

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/271574873>

El Flúor en las aguas de abastecimiento de la región de la Macaronesia: Planteamiento del Problema y vías de investigación abiertas

Conference Paper · January 2015

DOI: 10.13140/2.1.1907.2323

CITATIONS

3

READS

197

3 authors:



Juan Carlos Santamarta
Universidad de La Laguna

328 PUBLICATIONS 695 CITATIONS

SEE PROFILE



Francisco Cota Rodrigues
University of the Azores

30 PUBLICATIONS 53 CITATIONS

SEE PROFILE



Silvia Quadros
University of the Azores

15 PUBLICATIONS 139 CITATIONS

SEE PROFILE

ISBN: 978-84-938046-4-0

EL FLÚOR EN LAS AGUAS DE ABASTECIMIENTO DE LA REGIÓN DE LA MACARONESIA: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y VÍAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS

Juan C. SANTAMARTA¹, Francisco C. RODRIGUES² y Silvia QUADROS³

¹Universidad de La Laguna. Área de Ingeniería Agroforestal, Tenerife, España. jcsanta@ull.es

²Universidade dos Açores. Departamento de Ciências Agrárias, 9700 Angra do Heroísmo, Portugal.
cota@uac.pt

³Climate, Meteorology and Global Change Group (C_CMMG, CITA-A), Agricultural Sciences
Department, Azores University. Rua Capitão João D' Avila, Angra do Heroísmo, Portugal.
squadros@uac.pt

RESUMEN

El agua en la región de la Macaronesia es obtenida, dependiendo del archipiélago considerado, mediante el aprovechamiento de recursos subterráneos principalmente, seguido de los recursos no convencionales, como la desalación y depuración de aguas y, finalmente, en mucha menor cuantía, los recursos superficiales. Las dos últimas fuentes no presentan problemas de calidad importantes, dado que en la desalación es posible modular la calidad requerida para su uso en la agricultura o bien, en el abastecimiento urbano. En el caso de los recursos superficiales, la calidad se puede ver influenciada por procesos de eutrofización, si bien, estos recursos en ningún caso se utilizan para abastecimiento urbano. Con respecto a las aguas subterráneas, existe un riesgo patente y en relativo crecimiento que es la presencia de flúor, en cantidades que superan ampliamente el máximo permitido de 1,5 mg/L. Este problema, que afecta a las aguas de abasto, se hace sensible en aguas de las islas Macaronésicas de Tenerife (Canarias, España), San Miguel y Terceira (Azores, Portugal). El presente documento, analiza estas amenazas para el consumo de aguas por parte de la población, sus fuentes principales y finalmente abre vías de investigación para su identificación y posible remediación.

Palabras clave: *Flúor, Macaronesia, Aguas de abasto, Hidrogeología, Remediación.*

ABSTRACT

Water in the region of Macaronesia is obtained, depending on the archipelago considered by exploiting groundwater resources mainly, followed by non-natural resources, such as desalination and water treatment, and finally, to a much lesser extent, surface water resources. The last two sources have no major quality problems, as in desalination is possible to modulate the quality required for use in agriculture or in urban water supply. In the case of surface resources, the quality can be influenced by eutrophication, although in no

case these resources are used for urban supply. With respect to groundwater, there is a clear and growing threat, the existence of amounts of fluoride in the water that exceed the maximum allowed, 1.5 mg/L. This problem affects water supply in areas studied in macaronesian islands like Tenerife (Canary Islands, Spain), San Miguel and Terceira (Azores, Portugal). This paper analyzes these threats to water consumption, their main sources and finally opens new research topics for identification and possible remediation of the problem.

Key words: *Fluoride, Macaronesia, water supply, hydrogeology, remediation.*

INTRODUCCIÓN

Existen numerosos acuíferos a lo largo del mundo con problemas por sus altos niveles de flúor. Las aguas subterráneas son más vulnerables al enriquecimiento en flúor, que las aguas subterráneas, dado que en aquellas existen mayores interacciones agua-roca.

