

## CONTENIDO DE METALES Y ELEMENTOS TRAZA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE ABASTECIMIENTO DE LA ISLA DE EL HIERRO (ISLAS CANARIAS, ESPAÑA)

Laura Padrón Armas (1), Soraya Paz Montelongo (1), Ángel J. Gutiérrez Fernández (1), Carmen Rubio Armendáriz (1), Dailos González Weller (2) y Arturo Hardisson de la Torre (1)

(1) Área de Toxicología. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de La Laguna. Santa Cruz de Tenerife. España.

(2) Servicio de Inspección y Laboratorio de Santa Cruz de Tenerife. Servicio Canario de Salud. Santa Cruz de Tenerife. España.

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de interés.

### RESUMEN

**Fundamentos:** Las erupciones volcánicas son una fuente natural de sustancias potencialmente peligrosas para la salud humana. La isla de El Hierro (Islas Canarias, España) sufrió una erupción volcánica marina en el año 2012, siendo necesaria la monitorización de los niveles de ciertos elementos que pueden alterar la calidad de las aguas subterráneas de abastecimiento. El objetivo de este trabajo fue determinar el contenido de metales y elementos traza de las aguas subterráneas de abastecimiento de la Isla del Hierro y comprobar si cumplían los parámetros de calidad establecidos en la legislación española.

**Métodos:** Se determinó el contenido de metales y elementos traza (aluminio, plomo, cadmio, calcio, potasio, sodio, magnesio, boro, bario, cobalto, cromo, cobre, hierro, litio, manganeso, molibdeno, níquel, estroncio, vanadio, zinc, flúor) en un total de 60 muestras de agua subterránea de abastecimiento y de agricultura procedentes de seis puntos diferentes de muestreo de la isla. La determinación fue llevada a cabo mediante espectrofotometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y mediante potenciometría de ion selectivo de fluoruro. Los datos fueron analizados estadísticamente aplicando los tests de Kolmogorov-Smirnov, estadístico de Levene, Kruskal-Wallis, U de Mann-Whitney, ANOVA y test de Tukey. Se consideraron diferencias significativas aquellas que cumplían  $p < 0,05$ .

**Resultados:** La mayor concentración media de plomo se registró en las muestras de Tigaday ( $0,003 \pm 0,0005$  mg/L), encontrándose diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en los niveles de plomo entre los puntos de muestreo. Los elementos analizados se encontraban por debajo de los valores paramétricos fijados en el *Real Decreto 140/2003*.

**Conclusiones:** Los resultados obtenidos reflejan que, en todas las muestras analizadas, los parámetros de calidad establecidos en la legislación española (*RD 140/2003*) se cumplen, siendo, por lo tanto, aguas aptas para el consumo humano.

**Palabras clave:** Aguas subterráneas, Erupción volcánica, Metales, Fluoruro.

### ABSTRACT

#### Metal content and trace elements in groundwater supply of the island of El Hierro (Canary Islands, Spain)

**Background:** Volcanic eruptions are a natural source of substances potentially dangerous to human health. The island of El Hierro (Canary Islands, Spain) suffered a marine volcanic eruption in 2012, making it necessary to monitor the levels of certain elements that can alter the quality of groundwater supply. The objective of this work was to determine the content of metals and trace elements in the groundwater supply of the Isla del Hierro and to check if they met the quality parameters established in Spanish legislation.

**Methods:** The content of metals and trace elements (aluminum, lead, cadmium, calcium, potassium, sodium, magnesium, boron, barium, cobalt, chromium, copper, iron, lithium, manganese, molybdenum, nickel, strontium, vanadium, zinc, fluorine) in a total of 60 samples of groundwater supply and agriculture from six different sampling points on the island. The determination was carried out by inductively coupled plasma optical emission spectrophotometry (ICP-OES) and by fluoride ion selective potentiometry. The data were statistically analyzed applying the Kolmogorov-Smirnov test, Levene's statistic, Kruskal-Wallis, Mann-Whitney U, ANOVA and Tukey's test. Significant differences were those that met  $p < 0.05$ .

**Results:** The highest mean concentration of lead was recorded in the Tigaday samples ( $0.003 \pm 0.0005$  mg/L), finding statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) in the lead levels between the sampling points. The elements analyzed were below the parametric values set in *Royal Decree 140/2003*.

**Conclusions:** The results obtained reflect that, in all the samples analyzed, the quality parameters established in the Spanish legislation (*RD 140/2003*) are met, being, therefore, waters suitable for human consumption.

