



Universidad
de La Laguna



Influencia de la erupción volcánica submarina de El Hierro en el contenido metálico del agua de mar

**Trabajo de fin de Grado. Curso académico
2016-2017**

Autora: Alba Cotter Alfonsín.

Tutor: Ángel José Gutiérrez Fernández.

ABSTRACT:

Introduction: Canary Islands were formed by a hotspot which has been shifting from west to east and producing lava ejection to the surface along the years. This explains why the newest western islands can still have volcano activity nowadays, as happened in La Restinga (El Hierro island) caused by a volcano called Tagoro in October of 2011. Countless damages were produced to the water composition and wildlife under the sea, through the emergence of gases and volcanic material.

Objetives: study of 95 water specimens obtained from La Restinga to evaluate the concentration of 20 different metals. Also, evidence how the concentrations of metals vary depending on the specimen, because each one represents different times and sampling points.

Material and Methods: the specimens were collected by an oceanographic vessel and grouped in:

- Campaign 0515 and Campaign 0316: gather specimens collected from Tagoro's area in May of 2015 and March of 2016.
- Campaign 1015: gather the specimens collected from Tagoro's and Enmedio's areas in October of 2015.

All the specimens were analysed by ICP-OES after subjecting them to a drying process, acid digestion and incineration on a muffle oven.

Results: Tagoro's area showed that the concentration of metals falls during the 2015, but in 2016 they get back up in some cases. Also, we could establish a correlation in most of the metals regarding to the concentration variability.

The comparison of the concentrations between Tagoro's area and Enmedio's area didn't show statistically significant differences.

Conclusions:

- The increase values of some metals in Tagoro's area could be due to an earth movement which would release the metals that were deposited in the volcano's surface after the initial eruption.
- The concentration of Al correlates positively with Cd and Pb in Tagoro's area.
- The concentration of metals in Enmedio's area is lower than in Tagoro's area, maybe because of the recent volcano activity.

ÍNDICE:

	Página
• Introducción	3-4
• Objetivos	4-5
• Material y Métodos	5-7
• Resultados y discusión	7-15
• Conclusiones	15
• Bibliografía	16

INTRODUCCIÓN:

El origen de las Islas Canarias se remonta hace 40 millones de años con un demostrado origen volcánico. La hipótesis que más fuerza adquiere es la del punto caliente, que define a las islas como la consecuencia de las sucesivas erupciones submarinas desde una zona de gradiente anómalo. Dichas erupciones a lo largo de los años, desembocaron en la acumulación del magma a nivel submarino y posteriormente a nivel terrestre, dando el relieve tan característico que encontramos en cada una de las islas que componen el Archipiélago Canario ^[1].

Las Islas Canarias no emergieron simultáneamente, su formación se originó de manera individualizada debido al desplazamiento del foco de emisión con motivo del movimiento de la placa africana de oeste a este a lo largo de los años. Motivo por el cual las islas orientales son millones de años más antiguas que las occidentales, las cuales aún poseen cierta actividad volcánica como reflejó la erupción submarina del 10 de Octubre del 2011 en El Hierro ^[2].

Esta última erupción, tuvo lugar en el volcán submarino Tagoro a aproximadamente 5 kilómetros de la zona de La Restinga en la isla de El Hierro. Dicha erupción fue precedida de múltiples seísmos y una deformación en la corteza terrestre de unos cuatro centímetros los tres meses anteriores a su manifestación. Además, durante los primeros días, se agrandó la fisura inicial creciendo hasta los tres kilómetros. Esto fue lo que finalmente dio lugar a la acumulación del material eruptivo, que se estimó en 0.33km³ ^[3].

Diversos estudios realizados en el agua de la zona afectada, han demostrado cómo los gases emitidos tras la erupción causaron la elevación en 3 grados de la temperatura del agua, además de disminuir 2,8 unidades el pH y la concentración de oxígeno. El SO₂ y el CO₂ son los gases que mayor presencia adquieren en las erupciones volcánicas y, fueron por tanto, los principales responsables de los cambios que se ocasionaron en la composición del agua marina, en la fauna y en la flora acuática de la zona ^{[4] [5] [6]}.

Resulta conveniente continuar con el registro de las variaciones en las concentraciones de metales en la zona, puesto que la presencia de los mismos podría causar contaminación tanto del ecosistema marino como perjuicio para las personas que puedan consumir algún producto derivado de la pesca ^[7]. En el caso de que ocurriera esto último, las sustancias ingeridas podrían provocar diferentes alteraciones en el estado de salud del consumidor. De este modo se clasificarán los 20 metales estudiados:

- Macroelementos: agrupan al Na, Ca, K y Mg. Las ingestas de estos metales no suelen presentar toxicidad para el ser humano en concentraciones adecuadas.
- Microelementos y Elementos traza: en este grupo encontramos al Co, Cu, Cr, Ni, Sr, V, B, Ba, Fe, Mo, Mn, Li y Zn. Dentro de este conjunto, destacamos las consecuencias de la toxicidad por:

- Cobre: la ingestión de grandes cantidades puede ocasionar dolor abdominal, diarrea, vómitos, convulsiones, anemia, fiebre o ictericia ^[8,9].
- Hierro: su intoxicación provocará primero dolor, náuseas, vómitos y diarrea que pueden ser sanguinolentos e incluso con restos de tejidos necróticos. Seguidamente, se podría desarrollar shock y acidosis severa que si no se revierte, podrían ocasionar la muerte del individuo. Tras 12-48 horas, podría tener lugar fallo hepático, hemorragia gastrointestinal, acidosis, letargia o ictericia. A nivel hepático se ha descrito la aparición de cirrosis hepática ^[10].
- Litio: entre los síntomas de toxicidad aguda encontramos diarrea, mareo o vómitos, temblores, convulsiones, disminución del nivel de conciencia o fasciculaciones musculares si la ingesta ha sido elevada. La toxicidad crónica se caracteriza por el incremento de los reflejos, mala pronunciación, temblores, insuficiencia renal, psicosis o problemas de memoria ^[11].
- Metales pesados tóxicos: este grupo es el potencialmente más peligroso. El Pb, el Cd y el Al son los máximos exponentes y su toxicidad provocará:
 - Aluminio: síndrome neurológico progresivo grave que cursa con alteraciones del habla, demencia o convulsiones ^[12].
 - Cadmio: su intoxicación aguda se limitan a dolor abdominal, náuseas y diarrea. Sin embargo, una intoxicación crónica podría desembocar en lesiones renales, daños pulmonares, hipertensión o el síndrome itai-itai ^[13].
 - Plomo: su intoxicación es conocida como saturnismo y produce la absorción del Pb primeramente en el torrente sanguíneo para después distribuirse a los tejidos, mayoritariamente al tejido óseo. Las manifestaciones más comunes que producen son: disfunción reproductiva, Alzheimer, dolor cólico, anemia hemolítica, encefalopatía aguda y neuropatía, parálisis motoras o alteraciones renales ^[13].

Para cuantificar la presencia de estos metales en la zona de La Restinga, se empleó el Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma de Acoplamiento Inductivo como fuente de ionización (ICP-OES), con lo que se podrá realizar un seguimiento de las variaciones en los valores de concentración a lo largo del tiempo desde que se produjo la erupción.

OBJETIVOS:

Los objetivos de este estudio se pueden agrupar en dos fundamentales:

1. El análisis de las concentraciones de los 20 metales de estudio (Al, B, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, V, Zn) contenidas en las

diversas muestras de agua que fueron previamente recogidas a diferentes distancias, profundidades y momentos de la zona de La Restinga.

2. La comparación de los valores de concentraciones obtenidos en las diferentes campañas y evaluar cómo ha evolucionado la presencia de estos metales pesados en la zona tras la erupción.

MATERIAL Y MÉTODOS:

Método de recogida:

Fueron analizadas un total de 95 muestras de agua de mar que corresponden a diferentes puntos y fechas, principalmente en la zona de La Restinga donde tuvo lugar la erupción submarina. La recogida de muestras se llevó a cabo en el buque oceanográfico Ángeles Alvariño y pertenecen a distintas campañas: Mayo de 2015 (Vulcana 0515), Octubre de 2015 (Vulcana 1015) y Marzo de 2016 (Vulcana 0316).

El grupo de muestras correspondientes a las campaña 1015 pertenecen a dos expediciones que tuvieron lugar en la zona de la Restinga y al volcán de “Enmedio”, situado entre las islas de Gran Canaria y Tenerife, tal y como se puede observar en la figura 1 ^[14].

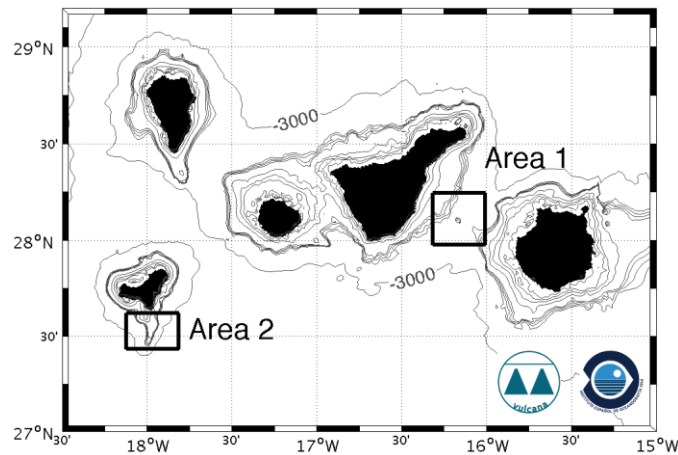


Figura 1. Zona de recogida de muestras en las diferentes campañas.

Por otra parte, las muestras de las campañas 0316 y 0515, conciernen exclusivamente a la zona de La Restinga.

Método de análisis:

Para el análisis de las muestras fue necesario disponer de crisoles de porcelana, los cuales primeramente se esterilizaron a 800°C durante 2 horas en el horno mufla. Posteriormente, se tomaron alícuotas de 50mL del agua de cada una de las muestras recogidas.

A continuación, se introdujeron los crisoles con la muestra en la estufa a 80°C durante 24 horas, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se anotó el peso seco. Una vez registrado el peso, se trataron con ácido nítrico puro (al 65%, que será el contenido en las botellas comercializadas) apoyándonos con una placa calefactora, lo cual aceleraría el proceso de la digestión. Seguidamente, y tras el secado de las muestras, se introdujeron los crisoles en el horno mufla a 450°C durante 24 horas, proceso que eliminó la fase orgánica del residuo.

Finalizado este último paso, se anotó el peso de cenizas, procediendo a solubilizar los metales contenidos en él. Para ello, se preparó una disolución de ácido nítrico al 1,5% que se realizó añadiendo 23mL de ácido nítrico puro en un matraz aforado de 1L y enrasando con agua destilada.