Las rocas volcánicas e ígneas, tienen una concentración de flúor entre 100 partes por millón (ppm) hasta 1000 ppm (Frencken, 1992). La exposición al fluoruro en las personas depende: i) de la concentración en el agua potable, ii) la duración del consumo y, iii) el clima de la zona de estudio.

La toxicidad de este elemento reside en que los iones fluoruros actúan como venenos enzimáticos, inhibiendo la actividad enzimática y, en última instancia, interrumpiendo procesos metabólicos tales como la glucólisis y la síntesis de proteínas (Camargo, 2003). La ingestión excesiva de flúor puede dar lugar a anomalías como la fluorosis dental y la esquelética. Aunque, a priori, este elemento refuerza ambas estructuras, unas dosis demasiado elevadas revierten el proceso haciéndolas más débiles y quebradizas.

La vía principal de exposición del hombre al flúor es por consumo de agua y alimentos con altos contenidos en flúor debido, en muchos casos, a contaminaciones naturales (India, Canarias, Azores, México, Pakistán, etc.).

A nivel de gestión del suministro de agua, el agua se extrae mediante las galerías o pozos, las primeras suelen estar en cotas altas de las islas, los pozos en zonas más cercanas a la costa, como norma general, el agua se transporta mediante canales o tuberías y, posteriormente, se almacena en depósitos, de ahí, se distribuye hasta las zonas de consumo. Las sales de flúor, no se depositan en el fondo o en las paredes de tuberías o depósitos, sino que se mezclan volumétricamente con el agua.

El contenido en flúor en las aguas de abasto no debe exceder de 1,5 mg/L, con el fin de prevenir la fluorosis dental y las enfermedades relacionadas con los huesos. La región de la Macaronesia comprende, geográficamente, una serie de archipiélagos en el océano Atlántico, que incluye — de norte a sur— , Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde.

En el caso de Azores y Canarias, la fluorosis dental, se está convirtiendo una enfermedad endémica, debido a los altos contenidos de flúor, analizados en explotaciones de aguas subterráneas. En el II estudio epidemiológico en Canarias durante el periodo de 1998, el cual se realizó en escolares de 7, 12, y 14 años de cada una de las islas se encontró una prevalencia de fluorosis dental para la población de 12 años con 38,71 %. Por áreas o comarcas es muy variable el estudio, por ejemplo la comarca de Icod de los Vinos con el 75,76 % (Gómez-Santos, 2000).

ESTUDIO DE CASOS EN LA MACARONESIA

Caso de estudio en la isla de Terceira (Azores, Portugal)

El objetivo del estudio en esta zona, fue caracterizar el contenido en flúor en el sistema de abastecimiento de aguas en la ciudad de *Praia da Vitória*, en la isla de Terceira, desde la fuente del recurso hídrico subterráneo y, en el suministro urbano.

La isla de Terceira, se encuentra integrada en el archipiélago de las Azores, pertenecientes a Portugal, con una población residente de 246.772 (año 2011). El archipiélago está compuesto por nueve islas volcánicas, situadas en el océano Atlántico. La isla de Terceira con el 22,9% de la población total del archipiélago, 56.437 habitantes, pertenece al grupo central y, se divide en dos zonas administrativas: *Angra do Heroísmo* y *Praia de Victoria*, con servicios de suministro de agua y depuración proporcionados por los servicios municipales de sus ayuntamientos.

La isla de Terceira, como en la mayoría de los edificios volcánicos atlánticos, es el resultado de una serie de procesos volcánicos y tectónicos, que incluye una fase proto-insular, caracterizada por erupciones submarinas, que van formando un volcán sumergidos hasta alcanzar la superficie del mar, continuando con una actividad eruptiva subaérea. No se han identificado formaciones y estructuras geológicas de esa primera fase, aunque se admite su presencia, en niveles estratigráficos más profundos. Las formaciones subaéreas corresponden basaltos alcalinos y productos resultantes de su diferenciación (Schmincke, 1972; Schilling, 1975), en particular, hawaitos, benmoreitos y traquitas de naturaleza comendítica y pantelerítica (Self, 1974).

