

LA EMISION DE CENIZAS Y VARIACIONES GEOQUIMICAS DURANTE DICIEMBRE-MARZO EN EL VOLCAN POPOCATEPETL

A. L. Martin Del Pozzo¹, R. Espinasa-Pereña¹, M. A. Armienta¹, A. Aguayo¹,
M. Reyes², G. Sánchez², O. Cruz¹, N. Ceniceros¹, J. Lugo³, V. González¹,
M. A. Butrón¹ y M. Villarreal¹

1. INTRODUCCION

El 21 de diciembre de 1994, aproximadamente a la 1:30 am, se produjeron una serie de explosiones en el volcán Popocatepetl provocando la expulsión de fragmentos de hasta 40 cm que cayeron 200 m al este del cráter así como la emisión de cenizas que llegaron a la ciudad de Puebla. Las emisiones de ceniza han continuado hasta el mes de marzo aunque ha disminuido la cantidad de material emitido. A partir del día 21 de diciembre se comenzaron a muestrear los materiales expulsados y se establecieron sitios de recolección periódica de cenizas que han sido analizadas en el laboratorio para determinar su composición. Se han llevado a cabo mas de 200 análisis mineralográficos y químicos semi-cuantitativos por microscopía electrónica. También se han analizado los lixiviados de las cenizas y las variaciones en los manantiales aledaños al volcán que se muestrearon a partir del 24 de diciembre.

2. MUESTREO DE CENIZAS

Con el objetivo de obtener un muestreo sistemático y secuencial del material eyectado, se establecieron una serie de estaciones permanentes de muestreo de cenizas alrededor del volcán. Estas estaciones consisten en zonas planas donde se marcaron cuadros de 20×20 cm como áreas de muestreo. Los sitios fueron elegidos tratando de que estuvieran protegidos del viento. En las estaciones ubicadas en poblaciones, se utilizaron lápidas de los cementerios como sitios de muestreo.

Las primeras estaciones se establecieron en los poblados de Santiago Xalitzintla, San Nicolás de los Ranchos, San Buenaventura, San Baltazar, las ciudades de Atlixco y Puebla y el refugio de Tlamanca. Conforme ha progresado la erupción se han establecido nuevos puntos de muestreo en las terracerías que recorren las faldas del volcán a mayor altura.

Se realizaron viajes para muestrear las cenizas casi diariamente desde el 21 de diciembre, y conforme la producción de cenizas disminuyó estos viajes se espaciaron a una semana a partir de mediados de enero y a dos semanas desde mediados de febrero. En cada estación se mide el espesor acumulado desde el último muestreo, y el espesor total en un área de control ubicada al lado del área de muestreo. Después se recoge la ceniza acumulada con un cepillo fino en bolsas de plástico que son selladas para ser analizadas.

El muestreo se ha realizado siguiendo la dirección predominante de la caída desde el último viaje, para obtener muestras del material más reciente. Debido a ello, la mayoría de las estaciones se han ubicado en las terracerías

¹ Instituto de Geofísica, UNAM, C.U., 04510, México, D.F

² Instituto de Geología, UNAM

³ Instituto de Geografía, UNAM

madereras de las partes altas del volcán, donde ocurre la mayor parte de la caída. Además se miden espesores acumulados en sitio complementarios según la dirección del viento, con el objetivo de realizar cálculos del volumen total emitido.

Las medidas de espesor total son menores a la suma de los espesores acumulados medidos en las estaciones permanentes de muestreo, debido fundamentalmente a la lluvia. Por esta razón el cálculo del volumen se ha realizado tomando en cuenta los valores acumulados.

A partir de los valores de espesor obtenidos para las cenizas se han realizado mapas de isopacas, con los que se han calculado áreas de igual espesor mediante el uso del programa ILWIS (Integrated Land and Water Information System) con objeto de determinar el volumen (Figura 1). También se recalcularon las áreas usando un planimetro. Los mapas de isopacas se han modificado según la caída de ceniza después de cada viaje de muestreo, para obtener una secuencia temporal del volumen total de material emitido.

3. EMISION Y DISTRIBUCION DE LA CENIZA

Desde el inicio de las erupciones (21 de diciembre) y hasta el 24 de diciembre, la erupción consistió en frecuentes expulsiones de nubes de color gris o café oscuro, cargadas de cenizas, que alcanzaban alturas de alrededor de 300 metros antes de ser desviadas por el viento en dirección al este y sureste. La caída de cenizas llegó hasta las ciudades de Puebla y Atlixco.

