 6

Distribución porcentual de las muestras de agua, en relación con los niveles de arsénico y la zona de procedencia.

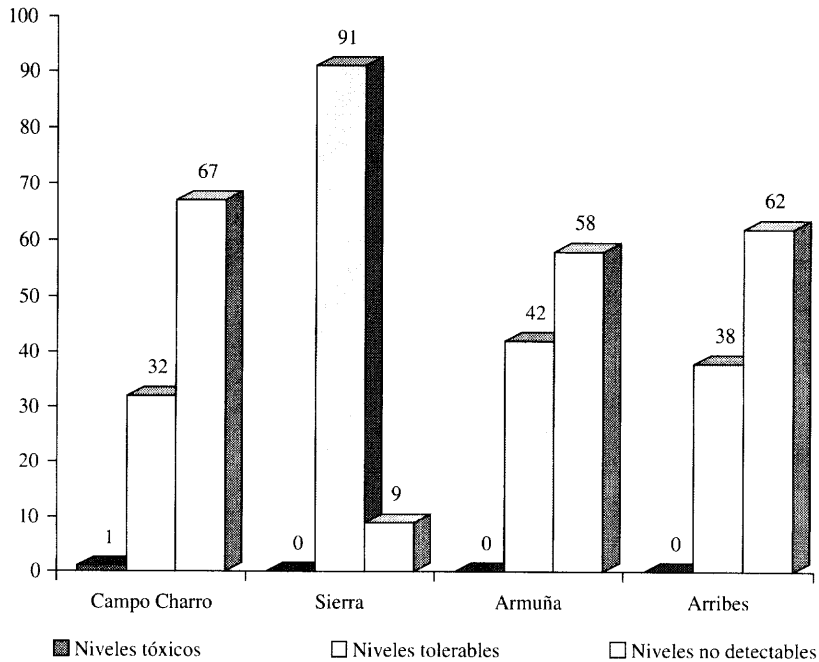


Tabla 1

Distribución porcentual de las muestras de agua, en relación con los niveles de plomo, cadmio, cinc y arsénico y con el punto de recogida de las mismas

(Aguas naturales y aguas de abastecimiento)

Elemento estudiado	Muestras con niveles tóxicos		Muestras con niveles tolerables		Muestras con niveles no detectables	
	Aguas naturales (%)	Aguas abastecimiento (%)	Aguas naturales (%)	Aguas abastecimiento (%)	Aguas naturales (%)	Aguas abastecimiento (%)
Plomo	35	25	60	71	5	4
Cadmio	54	56	39	42	7	2
Cinc	0	3	58	72	42	25
Arsénico	0	1	30	28	70	71

niveles más altos en las aguas de la provincia de Salamanca es el cadmio. Un total del 56% de las muestras analizadas presentan niveles tóxicos. Sin duda, es un resultado sorprendente, dado que los datos recogidos en la literatura muestran que los casos en que se han detectado niveles elevados de cadmio en aguas, han estado siempre en relación con actividad minera o industrial importante¹³⁻¹⁷. Esta circunstancia podría explicar los contenidos en cadmio de las aguas de unas pocas localidades muy determinadas, que tienen en sus proximidades explotaciones mineras, a cielo abierto y con importantes escombreras de detritos que originan escorrentías dignas de tener en cuenta. Pero, aquellas otras localidades, pertenecientes a zonas donde la actividad minera o industrial está ausente, muestran también altas concentraciones de cadmio en sus aguas, tanto en aquellas procedentes de las redes de abastecimiento, como las recogidas en manantiales, charcas o ríos. Esto señala que otro tipo de fuentes está implicado en el aporte de este metal pesado a las aguas de nuestra provincia, y, como en el caso del plomo, es más que probable que una distribución tan amplia y unos niveles tan intensos solamente puedan explicarse si las aguas presentan estos contenidos en cadmio de forma natural.

El caso del plomo guarda cierta similitud con el elemento estudiado anteriormente; si

bien el grado de contaminación de las muestras es menor, su presencia en las aguas de nuestra provincia es muy amplia; mucho más de lo que sería esperable, ya que un 28% de las muestras de agua analizadas presentan niveles considerados como tóxicos. Los factores epidemiológicos que inciden en la contaminación por plomo de las aguas son los mismos que hemos referido al hablar de la contaminación por cadmio, y de igual forma no explicarían en nuestro medio los altos niveles encontrados. Otro factor epidemiológico específico del plomo es la contaminación producida por la liberación de este metal pesado desde las conducciones de agua, especialmente cuando ésta presenta un marcado carácter ácido. Son varios los casos descritos en los que se han producido intoxicaciones por este elemento debido a esta forma de exposición³⁻⁸. Más adelante quedará claro que en nuestro medio este factor no induce diferencias en los contenidos de plomo de las muestras de agua. Todo lo referido anteriormente señala que la fuente más probable de aporte de este metal pesado al agua sea la composición geológica del terreno, siendo, por lo tanto, una forma de contaminación que se puede denominar "natural". Sin embargo, no se pueden descartar otros fenómenos de contaminación locales, tales como filtraciones desde vertederos de residuos sólidos, canteras o explotaciones mineras a cielo abierto, que están presentes en las proximidades de algunas poblaciones en las

que se han detectado importantes contenidos de cadmio y plomo en sus aguas, como son Los Santos y Golpejas. Otras fuentes como el plumbismo asociado a actividades cinegéticas³³, son factores a tener en cuenta y que justificarían estudios epidemiológicos dirigidos más específicamente a este fin.