En *Praia da Victoria*, el sistema de abastecimiento de agua es propiedad del municipio, está operado por una empresa municipal, llamada Praia Ambiente EM. Existen nueve zonas de suministro, en las que el parámetro de contenido en flúor, debe ser monitoreado, al menos, una vez al año, tal y como se define en la Ley 306/2007 del 27 de Agosto, según la normativa portuguesa. En un conjunto de 5 años (2008-2012), el seguimiento de los datos de fluoruro se puede revisar en la (Tabla 1), donde queda patente que, hay un incumplimiento de los parámetros legales en contenido de flúor, en el abastecimiento en *Agualva*, *São Brás* y *Vila Nova*.

Tabla 1. Contenido en flúor (mg/L) en el agua de abastecimiento de Praia da Victoria en un periodo de 5 años (2008-2012).

Zona de abastecimiento	Población en 2011 (n.º habitantes)	N (nº de muestras)	Mín. (mg/L)	Máx. (mg/L)	Media (mg/L)	Mediana (mg/L)
Agualva	1432	3	1,7	3,6	2,7	2,8
Biscoitos	1432	7	1,3	1,9	1,5	1,45
Fontinhas	1594	4	0,2	0,2	0,2	0,2
Lajes/Santa Luzia/Juncal	3744	4	0,2	1,9	1	0,9
P.Martins/F.Bastardo/C. Praia	2991	4	0,3	0,5	0,4	0,4
Quatro Ribeiras	394	4	0,3	0,5	0,4	0,4
São Brás	1088	3	1,4	3,4	2,1	1,5
Santa Cruz	6690	9	0,1	1,1	0,45	0,4
Vila Nova	1678	4	1,1	3	1,73	1,4

Por otro lado, las demás zonas estudiadas no muestran grandes cantidades de flúor en el agua de abastecimiento. Según la OMS (2006), hay evidencias que el flúor es un elemento

beneficioso, en cuanto a la prevención de la caries dental. En los casos, que la cantidad de flúor es muy reducida, se podría fluorar el agua de manera artificial, o bien mezclando aguas con mayor contenido de flúor, para poder alcanzar cantidades de este elemento en un rango de 0,5 a 1 mg/L.

La zona de abastecimiento más poblada estudiada, la de *Praia da Vitoria*, presenta una mediana de 0,4 mg/L, lo cual quiere decir que; en un periodo de cinco años, el 50% de las muestras analizadas tenían, menos de esa cantidad de flúor.

Teniendo en cuenta, la cantidad en exceso de flúor, en las tres comunidades rurales (Tabla 1), se estudiaron las fuentes de recursos hídricos, para ese mismo periodo de cinco años, (2005-2012). La Figura 2 presenta el diagrama de cajas para cada fuente de agua, incluyendo: la mediana, los percentiles 25 y 75, así como, los valores máximos y mínimos.

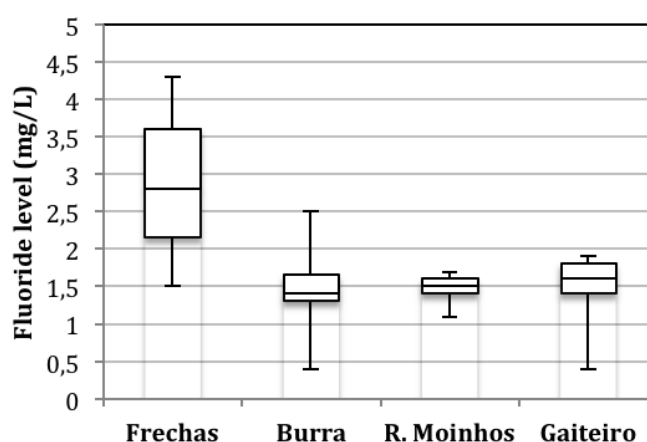


Figura 2. Variación del nivel de flúor, en el periodo comprendido entre 2008 y 2012, en cuatro puntos de abastecimiento

Caso de estudio en la isla de Tenerife (Canarias, España)

La legislación actual española (Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano en España) fija el límite máximo de fluoruro para el agua de abastecimiento público en 1,5 mg/L (valor guía de la OMS) (BOE, 2003).

