

Caracterización de Cenizas del Volcán Peteroa

Adalgisa Scotti, Darío N. Torres

**Cuadernos
ICES 5**

Editores: José Ruzzante, M. Isabel López Pumarega

Ruzzante, José E.

Caracterización de cenizas del volcán Peteroa: cuadernos ICES 5. - 1a ed. -
Buenos Aires: Comisión Nacional de Energía Atómica - CNEA, 2012.
70 p.; 23x13 cm.

ISBN 978-987-1323-29-8

1. Ciencias de la Tierra. 2. Volcanes. I. Título.
CDD 551

Fecha de catalogación: 10/08/2012

Editores: José Ruzzante, M. Isabel López Pumarega

Diseño: Cristina A. Delfino

ISBN 978-987-1323-29-8

E-mail: ruzzante@cnea.gov.ar

lopezpum@cnea.gov.ar

La impresión fue llevada a cabo gracias a la colaboración del

PICT 2007 Proyecto 0001769

Prólogo

Como es costumbre, en los Encuentros que organiza cada año el ICES se presenta un pequeño libro llamado “Cuaderno ICES”, en ellos se incluyen dos trabajos generalmente, relacionados con la temática del Encuentro. En esta ocasión dada la cantidad de información generada por los autores invitados fue necesario realizar dos publicaciones separadas. Es por ello que en este Encuentro se pone a consideración de los participantes, simultáneamente, los Cuadernos 5 y 6. En este “Cuaderno ICES 5” se presenta el Trabajo “Caracterización de Cenizas del Volcán Peteroa”, es una amplia recopilación de datos de cenizas del Peteroa, su estudio con diversas técnicas de análisis y posibles daños a la comunidad. La gran mayoría de los análisis fueron realizados en la CNEA Regional Mendoza, el Centro Atómico Constituyentes y el Centro Atómico Ezeiza.

Los autores fueron especialmente cuidadosos en indicar el origen de la ceniza y el realizador de los análisis, datos sumamente importantes para todo aquel que desee realizar un estudio posterior de los mismos.

Finalizo este prólogo agradeciendo a todos aquellos que posibilitan seguir adelante con este proyecto ICES: a la Agencia Nacional de Promoción Científico Tecnológica por el PICT-2007-01769, ICES-MAE; a la Municipalidad de Malargüe; al “Grupo Los Azufres”, Escuadrón 29, Gendarmería Nacional, Malargüe; a la Fundación Williams; a nuestros Gerentes Alberto Lamagna y Alfredo Boselli; a los distintos Centros Atómicos y Regionales de CNEA; y por último a Cristina Delfino y a Domingo Trucco, por su buena disposición para la realización e impresión de estas publicaciones.

José Ruzzante
Director Científico, ICES
Buenos Aires, junio 2012

Caracterización de Cenizas del Volcán Peteroa

Adalgisa Scotti, Darío N. Torres



Adalgisa Scotti. ICES Mendoza-Argentina- CNEA.
adalgisascotti@icesmalargue.org

Darío N. Torres. ICES Buenos Aires–Argentina CNEA. Centro Atómico
Constituyentes. GAIyANN dntorres@cnea.gov.ar

1 – Introducción

Un volcán es un componente importante de la naturaleza y una de las señales de que la Tierra es un planeta dinámico. Corresponde a un lugar de la corteza terrestre donde el magma ha ascendido a la superficie y construido, mediante erupciones sucesivas, un edificio volcánico (Figura 1).

El magma es un material fundido constituido principalmente por silicatos de calcio, aluminio, magnesio, potasio y sodio que contiene además gases. Al llegar a la superficie el magma empieza a enfriarse, libera gases y se cristaliza formando minerales. Si el enfriamiento es rápido solidifica como vidrio volcánico (obsidiana). El magma cuando sale a la superficie terrestre lo hace como un líquido viscoso denominado lava. Hay ocasiones en que los gases retenidos a alta presión favorecen la fragmentación del magma y su expulsión en forma de partículas de diverso tamaño. De este modo se tiene vulcanismo efusivo denominado por la emisión de coladas de lava y vulcanismo explosivo caracterizado por la emisión de magma fragmentado en partículas llamadas piroclastos que según su tamaño se clasifican en bombas, lapillis y cenizas. De acuerdo con las dimensiones de las partículas que surgen de la fragmentación del magma y/o rocas se puede decir que las cenizas son aquellas porciones de elementos piroclásticos cuyo tamaño es menor de 2 mm.

La morfología de las cenizas dependerá del mecanismo de formación de las mismas, de acuerdo con la literatura existente, se destacan tres dependiendo de la interacción del magma con diversos agentes: liberación de gases debido a la descompresión con el magma ascendente a la superficie (Erupción Magmática); fragmentación explosiva del magma durante el contacto con el suelo, agua, hielo o nieve (Erupción Freato-Magmática) y pulverización y eyección de partículas desde las paredes de ventilación o antiguos cráteres, durante la erupción de vapor y agua caliente (Erupción Freática).

El magma fragmentado puede a su vez dispersarse a gran velocidad como violentas corrientes incandescentes o bien como partículas desagregadas transportadas por el viento.

Ambos estilos eruptivos pueden alternar en la historia evolutiva de un volcán y aún durante un mismo ciclo eruptivo, aunque, cada volcán posee un estilo predominante.

Los volcanes entonces, se forman por acumulación sucesiva del material emitido en las erupciones volcánicas y su edificio puede crecer y modificarse en cada período eruptivo y aún destruirse en las erupciones más violentas o por erosión durante largos períodos de reposo.

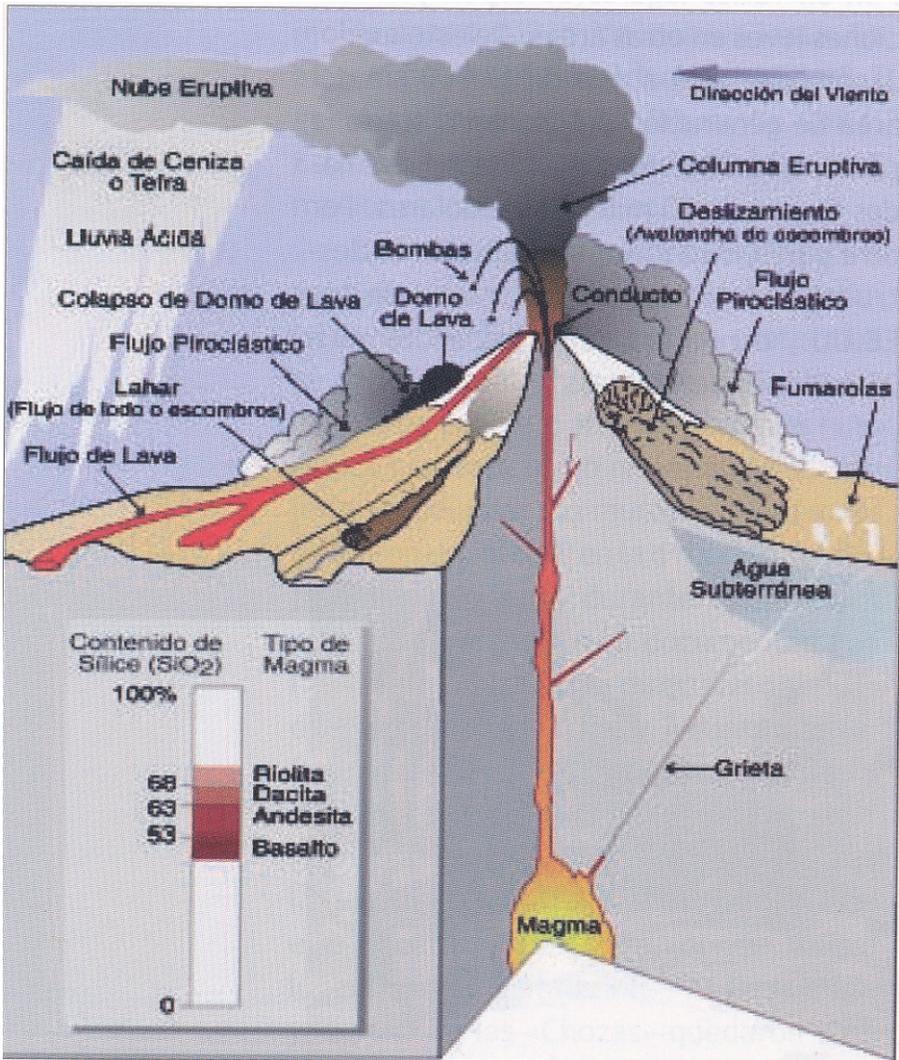


Figura 1: Esquema de un volcán y los productos de su actividad.

Fuente: Proyecto Multinacional Andino-Geociencias para las comunidades Andinas

¿Qué es un volcán activo o potencialmente activo?

Un volcán activo es aquel que ha experimentado actividad volcánica durante el Holoceno (últimos 10.000 años) o bien si exhibe manifestación evidente de actividad actual (gases, actividad sísmica). A este conjunto de volcanes se lo ha subdividido en volcanes activos en tiempos históricos (en América, desde

el siglo XV en adelante) y aquellos para los cuales no existe evidencia de actividad en ese período pero sin embargo han sido edificados principalmente durante el Holoceno. El registro considera preferentemente los grandes estratovolcanes andinos pero también algunos conjuntos de pequeños conos volcánicos o fisuras eruptivas. En este último caso estos conjuntos han sido considerados como grupos equivalentes a un centro volcánico mayor.

Con el paso del tiempo el material fragmentado emitido durante las erupciones contribuye a la formación de suelos de gran riqueza para la agricultura y la ganadería por su alto contenido de nutrientes. En la Figura 2 puede observarse una región al pie del vc. Peteroa rica en la producción de pastura para ganado bovino, equino, ovino y caprino, en trabajos realizados en la región (Scotti, A. *et al.* 2012) se alcanzaron valores medios de 6000 kg de materia seca por hectárea, con una receptividad de 2,5 unidad bovina por hectárea considerando una carga conservadora (60 % de consumo de vega). Igualmente las rocas y material fino (la arena) que forman los depósitos volcánicos han sido utilizados para materiales de construcción.



Figura 2: Suelos fértiles Valle El Peñón, región del Vc. Peteroa

El material piroclástico puede alcanzar tamaños que van desde grandes bombas o bloques acumulados en torno del centro eruptivo a pequeñas partículas (cenizas) acumuladas a grandes distancias del volcán.

Estas últimas son dispersadas por los vientos de altura desde la columna eruptiva que nace desde el cráter. En el peor de los escenarios una columna eruptiva puede perder sustento y colapsar transportando material piroclástico como corrientes incandescentes denominadas “flujos piroclásticos” que viajan a velocidades de hasta unos 400-500 km por hora y altas temperaturas. Estos flujos se canalizan en los valles pero son capaces de remontar el relieve y extenderse a grandes áreas.

Por otra parte cuando el material piroclástico y otros fragmentos disponibles en la ladera de un volcán se mezclan con agua proveniente de la fusión de casquetes glaciares, lagos cratéricos o de las precipitaciones líquidas se pueden transformar en flujo de lodo o lahares que pueden alcanzar zonas muy alejadas del edificio volcánico destruyendo lo que encuentran a su paso como sucedió con el flujo de lodo que sepultó la ciudad de Armero (Colombia).

¿Qué características tiene el vulcanismo en los Andes?

Sudamérica posee una de las regiones volcánicas más activas del planeta.

La presencia de volcanes responde a la cercanía del margen sudamericano con la zona de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana. Tres grandes segmentos volcánicos, pueden reconocerse en la región: norte (Colombia a Ecuador entre 1°N y 1°S), central (Perú, Bolivia, Argentina y Chile entre 16°S y 26°S) y sur (Argentina y Chile entre 33° S y 46°S).

La mayor parte de los volcanes se encuentra en la Cordillera de los Andes aunque hay grandes campos volcánicos en la Patagonia argentina y en las islas oceánicas del Pacífico como las islas Galápagos. En la región andina se han registrado alrededor de 50 volcanes activos en tiempos históricos y hasta 200 con actividad reconocida en el Holoceno (últimos 10.000 años) que pueden considerarse potencialmente activos. (Figura 3).

¿Cuál es el rol de las Geociencias en el estudio y monitoreo de los volcanes?