A partir del 25 de diciembre disminuyeron marcadamente las nubes oscuras de cenizas, siendo substituidas por una emisión casi constante de gases y cenizas muy finas en una columna de color blanco a gris claro, de hasta 600 m de altura. Este tipo de actividad se mantuvo hasta el 31 de diciembre, en que reaparecieron las nubes oscuras de cenizas a intervalos irregulares. El intervalo entre emisiones de cenizas fué disminuyendo lentamente, mientras que la intensidad de las expulsiones individuales aumentó, lo cual implicó un aumento substancial en el volumen total emitido, en los siguientes 8 días. Para el día 8 de enero las emisiones de ceniza alcanzaban alturas de aproximadamente 1000 m, y eran de un color gris muy oscuro, casi negras. El intervalo entre expulsiones grandes de cenizas durante los períodos de muestreo fue de unas 2 horas.

Desde el 10 de enero la emisión de cenizas disminuyó notablemente. Las expulsiones de cenizas se hicieron poco frecuentes, de color gris a café claro, y rara vez alcanzaban alturas de más de 300 metros. Esta disminución en la actividad se mantuvo hasta el 18 de enero, cuando se volvieron a percibir grandes nubes de hasta 1000 m de alto, de color café claro, emitidas irregularmente. Desde entonces la frecuencia de emisión de nubes de ceniza ha ido disminuyendo, aunque no la emisión de gases. A partir del 11 de febrero, sin cambio aparente en la fuerza ni el tamaño de las emisiones, se notó un incremento substancial en el tamaño de las partículas de ceniza. A partir del 15 de febrero ha habido una disminución en la producción de cenizas, y desde entonces la erupción ha sido casi exclusivamente emisión de gases, con la expulsión de cenizas cada vez menos frecuente.

En general, la caída de cenizas, que es dirigida por el viento, ha sido predominantemente en el flanco oriental y sudoriental del volcán (Figura 1). Sin embargo, del 28 de diciembre al 3 de enero el viento estuvo dirigido hacia el este-noreste, llegando a caer ceniza en Tlaxcala. Los días 6 y 7 de enero el viento cambió hacia el suroeste, cayendo cenizas en los alrededores de Tetela. Desde mediados de febrero y hasta la fecha, en varias ocasiones el viento se ha dirigido hacia el norte, provocando la caída de ceniza hasta Llano Grande y Tlahuapán también cubriendo al glaciar con una capa de ceniza.

Durante la erupción el centro de emisión ha estado en el sector oriental del cráter, cerca del pequeño cráter generado durante la erupción de los años veintes. El ritmo de emisión de cenizas, aunque ha fluctuado, ha sido muy bajo, habiéndose emitido solamente 0.001 km cúbicos en los tres meses de erupción, a un ritmo máximo de 46,000 m³ durante la primera semana de enero.

4. ANALISIS DE LAS CENIZAS

Las muestras han sido estudiadas por un microscopio estereoscópico y por un microscopio electrónico de barrido (MEB) Jeol jsm 35 c unido a un sistema de microanálisis de energía dispersiva de rayos X (EDX). Las condiciones de operación fueron: un voltaje de aceleración de 20 kV y 60 segundos de adquisición. Se utilizaron estándares de plagioclasa y piroxena para calibrar el equipo.

Las muestras se estudiaron con el microscopio estereoscópico con la finalidad de describirlas y separar el material de mayor interés. Posteriormente este material fue colocado sobre portamuestras de latón con una cinta adhesiva adherida y recubierta con carbón y/u oro para su estudio con el microscopio electrónico. Para cada muestra se realizaron varios análisis de área para conocer su composición general. También se estudiaron los cristales, vidrios y líticos que fueron separados de las muestras. Se tomaron fotomicrografías de los diversos componentes como puede observarse en la figura 2.

5. COMPOSICION GENERAL DE LAS CENIZAS

La ceniza es fina, de color gris claro. El tamaño de los granos ha sido variable, aunque bimodal, siendo el más fino menor a las 10 micras y el más grueso entre 50 a 300 micras, con un tamaño promedio de alrededor de 100 micras. En algunas muestras ha predominado el tamaño mas fino pero en la mayoría prevalece el tamaño mayor.