El flúor se presenta en las explotaciones de Tenerife, debido a dos motivos principales: la sobreexplotación del acuífero basal y, por otro lado, la actividad volcánica residual profunda. En el primer caso, una explotación, no ordenada, de los recursos hídricos subterráneos, mediante galerías —minas horizontales que drenan el acuífero— y pozos, en continuo, sin descanso, durante más de 100 años, ha hecho que muchas explotaciones se sequen, por quedarse por encima del nivel freático. Otras se han reperforado, haciéndose cada vez más profundas, en algunos casos alcanzando más de 5 kilómetros (Santamarta, 2013). Hidrológicamente, no ha dado tiempo a que los recursos se renueven por el agua de lluvia, la cual se infiltra, y parte, llega a ese acuífero en forma de recarga. Por lo tanto, se está extrayendo más recurso, que la capacidad de recarga del acuífero, esto provoca que se extraigan reservas. Las reservas, la forman aguas con altos periodos de residencia —se puede hablar de miles de años—, dentro del acuífero. Esto supone que el agua ha estado en contacto más tiempo con la roca, que la alberga, por lo tanto, hay tiempo suficiente para que se disuelvan más sales, entre las que aparece el fluoruro de calcio (CaF_2). También, en

Tenerife, dado su origen volcánico, aparece otro factor, que es el CO₂, el cual hace al agua subterránea más agresiva.

También puede aumentar la cantidad de flúor presente en el agua, la aparición del ácido fluorhídrico (HF), asociados a estados de actividad volcánica importantes. Otros gases ácidos son: ácido clorhídrico (HCl), Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) y el dióxido de azufre (SO₂). Un ejemplo evidente, es el resultado de un análisis de flúor en el agua, realizado en un sondeo geotérmico en la isla de Terceira, obteniendo una cantidad de 30,1 mg/L.

Aunque el presente estudio se centra en la isla de Tenerife, atendiendo a los estudios llevados a cabo por Gómez Santos (2000), hay que destacar que en Gran Canaria aparecen picos de flúor (mayor de 2,7 mg/L) en *La Aldea de San Nicolás*, entre 1,5 y 2,7 mg/L en *Telde*, en la isla de El Hierro no se supera el límite recomendado, —en el año considerado del estudio—, indicándose numerosas poblaciones de Tenerife donde se superan ampliamente la cantidad de Flúor como; *Icod de los Vinos* o *Buena Vista del Norte*.

RESULTADOS, CONCLUSIONES Y VÍAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS

En el caso de Azores; la media de la concentración de flúor en los recursos hídricos de *Burra*, *Rolo dos Moinhos* y *Gaiteiro* en 5 años (Figura 1) es alrededor de 1,5 mg/L. A pesar de la gran variación en *Burra*, el valor más alto del percentil 75, fue observado en *Gaiteiro*, con 1,8 mg/L. La zona que superó casi todo el tiempo de observación, la cantidad máxima de flúor recomendada fue *Frechas*. El percentil 75 es muy elevado (3,6 mg/L), con valores dentro del rango entre 1,4 mg/L hasta 4,3 mg/L, lo cual significa un patrón regular de alto contenido de flúor en estas aguas.

En el caso de Terceira (Azores), la solución adoptada es la mezcla de aguas. Por un lado, la procedente de los nacientes, —que es la que mayor cantidad de fluoruro tiene—, con el agua procedente de pozos, con lo que se consigue reducir la cantidad final presente. En el caso canario, los nacientes no presentan cantidades elevadas de flúor, a diferencia de las galerías (Tabla 3).

Tabla 2. Media del contenido en Fluoruro (mg/L) en las aguas del municipio de La Guancha (Tenerife), durante el periodo comprendido entre 1976 y 2006 (adaptado de Fernández de Caldas y Hardisson).