Los vulcanólogos, profesionales de las Ciencias de la Tierra que investigan y reconstruyen la historia eruptiva de los volcanes, determinan su estilo eruptivo, la distribución y características de los productos volcánicos, el rango temporal de sus períodos de actividad y reposo y recomiendan los estudios adicionales y el seguimiento que debe realizarse en ellos.

La actividad registrada por el volcán Peteroa en setiembre de 2010 con



Figura 3: Zonas donde se producen los volcanes

emisión de cenizas motivó el estudio y caracterización de las mismas.

La Municipalidad de Malargüe representada por la Dirección de Defensa Civil y la Gendarmería Nacional recolectaron muestras de cenizas y de aguas en zonas de influencia del volcán. También colaboraron la Universidad Nacional de Cuyo en el muestreo de cenizas de perfiles estratigráficos, el laboratorio de química de CNEA Cuyo en datos de las cenizas del volcán Peteroa de la erupción de 1991, Hudson 2001 y Chaitén 2008 y la Municipalidad de San Rafael en muestras de cenizas encontradas en el Distrito de El Nihuil.

A estas muestras se le realizaron diversos estudios físico-químicos.

La caracterización química utilizada consistió en determinar el contenido de óxidos mayoritarios, elementos traza, carbono y azufre. Las técnicas empleadas para la caracterización incluyeron determinaciones morfológicas y físico-químicas mediante granulometría, dispersión de Rayos X (XRD), luminiscencia de Rayos X (XRL) microscopía electrónica de barrido (SEM) y microanálisis (EDS), absorción atómica, emisión atómica, fluorescencia laser y absorción molecular.

El interrogante que se presentó, fue determinar si la caracterización físico-química de las cenizas del Peteroa encontradas en la bibliografía se correspondía con la actual, si esta caracterización era útil para diferenciar distintos tipos de cenizas volcánicas y si podría tener una impronta química detectable en la cuenca hídrica del lugar.

Nuestra hipótesis consistió en considerar que la caracterización de cenizas del volcán Peteroa mediante los métodos descriptos podía ser utilizada para la identificación del volcán y el monitoreo de zonas contaminadas con metales pesados provenientes de cenizas volcánicas.

El objetivo de este trabajo fue caracterizar las cenizas del volcán Peteroa de las erupciones 2010-2011 y verificar su aplicabilidad en la identificación de cenizas encontradas y en el monitoreo de metales pesados de zonas de influencia del volcán.

Las definiciones químicas de los indicadores empleados se describen a continuación:

Índice agpaítico : $K_2O + Na_2O / Al_2O_3$ (mol)

Índice de Saturación en Aluminio: $Al_2O_3 / K_2O + Na_2O + CaO$ (mol)

Relaciones CaO/Na_2O ; y Al_2O_3/TiO_2 (mol)

Estos indicadores son utilizados para la caracterización de la roca madre (Lambe, W. & Whitman, R.(1997); Dana, J.& Hurlburt, C.(1960); Klein, C. & Hurlburt, C.(1996); Shand, S.(1927); Zen, E. (1986)).

Objetivo General

Caracterizar las cenizas del volcán Peteroa

Objetivos Específicos

Aplicar la caracterización físico-química propuesta en la identificación de otras cenizas encontradas.

Utilizar la caracterización de cenizas del volcán Peteroa en el monitoreo de elementos químicos en la cuenca hídrica en zonas de influencia del volcán.

Metodología

La metodología consistió en caracterizar químicamente cenizas provenientes de erupciones volcánicas conocidas y desconocidas. Analizar el tamaño de partículas y su morfología en las cenizas de la erupción del Peteroa 2010-2011 relacionando estos datos con su potencial patogénico para la población.

Toma de muestras

Se analizaron muestras correspondientes a:

Muestras de cenizas de origen conocido:

Las cenizas del volcán Peteroa fueron recolectadas en Baños El Azufre,

glaciar de la caldera del volcán, ladera este del volcán y ciudad de Malargüe, también se analizaron datos de cenizas emitidas en el año 1991 en Refugio El Azufre y en las proximidades del Arroyo Valenzuela en la desembocadura del Río Grande, cenizas del volcán Hudson de cuatro regiones diferentes de la erupción del 2001 y del volcán Chaitén también de cuatro muestreos distintos correspondientes a la erupción del año 2008 (datos cedidos por Lic. Guido Tomellini CNEA Cuyo) (Figura 5).

Muestras de cenizas de origen desconocido:

Las muestras de cenizas de volcanes no identificados fueron tomadas del estrato 4, 7 y 14 del perfil estratigráfico en Arroyo El Peñón (Figura. 4), cenizas encontradas en las dunas de El Nihuil con características de fosilización (Figura 7) y cenizas encontradas en el Puesto Don Soto de El Nihuil (Figura 6).



Figura 4: Perfil estratigráfico en la orilla del Arroyo El Peñón, mostrando los estratos de cenizas identificados como 14, 4 y 7



Figura 5: Imagen satelital mostrando sitios de estudio



Figura 6: Imagen satelital mostrando sitios de estudio en el Departamento de Malargüe y San Rafael



Figura 7: Fotografía de cenizas volcánicas con signos de fosilización vegetal recolectadas en las dunas de El Nihuil, Departamento de San Rafael

Análisis físico-químico realizado

Los indicadores para caracterizar el origen de la roca madre fueron: Diagrama TAS, Índice de Saturación de Aluminio (ASI), Índice Algaítico Relación $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$; y $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$, además de determinar presencia de Zn, Mn, Sr, S y U (Lamble, W. & Whitman, R. 1997).

Se procedió a la caracterización fisicoquímica de las diversas muestras de cenizas. La separación de acuerdo a la granulometría se realizó por tamización y la medición de la densidad de los distintos grupos obtenidos fue realizada a una temperatura estable de 25°C .

Para la determinación de los elementos químicos presentes así como la morfología de las tefras se utilizó las variadas propiedades de la microscopía electrónica de barrido (SEM), Retrodifusión de electrones, mapeo de las partículas más relevantes así como el EDS.

El análisis químico consistió en investigar óxidos mayoritarios, elementos traza, azufre, carbono orgánico total, pérdidas por ignición, contenido de agua y pH.

Análisis estadístico

Se realizó previamente un análisis exploratorio de todas las muestras del presente estudio para determinar mediante estadística de componentes principales a qué tipo de roca se aproximaban las composiciones químicas de las distintas cenizas y determinar si era posible caracterizar de manera general las cenizas del volcán Peteroa sin importar la fecha de los eventos.

Se determinó mediante análisis de clusters y dendrograma la proximidad de las distintas muestras analizando los indicadores químicos.

Posteriormente se caracterizaron las cenizas del volcán Peteroa correspondientes a la erupción de setiembre de 2010.

Resultados y Discusión

Análisis Exploratorio

Se realizó un análisis previo comparando los indicadores seleccionados: ISA; Índice Apgaítico; Relación $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$; S; TAS para las muestras de cenizas provenientes del volcán Peteroa, del Nihuil y del perfil estratigráfico. Los resultados se registran en la Tabla I.

Los valores correspondientes al análisis químico de óxidos mayoritarios, S, carbono total y agua expresados en g% P/P, de cada una de las muestras presumiblemente asociadas al volcán Peteroa se registran en la Tabla II.

En la Tabla II se registran los valores de los resultados de óxidos mayoritarios, carbono, azufre para las muestras analizadas y también los valores medios de valores de estos compuestos para el caso de que se trate de rocas ígneas continentales, areniscas, esquistos arcillosos y caliza, (Dana, J. & Hurlburt, C. 1960).

Los resultados de las Tablas I y II se obtuvieron a través de un programa de estadística para el análisis de componentes principales, armado de cluster y gráficos de variables.

En la Figura 9 se observa que todas las muestras de cenizas se encuentran en la zona de rocas ígneas y esquistos arcillosos, pero las cenizas encontradas en la zona de dunas de El Nihuil están levemente separadas acercándose al área de areniscas.

La incorporación de los datos químicos de las cenizas del volcán Hudson y Chaitén (Tabla III) produce un agrupamiento de clusters como se observa en la Tabla IV.

	2010	2010	1991	1991	1991	Nihuil	Nihuil	Perfil	Perfil	Perfil	Peteroa
	Peteroa	Peteroa	Refugio El	Arroyo	Arroyo	Dunas	Dunas	Estrato	Estrato	Estrato	Ciudad
	glaciar	ladera	Azufre	Valenzuela	Valenzuela	40507	40507	14	14	Estrato 7	
	40555	40556	7251	7252	7252	41837	41837	4	4	Estrato 7	
ISA	0,807	0,84	1,18	1,39	1,39	0,575	1,078	1,29	1,34	1,47	0,75
Indice Agpaítico	0,45	0,49	0,43	0,38	0,38	0,75	0,84	0,52	0,6	0,52	0,72
CaO/Na ₂ O	2,37	2,15	1,44	1,43	1,43	2,08	0,16	0,65	0,37	0,38	1,3
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	12,6	13,05	17,1	17,76	17,76	24,7	24,8	14,9	15,67	12,18	12,27
S g% P/P	4	4,2	8,7	9,2	9,2	0,1	0,1	0,1	0,1	3,58	1,33
TAS	02	02	01	02	02	S2	S2	02	02	01	01
	Andesítico co	Andesitic o	Andesítico -basáltico	Andesítico	Andesítico	Traqui- andesiti co-	Traqui- andesítico -basáltico	Andesitic o	Andesiti co	Andesitic o-	Andesítico- basáltico
	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso	meta- luminoso

Tabla I: Resultados de los parámetros elegidos como indicadores para cada una de las muestras de cenizas de los sitios de estudio en zonas de influencia del vc. Peteroa

Compuesto químico	Nihuil Dunas	Peteroa glaciar	Peteroa ladera	Nihuil puesto	Estrato 14 perfil	Estrato 4 perfil	Estrato 7 perfil	Peteroa ciudad	R ígneas contin.	Arenisca arcillosa	Esquistos arcillosos	Caliza
Si O ₂	62,2	60,1	62,1	62,1	58,9	60,1	55,4	55,1	59,14	78,33	58,1	5,19
Al ₂ O ₃	12,9	12,4	12,7	12,7	15,2	14,4	13,7	13,8	15,34	4,77	15,4	0,81
Fe total expresado en Fe ₂ O ₃	3,1	5,4	4,7	2,3	5,8	4,6	7,1	6,4	3,08	1,07	4,02	0,54
Ca O	7	5,3	4,8	0,65	2,1	1,15	1,2	4,6	5,08	5,5	3,11	42,57
Mg O	2,8	2,2	1,5	0,65	2,2	1,25	1,45	2,3	3,49	1,16	7,89	7,89
Na ₂ O	3,9	2,4	2,4	4,25	3,6	3,5	3,4	3,9	3,84	0,45	1,3	0,05
K ₂ O	3,2	1,4	2	3,4	1,85	2,7	1,4	1,6	3,13	1,31	3,24	0,33
P ₂ O ₅	0,14	0,21	0,16	0,14	0,25	0,21	0,22	0,06	0,3	0,08	0,17	0,04
Ti O ₂	0,41	0,77	0,76	0,4	0,9	0,72	0,9	0,9	1,05	0,25	0,65	0,06
S total	0,1	4	4,2	0,1	0,1	0,1	3,58	1,33	0	0,07	0,64	0,05
C total orgánico elemental	0,12	0,27	0,24	0,5	0,46	0,6	0,7	0	0	0	0,8	0
H ₂ O total (H ₂ O++H ₂ O+)	2,2	2,25	2,8	11,6	6,8	9,3	8,9	1,15	1,15	1,63	5	0,77
CO ₃ = expresado en CO ₂	1,83	1,9	0,1	0,95	1	1	1,2	0,1	0,1	5,03	2,63	41,54

Tabla II: Resultados obtenidos de óxidos mayoritarios, carbono, azufre y agua para cada uno de los casos presentados y casos de referencia indicando los valores medios de rocas ígneas continentales, areniscas, calizas y esquistos arcillosos