En el tamaño de grano de las cenizas intervienen muchos factores (viento, distancia) así, en un mismo día se tienen muestras de grano fino 1-10 micras y de grano mas grueso alrededor de 100 micras (por ejemplo, las cenizas del día 25 de Diciembre), dependiendo del punto de muestreo.

De acuerdo a las observaciones y análisis, los constituyentes de la ceniza son los siguientes: una fracción clara cristalina constituida por cristales de feldespato (plagioclasa intermedia) y cuarzo y una fracción oscura constituida principalmente por líticos y máficos como piroxenas (augita e hiperstena), hornblenda, pirita e ilmenita, además de pequeñas cantidades de vidrio. También se encuentran algunas partículas de yeso y sublimados. En todas las muestras los componentes principales han sido los líticos y la fracción cristalina clara.

Aunque en algunas muestras los porcentajes entre la fracción clara y la oscura son iguales (como en las del día 27 de Diciembre), en las primeras muestras predomina la fracción clara 70% de composición cuarzo-feldespática sobre la oscura 30% (día 24 de Diciembre) mientras que posteriormente aumenta el porcentaje de líticos y piroxenas sobre la fracción cristalina clara, (día 4 de Enero).

En las observaciones de la ceniza con el MEB, se observó la existencia de agregados, polvo adherido en la superficie de los granos de cenizas mas gruesos y textura de "blocky morphology", una textura donde los bordes de las partículas presentan superficies angulosas.

Los vidrios, que constituyen menos del 1 % de cada muestra, son de varios tipos: cafés translúcidos, negros con fractura concooidal y de color mas claro pero tamaño muy fino. Todos los vidrios son ricos en silice (68 a 72%) y álcalis.

Se realizó la separación de líticos para determinar sus características. Son de color gris y de grano fino aunque también se observan con cristales de mayor tamaño. Su composición es dacítica (65-68% SiO_2) y contienen entre 5 y 6 % de álcalis.

Las cenizas emitidas de diciembre, 1994 a marzo, 1995 por el volcán Popocatepetl son materiales no juveniles.

6. ANALISIS DE LIXIVIADOS

La ceniza emanada durante una erupción puede atrapar parte del gas liberado en la columna eruptiva, razón por la cual se analizaron los lixiviados de las cenizas ("ceniza lavada") del Popocatepetl. Las emanaciones gaseosas de los volcanes están constituidas en su mayoría por H_2O , SO_2 , CO_2 , H_2S , HCl y HF . El SO_2 puede reaccionar con el agua, formar ácido sulfúrico y depositarse sobre las partículas de ceniza; el HCl y el HF pueden también cubrir dichas partículas. Mediante una lixiviación de las cenizas con agua destilada es posible cuantificar la cantidad de sulfato,

cloruro y fluoruro que se encuentran como recubrimiento de las cenizas. La concentración de estos iones y la relación entre ellos se ha asociado a diversos grados de contribución magmática así como el estado de degasamiento del magma, ya que el SO_2 se emite antes que el HF y el HCl conforme el magma se acerca a la superficie (Stoiber y col., 1981) Esta información puede utilizarse para elucidar si una erupción dada es realmente magmática o si se trata de una erupción freática. Por ejemplo, las erupciones del Monte Santa Helena ocurridas en marzo y abril de 1980 produjeron lixiviados de cenizas con bajas concentraciones de sulfato (100 ppm) y de cloruro (600 ppm), así como bajas relaciones S/Cl (0.06), corroborando su carácter freático. Sin embargo, durante la erupción pliniana del 18 de mayo de 1980, los lixiviados mostraron un incremento importante en sulfatos (3000 ppm) y de cloruro (1000 ppm), con relaciones entre 0.6 y 1.2, indicando una importante componente magmática. La relación S/Cl mostró un descenso durante el transcurso de la erupción (Stoiber y Williams, 1990). Relaciones similares a las observadas en el inicio de la erupción del 18 de mayo en el Monte Santa Helena han sido obtenidas en los primeros episodios eruptivos de otros volcanes como el Irazú en Costa Rica y el Pacaya en Guatemala con valores de S/Cl entre 0.65 y 0.69. Los lixiviados de cenizas emanadas en la erupción de 1974 del volcán Fuego dieron una relación S/Cl = 3.78 con concentraciones de 530 ppm de S y 140 ppm de Cl (Rose y col., 1982).