Una vez se disolvió la ceniza seca obtenida del horno mufla en la disolución de ácido nítrico al 1,5%, se introdujeron en botes esterilizados para llevar las muestras a analizar al Espectrómetro de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente como fuente de ionización (ICP-OES). Este instrumento, introduce una corriente de Argón en un campo de radiofrecuencia que alcanza temperaturas muy elevadas (de hasta 8000°C), necesarias para causar la ionización, excitación y emisión de radiación de los elementos contenidos en la muestra a analizar ^[14]. La medida de la radiación emitida por los átomos e iones será por tanto lo que se determine, y se expresa en concentraciones de mg/L teniendo en cuenta los límites de detección y cuantificación del aparato, recogidos en la tabla 1 ^[16]:

Tabla 1. Límites de detección y cuantificación del ICP-OES:

Metal	wavelength (nm)	Detection limit (mg/l)	Quantification limit (mg/l)
Al	167.0 nm	0.004	0.012
B	249.7 nm	0.003	0.012
Ba	455.4 nm	0.001	0.005
Ca	317.9 nm	0.58	1.955
Cd	226.5 nm	0.0003	0.001
Co	228.6 nm	0.0006	0.002
Cr	267.7 nm	0.003	0.008
Cu	327.3 nm	0.004	0.012
Fe	259.9 nm	0.003	0.009
K	769.9 nm	0.565	1.884
Li	670.8 nm	0.005	0.013
Mg	279.1 nm	0.583	1.943
Mn	257.6 nm	0.002	0.008
Mo	202.0 nm	0.0007	0.002
Na	589.6 nm	1.097	3.655
Ni	231.6 nm	0.0007	0.003
Pb	220.3 nm	0.0003	0.001
Sr	407.7 nm	0.0007	0.003
V	310.2 nm	0.001	0.005
Zn	206.2 nm	0.002	0.007

Análisis estadístico de las muestras:

Para el análisis estadístico de las muestras recogidas en tres las campañas, se empleó el programa IBM Statistics SPSS 24.0. Primeramente, se comprobó si las muestras analizadas cumplían el criterio de normalidad o no mediante dos métodos: el test de Kolmogorov-Smirnov, que mide la normalidad propiamente dicha, y el Estadístico de Levene que define la homogeneidad de las varianzas ^[17].

En caso de existir normalidad, se emplearon test paramétricos, concretamente prueba de T-test para variables independientes ^[18]. Con los datos que no se distribuyeron de forma normal, se procedió a realizar un estudio no paramétrico, utilizando la prueba de Kruskal-Whallis con el fin de confirmar la existencia o no de diferencias significativas entre las diferentes muestras. Posteriormente, se compararon las diferencias de concentraciones de metales de estudio de cada una de las tres campañas mediante el test de U de Mann-Whitney. Por último, se evaluó la posibilidad de correlación entre metales dentro de una misma campaña apoyándonos en el coeficiente de correlación de Spearman.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

Los resultados del estudio se dividieron en dos grupos atendiendo a la disposición geográfica de la recogida de muestras:

1. Zona del volcán Tagoro: agrupa las campañas 0316, 0515 y 1015.
2. Zona del volcán de Enmedio y volcán Tagoro: concierne a la campaña 1015.

La tabla 2 refleja la media de la concentración obtenida y la desviación estándar tras el análisis de las muestras recogidas exclusivamente en la zona de la erupción del volcán submarino Tagoro en las diferentes campañas: Mayo de 2015 (C0515), Octubre de 2015 (C1015) y Marzo de 2016 (C0316).

Tabla 2. Media y desviación estándar de las concentraciones de los metales en la zona de la erupción del volcán Tagoro.

Metales (mg/L)	Campaña 0515	Campaña 1015	Campaña 0316
Al	0,585±0,261	0,608±0,299	0,405±0,239
B	0,638±0,186	0,462±0,215	0,257±0,187
Ba	0,062±0,034	0,071±0,042	0,039±0,022
Ca	106,761±31,0259	103,148±37,064	135,498±42,728
Cd	0,0004±0,0005	0,0004±0,0006	0,00006±0,0002
Co	0,000±0,000 <LD	0,000±0,000 <LD	0,000±0,000 <LD
Cr	0,000±0,000 <LD	0,000±0,000 <LD	0,000±0,000 <LD
Cu	0,119±0,063	0,097±0,062	0,187±0,100
Fe	0,049±0,016	0,055±0,022	0,079±0,064

K	335,593±86,395	320,462±101,423	351,314±109,084
Li	0,286±0,184	0,193±0,117	0,439±0,317
Mg	468,610±146,101	422,570±163,760	479,237±148,804
Mn	0,000±0,000 <LD	0,0007±,002	0,0002±0,001
Mo	0,005±0,001	0,005±0,002	0,004±0,001
Na	436,774±119,779	404,204±151,419	966,581±363,205
Ni	0,003±0,004	0,003±0,005	0,006±0,008
Pb	0,015±0,004	0,013±0,005	0,011±0,003
Sr	2,000±0,454	1,930±0,598	1,823±0,556
V	0,006±0,005	0,006±0,005	0,016±0,011
Zn	0,057±0,193	0,029±0,028	0,103±0,207