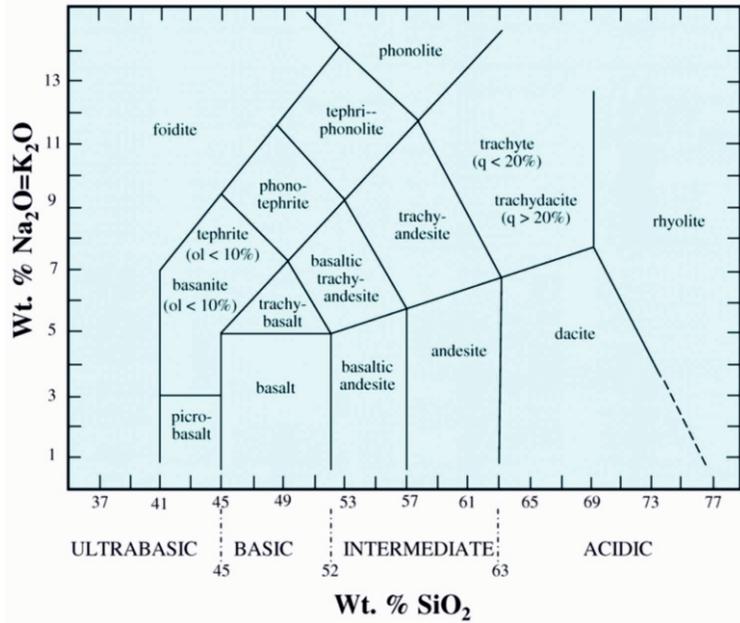


Figura 8: Diagrama TAS, clasificación de roca madre

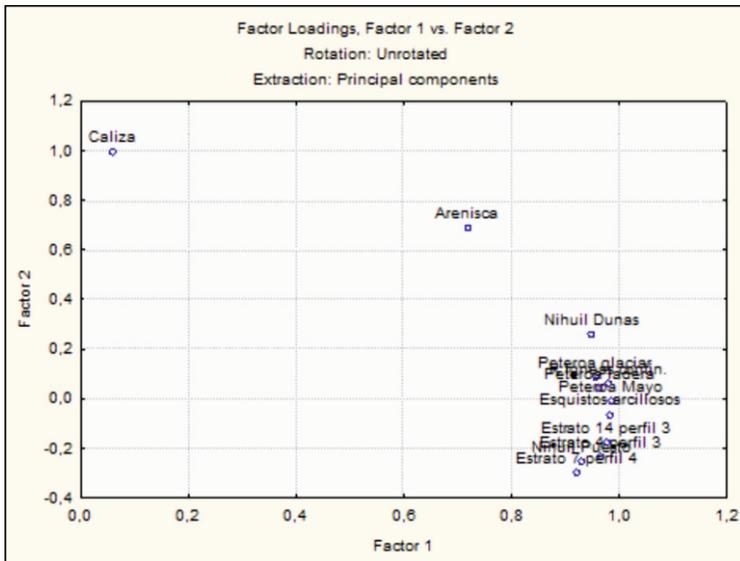


Figura 9: Gráfico de análisis de componentes principales representando la distribución de las muestras en el plano de coordenadas

INDICADORES	7597 Hudson 2001	7598 Hudson 2001	7599 Hudson 2001	7600 Hudson 2001	31437 Chaitén 2008	31438 Chaitén 2008	31419 Chaitén 2008	31420 Chaitén 2008	40555 Petrora glaciar 2010	40556 Petrora ladera 2010	7251 Refugio El Azufré 1991	7252 Arroyo Valenzuela 1991	40507 Nihuil Dumas	41837 Nihuil Puesto Estrato 14
Índice Argpático	0,51	0,59	0,33	0,52	0,82	0,83	0,76	0,81	0,45	0,49	0,43	0,38	0,75	0,84
ISA	0,98	0,92	0,96	0,92	0,92	0,84	1,02	0,98	0,807	0,84	1,18	1,39	0,575	1,078
Relación CaO/Na ₂ O	0,98	0,96	1,35	1,27	0,5	0,61	0,41	0,4	2,37	2,15	1,44	1,43	2,08	0,16
Relación Al ₂ O ₃ / TiO ₂	10,00	9,92	8,19	8,22	43,5	34,4	46	47,2	12,6	13,05	17,1	17,76	24,7	24,8
S total g/100g	0,13	0,12	0,15	0,14	0	0	0	0	4	4,2	8,7	9,2	0,1	0,1
Zn	95,00	100	105	110	40	40	40	40	50	40	50	50	50	50
Mn	1390,00	1390	1470	1470	300	330	330	320	650	380	460	390	630	420
Sr	20,00	10	10	10	90	100	80	70	60	80	70	60	60	230
U	0,40	0,3	0,2	0,6	3	2,5	2,5	3,1	2,3	2,9	1,6	1,6	3	2,3
Co	100,00	150	70	70	5	5	5	5	20	20	30	30	20	20
TAS	Traqui- andesítico	Traqui- andesítico	Traquiande- sítico- basáltico	Traquiande- sítico- basáltico	Riolítico	Riolítico	Riolítico	Riolítico	Andesítico	Andesítico	Andesítico- basáltico	Andesítico	Traquiande- sítico- basáltico	Traquiande- sítico- basáltico

Tabla III: Resultados de las determinaciones de óxidos mayoritarios realizadas en las cenizas de las erupciones del Chaitén del año 2008 y del Hudson del año 2001 recolectadas en 4 sitios diferentes de toma de muestra

Cluster	Distancia	Cluster	Distancia
1		4	
7597 Hudson 2001	12,50407	Perfil Estrato 14	19,68720
7598 Hudson 2001	19,93113	Perfil Estrato 7	19,68720
7599 Hudson 2001	14,67805		
7600 Hudson 2001	14,83182	5	
		Perfil Estrato 4	0,00000
2		6	
31437 Chaitén 2008	6,220036	40555 Peteroa glaciar	3,57815
31438 Chaitén 2008	5,994268	40507 Nihuil Dunas	3,57815
31419 Chaitén 2008	3,509592		
31420 Chaitén 2008	4,716454	7	
		Peteroa Ciudad Malargüe	0,00000
3		8	
40556 Peteroa ladera 2010	10,04315	41837 Nihuil Puesto	0,00000
7251 Refugio El Azufre 1991	15,16432		
7252 Arroyo Valenzuela 1991	6,94198		

Tabla IV: Distribución de clusters en el análisis de componentes principales de los datos de la Tabla III

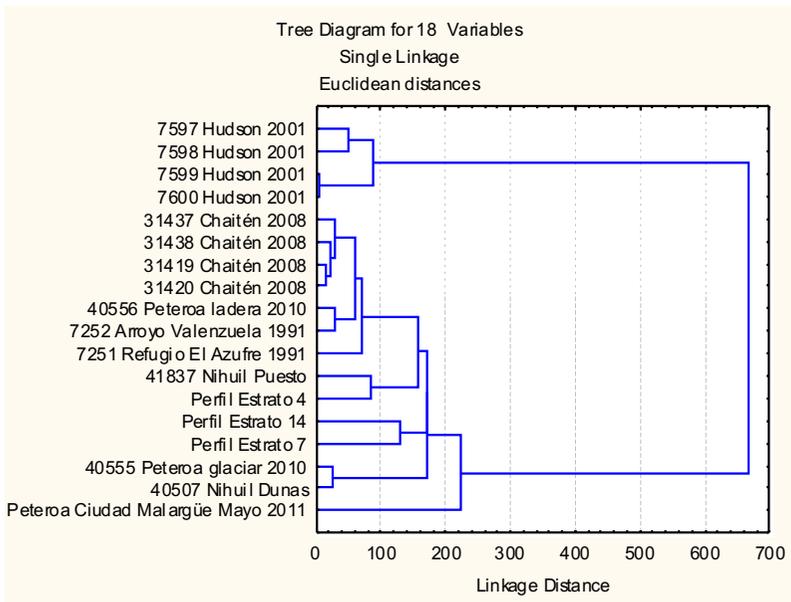


Figura 10: Dendrograma de agrupamiento de muestras de cenizas volcánicas de Tabla III

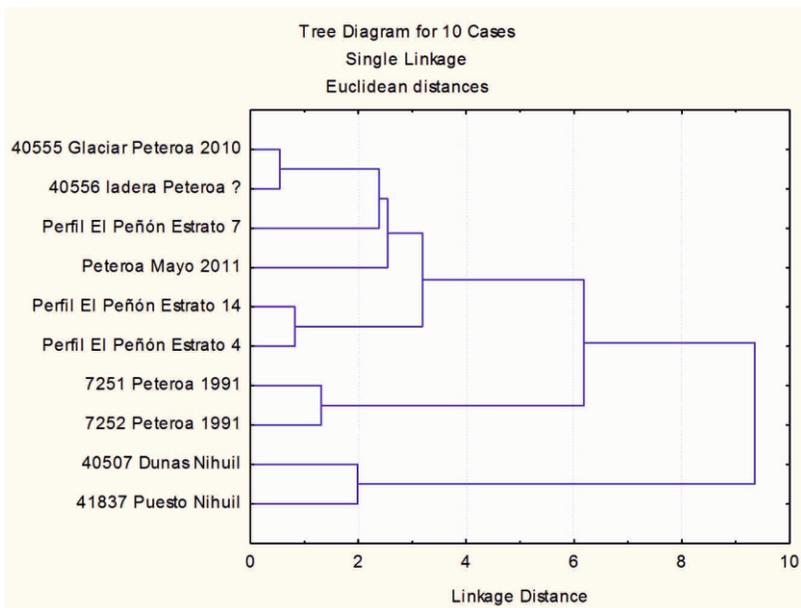


Figura 11: Dendrograma de agrupamiento de muestras de cenizas volcánicas de Tabla II

En la Figura 10 y 11 se observan de qué manera se agrupan las distintas muestras de cenizas según el análisis de los indicadores químicos detallados en la Tabla I y III. Este análisis de agrupamiento se hace primeramente con las muestras de influencia del volcán Peteroa (Tabla I Figura 11) y luego con la inclusión de las cenizas de los volcanes Hudson y Chaitén (Tabla III Figura 10). Analizando esta clasificación (Tabla 4 y Figura 11) vemos cómo se modifican muy levemente las características químicas en las diferentes erupciones del volcán Peteroa, a su vez se observa que las cenizas de las muestras de El Nihuil son marcadamente diferentes a las otras. Por otra parte las cenizas del estrato 7 del perfil estratigráfico (el más antiguo) (Figura 1) de la zona del Valle El Peñón muestran una gran similitud con las cenizas Peteroa recientes, mientras que los estratos 4 y 14 se encuentran más distantes.

Si tenemos en cuenta las cenizas de los volcanes Hudson y Chaitén (Tabla III) podemos observar que el análisis de componentes principales marca 8 clusters (Tabla IV) poniendo de manifiesto las diferentes composiciones químicas en las cenizas del volcán Peteroa, Chaitén, Hudson. Las cenizas de Nihuil dunas presenta un comportamiento particular debido a que corresponden a un proceso de fosilización por silicificación, tal como puede observarse en la composición química y en la microscopía electrónica.

Por ultimo, dentro de los análisis químicos realizados, se presenta en el Apéndice de este trabajo el estudio realizado por activación neutrónica, como una técnica novedosa para la determinación de los elementos presentes por debajo de los límites de detección de las otras técnicas presentadas.(ver Apéndice).



Eyección de cenizas 7 de julio del 2011. Foto tomada en la base de la estación multiparamétrica Peteroa

Caracterización de Cenizas del Peteroa erupción 2010

El análisis de los indicadores de la Tabla I para las muestras de cenizas correspondientes a la erupción de setiembre de 2010, muestran un ISA entre 0,81 y 0,84, origen metaluminoso, Índice agpáítico entre 0,45 y 0,49, una relación entre $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ entre 2,37 y 2,15, una relación entre $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ entre 12,6 y 13,05, una concentración de S entre 4 y 4,2 y un origen de la roca madre andesítico. (Figura 8).

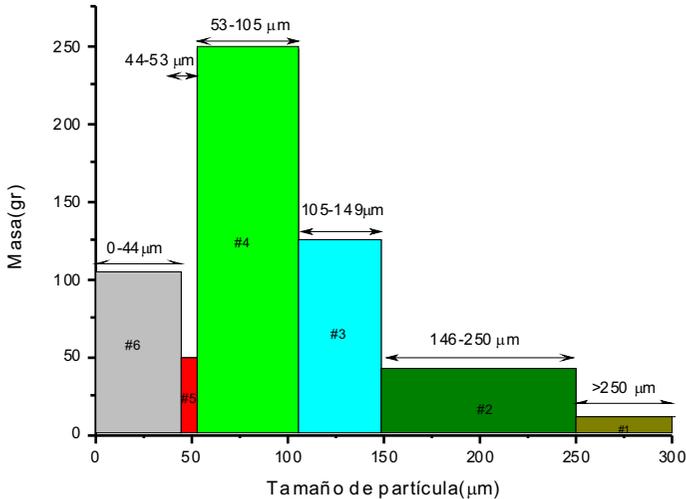


Figura 12: Distribución de tefras en función de la granulometría

El análisis de la densidad y granulometría arroja los siguientes datos:

Las muestras estudiadas fueron separadas por tamización en seis grupos de acuerdo a su granulometría desde los tamaños más grandes, mayores de 250 μm hasta las más pequeñas menores de 44 μm , como se puede apreciar en el gráfico de la Figura 12.