En la erupción del Nevado del Ruiz ocurrida el 13 de noviembre de 1985, también se obtuvieron muestras de ceniza. Esta erupción fue de tipo explosivo y liberó una pequeña cantidad de material sólido magmático junto con una gran cantidad de gases magmáticos. Las concentraciones de sulfato en los lixiviados de las cenizas fueron de 500 a 800 ppm y las de cloruro de 430 a 1008 ppm, con una relación S/Cl de 0.24 a 0.62. Estos valores se consideraron por Williams y otros (1986) como característicos de las últimas etapas de una erupción pliniana.

7. METODOS ANALITICOS.

Se pesó 1 gramo de ceniza, se añadieron 25ml de agua y se dejaron en agitación por dos horas. Transcurrido ese tiempo se centrifugó la suspensión a 3500 rpm durante 15 minutos, se separó la solución clarificada y se filtró a través de filtro Millipore de 0.45m. Esta solución se utilizó para la cuantificación de cloruro y sulfato. La concentración de cloruro se determinó mediante potenciometría con electrodo selectivo y la de sulfatos por cromatografía de iones.

Para la determinación de cloruro se tomaron 5 ml de la solución y se añadieron 5 gotas de solución de NaNO_3 ajustadora de fuerza iónica. Se utilizó un potenciómetro Orion Ionalyzer EA940 con electrodo selectivo de cloruro y electrodo de referencia de doble unión. La cuantificación de fluoruro se efectuó también por potenciometría añadiendo al lixiviado solución TISAB ajustadora de fuerza iónica y descomplejante, efectuando la medición con electrodo de fluoruro y electrodo de referencia.

Las especies aniónicas, particularmente los SO_4^- , son separados y cuantificados considerando su tamaño y su carga mediante Cromatografía de Intercambio Iónico.

El método utilizado nos permite lograr la separación de los SO_4^- utilizando como fase móvil una solución de LiOH/Acetonitrilo cuyo ión OH^- compite con el ión SO_4^- por los sitios de intercambio que se encuentran en la matriz de la fase estacionaria que es una columna de intercambio aniónico IC-PAK A HR, cuyo grupo funcional enlazante es un amonio cuaternario. Al lograrse la elución, los iones SO_4^- son detectados conductimetricamente y la señal es procesada por una base de datos que nos muestra un cromatograma específico cuya área y/o altura son directamente proporcionales a la concentración de la especie.

Cuando se analizan aniones en muestras provenientes del medio ambiente, la presencia de altos niveles de carbonato y de metales tales como el Calcio y el Magnesio suelen ser comúnmente encontrados. En una muestra no tratada las altas concentraciones de estos elementos causan significantes interferencias en la cuantificación del ión SO_4^- . A fin de eliminar las causas interferentes se pretrata la muestra haciéndola pasar por un cartucho de filtración que contiene una membrana cuya función es remover este tipo de problemas de matriz (Figura. 3).

Los límites de detección son relativamente altos (1 ppm), pero las pequeñas cantidades de muestra y la selectividad mostrada lo hacen en este caso el método de elección.

8. CARACTERISTICAS DE LOS LIXIVIADOS

Las concentraciones de sulfato y de cloruro en los lixiviados así como la relación S/Cl mostraron variaciones importantes en el tiempo. Las concentraciones máximas llegaron a 12353 ppm de SO_4^{2-} y 1083 ppm de Cl^- con una relación S/Cl de 3.72, al inicio de la erupción, ambas concentraciones fueron decreciendo de manera irregular con el transcurso del tiempo. Los valores mínimos de concentración fueron de 193 ppm de Cl^- y 6015 ppm de SO_4^{2-} . Las concentraciones obtenidas para las cenizas que estuvieron expuestas al agua de lluvia fueron de 75 ppm de Cl^- y 400 ppm de SO_4^{2-} .

Por otro lado, las concentraciones de fluoruro obtenidas en los lixiviados de cenizas son indicadores del peligro tóxico potencial del flúor emitido. Esto se observó por ejemplo en Islandia donde las concentraciones de fluoruro alcanzaron varios miles de partes por millón, sin embargo, no es común que se alcancen estos niveles en volcanes localizados en zonas de subducción (Stoiber y Williams, 1990).