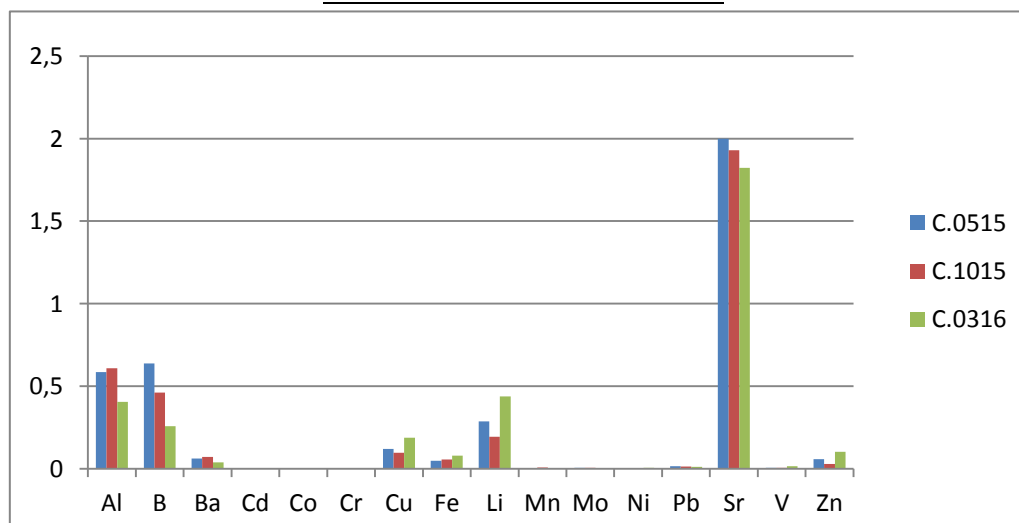
Cabe destacar que la concentración de Cr y de Co en la zona de erupción del Tagoro no alcanzó límites detectables, por lo que no se estudiará su presencia. Lo mismo ocurre con el Mn en la campaña 0515.

Si atendemos a los resultados de esta tabla, podemos observar cómo por lo general, las concentraciones de los diferentes metales disminuyen de Mayo (C0515) a Octubre (C1015) como reflejan: B, Ca, Cu, K, Li, Mg, Na, Pb, Sr, Zn. Entre ellos destacamos que la disminución más notoria pertenece al Zn, que redujo su concentración en un 49,12% (de 0,057 mg/L a 0,029 mg/L) seguido del Li que la redujo en un 32,51% (de 0,286 mg/L a 0,193 mg/L).

Sin embargo, posteriormente vuelven a elevarse las concentraciones de metales en algunos casos en Marzo de 2016 (C0316) como sucede con: Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, V y Zn. Entre ellos, el aumento más perceptible es el del Zn en un 255,17% (de 0,029 mg/L a 0,103 mg/L), seguido del V en un 166,66% (de 0,006 mg/L a 0,016 mg/L).

Estos resultados los podemos observar en la gráfica 1.

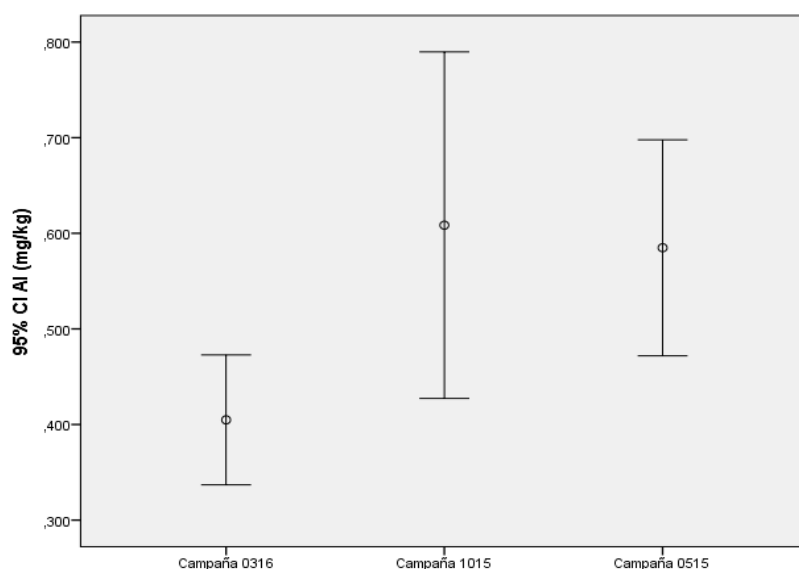
Gráfica 1. Variación en la concentración de metales a lo largo de las tres campañas, omitiendo los macroelementos.



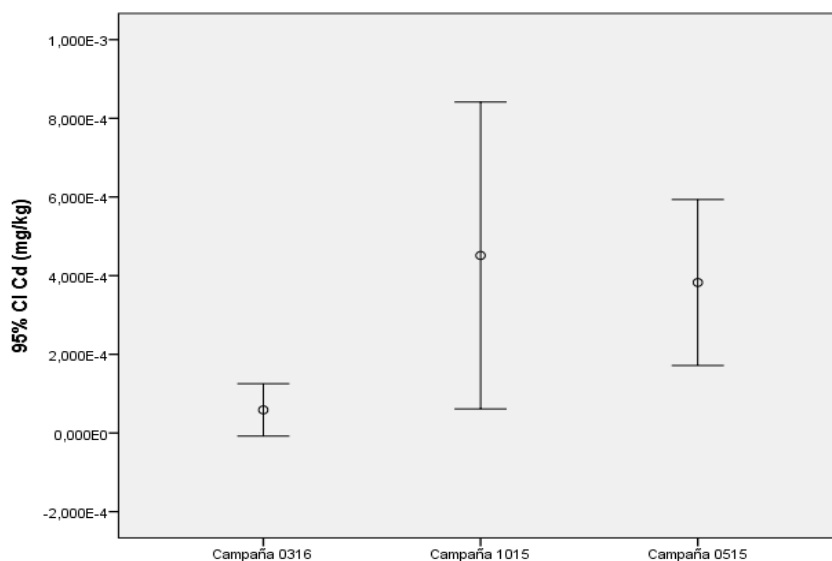
Continuando con el estudio, descubrimos que existen diferencias significativas de concentraciones entre una campaña y otra en los siguientes metales: Al, B, Ba, Ca, Cd, Cu, Fe, K, Li, Mo, Na, Ni, Pb, Sr, V y Zn.