**Key words:** Groundwater, Volcanic eruption, Metals, Fluoride.

## INTRODUCCIÓN

La isla de El Hierro es la más occidental y meridional de las islas Canarias. El abastecimiento de agua para el consumo de la población se basa principalmente en las aguas subterráneas, las cuales son extraídas de galerías, pozo-galerías o pozos, así como aguas procedentes de plantas desaladoras.

Datos obtenidos en el documento de avance del Plan Hidrológico de la isla de El Hierro durante 2009-2015 muestran que el agua procedente de desalación asciende a un total de 1.540.000 m<sup>3</sup>/año, mientras que el agua procedente de recursos subterráneos constituye un total de 2.099.700 m<sup>3</sup>/año<sup>(1)</sup>.

Entre los meses de octubre de 2011 y marzo de 2012, la isla de El Hierro sufrió una erupción volcánica a unos 2 km al sur de ésta. Como resultado de dicha erupción, emergió un nuevo volcán subterráneo de 86 metros de altura, que recibió el nombre de Tagoro<sup>(2)</sup>.

Es conocido que las erupciones volcánicas son una de las principales fuentes naturales de emisión de diversas sustancias, algunas de ellas potencialmente peligrosas para el medio ambiente, como, por ejemplo, metales tóxicos como el aluminio, el cadmio o el plomo, carentes de función en el organismo humano y neurotóxicos<sup>(3)</sup>.

Así mismo, la principal fuente de fluoruro en las aguas subterráneas procede de la actividad volcánica eruptiva y/o intrusiva<sup>(4)</sup>, considerándose este anión como uno de los contaminantes inorgánicos no metálicos más relevantes en las aguas subterráneas<sup>(5)</sup>. Una ingesta excesiva de fluoruro puede provocar efectos negativos sobre la salud, como la fluorosis dental y/o fluorosis ósea<sup>(6,7)</sup>. Municipios de la isla de Tenerife han sido conocidos por problemas de fluorosis

dental, visible en individuos con los dientes moteados<sup>(8)</sup>.

Según lo recogido en el artículo 7 del *Real Decreto 140/2003*, el agua de consumo humano podrá proceder de cualquier origen, siempre que no entrañe un riesgo para la salud de la población abastecida<sup>(9)</sup>. El agua captada de las galerías o pozos no es pura, pues debido a su paso a través de la roca del subsuelo incorpora minerales (los cuales son los responsables de sus características distintivas) pero también puede presentar iones, metales u otras sustancias, especialmente en aquellos suelos de origen volcánico<sup>(10,11,12)</sup>. Por este motivo, la vigilancia y monitorización de las aguas subterráneas es necesaria para determinar la calidad de la misma y confirmar si ésta es apta o no para el consumo humano.

Teniendo en cuenta la gran importancia de la vigilancia y monitorización de las aguas subterráneas, especialmente tras una erupción volcánica, los objetivos del presente estudio fueron los siguientes:

- i) Determinar las concentraciones de metales y elementos traza (aluminio, plomo, cadmio, calcio, potasio, sodio, magnesio, boro, bario, cobalto, cromo, cobre, hierro, litio, manganeso, molibdeno, níquel, estroncio, vanadio, zinc, flúor) en las aguas subterráneas de abastecimiento de la isla de El Hierro.
- ii) Comprobar si los niveles encontrados de metales y elementos traza cumplían los valores paramétricos establecidos en la legislación española.
- iii) Evaluar la ingesta de metales y elementos traza procedentes del consumo del agua analizada, considerando para ello los valores de ingesta recomendada (en el caso de elementos esenciales) y los valores de ingesta diaria o semanal admisibles (en el caso de aquellos elementos no esenciales o tóxicos).

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Muestras y muestreo.** Se analizaron un total de 60 muestras de agua subterránea de abastecimiento procedentes de seis puntos diferentes de la isla de El Hierro (figura 1). De cada punto de muestreo se extrajeron 10 alícuotas tomadas en días diferentes del mes de febrero de 2016.