En los lixiviados de las cenizas expulsadas por el Popocatepetl durante diciembre a marzo de 1995, los contenidos de fluoruro oscilaron alrededor de las 100 ppm, por lo que no se puede considerar que existe peligro a la salud como resultado de la lixiviación de estas cenizas

9. ANALISIS DE AGUA

El monitoreo de los manantiales es uno de los métodos que puede proporcionar información acerca del estado de actividad volcánica. Los manantiales pueden aportar información acerca de la actividad hidrotermal dentro de un volcán y pueden reflejar aumentos en la actividad del mismo. En el Nevado del Ruiz 1985 aumentó la concentración de sulfatos en los manantiales ácidos con la erupción (Sturchio y otros, 1988). Las relaciones de B/Cl, $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ y parámetros como pH y temperatura pueden ser indicativos de cambios en el estado de actividad volcánica e inclusive pueden indicar la relación entre fases diferentes y contaminantes. En el Volcán Sakujarima, Hirabayashi y otros (1982) encontraron que la relación de HCl a SO_4^{2-} esta asociada a actividad eruptiva, lo mismo ocurrió en Kilauea (Naughton y otros, 1975) y en White Island (Giggenbach, 1975). El análisis de los diversos componentes químicos permite modelar los procesos hidrotermales, contaminantes y juveniles como se realizó en el Nevado del Ruiz. (Giggenbach, 1990)

10. MUESTREO Y TECNICAS DE ANALISIS

Desde hace varios años se estudian los manantiales del Popocatepetl. Periódicamente se muestrean 9 de los sitios para observar sus variaciones. En el campo se mide la temperatura, pH y alcalinidad y se colectan 3 recipientes con agua, dos de ellos con reactivos para fijar los componentes de sulfuros y metales, para preservar los sulfuros se añade carbonato de sodio y acetato de Zinc y para metales ácido nítrico.

A partir de diciembre 24, 1994, se han llevado a cabo 8 muestreos periódicos del agua de los manantiales. Para cada muestra se determinaron los principales parámetros fisicoquímicos: pH, conductividad, alcalinidad, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio y potasio, además de otras especies como fluoruros, sílice, sulfuros y boro. Estas determinaciones se basaron en diferentes métodos estándares establecidos en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA, 1989)

El pH se midió con un potenciómetro digital Corning y la conductividad con un equipo marca Conductronic PC18, ambos previamente calibrados con soluciones patrón.

La cantidad de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos también llamada alcalinidad, se cuantificó por titulación con HCl usando como indicadores una mezcla de rojo de metilo-verde de bromocresol, y fenolftaleína, la muestra se somete a ebullición casi al término de la titulación para evitar el desplazamiento del punto final por la presencia de CO_2 libre.

Los sulfatos se determinaron por el método turbidimétrico que consiste en la precipitación del ión sulfato con cloruro de Bario en medio ácido para formar cristales uniformes de cloruro de Bario y medirlos en espectrofotómetro

a 420 nm. El equipo usado fue un Espectrofotómetro de arreglo de Diodos Hewlett Packard 8452A.

La cantidad de cloruros y de fluoruros se midió con electrodo selectivo, que es un sensor de iones. El electrodo mide la actividad de los iones en solución, la cual depende de la fuerza iónica y del pH por lo que es necesario añadir un buffer adecuado que nos permita uniformizar la fuerza iónica, ajustar el pH y romper los complejos en los que estén asociados las especies de interés.

Para obtener las concentraciones de calcio y magnesio se empleó la titulación complejométrica con EDTA, la cantidad total de Calcio y Magnesio se determina ajustando la muestra a un pH de 10 y usando negro de eriocromo T como indicador del punto final de la valoración, la cantidad que corresponde solo a Calcio se obtiene ajustando el pH a 12 con murexida como indicador. La cantidad de Magnesio se obtiene de la diferencia entre el volumen utilizado para la titulación de Calcio y Magnesio y el consumido solo por el calcio.

La cuantificación de Sodio y Potasio se basa en la detección del espectro de emisión que se obtiene al excitar los átomos de estos dos elementos en una flama (método fotométrico de emisión de flama). Las medidas se hicieron en un espectrofotómetro de Absorción Atómica, Perkin Elmer 2380.

El Silíce se determinó colorimétricamente por el método del ácido molibdo-silícico. Este método consiste en la formación en medio ácido, pH 1.2, de un compuesto de color amarillo que obedece la ley de Beer entre 5 y 25 mg/l en un rango de longitud de onda de 328-472 nm.