Por lo tanto, procedemos a determinar cómo se producen esas variaciones de concentración en cada uno de estos 16 metales a lo largo de las campañas de recogida de muestra y comparándolas unas con otras. Para ello, empleamos el test de U de Mann-Whitney y encontramos que todos estos metales a excepción del B y el Zn, no presentan diferencias significativas en cuanto a la variación de la concentración de metales entre las campañas 0515 y 1015. Sin embargo, sí se encuentran diferencias significativas en las concentraciones de los metales si comparamos estas campañas con la 0316. A continuación, se podrá observar en las gráficas (2 – 4) dichas tendencias.

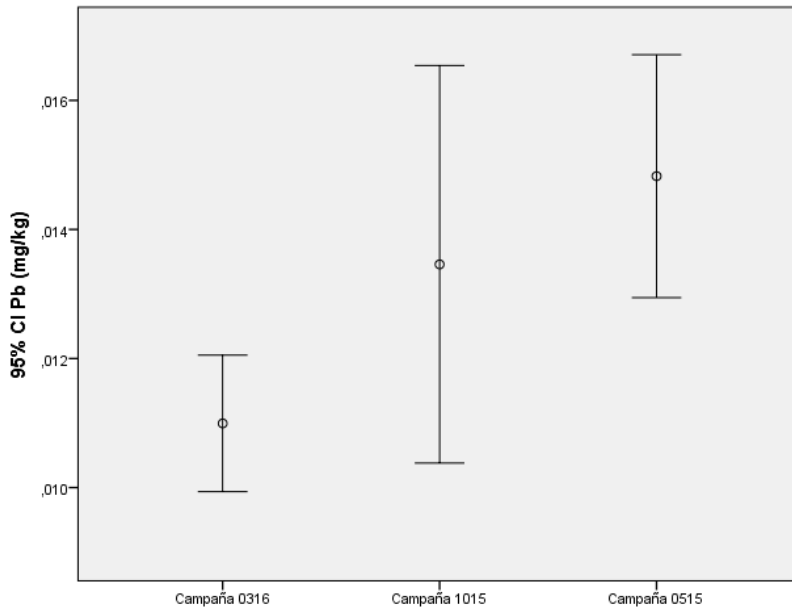
Gráfica 2. Relación del % de concentración de Al en las diferentes campañas.



Gráfica 3. Relación del % de concentración de Cd en las diferentes campañas.



Gráfica 4. Relación del % de concentración de Pb en las diferentes campañas.



Podemos observar cómo se asemejan las concentraciones en el periodo donde ocurrieron las campañas del 2015, pero en 2016 las concentraciones de los metales aumentan o disminuyen dependiendo de cada metal:

- Aumentan su concentración en 2016: Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, V y Zn.
- Disminuyen su concentración en 2016: Al, B, Ba, Cd, Mn, Mo, Pb y Sr.

Este aumento de concentración podría deberse a un movimiento de tierra, que podría ocasionar una mayor liberación de metales que quedaron sedimentados en la superficie del volcán tras la erupción inicial.

Como se especificó antes, el B y el Zn presentan una tendencia excepcional puesto que no guardan similitud de concentraciones dentro del mismo periodo de 2015 como sí sucede con el resto de metales pesados en estas dos campañas del año. Lo observamos en los siguientes gráficos (5 – 6):

Gráfico 5: Relación del % de concentración de B en las diferentes campañas.

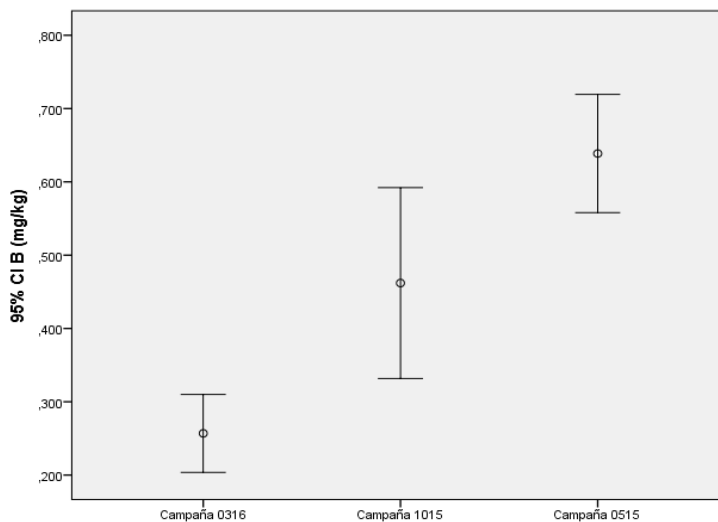
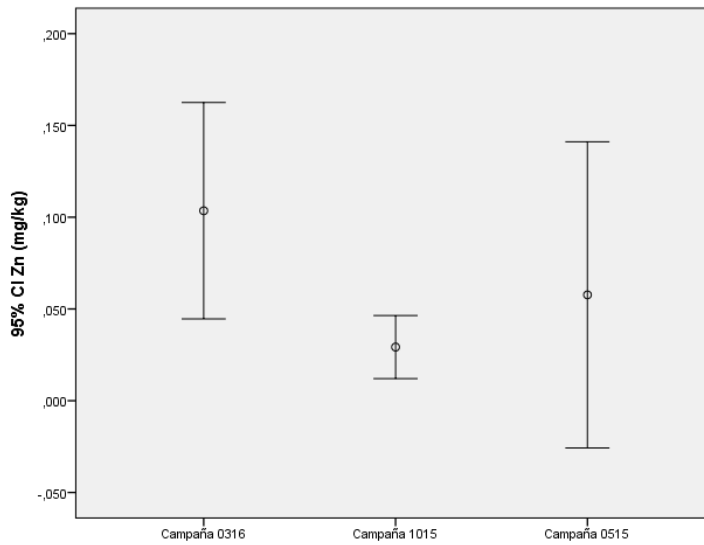