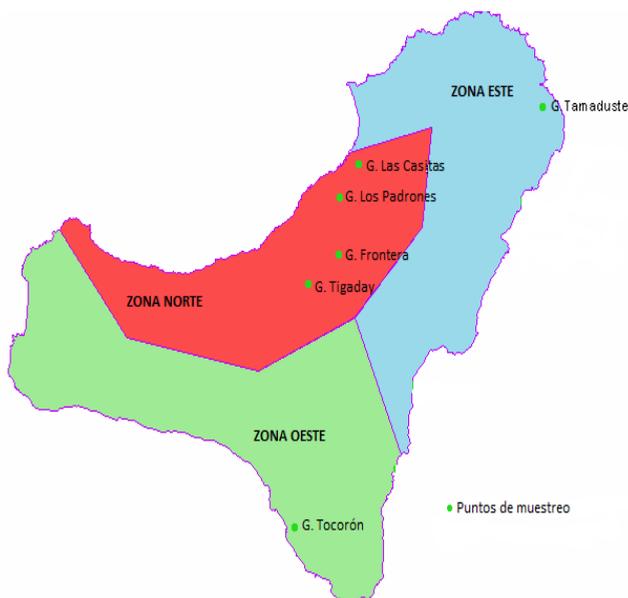
La tabla 1 recoge las características de los puntos de muestreo de los cuales fueron tomadas las muestras, así como las características de estos puntos, el volumen de agua extraído anualmente y el uso principal del agua según el avance del plan hidrológico<sup>(1)</sup>.

**Determinación del contenido de metales.** Se determinó el contenido de 20 metales (aluminio, plomo, cadmio, calcio, potasio, sodio, magnesio, boro, bario, cobalto, cromo, cobre, hierro, litio, manganeso, molibdeno, níquel,

estroncio, vanadio, zinc) mediante espectrometría óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), usando para ello un espectrómetro modelo ICAP 6300 Duo Thermo Scientific (Waltham, Estados Unidos) con un muestreador automático Auto Sampler (CETAX modelo ASX-520). Las condiciones instrumentales del espectrómetro fueron las siguientes: potencia aproximada de RF (radiofrecuencia) de 1.150 W; flujo de gas (flujo de gas nebulizador, flujo de gas auxiliar) de 0,5 L/min; inyección de la muestra a la bomba de flujo de 50 rpm; tiempo de estabilización de 0 s.

La tabla 2 muestra las longitudes de onda (nm) de cada elemento analizado, así como los límites de detección (LOD) y de cuantificación (LOQ) instrumentales, que fueron calculados bajo condiciones de reproducibilidad, como tres y diez veces la desviación estándar (SD) resultante del análisis de 15 blancos.

**Figura 1**  
**Distribución geográfica de los puntos de muestreo.**



**Tabla 1**  
**Características de los puntos de muestreo.**

Punto de muestreo	Tipo	Características	Volumen (m <sup>3</sup> /año)	Uso del agua
Las Casitas-Puntas	Galería	170 m horizontales	-	Abastecimiento y agricultura <sup>(*)</sup>
Tacorón	Pozo-galería	3m profundidad, 1.510 m horizontales	-	Autoconsumo
Frontera	Pozo	235 m profundidad	672.000	Abastecimiento y agricultura <sup>(*)</sup>
Tamaduste-Antiguo	Pozo-galería	105 m profundidad 250 m horizontales	45.000	Abastecimiento
Tigaday	Pozo-galería	280 m profundidad 160 m horizontales	182.700	Abastecimiento y agricultura
Los Padrones	Pozo-galería	51,5 m profundidad 270 m horizontales	1.200.000	Abastecimiento y agricultura

(\*) Usada principalmente para la agricultura.

**Tabla 2**  
**Longitudes de onda (nm), límites de detección y de cuantificación (mg/L) de los elementos analizados.**

Elemento	Longitud de onda (nm)	Límite de Detección (mg/L)	Límite de Cuantificación (mg/L)
B	249,7	0,003	0,012
Ba	455,4	0,001	0,005
Ca	317,9	0,58	1,955
Co	228,6	0,0006	0,002
Cr	267,7	0,003	0,008
Cu	327,3	0,004	0,012
Fe	259,9	0,002	0,005
K	769,9	0,565	1,884
Li	670,8	0,005	0,013
Mg	279,1	0,583	1,943
Mn	257,6	0,002	0,008
Mo	202,0	0,0007	0,002
Na	589,6	1,097	3,655
Ni	231,6	0,0007	0,003
Sr	407,7	0,0007	0,003
V	310,2	0,001	0,005
Zn	206,2	0,002	0,007
Al	167,0	0,004	0,012
Pb	220,3	0,0003	0,001
Cd	226,5	0,0003	0,001

La determinación de los metales fue realizada sin previo tratamiento de las muestras, inyectando alícuotas de 10 mL de cada una de ellas. Las mediciones se realizaron por triplicado.