En general, y salvo las puntualizaciones que comentaremos a continuación, no existen diferencias importantes del grado de contaminación de las aguas de los cuatro elementos estudiados entre las cuatro unidades comarcales provinciales. Como ha quedado puesto de manifiesto, la zona de Los Arribes presenta un porcentaje de muestras de agua con niveles tóxicos de cadmio significativamente más elevado que aquellas procedentes de La Armuña. En el resto de categorías de contaminación, también se objetivan pequeñas matizaciones, como la mayor presencia de plomo en las aguas de El Campo Charro, o la mayor presencia de zinc en las aguas de La Armuña y el Campo Charro; o el mayor contenido de arsénico de las aguas de La Sierra, siempre presentando contenidos tolerables. La comparación de estos datos con los recogidos en la literatura internacional²⁴⁻²⁷, conduce a pensar que las pequeñas diferencias del contenido de estos elementos en las aguas de las distintas comarcas vienen determinadas principalmente por las características hidrogeológicas del terreno, ya que, como ha quedado dicho, la actividad minera o industrial está prácticamente ausente en todas las zonas. La incidencia de la utilización de abonos químicos y productos fitosanitarios es muy alta en la zona de La Armuña, sin embargo, no parece incidir de forma notable en los niveles de contaminación de sus aguas por los elementos estudiados.

Los resultados obtenidos al comparar el grado de contaminación de las aguas por los cuatro elementos, entre las muestras procedentes de las redes de abastecimiento y las obtenidas de otros puntos de recogida, que denominamos genéricamente como "naturales", muestran una total uniformidad, ya

que no existen diferencias en ninguna categoría y para ningún elemento estudiado. Con estos resultados hay que pensar que el alto índice de muestras contaminadas por plomo no es debido, como reflejan la mayoría de los datos bibliográficos recogidos³⁻⁷, a los aportes plúmbicos desde las conducciones de agua, ya que las muestras "naturales", que no poseen conducciones metálicas, presentan similares niveles de contaminación por plomo. Esto indica que, en nuestro medio, es otra la fuente de contaminación por este metal pesado. Por lo tanto, concluimos que la manipulación del hombre para almacenar, canalizar y distribuir el agua, además de tratarla para el consumo, no induce diferencias en el grado de contaminación de las aguas por los elementos estudiados.

En resumen, las aguas de la provincia de Salamanca, presentan un alto grado de contaminación por cadmio, y, en menor medida, por plomo, presentando contenidos tolerables de zinc y arsénico. El grado de contaminación de las aguas por plomo, cadmio, zinc y arsénico, es similar en las distintas comarcas salmantinas. El grado de contaminación por plomo, cadmio, zinc y arsénico es igual en las aguas de las redes de abastecimiento destinadas al consumo humano, que en las aguas "naturales", las cuales incluyen las procedentes de pozos, fuentes tradicionales, ríos, riveras y lagunas.

Estos hallazgos sugieren que las aguas de la provincia de Salamanca presentan niveles muy altos de cadmio y plomo, de forma natural, probablemente condicionados por las características geológicas del terreno.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Dirección General del Instituto Geográfico Nacional. Problemas Medioambientales. Atlas Nacional de España 1991. Sección X, Grupo 39: 47. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente; 1992.