Explotación subterránea	Contenido medio en flúor (mg/L)
Vergara	8,97
Fuente Pedro	5,10
El Frontón	4,74
Santa Teresa	4,28
El Pinalete	4,24

En el caso de Canarias, el origen de la contaminación de las explotaciones subterráneas por flúor, es de origen natural (Custodio y Cabrera, 2013). Según el estudio TECNOAGUA (2011), del Gobierno de Canarias, la sobreexplotación del acuífero provocada por el aumento, tanto de la población como de la demanda de agua por parte de esta, ha contribuido extraordinariamente al enriquecimiento de las aguas en sales minerales. Este es el caso de los pozos, que además pueden ver aumentada la concentración de flúor en sus aguas con flúor de origen marino, ya que este elemento está presente de forma natural en el agua de mar. Gran parte de los municipios del norte de la isla de Tenerife excede en la cuantía de flúor permitido, en el agua de abastecimiento (Tabla 3). Aunque no aparece el

municipio de La Laguna, segundo en población de la isla, recientemente se han reportado contenidos elevados de flúor, dado que parte del municipio se abastece, en parte, de aguas procedentes de poblaciones del norte de la isla indicadas en la tabla 3.

Tabla 3. Municipios de Tenerife con aguas con contenidos en flúor > 1,5 mg/L, (adaptado de Hardisson & Reyes, 2003).

Municipio	Nº zonas de abastecimiento	F ⁻ (mg/L)
Buenvista del Norte	8	2,79
Garachico	4	3,00
La Guancha	1	2,60
Icod de los Vinos	7	4,70
La Matanza	3	2,50
San Juan de la Rambla	5	2,42
El Sauzal	6	2,32
El Tanque	4	2,78
La Victoria	4	1,55

Las soluciones planteadas por diversas instituciones, a día de hoy, no son económicamente viables, dado el coste que suponen la instalación de plantas de tratamiento con unos coste energéticos importantes, que hacen, además, generar una mayor dependencia de los combustibles fósiles. La mezcla de aguas cargadas de flúor con aguas con menor contenido, depende de la disponibilidad de estas últimas, además la calidad del conjunto de la mezcla se ve mermada.

Las últimas investigaciones en tratamiento del agua con flúor con minerales de la familia de las Zeolitas con otros materiales, están generando grandes expectativas en relación a la eficiencia en los tratamientos. Los investigadores del CSIC; Díaz, Pérez-Pariente y Gómez-Hortigüela, recientemente (EFE, 2014), junto a la Universidad de Addis Abeba (Etiopía), han patentado un material que reduce los niveles de flúor en el agua, basado en la estilbita (Tabla 4). La estilbita pertenece al grupo de las zeolitas.

La estilbita es un recurso mineral, abundante en Etiopía. En el caso de Canarias, este mineral, vinculado a terrenos volcánicos, aparece en el barranco de Agaete, en la isla de Gran Canaria, pero no en yacimientos, como para ser explotado de la misma manera que el caso Etíope (Santamarta, 2014).

Dado el valor estratégico del agua y su escasez, sobre todo en Canarias, los autores concluyen que es necesaria una mayor inversión e intensificación en los estudios relacionados con el flúor en el agua. Por un lado, desde la parte hidrogeológica, habría que identificar las posibles explotaciones que puedan estar afectadas por la aparición de este elemento y su evolución en el tiempo. Por otro lado, conviene estudiar los efectos del flúor en las poblaciones afectadas, principalmente en los rangos de edades más vulnerables. Finalmente se recomienda abrir nuevas líneas de investigación en materiales, filtros y procesos industriales eficientes y sostenibles que puedan reducir los contenidos en flúor del agua de abasto a precios competitivos.

Tabla 4. Algunos sistemas de tratamiento para aguas con contenido elevado en flúor (adaptado de Hernández, 2006; Heidweiller, 1990; Solsona, 1985).

Método de eliminación	Ventajas	Desventajas	Costes de inversión
<i>Precipitación</i>			
Sulfato de alúmina	Proceso establecido	Se produce fango de proceso. El agua tratada es ácida y con residuos de Al	Medio-alto
Hidróxido de cal	Proceso establecido	Se produce fango de proceso. El agua tratada es alcalina y caústica	Medio-alto
<i>Adsorción/Intercambio iónico</i>			
Carbón activo		Grandes cambios de pH antes y después del tratamiento. Muchas interferencias	Alto
Carbón vegetal	Disponibilidad local	Requiere enjuague con hidróxido potásico	Bajo-Medio
Zeolitas	No específico	Poca capacidad	Alto
Estilbita	Simple sin consumo de recursos energéticos	Depende de la disponibilidad del material	Bajo-Medio
Alúmina activada	Eficaz y proceso establecido	Necesita de operarios	Medio
<i>Membranas</i>			
Electrodialisis	No específico/ depende tecnología	Remueve otros iones. Operador cualificado	Muy alto
Ósmosis inversa	Depende tecnología	Remueve otros iones. Operador cualificado. Interferencias con la turbidez	Muy alto

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer la colaboración de la empresa municipal *Praia Ambiente*, por la colaboración en el suministro de datos sobre la calidad de aguas de suministro.