**Determinación del contenido de fluoruro.** La determinación del contenido de fluoruro fue realizada mediante potenciometría, usando un electrodo de ion selectivo para fluoruro. El potenciómetro empleado era el modelo GLP 22 (CRISON, España) y contaba con un agitador magnético. Así mismo, el electrodo de ion selectivo de fluoruro era el modelo ISE 9655 (CRISON, España).

El contenido de fluoruro fue obtenido a partir de la curva de calibrado de tipo semilogarítmica, que se elaboró con la medida del potencial (mV) de las disoluciones seriadas de NaF (fluoruro sódico) de concentraciones que iban desde 10<sup>-5</sup> hasta 10<sup>-2</sup> M. Estas disoluciones seriadas fueron preparadas a partir de una disolución madre de NaF 10<sup>-1</sup> M (preparada disolviendo 2,210 g de NaF, previamente desecado a 120°C durante 2 horas, en agua destilada de calidad Milli Q (Millipore, Estados Unidos) hasta un volumen de 1 litro en un matraz aforado de polietileno). Al mismo tiempo, para eliminar posibles interferencias en la medida del potencial, se empleó una disolución acondicionadora de TISAB-CDTA, que ajusta el pH y la fuerza iónica. La proporción de muestra y disolución acondicionadora era de 10:10.

**Análisis estadístico.** Se usó el software estadístico IBM Statistics SPSS 22.0 para Mac™ para llevar a cabo el análisis estadístico.

El análisis estadístico de los datos obtenidos en el estudio consistió en comprobar la distribución de los mismos y determinar si éstos seguían una distribución normal, para lo cual se aplicó el estudio de homogeneidad mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, así

como un estudio de homocedasticidad, a través del estadístico de Levene<sup>(13)</sup>.

Los datos seguían una distribución normal, razón por la cual se llevó a cabo un estudio no paramétrico, mediante el test de Kruskal-Wallis y la prueba U de Mann-Whitney. En el caso de que alguna variable tuviera una distribución normal, se procedió a realizar un estudio estadístico paramétrico mediante una ANOVA, utilizando en caso necesario un análisis post Hoc con el test de Tukey<sup>(14)</sup>. Se consideraron diferencias estadísticamente significativas cuando  $p < 0,05$ .

## RESULTADOS

**Concentraciones de metales y elementos traza en los puntos de muestreo.** La tabla 3 recoge las concentraciones medias (mg/L) y las desviaciones estándar de los metales y elementos traza determinados en las muestras de agua procedentes de los diferentes puntos de muestreo.

Cabe destacar que los niveles de aluminio, calcio, bario, cobalto, cromo, cobre, hierro, níquel y litio se encontraban por debajo del límite de cuantificación (LOQ). Los niveles encontrados del resto de metales y elementos traza analizados se mantuvieron por debajo de los límites máximos establecidos en el *Real Decreto 140/2003*, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua para consumo humano<sup>(9)</sup>.

Una vez analizadas las muestras, se realizó un estudio estadístico de los diferentes puntos de muestreo. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en los niveles de plomo de los puntos de muestreo de Frontera, Las Casitas, Los Padrones y Tacorón, los cuales se diferenciaron significativamente de los puntos de Tigaday y Tamaduste. Así mismo, las mayores concentraciones medias de plomo fueron encontradas en las muestras procedentes de Tigaday ( $0,003 \pm 0,0005$  mg/L).

**Tabla 3**  
**Concentraciones medias (mg/L) y desviaciones estándar de los metales**  
**y elementos traza en cada punto de muestreo.**