Se puede observar que los grupos más representativos en cantidad de masa son los 3, 4 y 6 que implican tamaños de partículas entre 149-105 μm , 105-53 μm y el grupo de partículas menor de 44 μm respectivamente.

En la Figura 13 se puede apreciar las densidades que fueron medidas en los diferentes grupos donde no hay una gran dispersión del valor promedio que es del orden 2,71 gr/cm^3 que está cercano al valor de la densidad del dióxido de silicio, SiO_2 .

Como se puede observar el grupo 2 es el que posee una densidad más baja de entre todos los grupos de tefras y eso se debe a que con la primera tamización todavía no se alcanzaron a separar las impurezas presentes como maderas, pastos y rastros de material del tipo orgánico.

Queda en evidencia también que las partículas de materiales más pesados como tefras ferrosas, o con otro tipo de metales, presentes son poco representativas en función de la cantidad de masa de cenizas emitidas por el volcán.

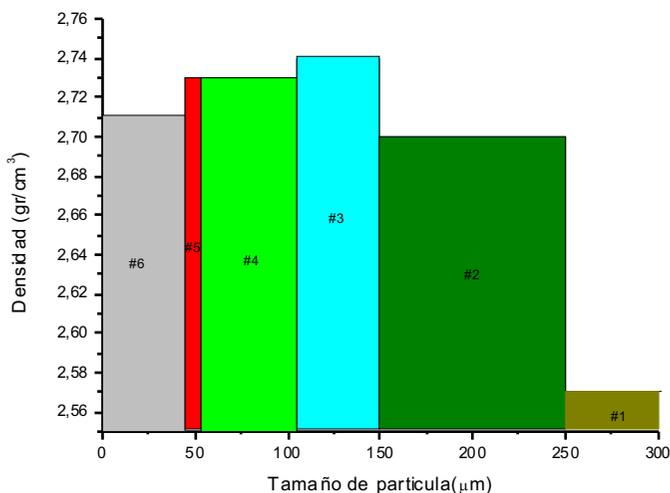


Figura 13: Distribución de densidades en función de la granulometría

En la micrografía de la Figura 15 se puede apreciar la variación de la distribución de tamaño de partículas en las muestras tomadas en la zona de Baños del Azufre.

En la Figura 16 se observa unas novedosas estructuras con forma de agujas debido a la cristalización de óxidos de Fe, en el análisis cuantitativo de los elementos presentes los más representativos son Fe con 53% y O con 20%.

Esto se reafirma con análisis EDS donde muestra las líneas espectrales características de los elementos más representativos presentes Figura 17.

Otro de los novedosos aportes de la microscopía electrónica de barrido a este trabajo es detección de Au como se puede ver en la Figura 19. Las imágenes en gris claro que resaltan en la micrografía se deben a elementos metálicos en este caso Au en la cual se observan las líneas características espectrales L y M.

En lo que respecta a los estudios realizados con SEM se pudo apreciar distintos tipos de partículas metálicas con retro dispersión de electrones. Entre las más

llamativas, como se puede apreciar en la Figura 18, una típica partícula de material de fundición, escoria, pudiéndose identificar sus componentes a partir del EDS, éste indica la presencia de fundamentalmente, un oxido de Fe, con su línea espectral característica K del Fe.

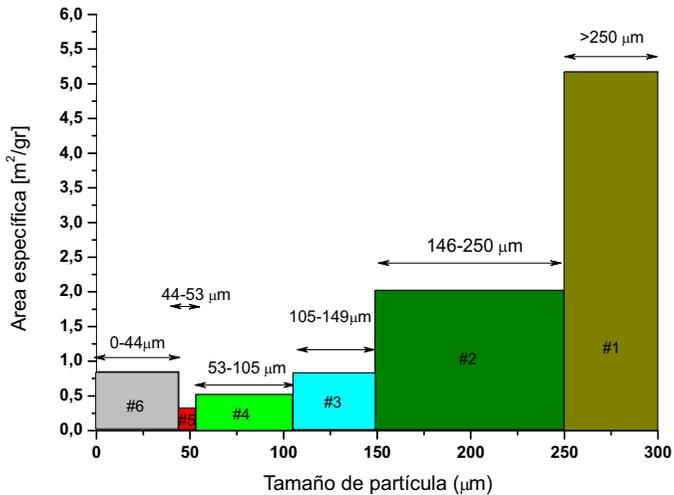


Figura 14: Distribución de Área específica en función de la granulometría

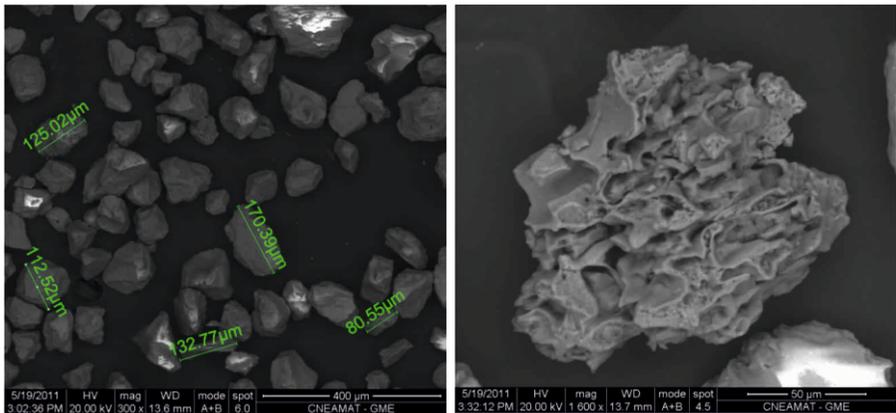


Figura 15: Distribución de tamaños y partícula con vesiculaciones. Piedra pómez (SEM)

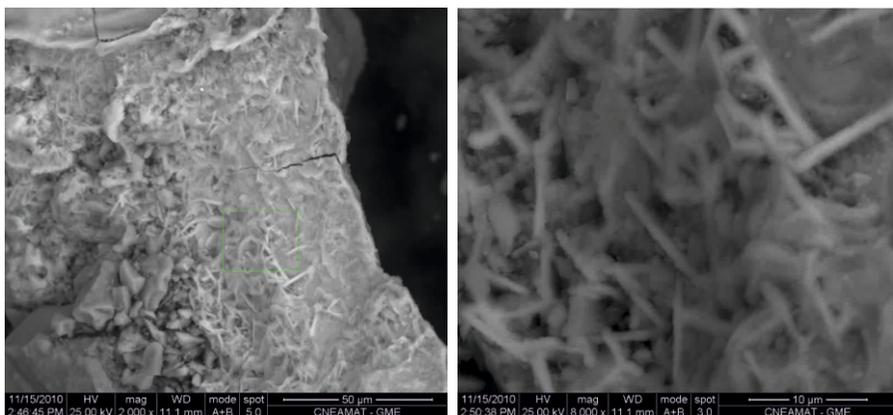


Figura 16: Estructuras de aciculares (forma de agujas) cristales de óxidos de Fe

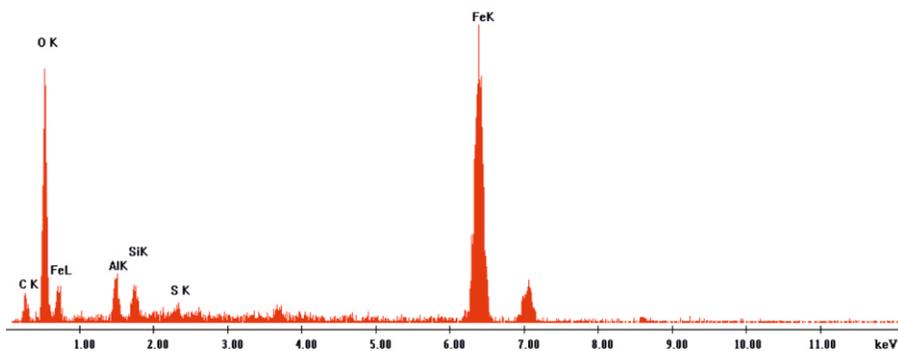


Figura 17: Picos de los elementos mayoritarios presentes, líneas K del Fe y O

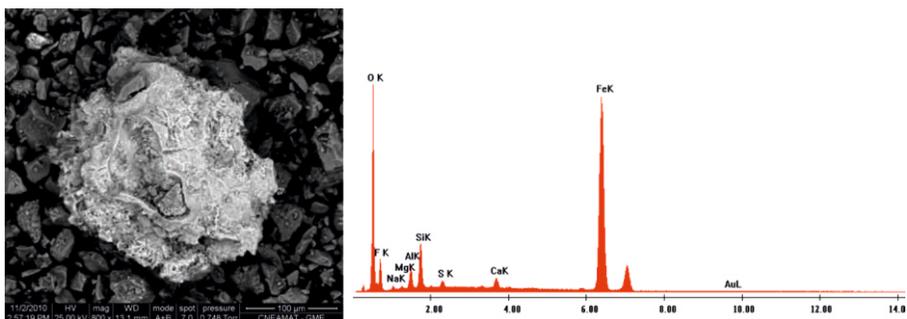


Figura 18: Típica partícula de escoria

Otro de los novedosos aportes de la microscopía electrónica de barrido a este trabajo es detección de Au como se puede ver en la Figura 19. Las imágenes en gris claro que resaltan en la micrografía se deben a elementos metálicos en este caso Au en la cual se observan las líneas características espectrales L y M.

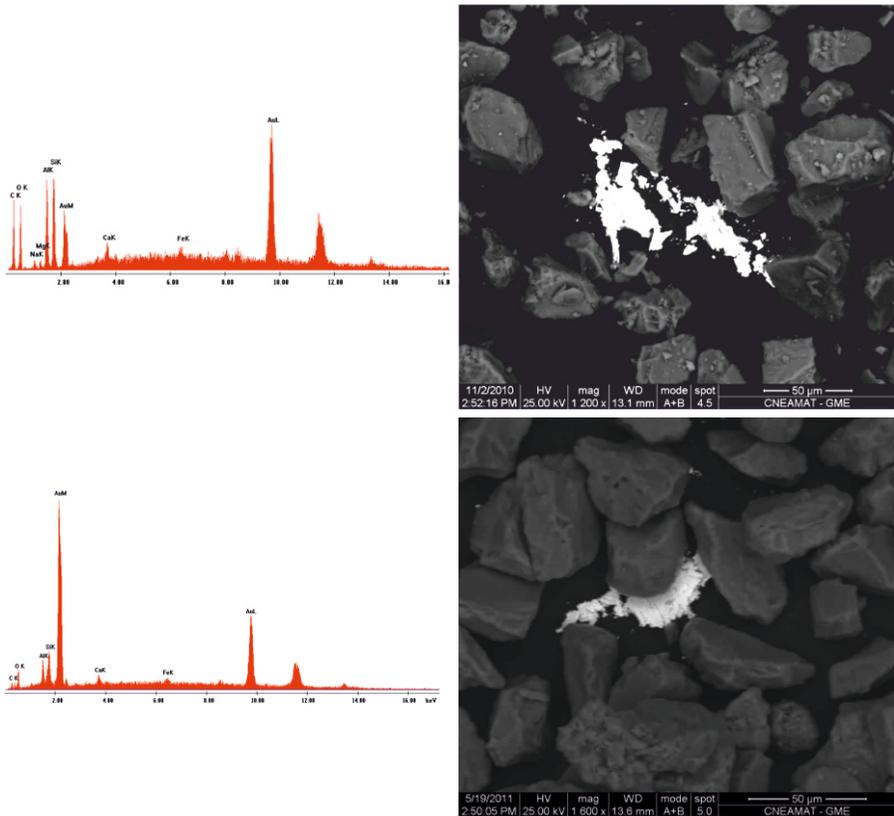


Figura 19: Partículas de oro metálico con sus líneas espectrales L y M características (EDAX)

También utilizando SEM y la técnica de mapeo se pudo identificar los elementos presentes en una triza característica Figura 20.