Gráfico 6: Relación del % de concentración de Zn en las diferentes campañas.



Por último, se realizó un estudio de correlaciones entre las concentraciones de estos metales pesados teniendo en cuenta todas las campañas. Los resultados obtenidos fueron los que se reflejan en la Tabla 3:

Tabla 3: Correlaciones entre los metales a lo largo de las campañas.

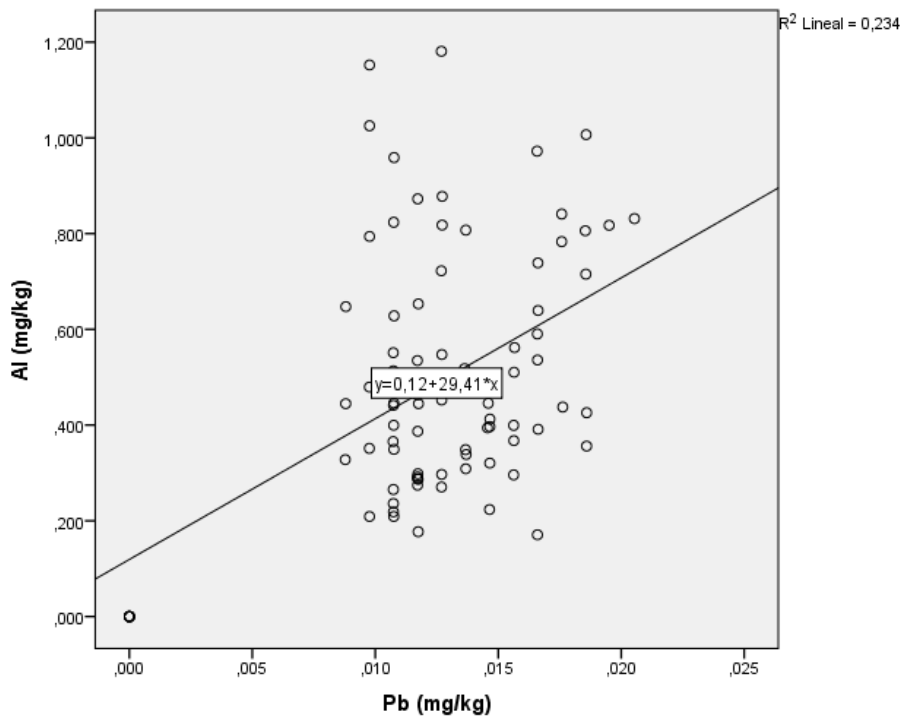
Metales	Correlación positiva	Correlación negativa
Al	B, Ba, Cd, K, Mg, Mo, Pb, Sr	Li
B	Al, Ba, Cd, Mo, Pb, Sr	Cr, Cu, Li, Na, Ni
Ba	Al, B, Cd, Mo, Pb, Sr	Cu, Li, Ni
Ca	Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, Sr, V, Zn	Pb
Cd	Al, B, Ba, K, Sr	Cu, Na, Zn
Cu	Ca, Cr, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, V, Zn	B, Ba, Cd
Fe	Ca, Cr, Cu, K, Li, Mg, Na, Ni, V, Zn	-
K	Al, Ca, Cd, Cu, Fe, Li, Mg, Na, Ni, V, Zn	-
Li	Ca, Cu, Fe, K, Na, Ni, V, Zn	Al, B, Ba
Mo	Al, B, Ba, Pb, Sr	-
Na	Ca, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Ni, V, Zn	B, Cd
Ni	Ca, Cr, Cu, Fe, K, Li, Na, V, Zn	B, Ba
Pb	Al, B, Ba, Mo, Sr	Ca, V

Sr	Al, B, Ba, Ca, Cd, Mo, Pb	-
V	Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, Zn	Pb, Ca
Zn	Ca, Cu, Fe, K, Li Mg, Na, Ni, V	Cd