Elemento	Punto de muestreo						Concentración media (mg/L)
	Tigaday	Frontera	Los Padrones	Las Casitas	Tacorón	Tamaduste	
Pb	0,003±0,0005	0,002±0,0004	0,0007±0,0009	0,001±0,0007	0,002±0,0005	0,004±0,0008	0,002±0,0001
Al	< LOQ						
Cd							
Ca	27,8±0,25	15,1±2,98	5,92±0,14	6,91±0,21	11,7±0,69	43,1±0,94	18,4±0,87
K	18,5±0,25	13,7±1,59	9,90±0,74	10,5±0,61	32,8±0,93	9,18±0,23	15,8±0,73
Mg	48,8±0,23	19,3±3,54	9,69±0,15	11,9±0,29	36,5±2,43	33,0±0,63	26,5±1,2
Na	122±0,70	55,2±4,62	49,2±0,64	75,1±0,97	131±2,13	120±1,08	92,1±1,7
B	0,05±0,001	0,04±0,0008	0,04±0,002	0,08±0,002	0,06±0,001	0,17±0,003	0,07±0,001
Ba	< LOQ						
Co							
Cr							
Cu							
Fe							
Li							
Mn	0,005±0,006	< LOQ					0,005±0,006
Mo	0,03±0,0005	< LOQ	0,005±0,0005	0,02±0,03	0,01±0,0003	<LOQ	0,02±0,001
Ni	< LOQ						
Sr	0,18±0,001	0,10±0,02	0,05±0,0006	0,05±0,0009	0,11±0,007	0,36±0,003	0,14±0,005
V	0,14±0,20	0,05±0,02	0,08±0,04	0,09±0,02	0,13±0,05	0,04±0,03	0,09±0,06
Zn	0,03±0,006	< LOQ	0,005±0,005	0,008±0,005	0,05±0,005	0,01±0,009	0,02±0,006
F	0,04±0,001	0,02±0,0005	0,02±0,002	0,03±0,0007	0,05±0,001	0,05±0,002	0,04±0,001

En cuanto a los macroelementos analizados (calcio, magnesio, sodio), el análisis estadístico confirmó la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de los seis puntos de muestreo, encontrándose la mayor concentración media de calcio en las muestras procedentes de Tamaduste ( $43,1 \pm 0,94$  mg/L). Mientras, las mayores concentraciones de potasio ( $32,8 \pm 0,93$  mg/L) y sodio ( $131 \pm 2,13$  mg/L) fueron registradas en las muestras procedentes de Tacorón. El mayor nivel medio de magnesio ( $48,8 \pm 0,23$  mg/L) fue hallado en las muestras procedentes de Tigaday.

En cuanto a los elementos traza, el análisis estadístico confirmó diferencias estadísticamente significativas en los niveles de boro entre todos los puntos de muestreo, y en los niveles de molibdeno entre todos a excepción de Frontera y Los Padrones. Así mismo, los niveles de zinc ( $0,05 \pm 0,005$  mg/L) registrados en las muestras originarias del pozo-galería de Tacorón se diferenciaron significativamente del resto de puntos de muestreo.

En cuanto al fluoruro, se hallaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de este ion entre los seis puntos de muestreo. Así mismo, atendiendo al valor paramétrico fijado en el *Real Decreto 140/2003* de aguas para consumo humano, establecido en 1,5 mg/L, ninguna de las muestras analizadas superó dicho límite<sup>(9)</sup>.

El análisis estadístico elaborado entre los diferentes puntos de muestreo confirmó la existencia de diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de los elementos analizados (plomo, calcio, magnesio, potasio, sodio, boro, molibdeno, estroncio, zinc, vanadio flúor), confirmándose, por lo tanto, la heterogeneidad y anisotropía del terreno en suelos volcánicos y la importancia de llevar a cabo un análisis temporal de las aguas de abastecimiento de origen subterráneo.

Las concentraciones de todos los elementos estudiados en las aguas subterráneas de abastecimiento de la isla de El Hierro cumplían con los valores paramétricos establecidos en el *RD 140/2003*<sup>(9)</sup>, confirmándose que, a pesar de la erupción acontecida en 2012, las aguas subterráneas eran aptas para el consumo humano.

**Evaluación del riesgo toxicológico derivado de consumo del agua subterránea de El Hierro.** Aunque las concentraciones obtenidas de todos los elementos analizados se encontraron por debajo de los valores paramétricos establecidos en la legislación española<sup>(9)</sup>, a continuación se procedió a evaluar el riesgo toxicológico derivado del consumo del agua subterránea procedente de la isla de El Hierro (tabla 4).