Estas últimas imágenes de los elementos presentes se complementan con los análisis químicos que arrojan la presencia de los óxidos de estos mismos elementos.

El análisis de los óxidos mayoritarios para las dos muestras de cenizas del volcán Peteroa de la erupción de 2010 arroja valores semejantes (Tabla V).

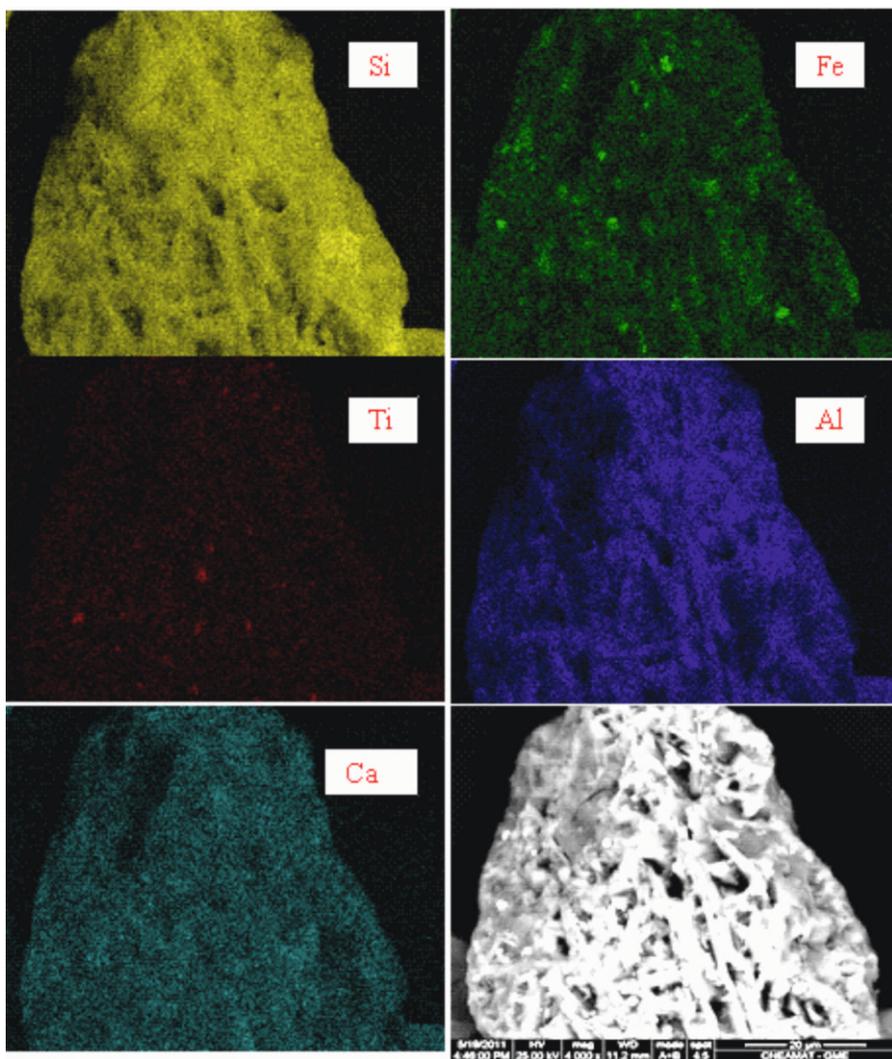


Figura 20: Mapeo de elementos presentes más representativos fueron Si, Fe, Ti, Al y Ca

PARÁMETRO	2010 glaciar			2010 ladera		
	(g/100g)	Moles	Moles %	(g/100g)	Moles	Moles %
Si O ₂	60,10 (g/100g)	1	65,88	62,1	1,01	67,71
Al ₂ O ₃	12,4 (g/100g)	0,121	7,97	12,7	0,124	8,31
Fe total expresado en Fe ₂ O ₃	5,4 (g/100g)	0,0338	2,22	4,7	0,029	1,94
Ca O	5,3 (g/100g)	0,095	6,26	4,8	0,086	5,76
Mg O	2,2 (g/100g)	0,0545	3,59	1,5	0,037	2,48
Na ₂ O	2,4 (g/100g)	0,04	2,63	2,4	0,04	2,68
K ₂ O	1,4 (g/100g)	0,015	0,99	2	0,021	1,4
Mn O	0,08 (g/100g)	0,0011	0,07	0,05	0,0007	0,05
P ₂ O ₅	0,21 (g/100g)	0,00148	0,10	0,16	0,001	0,07
Ti O ₂	0,77 (g/100g)	0,0096	0,63	0,76	0,0095	0,64

Tabla V. Análisis de óxidos mayoritarios para las muestras de cenizas del volcán Peteroa de la erupción del año 2010

	2010 glaciar ($\mu\text{g/g}$)	2010 ladera ($\mu\text{g/g}$)
U total natural	2,3	2,9
Mn	650	380
Pb	<20	<20
Ni	<10	<10
Co	20	20
Mo	<10	<10
Cu	10	20
Li	<10	<10
Zn	50	40
Cd	<10	<10
Sr	60	80
Ti	4.590	4.560
P	920	690
Cr	<10	<10

Tabla VI. Valores elementos traza para las cenizas correspondientes a la erupción del volcán Peteroa en el año 2010

Los análisis de óxidos mayoritarios realizados en las cenizas recolectadas en diferentes sitios mostraron homogeneidad en su composición andesítica.

Los elementos traza, medidos por absorción atómica para Mn, Pb, Ni, Co, Li, Zn, Cd, Sr y Cr, fluorescencia láser para U y absorción molecular para Ti y P, mostraron los valores registrados en Tabla VI. Los valores de S medidos por gravimetría resultaron semejantes para ambas muestras de glaciar y ladera siendo de 4,0 y 4,2 g % respectivamente (Tabla I). Para ambas muestras el pH fue de ácido, registrándose un valor de 4.

Mediante la técnica de LXR, luminiscencia de dispersión de rayos X se pudo identificar en concordancia con lo anteriormente mostrado los elementos metálicos más representativos para el caso de los grupo tamizado 4 y 6, partículas entre 53 y 105 μm y menores de 44 μm respectivamente, son los que se presentan en la figuras 21 a) y 21 b). Es decir, los elementos pesados mayoritarios son, como se puede ver en el espectro, Fe, Cu, Ni, Cr, Mn y Ti.

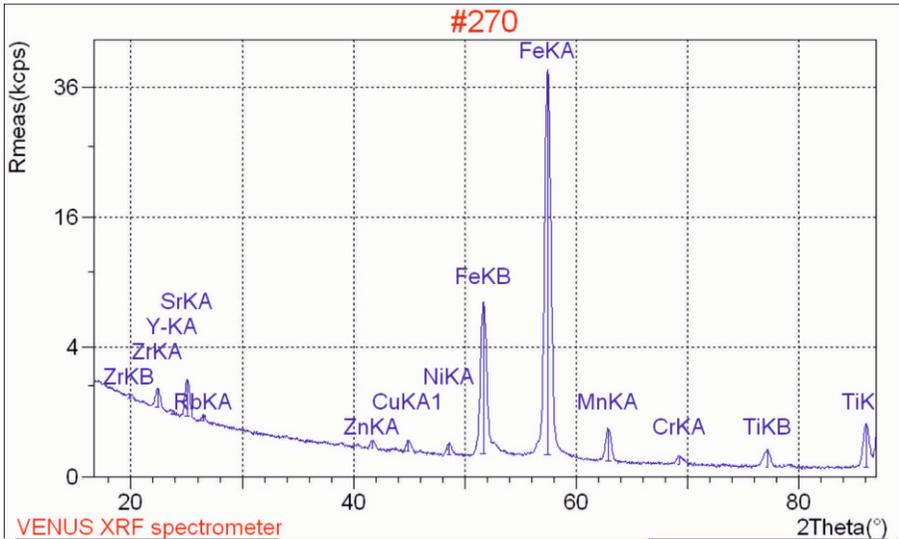


Figura 21 a): Espectro luminiscencia de dispersión de rayos X elementos pesados grupo 4

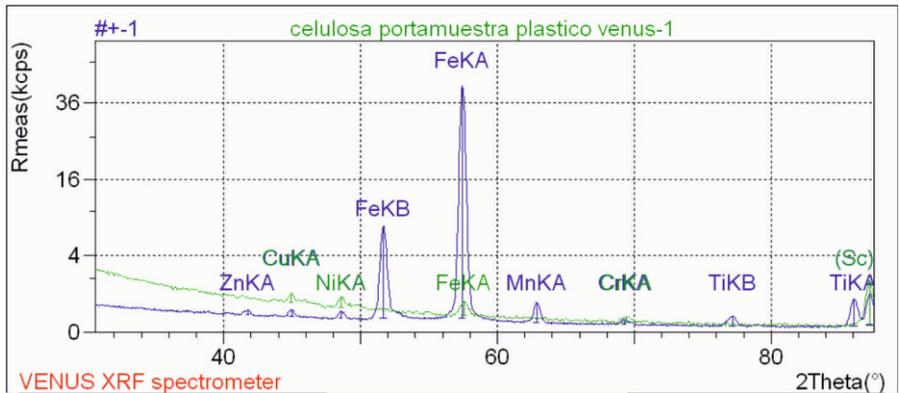


Figura 21 b): Espectro luminiscencia de dispersión de rayos X elementos pesados grupo 6

También mediante esta última técnica, se trató de determinar la presencia de elementos livianos, entre los cuales se identificaron: Si, K, Ca, Cl, Al, S. En las Figuras 22 a) y b) se presentan los espectros característicos de dichos elementos.

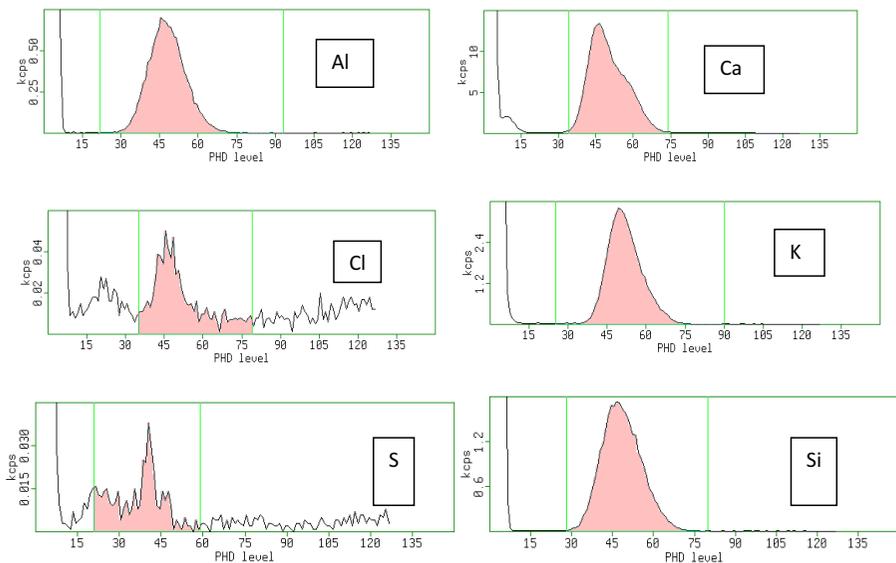


Figura 22 a): Espectros de los elementos livianos identificados, donde el eje “y” indica el número de cuentas de los mismos. grupo 4

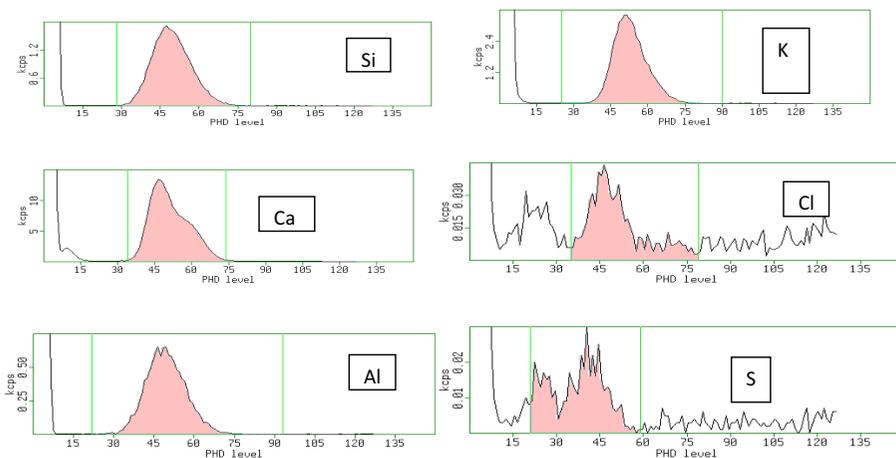


Figura 22 b): Espectros de los elementos livianos identificados grupo 6

El número de cuentas de los espectros de cada uno de los elementos presentes indican que, los que se encuentran en mayor abundancia en primer lugar el Ca, luego el K y el Si y los que están en menor proporción son Al, Cl y S.