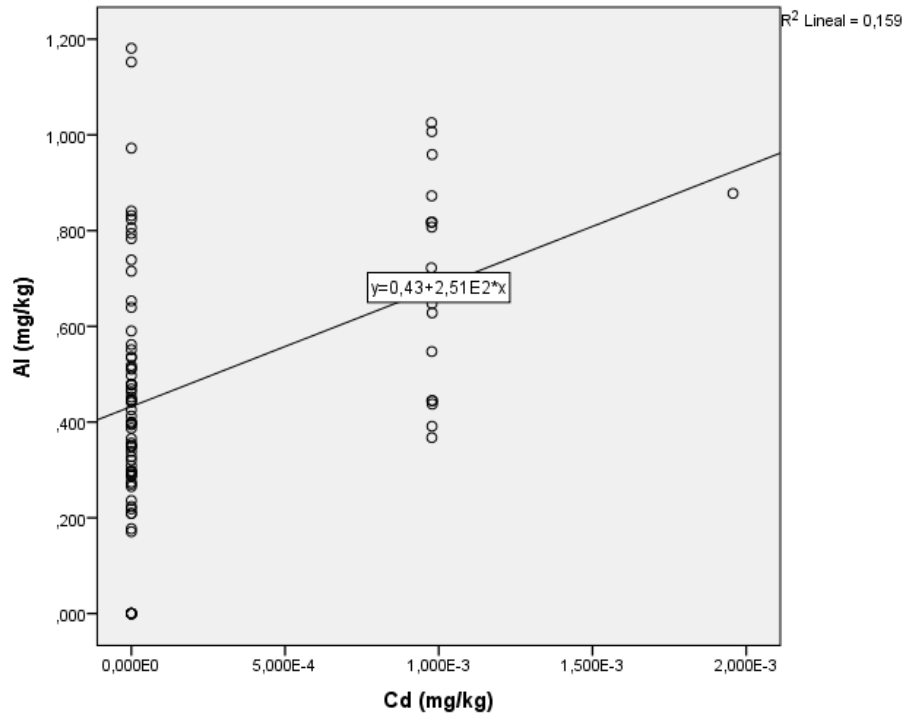
De todas ellas, representamos el estudio de correlación de metales tóxicos y observamos como el Al sí guarda correlación con el Cd y el Pb (como se observa en las gráficas 7 y 8) mientras que estos dos últimos metales no la presentan entre sí.

Como dato importante, cabe destacar que se observa una disminución los valores de concentración de estos metales pesados tóxicos en el 2016, a diferencia de otros metales. Este hecho sugiere que podrían tener tendencia a volver a niveles normales, cercanos a las concentraciones anteriores a la erupción conforme pase el tiempo.

Gráfica 7. Correlación entre las concentraciones de Al y las de Pb.



Gráfica 8. Correlación entre las concentraciones de Al y Cd.



En lo referente a la campaña 1015, se estudiaron los valores de concentración de metales tanto en el volcán de Enmedio como en el volcán Tagoro, obteniéndose los resultados que recoge la Tabla 4.

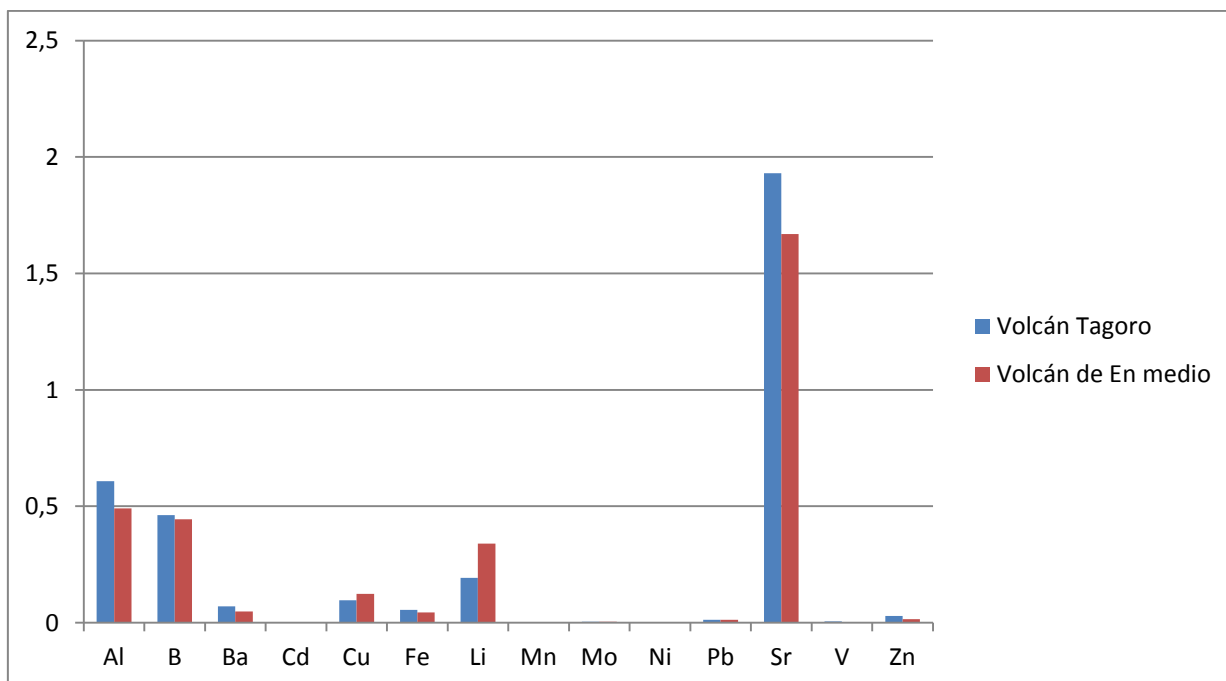
Tabla 4: Media y desviación estándar de las concentraciones en la zona del volcán Tagoro y del volcán de Enmedio durante la campaña 1015.