En primer lugar, se calculó la ingesta diaria estimada (IDE), obtenida mediante la siguiente fórmula. Se tuvo en cuenta un consumo diario de agua de 2 litros, que es la cantidad recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>(15)</sup>.

$$\text{IDE (mg/día)} = \text{Consumo medio de agua (L/día)} \times \text{Concentración media (mg/L)}$$

Una vez obtenida la IDE, se calculó el porcentaje de contribución a los valores máximos o recomendados de cada uno de los elementos analizados:

$$\text{Porcentaje de contribución (\%)} = \left[ \frac{\text{IDE (mg/día)}}{\text{Valor de referencia}} \right] \times 100$$

Teniendo en cuenta los porcentajes de contribución obtenidos (tabla 4), se obtuvo que, en el caso de los elementos esenciales que contaban con valores de ingesta diaria recomendada, el consumo de 2 litros de agua aportaba un porcentaje considerable de magnesio (15,1% en mujeres, 16,1% en hombres) y de sodio (11,5%).

**Tabla 4**  
**Valores de ingesta diaria estimada (mg/día) y porcentajes de contribución**  
**considerando los valores de referencia para los elementos analizados.**

Elemento	Parámetro	Valor de referencia <sup>(a)</sup>	C. media (mg/L)	IDE (mg/día) <sup>(b)</sup>	Contribución (%)	Referencia
Pb	BMDL	0,63 µg/kg peso corporal/día <sup>(c)</sup>	0,002	0,004	9,1	(16)
		1,50 µg/kg peso corporal/día <sup>(d)</sup>			3,8	
B	IDA	0,2 mg/kg peso corporal/día	0,07	0,14	1,0	(17)
V		1,8 mg/día	0,09	0,18	10	(18)
Sr		0,13 mg/kg peso corporal/día	0,14	0,28	3,1	(19)
Na	IDR	1.600 mg/día	92,1	184	11,5	(20)
K		3.100 mg/día	15,8	31,6	1,0	
Ca		1.200 mg/día	18,4	36,8	3,1	
Mg		350 mg/día (mujer) – 330 mg/día (hombre)	26,5	53	15,1 (m) – 16,1 (h)	
Zn		15 mg/día	0,02	0,04	0,27	
Mn		1,8 mg/día (mujer) – 2,3 mg/día (hombre)	0,005	0,01	0,60 (m) – 0,43 (h)	
Mo		45 mg/día	0,02	0,04	0,09	
F		2,9 mg/día (mujer) – 3,4 mg/día (hombre)	0,04	0,08	2,8 (m) – 2,4 (h)	

(a) Se ha considerado un peso medio de un adulto de 70 kilos; (b) Considerando un consumo de 2 L/día de agua; (c) BMDL (*benchmark dose lower confidence limit*) para desarrollar nefrotoxicidad en adultos; (d) BMDL (*benchmark dose lower confidence limit*) para desarrollar efectos cardiovasculares en adultos.

Mientras, respecto al aporte de los valores máximos de los elementos tóxicos y/o no esenciales, se obtuvo que el consumo de 2 litros/día del agua analizada suponía un aporte del 9,1% y del 3,8% de la BMDL (*benchmark dose lower confidence limit*) fijada para el plomo en cuanto al desarrollo de nefrotoxicidad y problemas cardiovasculares en adultos<sup>(16)</sup>, respectivamente. No obstante, se encontró muy por debajo del valor de referencia por lo que no suponía un riesgo para la salud de los consumidores.

## DISCUSIONES

Este estudio ofrece valores actuales de la concentración de metales y elementos traza en el agua subterránea de abastecimiento de la isla de El Hierro. Así mismo, el presente estudio demuestra que los puntos de muestreo del agua subterránea analizada contienen unos niveles bajos de los metales y elementos traza analizados. Teniendo en cuenta los parámetros químicos e indicadores recogidos en la legislación española que regula el agua de abastecimiento, se demuestra que ninguna de las muestras analizadas supera dichos valores. Las principales limitaciones de este estudio se deben a la falta de estudios previos con los que comparar los resultados obtenidos, no existiendo referencias previas de niveles de metales y elementos traza en agua subterránea de la isla de El Hierro. No obstante, este estudio pretende ser una primera aproximación, debiéndose estudiar los niveles de estos elementos en los años siguientes y, así, comparar las concentraciones a lo largo del tiempo.