En lo que respecta a los grupos 4 y 6 no se observan diferencias significativas tanto en los elementos pesados como en los elementos livianos medidos.

En otro orden de cosas, se estudió por interferencia de luz láser el tamaño de partícula del grupo de cenizas de menor tamaño. Para esto se separó del grupo 6 (menores de 44 μm) una muestra que se colocó en H_2O formando una suspensión coloidal. El análisis de ésta solución arrojó la presencia de microcenizas de granulometría promedio del orden de 1 μm (Figura 23).

Como se puede apreciar en la Figura 24 se observa una distribución gaussiana alrededor de los 300 nm (en negro) esto estaría indicando que dentro del grupo de cenizas más pequeñas podría encontrarse una familia de menor tamaño las que se podrían llamar nanocenizas.

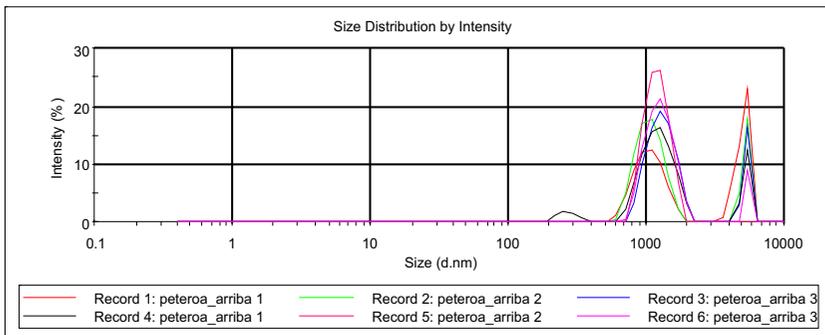


Figura 23: Gráfico de distribución de tamaño en función de la intensidad de grupos de partículas del μm

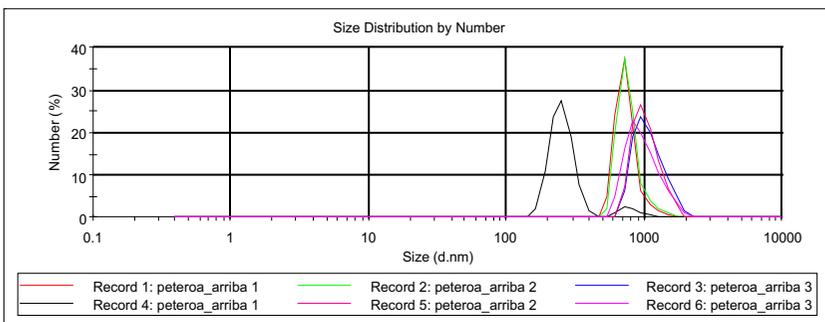


Figura 24: Se representa en número de partículas en función del tamaño. Una de las gaussianas, con color negro, se encuentra centrada alrededor de los 300 nm

Conclusiones

Considerando el análisis exploratorio se puede concluir que las características químicas de las erupciones de los años 2010 y 1991 del volcán Peteroa tienen una leve diferencia en el contenido de los óxidos mayoritarios, no obstante agrupan en el mismo cluster en un análisis de componentes principales.

Las cenizas de las muestras de El Nihuil son marcadamente diferentes a las del Peteroa y a las del perfil estratigráfico. Por otra parte las cenizas del estrato 7 del perfil estratigráfico (el más antiguo) de la zona del Valle El Peñón muestran una gran similitud con las cenizas Peteroa recientes, mientras que los estratos 4 y 14 se encuentran más distantes.

Esta caracterización permitió identificar cenizas de procedencia probable del volcán Peteroa y obtener un registro de elementos utilizable en el monitoreo de regiones contaminadas.

La composición química de las cenizas del volcán Hudson y Chaitén se distribuye en el análisis de componentes principales en clusters diferentes.

La muestra de cenizas con restos vegetales fosilizados encontrada en las dunas de El Nihuil se acerca a la zona de las areniscas debido a que el proceso de fosilización llevado a cabo es una silicificación.

En cuanto a la caracterización de cenizas del volcán Peteroa de muestras recolectadas en 2010 se concluyen las siguientes consideraciones:

Mediante el análisis de las partículas con SEM se pudo observar la presencia de trizas vítreas con vesículas esféricas y tubulares y partículas vítreas respirables menores a $10\ \mu\text{m}$

Por interferencia láser se detectó familias de partículas de $1\ \mu\text{m}$, microcenizas, y en posteriores experiencias se tratará de confirmar la presencia de nanocenizas.

Se determinó la presencia de Au mediante SEM

Se encontró homogeneidad en la densidad promedio de partículas y presencia de microcenizas

Fue concordante el mapeo mediante EDS y absorción atómica de los elementos Al, Si, K, Ca, Mg, Fe, Ti, Na

El análisis de los indicadores químicos muestra un ISA entre 0,81 y 0,84, origen metaluminoso, Índice Agpaítico entre 0,45 y 0,49, una relación $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ entre 2,37 y 2,15, una relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ entre 12,6 y 13,05, una concentración de S entre 4 y 4,2 y un origen de la roca madre andesítico.

Para ambas muestras el pH fue ácido, registrándose un valor de 4.

Potencial peligro para la salud de las cenizas del volcán Peteroa

El tamaño de partícula encontrado en el análisis microscópico, densitometría y granulometría indica que las cenizas del volcán Peteroa son potencialmente peligrosas para ciertos ecosistemas y la población humana ubicada en zonas de influencia.

Sabemos que un 10 % de la población del mundo, vive en zonas donde existen volcanes potencialmente activos.



Figura 25: Fumarola del volcán Peteroa

¿Cuáles son los riesgos más importantes para nuestra salud?

Considerar los riesgos volcánicos ha tomado importancia debido a los efectos que se relacionan con la contaminación de la atmósfera, el impacto en los ecosistemas y principalmente por los efectos adversos que pueden condicionar la salud.

Dentro de estos riesgos no sólo se incluye la erupción de un volcán y el derramamiento de lava asociado, sino también la emisión de ceniza y gases.

Los gases liberados principalmente son: vapor de agua, dióxido de carbono, dióxido de azufre, ácido clorhídrico, helio, ácido sulfhídrico y ácido fluorhídrico.

El cuadro clínico por exposición a estos gases irritantes es: irritación en piel y mucosas, ardor ocular y nasal, tos. Hay exacerbación aguda de síntomas respiratorios (asmáticos, bronquíticos, enfisematosos, etc.), deterioro de la función pulmonar: el dióxido de azufre produce irritación local y en pacientes con asma o EPOC su exposición complica la enfermedad.

Las cenizas complican también las patologías respiratorias, los más vulnerables son los pacientes con patologías de base, niños y ancianos.

La lluvia ácida afecta la vegetación, la producción ganadera, los techos, las tuberías y también la calidad del agua.

En cuanto a la especificación de los daños que las cenizas producen a la salud podemos dividir los efectos en las siguientes categorías:

- Efectos respiratorios

- Síntomas oculares

- Irritación cutánea

- Efectos indirectos



Figura 26: Emisión de gases y cenizas en la erupción del volcán Peteroa del año 2010

Como hemos detallado anteriormente, en la composición de las cenizas los elementos mayoritarios son: SiO₂ (sílice, óxido de silicio), Na₂O (óxido de sodio), K₂O (óxido de potasio), P₂O₅ (pentóxido de fósforo), Al₂O₃ (óxido de aluminio), FeO (óxido de hierro), MgO (óxido de magnesio), MnO (óxido de manganeso), CaO (óxido de calcio), TiO₂ (óxido de titanio, efecto cancerígeno según la cantidad, impacto y tiempo de exposición).

En cuanto al particulado de cenizas, es importante recalcar que las que nos interesan son aquellas que tienen un tamaño menor a 10 μm, éstas llegan a los bronquiolos a nivel alveolar y tienen efectos crónicos con el tiempo.

¿Que ocasionan estas partículas de cenizas menores a 10 μm?

Las partículas finas al ser aspiradas profundamente hasta el interior de los pulmones, ocasionan, aún en individuos sanos:

- Molestias en el pecho

- Aumento de tos e irritación del tracto respiratorio

- Rinitis y secreción nasal, faringitis, laringitis y traqueítis

Las personas sanas pueden experimentar síntomas de asma después de una caída de cenizas, especialmente si están sobreexpuestas a las cenizas en el exterior.

Las vías respiratorias de personas con asma, bronquitis o enfisema, pueden presentar exacerbación de sus cuadros de base.

- Con broncoespasmo y aumento de la secreción llevando a que las personas tosan y respiren con mayor dificultad (Baxter *et al.* 1981)

- Infecciones recidivantes

¿Hay riesgo de Silicosis?

La exposición a cenizas volcánicas con sílice cristalino generalmente es breve (días o semanas). Algunos estudios sugieren que el límite de exposición recomendado para la población en general puede ser excedido por períodos de corta duración sin conllevar daños a la salud.

Hay que estar atentos a las condiciones climáticas porque exagera las complicaciones.

En un estudio de exposición procede del Monte Santa Helena se expuso a un grupo de hámsters en un tiempo de dos horas diarias durante un año a la inhalación de cenizas volcánicas del Popocatépetl, los resultados permitieron detectar cambios en la función pulmonar y en la arquitectura del tejido de los

animales, caracterizado por alveolitis y áreas con fibrosis, también se observó a nivel traqueal, reducción en la actividad ciliar y cambios citomorfológicos.

Asimismo, en otros estudios, se observó la llegada de neutrófilos que regulan la adhesión local de moléculas, induciendo quimiotaxis de células inflamatorias en las vías aéreas (Schiff *et al.*, 1981; Raub *et al.* 1985)

Es decir que la exposición provoca una reacción inflamatoria aguda y crónica, foco neumónico con detritus celulares e infiltración de linfocitos en el tejido pulmonar.

La exposición a cenizas y sus efectos en la salud tienen como antecedentes la presencia de broncoespasmos de la vía aérea en infantes, posterior a la erupción del volcán Soufriere (Horwell *et al.* 2003).

Se ha registrado la aparición de síntomas respiratorios como disminución en el flujo espiratorio forzado (FEV) y aumento en la sintomatología respiratoria en poblaciones que se localizaron a 24 y 50 km del volcán, como sucedió durante la actividad del volcán Sakurajima en Japón y el Monte Santa Helena en Washington (Johnson *et al.* 1982, Baxter *et al.* 2003, Yano *et al.* 1990).

Hay estudios citogénicos que revelan que la exposición a estos polvos finos produce toxicidad celular.

Estudios epidemiológicos referentes a la actividad del volcán Masaya en Nicaragua revelaron casos de irritación de la piel y de las vías aéreas.

En cuanto a los efectos de irritación de la piel podemos decir que los estudios demuestran que a diversas concentraciones de contaminantes se han observado lesiones precursoras pre cancerígenas y aumento de alteración celular.

Estudios epidemiológicos realizados en Biancavilla, una población al oeste de Sicilia localizada en un área volcánica, han revelado el incremento en la incidencia de mesotelioma pleural maligno, carcinoma, fibrosis pulmonar y daños en el ADN.

Estos efectos se relacionan con la exposición que presenta la población a rocas de origen volcánico y que contienen fibras amfíbolos, efectos parecido al de las fibras de asbestos, las cuales se sabe que inducen fibrosis inflamatoria a nivel pulmonar y daños en el ADN a largo plazo, ocasionando carcinoma y mesotelioma pulmonar (Rapisarda *et al.* 2003; Umran 2003).

La evaluación de la exposición ocupacional a ceniza volcánica de los guardabosques en Washington mostró una disminución en los niveles de C3 y C4 (factores de complemento; proteínas involucradas en el proceso de inflamación) con respecto al grupo de referencia, además de un marcado descenso de

los niveles de inmunoglobulinas G (IgG) en el suero después de un año de exposición a la ceniza volcánica.