2. Manteiga L. Conservación y gestión de los cursos fluviales en la España peninsular. *Quercus* 1992; 76: 39-43.
3. Goldberg A, Pocock SJ. Contribution of lead in drinking water to blood lead. *Lancet* 1977; 2: 661-2.
4. Bacon AP, Froomé K, Gent AE, Cooke TK, Sowerby P. Lead poisoning from drinking soft water. *Lancet* 1967; 1: 264-6.
5. Kaminsky P, Leone J, Duc M. Incidence du saturnisme hydrique dans un service de médecine interne en région de sols acides. *Nouv Pres Med* 1988; 17: 419-22.
6. Otero A, Mora B, Cao M, Rodríguez L. Epidemiología de la intoxicación por plomo de agua domiciliaria y saturnismo. Valoración de parámetros para el estudio de grandes poblaciones. *Rev Sanid Hig Pública* 1987; 61: 799-810.
7. Gil Llano JR, Pérez de las Vacas J, Gaspar G, Solís Villa FJ. Saturnismo familiar a partir del agua de uso doméstico. *Rev Clin Esp* 1985; 177: 150-1.
8. Marcos F, Moreiras JL, Moran Y, Aparicio J, Durán Pérez A. Algunas consideraciones sobre el saturnismo. *Rev Clin Esp* 1986; 178: 38-9.
9. Krelowska-kulas M. Content of some metals in mean tissue of salt-water and fresh-water fish and in their products. *Nahrung* 1995; 39: 166-72.
10. Burger J, Márquez M, Gochfeld M. Heavy metals in the hair of opossum from Palo Verde, Costa Rica. *Arch Environ Contam Toxicol* 1994; 27: 472-6.
11. Elkin BT, Bethke RW. Environmental contaminants in caribou in the Northwest Territories, Canadá. *Sci Total Environ* 1995; 160: 307-21.
12. Schulze D, Kupsch H, Segebade C. Determination of heavy metals in humic substances by instrumental photon activation analysis. *Biol Trace Elem Res* 1994; 43: 267-72.
13. Tsuchiya K. Epidemiological studies on cadmium in the environment in Japan: etiology of Itai-Itai disease. *Fed Proc* 1976; 35: 2412-8.
14. Cai S, Yue L, Shang Q, Nordberg G. Cadmium exposure among residents in an area contaminated by irrigation water in China. *Bull World Health Organ* 1995; 73 (3): 359-67.
15. Aoshima K, Fan JJ, Katoh T, Teranishi H. Cadmium exposure and renal effects in the inhabitants of the areas irrigated by the water of the Junzu River through the Ushigakubi channel. *Nippon Eiseigaku Zasshi* 1995; 50: 2-32.
16. Nishijo M, Nakagawa H, Morikawa Y, Tabata M, Senma M, Miura K, Takahara H, Kawano S, Nishi M, Mizukoshi et al. Mortality of inhabitants in an area polluted by cadmium: 15 years follow up. *Occup Environ Med* 1995; 52(3): 181-4.
17. Kreis IA. Cadmium contamination of the Countryside, a case study on health effects. *Toxicol Ind Health* 1990; 6 (5): 181-8.
18. Schreiber H, Schoenen D. Chemical, bacteriological and biological examination and evaluation of sediments from drinking water reservoirs. Results from the first sampling phase. *Zentralbl Hyg Umweltmed* 1994; 196 (2): 153-69.
19. Schuhmacher M, Domingo JL, Llobet JM, Corbella J. Cadmium, chromium, copper, and zinc in rice and rice field soil from southern Catalonia, Spain. *Bull Environ Contam Toxicol* 1994; 53 (1): 54-60.
20. Tollestrup K, Daling JR, Allard J. Mortality in a cohort of orchard workers exposed to lead arsenate pesticide spray. *Arch Environ Health* 1995; 50 (3): 221-9.
21. Hothem RL, Welsh D. Contaminants in eggs of aquatic birds from the grasslands of central California. *Arch Environ Contam Toxicol* 1994; 27 (2): 180-5.
22. Sanok WJ, Ebel JG, Manzell KL, Gutenmann WH, Lisk DJ. Residues of arsenic and lead in potato soils on Long Island. *Chemosphere* 1995; 30 (4): 803-6.
23. Boppel B. Arsenic, lead and cadmium in home-made preserves of fruits and vegetables from former decades. Climbing beans since the harvest year of 1913. *Z Lebensm Unters Forsch* 1995; 201 (1): 12.
24. Reddy CH, Hayes AW. Food-borne toxicants. En: Hayes AW ed. *Principles and Methods of Toxicology*. Nueva York: Raven Press, 1989; 67-110.
25. Feinglass EJ. Arsenic intoxication from well water in the United States. *N Engl J Med* 1973; 288: 828-30.
26. Chen SL, Yeh SJ, Yang MH, Lin TH. Trace element concentration and arsenic speciation in the well water of a Taiwan area with endemic Blackfoot Disease. *Biol Trace Elem Res* 1995; 48 (3): 263.
27. Das D, Chatterjee A, Mondal BK, Samanta G, Chakraborti D, Chanda B. Arsenic in ground water in six districts of West Bengal, India: the biggest arsenic calamity in the world. Part I. Arsenic species in drinking water and urine of the affected people. *Analyst* 1995; 120 (3): 643.

28. Bates MN, Smith AH, Cantor KP. Case control study of bladder cancer and arsenic in drinking water. *Am J Epidemiol* 1995; 141 (6): 523-30.
29. Das D, Chatterjee A, Mandal BK, Samanta G. Arsenic in ground water in six districts of West Bengal, India: the biggest arsenic calamity in the world. Part II. Arsenic concentration in drinking water, hair, nails, skin-scale and liver tissue (biopsy) of the affected people. *Analyst* 1995; 120 (3): 917.
30. Sperlin M, Yin X, Welz B. Flow Injection on line Separation and Preconcentration for Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry. Part 1. Determination of Ultratrace Amounts of Cadmium, Copper, Lead and Nickel in Water Samples. *J Anal At Spectrom* 1991; 7: 295
31. Hakala E, Pyy L. Selective Determination of Toxicologically Important Arsenic Species in Urine by High-performance Liquid Chromatography-Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry. *J Anal At Spectrom* 1992; 7: 191-6.
32. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1138/1990. Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las potables de consumo público. BOE núm 226, 20/9/1990.
33. Delibes J. Plumbismo. *Trofeo* 1995; 307: 34-8.