En cuanto al consumo del agua analizada, en ningún caso sobrepasaría los valores de referencia fijados por los organismos competentes para los metales y elementos traza estudiados, siendo el agua de la isla de El Hierro segura para el consumo humano. No obstante, teniendo en cuenta la reciente actividad volcánica de

la isla, es necesario establecer un plan de monitorización que permita la actualización frecuente de los valores de metales y elementos traza en el agua subterránea en los años posteriores y que permita, así mismo, conocer la evolución del contenido de éstos en el agua de abastecimiento de la isla de El Hierro.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BOC (Boletín Oficial de Canarias). DECRETO 52/2015, de 16 de abril, por el que se dispone la suspensión de la vigencia del Plan Hidrológico Insular de El Hierro, aprobado por el Decreto 102/2002, de 26 de julio, y se aprueban las Normas Sustantivas Transitorias de Planificación Hidrológica de la Demarcación Hidrográfica de El Hierro, con la finalidad de cumplir la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Bol Of Can. 2015; 86.
2. Fraile-Nuez E, González-Dávila M, Santana-Casiano JM, Aristegui J, Alonso-González IJ, Hernández León S, Eugenio F. The submarine volcano eruption at the island of El Hierro: physico-chemical perturbation and biological response. *Sci Rep.* 2012; 2: 486.
3. Robock P. Introduction: Mount Pinatubo as a test of climate feedback mechanism. In: Robock, A., Oppenheimer, C. (Eds). *Volcanism and the Earth's Atmosphere.* AGU Geophysical Monograph. 2003; 139:1-8.
4. D'Alessandro W. Human fluorosis related to volcanic activity: a review. En: *Environmental Toxicology.* Kunglos AG, Brebbia CA, Samaras V, Propov (Eds.), WIT Press Southampton, Reino Unido; 2006. p.21-30.
5. Fewtrell L, Smith S, Kay D, Bartram J. An attempt to estimate the global burden of disease due to fluoride in drinking water. *J Water Health.* 2006; 4:533-542.
6. Inkielewicz I, Krechniak J. Fluoride content in soft tissues and urine of rats exposed to sodium fluoride in drinking water. *Fluoride.* 2002; 36: 263-266.

7. Urbanska B, Czarnowski W, Krechniak J, Inkielewicz I, Stolarska K. Skeletal metabolism and bone mineral density in fluoride-exposed rats. *Fluoride*. 2001; 34: 95-102.
8. González Sacramento N, Rubio Armendáriz C, Gutiérrez Fernández A J, Luis Gonzáles G, Hardisson de la Torre A, Revert Gironés C. El agua de consumo como fuente de exposición crónica a fluoruros en Tenerife; evaluación del riesgo. *Nutr Hosp*. 2015; 31(4): 1787–1794.
9. BOE (Boletín Oficial de España). Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. *BOE*. 2003; 45.
10. Ahn JS. Geochemical occurrences of arsenic and fluoride in bedrock groundwater: a case study in Geumsan County, Korea. *Environ Geochem Health*. 2012;34: 43–54.
11. Armienta MA, Segovia N. Arsenic and fluoride in the groundwater of Mexico. *Environ Geochem Health*. 2008; 30:345–353.
12. Wen D, Zhang F, Zhang E, Wang C, Han S, Zheng Y. Arsenic, fluoride and iodine in groundwater of China. *J Geochem Explor*. 2013; 135:1–21.
13. Pan G. Confidence intervals for comparing two scale parameters based on Leven's statistics. *J Nonparam Statistic*. 2002; 4:459-476.
14. Choy EHS, Scott DL, Kingsley GH, Thomas A, Murphy AGU, Staimos N. Control of rheumatoid arthritis by oral tolerance. *Arthritis Rheum*. 2001; 44:1993-1997.
15. Martínez Álvarez JR, Villarino Marín AL, Polanco Allué I, Iglesias Rosado C, Gil Gregorio P, Ramos Cordero P, López Rocha A, Ribera Casado JM et al. Recomendaciones de bebida e hidratación para la población española. *Nutr Clín Diet Hosp*. 2008; 28:3-19.
16. EFSA (European Food Safety Authority). Scientific Opinion on Lead in Food. *EFSA J*. 2010; 8(4): 1570.
17. SCHER (Scientific Committee on Health and Environmental Risk). Assessment of the Tolerable Daily Intake of Barium. European Commission. 2012; <http://doi.org/10.2772/49651>
18. IOM (Institute of Medicine). Food and Nutrition Board of the Institute of Medicine of the National Academies. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. 2001; National Academy Press, Washington, USA.
19. WHO (World Health Organization). Strontium and strontium compound. Concise International Chemical Assessment Document. 2010; 77: 1-63.
20. FESNAD (Federación Española de Sociedades de Nutrición, Alimentación y Dietética). Ingestas dietéticas de referencia (IDR) para la población española. *Act Diet*. 2010; 14: 196-197.