Metales (mg/L)	Volcán Tagoro	Volcán de Enmedio
Al	0,608±0,299	0,491±0,411
B	0,462±0,215	0,445±0,267
Ba	0,071±0,042	0,049±0,043
Ca	103,148±37,064	86,096±43,567
Cd	0,0004±0,0006	0,0003±0,0004
Cu	0,097±0,062	0,124±0,082
Fe	0,055±0,022	0,044±0,025
K	320,462±101,423	284,200±133,724

Li	0,193±0,117	0,340±0,272
Mg	422,570±163,760	377,335±186,300
Mn	0,000±0,000 <LD	0,000±0,000 <LD
Mo	0,005±0,002	0,004±0,002
Na	404,204±151,419	371,604±187,417
Ni	0,003±0,005	0,002±0,0019
Pb	0,013±0,005	0,013±0,007
Sr	1,930±0,598	1,669±0,783
V	0,006±0,005	0,003±0,005
Zn	0,029±0,028	0,015±0,008

El Mn se encuentra por debajo del límite de detección, por lo tanto se descartó en este estudio.

Gráfica 9. Comparativa de la variación en la concentración de metales respecto al volcán Tagoro y volcán de Enmedio, omitiendo los macroelementos.



En la gráfica 9 podemos observar cómo, aunque no existían diferencias estadísticamente significativas entre la concentración metálica de estos dos volcanes submarinos, para casi todos los metales, excluyendo el Cu y el Li, las concentraciones son mayores en las muestras analizadas procedentes del Volcán Tagoro, que es el de actividad volcánica reciente.

CONCLUSIONES:

1. Las concentraciones presentes en el agua de la zona del volcán submarino Tagoro, por lo general disminuyen a lo largo del tiempo. Sin embargo, algunos de los valores vuelven a incrementarse en la campaña realizada en 2016 como ocurre con: Ca, Cu, Fe, K, Li, Mg, Na, Ni, V y Zn.
De todos ellos, destaca el aumento en la concentración de los metales Zn y Li puesto que producen efectos muy perjudiciales en el hombre.
2. La concentración de Al se correlaciona positivamente con la de Cd y Pb en la zona del volcán Tagoro. Sin embargo, se observa una disminución en los valores de concentración de estos metales en el 2016, lo que sugiere que podrían tener tendencia a volver a niveles normales.
3. No existen diferencias estadísticamente significativas entre la concentración metálica de las aguas procedentes del volcán Tagoro y el volcán de Enmedio, a pesar de esto, sí se puede observar que, por lo general, las concentraciones son superiores en el volcán Tagoro. Presumiblemente, el motivo de ello sea la reciente actividad que mostró este volcán.

BIBLIOGRAFÍA:

1. http://www.gevic.net/info/contenidos/mostrar_contenidos.php?idcap=91&idcat=22&idcon=528
2. <https://conociendoelhierro.wordpress.com/origen-islas-canarias/>
3. http://www.volcanesdecanarias.com/index.php?option=com_content&view=article&id=317:asi-fue-la-erupcion-submarina-de-el-hierro&catid=134&Itemid=138&lang=es
4. <http://www.abc.es/20120705/ciencia/abci-volcan-hierro-cambio-climatico-201207051405.html>
5. http://www.volcanesdecanarias.com/index.php?option=com_content&view=article&id=179&Itemid=116&lang=es
6. Fraile-Nuez E, González-Dávila M, Santana-Casiano JM, Arístegui J, Alonso-González IJ, Hernández-León S (2012). “The submarine volcano eruption at the island of El Hierro: physical-chemical perturbation and biological response” Scientific Reports, vol. 2, p. 486.
7. Ebrahimpour M, Pourkhabbaz A, Baramaki R, Babaei H, Rezaei M (2011). “Bioaccumulation of heavy metals in freshwater fish species Anzali, Iran” Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, vol. 87, p. 368-392.
8. <http://www.msmanuals.com/es-es/professional/trastornos-nutricionales/deficiencia-e-intoxicaci%C3%B3n-por-minerales/deficiencia-y-toxicidad-del-cobre>
9. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002496.htm>
10. <http://tratado.uninet.edu/c100804.html>
11. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002667.htm>
12. Ángel José Gutiérrez Fernández, Arturo Hardisson de la Torre, Carmen Rubio Arméndariz. “Grandes intoxicaciones masivas causadas por metales pesados”. Toxicología. Universidad de La Laguna. Abril 2015.
13. Ángel José Gutiérrez Fernández, Arturo Hardisson de la Torre, Carmen Rubio Arméndariz. “Toxicología del Plomo y Cadmio”. Toxicología. Universidad de La Laguna. Abril 2015.
14. <http://www.vulcanoelhierro.es/campa%C3%B1as-vulcano>
15. <http://sct.uab.cat/saq/es/content/icps>
16. Oosterbaan, M. (Marijn). Metals emitted by the Young submarine volcano Tagoro (El Hierro, Canary Islands): quantification in seawater and plankton and their potential impact. Master Thesis Hydrology. Santa Cruz de Tenerife, July 2016. Disponible en: www.vulcanoelhierro.es/publicaciones.
17. Tejera R.L, Luis G, González-Weller D, Caballero J.M, Gutiérrez A.J, Rubio C, Hardisson A. Metals in wheat flour; comparative study and safety control. Nutr Hosp 2013; 28 (2): 506-513.
18. Pan G. Confidence intervals for comparing two scale parameters based on Leven’s statistics. Journal of Nonparametric Satatistic. 2002;4(14):459-476.