La determinación de Boro es también colorimétrica y se basa en la formación de un complejo colorido con ácido carmínico en ácido sulfúrico concentrado, la absorbancia de este complejo se mide a 585 nm, y la concentración tiene un comportamiento lineal entre 1 y 10 mg/l

Los sulfuros se cuantificaron espectrofotométricamente por el método del azul de metileno. Los sulfuros reaccionan con una solución ácida de NN-dimetil p-fenilendiamina en presencia de Fe^{3+} , la adición de fosfato de amonio elimina las interferencias por el exceso de fierro, el rango de trabajo presenta un comportamiento lineal entre 0 y 1 mg/l a una longitud de onda de 664 nm

11. CARACTERISTICAS DE LOS MANANTIALES

La composición de los manantiales mostró poca variación de diciembre 24,1994 a marzo,1995. Tampoco se observaron cambios significativos en temperatura ni PH. Sin embargo la población ha externado su preocupación en cuanto a la toxicidad del agua, por lo que se hacen las siguientes aclaraciones. Las cantidades de fluoruros que son dañinas a la salud son arriba de 1.5mg/l mientras que las concentraciones encontradas en los manantiales del Popocatepetl de diciembre a marzo varían de 0.3 a 0.8 mg/l Las concentraciones de sulfatos en los manantiales del Popocatepeti oscilan entre 4 y 40 mg/l y las de cloruros entre 3 y 17 mg/l. Estos valores se encuentran muy por debajo de los dañinos a la salud.

12. CONCLUSIONES

La ceniza emitida por el Popocatepetl durante las erupciones de diciembre, 1994, a marzo, 1995 ha sido material no juvenil. Las cenizas esta compuestas de una fracción cristalina de cuarzo y feldespato, piroxenos y hornblenda, líticos y vidrio(menos del 1%). Se observa yeso, piritita y sublimados en pequeña cantidad.

La distribución de la ceniza ha sido fundamentalmente hacia el este, aunque las variaciones en la dirección del viento han propiciado la caída de ceniza tanto al norte como al sur del volcan. Las medidas periódicas de espesor permitieron estimar un volumen de ceniza emitido (diciembre a marzo) de 0.001km³.

Las concentraciones de fluoruros, sulfatos y cloruros en los lixiviados han disminuido con el tiempo, al igual que la caída de ceniza. Los manantiales han cambiado poco durante las erupciones, aunque las concentraciones de cloruros, fluoruros y sulfatos se encuentran por debajo de los límites permisibles para la salud.

13. REFERENCIAS

- Giggenbach, W.F., 1975. Variations in the carbon, sulfur and chlorine contents of volcanic gas discharges from White Island New Zealand. *Bull. Volcanol.* 39: 15-27.
- Giggenbach, W.F., 1990. The chemistry of Fumarolic Vapor and thermal-spring discharges from the Nevado del Ruiz, volcanic magmatic hydrothermal system, Colombia. *Journ. Volc. Geoth. Res.* 42: 13-39.
- Hirabayasi, J., Ohsaka, J. and Ozawa, T., 1982. Relationship between volcanic activity and chemical composition of volcanic gases-A case study on the Sakurajima Volcano. *Geochem. Journ.* 16: 11-21.
- Martin del Pozzo, A.L., Cordova C., and López J., 1995. Volcanic Impact in the Southern Basin of Mexico Quaternary Intern. In press.
- Naughton, J.J., Finlayson, J.B. and Lewis, W.A., 1975. Some results from recent chemical studies at Kilauea Volcano Hawaii. *Bull. Volcanol.* 39: 64-69.
- Rose, W.I. Jr., Stoiber, R.E. and Malinconico, L.L., 1982. Eruptive gas compositions and fluxes of explosive volcanoes: budget of S and Cl emitted from Fuego volcano, Guatemala. En: R.S. Thorpe (editor) *Andesites*, John Wiley & Sons, N.Y.
- Stoiber, R.E., S. N. Williams, L. L. Malinconico, D. A. Johnston, y T. J. Casadevall. Mt. St. Helens: Evidence of Increased Magmatic Gas Component, *J. of Volcanology and Geothermal Research*, V. 11, pp 203-212.
- Stoiber, R. E., y Williams, N., 1990. Monitoring Active volcanoes and mitigating volcanic hazards: the case for including simple approaches, *J. of Volcanol. and Geothermal res.*, 42, pp 129-149.
- Sturchio, N., Williams, S., Garcia, N. and Londono, A., 1988. The Geothermal system of the Nevado del Ruiz Volcano, Colombia. 1988. *Bull. Volcanol.* 50: 399-412.
- Williams, S. N., R. E. Stoiber, N. Garcia P., A. Londoño C., J. B. Gemmell, D. R. Lowe, y C. B. Connor, 1986. Eruption of the Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, on 13 November 1985: Gas Flux and Fluid Geochemistry. *Science*, V.233, pp 964-967.