Los datos plantean que la exposición a la inhalación de ceniza afecta las funciones inmunológicas (Olenchock *et al.* 1983).

Resumiendo podemos decir que la exposición disminuye la respuesta inmunológica aumentando las infecciones, es por este motivo que es importante en estas poblaciones atender a su plan de vacunación completo como también tener en cuenta los casos de personas inmunosuprimidas las cuales resultan especialmente vulnerables.

A nivel ocular tenemos presencia de irritaciones, lagrimeo, erosiones, fenómeno de ojo rojo, etc.

El sílice tiene efecto abrasivo que raspa como una lija, hay que tener especial cuidado con las lentes de contacto, no usarlos cuando hay cenizas ya que puede producir abrasión en corneas.

En la piel también produce efectos irritativos fundamentalmente por su acción ácida, produciendo rascado y lesiones. (Conferencia Dr. Saracco).

Es importante mencionar que la capacidad para inducir daño por parte de las muestras de ceniza difiere, ya que no presenta la misma capacidad hemolítica una muestra de ceniza de un evento explosivo reciente con respecto a una muestra de ceniza sedimentada, de óxido de titanio o del compuesto tóxico conocido como polvo de cuarzo DQ12 (Wilson *et al.*, 2000).

Como es evidente los síntomas son difíciles de atribuir a una enfermedad específica y menos en nuestro medio, en el que las manifestaciones son comúnmente causadas por la desnutrición, las enfermedades parasitarias o las infecciones crónicas. Tal es el caso de la etiología de las enfermedades autoinmunes que pueden ser multifactoriales (estando involucrados: la genética, aspectos hormonales, inmunológicos o factores ambientales). Los factores ambientales son diversos y los más comunes incluyen infecciones por virus, bacterias y parásitos, los cuales se pueden asociar a PM10 y PM2.5 (Seaton *et al.*, 1995; Michaud *et al.*, 2004; Agopyan *et al.*, 2004), además de la presencia de hidrocarburos aromáticos policíclicos, partículas de mercurio y radón en el ambiente (Stracquandano *et al.*, 2003; Nriagu y Becker, 2003; D'Alessandro y Vita, 2003).

Se sabe que los macrófagos pulmonares participan en la eliminación de partículas inhaladas, demostrándose que los asbestos inhalados activan factores quimiotácticos dependientes del complemento en la superficie alveolar, que facilitan el reclutamiento de macrófagos a sitios de depósitos

fibrosos. No obstante, se ha determinado que la exposición a ceniza volcánica no siempre induce la acumulación de macrófagos. Esto sugiere que, debido a las características fisicoquímicas de las cenizas, en ciertas ocasiones se puede activar el complemento y, consecuentemente, atraer macrófagos (Warheit *et al.*, 1988). También se ha demostrado que durante la exposición continua a la inhalación de polvo fino la afección se puede complicar con algún tipo de infección; por tanto, la importancia de investigar los contaminantes en la atmósfera radica en conocer los riesgos que suponen para la salud y el tiempo que pueden permanecer en el ambiente sin que se desarrollen lesiones definitivas (Yano *et al.*, 1986; Mentasi, 1995; Bonner *et al.*, 1998, Arch. Med.

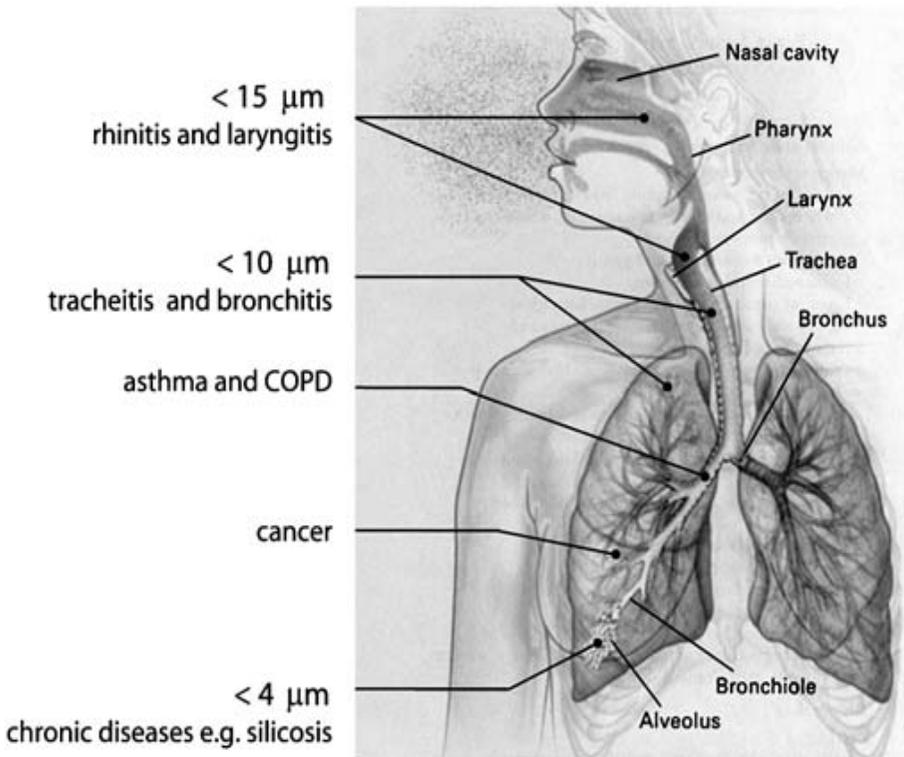


Figura 27: Diagrama del pulmón que muestra la anatomía del pulmón y las vías respiratorias y la penetración de partículas de ceniza de diferentes tamaños asociados con sus efectos potenciales para la salud. Modificado de Beckett (2000)

Efectos producidos por cenizas en el agua

La contaminación por cenizas volcánicas puede producir el espesamiento de las aguas hasta el punto de dificultar los mecanismos de filtración para la potabilización. La presencia de Fluor (F) provoca la pigmentación en dientes e induce descalcificación, la presencia de metales pesados, elementos como Plomo (Pb), Aluminio (Al) y Arsénico (As) pueden llegar a producir envenenamiento a altas concentraciones. Se han registrado casos en Nueva Zelanda de fluorosis a nivel dental y óseo esquelético.

Los tanques de agua son especialmente vulnerables incluso a pequeñas cantidades de cenizas ya que puede verse reducida la potabilidad del agua al verse reducido su pH pasando la cloración a ser inadecuada, es decir que las cenizas incrementan la necesidad de cloro en agua en la potabilización.

Debido a la dificultad de probar todos los efectos ambientales adversos de cada instancia se sugiere el desarrollo de métodos para predecir los efectos ecológicos sociales económicos y en la salud derivados de la contaminación ambiental (Woodward *et al* 2000, Green *et al* 2000, Leung *et al* 2003).



Figura 28: Depósito de cenizas en la zona de Invernada del Viejo, Malatgüe, Mendoza

Utilización de la caracterización de cenizas del volcán Peteroa en el monitoreo de elementos químicos en la cuenca hídrica en zonas de influencia del volcán

Resumen

Las cenizas del volcán Peteroa contienen un perfil de metales pesados característico, el cual puede ser utilizado como monitoreo de la permanencia de contaminantes en las aguas de la zona de influencia de la erupción del volcán. Mediante estos análisis se pone en evidencia cuales elementos permanecen por mayor tiempo, sirviendo como indicadores de contaminación. Los elementos Zn, Mn, Ni y Fe sobrepasaron o estuvieron en el límite máximo permitido por las normas de potabilidad de agua. El Mn fue el último en normalizar.

En el informe ICES Malargüe 00015-2011 se encontró que la contaminación de las aguas superficiales producida por metales pesados provenientes de las cenizas del volcán Peteroa, afectó en distinta medida sectores del Río Grande, Arroyo Valenzuela y Arroyo El Peñón.

La concentración de estos metales superaba los valores máximos permitidos por las normas de potabilidad de aguas, éstos se normalizaron en el mes de diciembre, siendo el Mn el metal que presentó mayor dinámica y permanencia.

La vertiente que abastece de agua al refugio de Gendarmería no presentó signos de contaminación y hubo ausencia de metales pesados provenientes de cenizas del volcán Peteroa en todas las muestras analizadas tanto de noviembre como de diciembre.

Desarrollo

Con el objetivo de determinar si las cenizas del volcán Peteroa estaban afectando las aguas superficiales de la región, la Municipalidad de Malargüe, específicamente la Dirección de Defensa Civil y Gendarmería Nacional tomaron muestras periódicas de distintos sectores y concurren al ICES para la definición de los elementos a medir identificatorios de contaminación y para la realización de los análisis químicos correspondientes.

La elección de las sustancias químicas a analizar fue realizada teniendo en cuenta el patrón de elementos tóxicos encontrados en los análisis de cenizas del volcán Peteroa de los años 1991 y 2010. Se entiende por elementos tóxicos a aquellos que se encuentran en cantidades que superan el límite máximo

permitido para metales pesados en suelo según Kloke (1980) y Chumbley (1991)

Las muestras fueron recolectadas por Defensa Civil de la Municipalidad de Malargüe y Gendarmería Nacional desde el 16 de setiembre hasta el 20 de diciembre de 2010, las zonas de recolección de muestras fueron en Río Grande: Bardas Blancas y Poti Malal, Arroyo El Peñón, Arroyo Valenzuela, Vertiente a 200 m del refugio de Gendarmería Nacional, Risco Negro y El Azufre.

Las determinaciones químicas fueron realizadas por absorción atómica, para Cd, Mn, Cr, Cu, Zn, Ni, Fe, Pb, Li, Co y Mo se utilizó plasma óptico, para U fluorescencia láser, para As absorción atómica-hidruros y para F potenciometría selectiva.

Las muestras de aguas que resultaban turbias fueron filtradas y fraccionadas para su análisis en dos: fracción sólida y fracción líquida.

Las muestras de aguas del mes de setiembre presentan signos de contaminación en Río Grande y Arroyo Valenzuela. En Río Grande (no se registraron coordenadas geográficas) se presentó exceso de Mn y Zn en los siguientes valores: Mn 0,2 ug/mL y Zn 6 ug/mL siendo los valores máximos permitidos para las normas de potabilidad de 0,1 ug/mL para Mn y de 3 ug/mL para Zn. En Arroyo Valenzuela, coordenadas geográficas 35° 18' 18,05 S- 70° 23' 54,6 O, se presentó exceso de Mn y Fe en los siguientes valores: Mn 1,7 ug/mL y Fe 0,7 ug/mL siendo los valores máximos permitidos para las normas de potabilidad de 0,2 ug/mL para Fe

En el mes de noviembre las muestras correspondientes al Arroyo Valenzuela presentaron valores de metales dentro de los límites permitidos por las normas de potabilidad, normalizando los excesos de Mn, Zn y Fe registrados en setiembre, mientras que las muestras correspondientes al Arroyo El Peñón, coordenadas geográficas 35°15' 06,41''S-70° 30' 07,02''O, presentaron exceso de Mn 0,3 ug/mL y Ni en el límite permitido: Ni 0,02 ug/mL

En el mes de diciembre las muestras correspondientes al Arroyo Valenzuela (35° 18' 18,05''S 70° 23' 54,6''O), Arroyo El Peñón (35° 15' 06,41''S -70° 30' 07,02''O) y la vertiente del refugio de Gendarmería (35° 14' 57,98''S - 70° 30' 11,05''O) presentaron todos los valores de los elementos medidos dentro de los límites aceptados por las normas de potabilidad, en las 4 fechas testeadas (13, 16, 18 y 20 de diciembre)

Para estimar la dinámica de los metales contaminantes se tuvo en cuenta la concentración en cenizas, la concentración en agua, la concentración del metal en la fracción sólida de las muestras turbias y el tiempo de permanencia y la

frecuencia en que se encontró en los distintos muestreos. Teniendo en cuenta estos factores se observó que el Mn tenía alta concentración en cenizas y en fracción sólida de las muestras turbias (aprox. 400 ppm), alta solubilidad (valores máximos encontrados 1,7 ug/mL), se registró en todos los casos de muestras “no potables” y permaneció hasta diciembre en valores al límite máximo de las normas de potabilidad (0,02 ug/mL).

Conclusiones

El perfil de elementos químicos compuesto por Zn-Mn-Fe-Cu-Ni y U fue útil en el monitoreo de las aguas superficiales de las zonas estudiadas en el presente trabajo.