REFERENCIAS

- BOE (2003). *Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios para la calidad de las aguas destinadas al consumo humano*. (BOE Nº 45 de 21 de febrero de 2003, 7228-7245).
- Camargo, J.A. (2003). *Fluoride toxicity to aquatic organism: a review*. Chemosphere 50(3): 251-264.
- Custodio E., Cabrera, M.C. (2013). Métodos de estudio hidrogeológicos e hidrogeoquímicos, en *Hidrología y Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos*, (Santamarta, J.C., ed.) Colegio de Ingenieros de Montes: Madrid. 556 pp.

- EFE (2013). El CSIC halla en un mineral etíope la base para eliminar el flúor del agua. Agencia EFE. Recuperado el 9 de abril <http://www.efefuturo.com/noticia/un-mineral-etiope-tiene-la-base-para-eliminar-el-fluor-del-agua/>
- Fernández-Caldas, E. y Pérez- García, V. (1974). *Características químicas de las aguas subterráneas de las islas Canarias occidentales*. Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Aula de Cultura de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife: 67-71.
- Frencken, J.E. (editor) (1992). *Endemic Fluorosis in developing countries, causes, effects and possible solutions*. Publication number 91.082, NIPG-TNO, Leiden, The Netherlands.
- Gómez Santos G. (2000). *II Estudio Epidemiológico de la Salud Bucodental Infantil en Canarias. 1998*. Santa Cruz de Tenerife: Dirección General de Salud Pública, Servicio Canario de Salud, Consejería de Sanidad y Consumo.
- Gobierno de Canarias (2011). Informe Tecnoagua: Evaluación de Tecnologías Potenciales de Reducción de la Contaminación de las Aguas de Canarias. Universidad de La Laguna, pp. 266.
- Hardisson De La Torre, A. y Reyes Jorge, J.P. (2003) *Estudio de los contenidos en ion fluoruro en dos zonas endémicas de fluorosis dental en las Islas Canarias*. Alimentaria, Noviembre: 43-48.
- Heidweiller, V. M. L. (1990). *Fluoride removal methods*. In: *Proc. Symposium on Endemic Fluorosis in Developing Countries: Causes, Effects and Possible Solutions*, ed: Frencken, J. E., Chapter 6, NIPG-TNO, Leiden, 51-85.
- Hernández Suárez, M. (2006). *El flúor en cifras: límites para le consumo y métodos de eliminación*. El Manantial 33. Fundación Centro Canario del Agua. Tenerife. 1-4.
- Schilling, J.G., (1975). *Azores Mantle Blob: Rare-Earth evidence*. Earth and Planetary Science Letters, 25:103-115.
- Schmincke, Hans-Ulrich e Wiebel, M., (1972). *Chemical study of rocks from Madeira, Porto Santo and São Miguel and Terceira (Azores)*. N. Jarbuch F. Mineralogie Abhandlugen B.D., 117(3): 253-281.
- Self, S., (1974). Recent volcanism on Terceira, Azores. PhD thesis. London University, Imperial College.
- Santamarta J.C. et al. (2013). *Hidrología y Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos*, Colegio de Ingenieros de Montes: Madrid. 556 pp.
- Santamarta J. C. (2014). *Ingeniería Minera de los Recursos Hídricos en Islas Oceánicas*. Inédito, en revisión. Madrid. 502 pp.
- Solsona, F. (1985). *Water defluoridation in the Rift Valley, Ethiopia*. UNICEF. Technical Report, Addis Ababa, 27 pp.
- WHO (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. 4th edition. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.