Los metales encontrados en las cenizas que presentaron mayor disolución en agua y que superaron el límite máximo permitido por las normas de potabilidad fueron: Zn, Mn, Ni, Cu y Fe.

En el presente estudio se encontró que la contaminación de las aguas superficiales producida por metales pesados provenientes de las cenizas del volcán Peteroa, afectó en distinta medida sectores del Río Grande, Arroyo Valenzuela y Arroyo El Peñón.

La concentración de estos metales superaba los valores máximos permitidos por las normas de potabilidad de aguas, éstos se normalizaron en el mes de diciembre, siendo el Mn el metal que presentó mayor dinámica y permanencia.

La vertiente que abastece de agua al refugio de Gendarmería no presentó signos de contaminación y hubo ausencia de metales pesados provenientes de cenizas del volcán Peteroa en todas las muestras analizadas tanto de noviembre como de diciembre.

Se sugiere organizar un cronograma de muestreos teniendo en cuenta factores de frecuencia y ubicación geográfica, en base al presente estudio, a los efectos de monitorear periódicamente la contaminación producida por cenizas volcánicas en la región.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración y aportes de:

PICT-2007-01769 ICES-“Emisión Acústica y Precursores sísmicos”

Municipalidad de la Ciudad de Malargüe

Defensa Civil de la Ciudad de Malargüe

Lic. Guido Tomellini

Profesora Amalia Ramírez,

Sr. Agustín Espejo

Lic. Emilia Molina en la confección del presente material.

Rita Pla
 Comisión Nacional de Energía Atómica. Centro Atómico Ezeiza.
 Departamento Química Nuclear
 Técnica empleada: activación neutrónica

Elementos	Muestras											
	1F		1F Replicado		2F		2F Replicado		3F		3F Replicado	
	Conc	Inc.	Conc	Inc.	Conc	Inc.	Conc	Inc.	Conc	Inc.	Conc	Inc.
As	9,7	2,4	7,8	2,2	8,6	2,3	7,8	2,2	7,0	2,6	5,5	2,3
Ba	432	71	514	91	421	78	449	74	443	79	403	66
Ca	50400	13200	54300	14000	47500	12400	53800	13700	50200	12900	50400	12800
Ce	41,9	3,4	41,0	3,3	40,4	3,3	37,8	3,1	39,2	3,2	41,6	3,3
Co	25,7	3,1	27,0	3,2	29,7	3,5	26,8	3,2	18,0	2,2	19,9	2,4
Cr	41,6	7,4	38,7	7,0	37,5	6,6	38,4	6,6	38,8	6,2	42,2	4,9
Cs	2,6	1,1	2,7	1,2	2,7	1,2	2,7	1,2	2,6	1,1	2,8	1,2
Eu	1,39	0,13	1,34	0,12	1,35	0,12	1,32	0,12	1,42	0,12	1,29	0,11
Fe	60700	1800	59800	1800	58400	1700	57500	1700	59100	1700	60300	1700
Gd	7,1	4,1	7,8	4,3	5,5	3,5	4,7	3,3	5,5	3,3	6,1	3,6
Hf	3,98	0,47	3,97	0,49	3,53	0,43	3,98	0,48	3,63	0,44	4,13	0,40
La	19,6	1,3	19,2	1,3	18,6	1,3	18,5	1,3	18,5	1,3	18,8	1,3
Lu	0,262	0,084	0,283	0,089	0,242	0,073	0,261	0,079	0,260	0,083	0,250	0,080
Na	30000	1700	30100	1700	29000	1600	28800	1600	28400	1700	29100	1700
Nd	28,7	2,8	26,9	2,7	15,0	2,0	19,4	2,2	19,0	2,2	19,0	2,1
Rb	54	10	77	12	59	10	67	11	64	10	69,2	9,6
Sb	0,509	0,082	0,340	0,081	0,397	0,078	0,387	0,078	0,339	0,087	0,314	0,084
Sc	24,3	2,7	24,0	2,7	23,5	2,6	23,4	2,6	23,6	2,6	24,0	2,7
Sm	5,35	0,20	5,37	0,20	4,98	0,19	5,00	0,19	4,88	0,19	5,03	0,19
Th	6,53	0,53	6,54	0,53	6,25	0,51	6,23	0,51	6,05	0,49	6,02	0,49
U	1,9	1,1	2,7	1,4	2,1	1,1	1,53	0,92	1,05	0,78	1,18	0,84
Yb	2,22	0,41	2,26	0,42	2,16	0,40	2,12	0,39	2,25	0,50	2,32	0,43
Zn	107	17	105	17	90	15	103	16	97	15	111	17

Resultados de concentración (Conc) e incertidumbre (Inc) expresados en µg/g

Bibliografía

Agopyan, N., Head, J., Yu, S. y Simon, S.A. 2004. TRPV1 receptors mediate particulate matter-induced apoptosis. *Am. J. Physiol. Lung Cell Mol. Physiol.* 286: 563-572.

Arch. Med. Manizales 2008; 8 (2):98-106

Baxter PJ 2003 The eruption of El Reventador volcano 2002: health hazards and the implications for volcano risk management in Ecuador. Report to the Pan-American Health Organization, Pan American Health Organization, Washington DC

Baxter PJ, Ing R, Falk F, French J, Stein GF, Bernstein RS, Merchant JA, Allard J 1980. Mount St Helens eruptions, May 18 to June 12 1980. *J Am Med Assoc* 246:2585–2589

Baxter PJ, Ing R, Falk H, Plikaytis B 1983 Mount St. Helens eruptions: the acute respiratory effects of volcanic ash in a North American community. *Arch Environ Health* 38:138–143

Bonner, J.C., Rice, A.B., Lindroos, P.M., O'Brien, P.O., Dreher, K.L., Rosas, I., Alfaro-Moreno, E. y Osornio-Vargas, A.R. 1998. Induction of the myofibroblast PDGF receptor system by urban ambient particles from Mexico city. *Am. J. Respir. Cell Mol. Biol.* 19: 672-680.

Conferencia Dr. Sergio Saracco Mesa Redonda: “Impacto y Consecuencias de la caída de cenizas volcánicas” en el marco del Encuentro ICES 7 realizado el 2 de noviembre de 2011 en Malargüe, Mendoza. www.icesmendoza.blogspot.com.ar saracco.sergio@fcm.uncu.edu.ar

D' Alessandro, W. y Vita, F. 2003. Groundwater radon measurements in the Mt. Etna area. *J. Environ. Radiact.* 65: 187-201.

Dana, J.D. y Hurlburt, C.S. *Manual de Mineralogía*. Editorial Reverté. S.A. Barcelona 1960

Green, E., Short, S.D., Stuu, E. y Harrison, P.T. 2000. Protecting environmental quality and human health: strategies for harmonization. *Sci. Total Environ.* 256: 205-213.

Horwell CJ, Fenoglio I, Ragnarsdottir KV, Sparks RSJ, Fubini B 2003a. Surface reactivity of volcanic ash from the eruption of Soufrière Hills volcano, Montserrat, with implications for health hazards. *Environ Res* 93:202–215

Horwell CJ, Sparks RSJ, Brewer TS, Llewellyn EW, Williamson BJ 2003b. The characterisation of respirable volcanic ash from the Soufrière Hills Volcano, Montserrat, with implications for health hazard. *Bull Volcanol* 65:346–362

Johnson KA, Loftsgaarden DO, Gideon RA 1982. The effects of Mount St. Helens ash on the pulmonary function of 120 elementary school children. *Am Rev Resp Dis* 126:1066–1069

Klein, C. y Hurlburt, C.S. Manual de Mineralogía. Editorial Reverté S.A. 4ªed., 5ª imp. 1996. ISBN: 8429146067 ISBN-13: 9788429146066

Ladrillos e insecticidas con cenizas del Puyehue. La nueva provincia.com, artículo del 31 de mayo de 2012. http://www.lanueva.com/edicion_impresa/nota/30/05/2012/c5u079.html

Lambe.W., Robert V. Whitman. Mecánica de suelos. Editora Limusa. México. 1997. ISBN 968-18-1894-6

Leung, M.F., Santos, J.R. y Haimes, Y.Y. 2003. Risk modeling assessment, and management of lahar flow threat. Risk Anal. 23: 1323-1335.

Mentasi, E. 1995. Spread of toxic substance and environmental pollution. Ambio 24: 250-251.

Michaud, J.P., Grove, J.S. y Krupitsky, D. 2004. Emergency department visits and 'vog' related air quality in Hilo, Hawaii. Environ. Res. 95: 11-19.

Nriagu, J. y Becker, C. 2003. Volcanic emission of mercury to the atmosphere: global and regional inventories. Sci. Total Environ. 304: 3-12.

Olenchock, S.A., Mull, J.C., Mentnech, M.S., Lewis, D.M. y Bernstein, R.S. 1983. Changes in humoral immunologic parameters after exposure to volcanic ash. J. Toxicol. Environ. Health 11: 395-404.

OPS 2000 Erupciones volcanicas y proteccion de la salud. Organization Panamerica de la Salud, Quito, Ecuador

Rapisarda, V., Amati, M., Coloccini, S., Bolognini, L., Gobbi, L. y Duscio, D. 2003. The in vitro release of hydroxyl radicals from dust containing fluoro-edenite fibers identified in the volcanic rocks of Biancavilla (eastern Sicily). Med. Lav. 94: 200-206.

Raub JA, Hatch GE, Mercer RR, Grady M, Hu PC 1985. Inhalation studies of Mt. St. Helens volcanic ash in animals. II. Lung function, biochemistry, and histology. Environ Res 37:72-83

Rivera-Tapia, A, Yañez-Santos, A., Cedillo-Ramirez, L.(2005) Emisión de ceniza volcánica y sus efectos. Ecosistemas 14 (3): 107-115- <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=140>

Schiff LJ, Byrne MM, Elliott SF, Moore SJ, Ketels KV, Graham JA 1981. Response of hamster trachea in organ culture to Mount St. Helens volcano ash. Scan Elec Micro 11:169-178

Scotti, A. et al., 2012. Oferta nutritiva para Lama guanicoe, bovinos y caprinos de vegas del Valle El Peñón, en la región del Complejo Volcánico Planchon- Peteroa, Malargüe, Mendoza, Argentina. Acta E-ICES 7 International Center for Earth Sciences-Comisión Nacional de Energía Atómica- Mendoza. www.icesmendoza-blogspot.com.ar

Scotti, A. & Tomellini Guido, 2011, Informe ICES-CNEA-Malargue 00015-2011

Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K. y Godden, D. 1995. Particulate air and acute health effects. *Lancet* 345: 176-178.

Shand, S.J., 1927. *The Eruptive Rock*, John Wiley, 360 p., New York.

Statsoft. Statistica version 7. <http://www.statsoft.com>

Stracquadanio, M., Dinelli, E. y Trombini, C. 2003. Role of volcanic dust in the atmospheric transport and deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons and mercury. *J. Environ. Monit.* 5: 984-988.

Umrán, A.D. 2003. Mesothelioma in cappadocian villages. *Indoor Built Environ.* 12: 367-375.

Warheit, D.B., Overby, L.H., George, G. y Brody, A.R. 1988. Pulmonary macrophages are attracted to inhaled particles through complement activation. *Exp. Lung Res.* 14: 51-66.

WHO 2000 Air quality guidelines for Europe, 2nd end. World Health Organization, Copenhagen

Wilson, M.R., Stone, V., Cullen, R.T., Searl, A., Maynard, R.L. y Donaldson, K. 2000. In vitro toxicology of respirable Montserrat volcanic ash. *Occup. Environ. Med.* 57: 727-733.

Woodward, A., Hales, S., Philips, D. y Martin, J. 2000. Protecting human health in a changing world: the role of social and economic development. *Bull World Health Organ* 78: 1148-1155.

Yano E, Yokoyama Y, Higashi H, Nishii S, Maeda K, Koizumi A 1990 Health effects of volcanic ash: a repeat study. *Arch Environ Health* 45:367–373

Yano, E., Yokoyama, Y. y Nishii, S. 1986. Chronic pulmonary effects of volcanic ash: and epidemiological study. *Arch. Environ. Health* 41: 94-99.

Zen, E., 1986. Aluminum enrichment in Silicate Melts by Fractional Crystallization: Some Mineralogic and Petrographic Constraints. *Journal of Petrology* 27(5): 1095-1117.