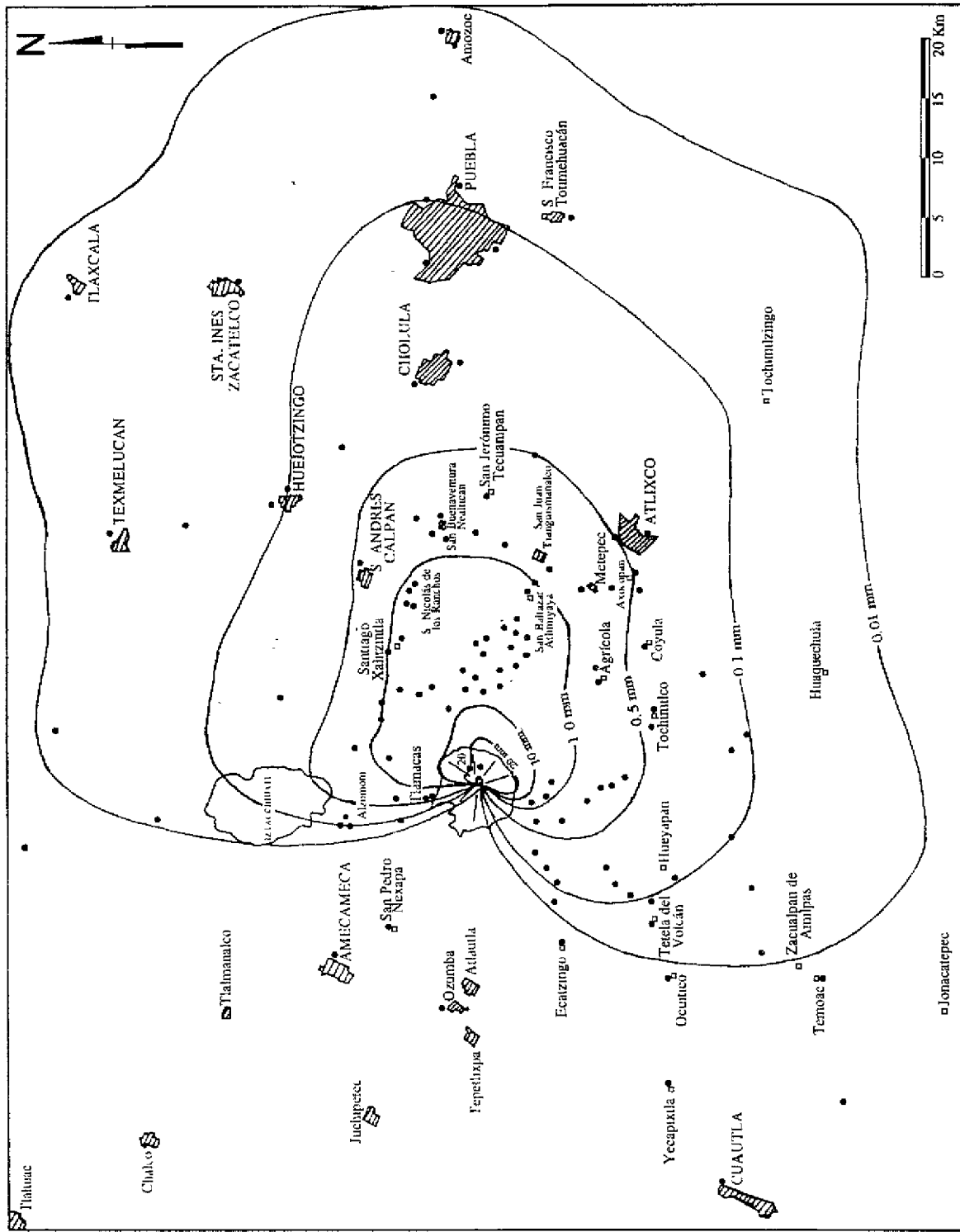


Figura 1. Mapa de isópacas de las cenizas que muestran las líneas de igual espesor y los principales poblados.

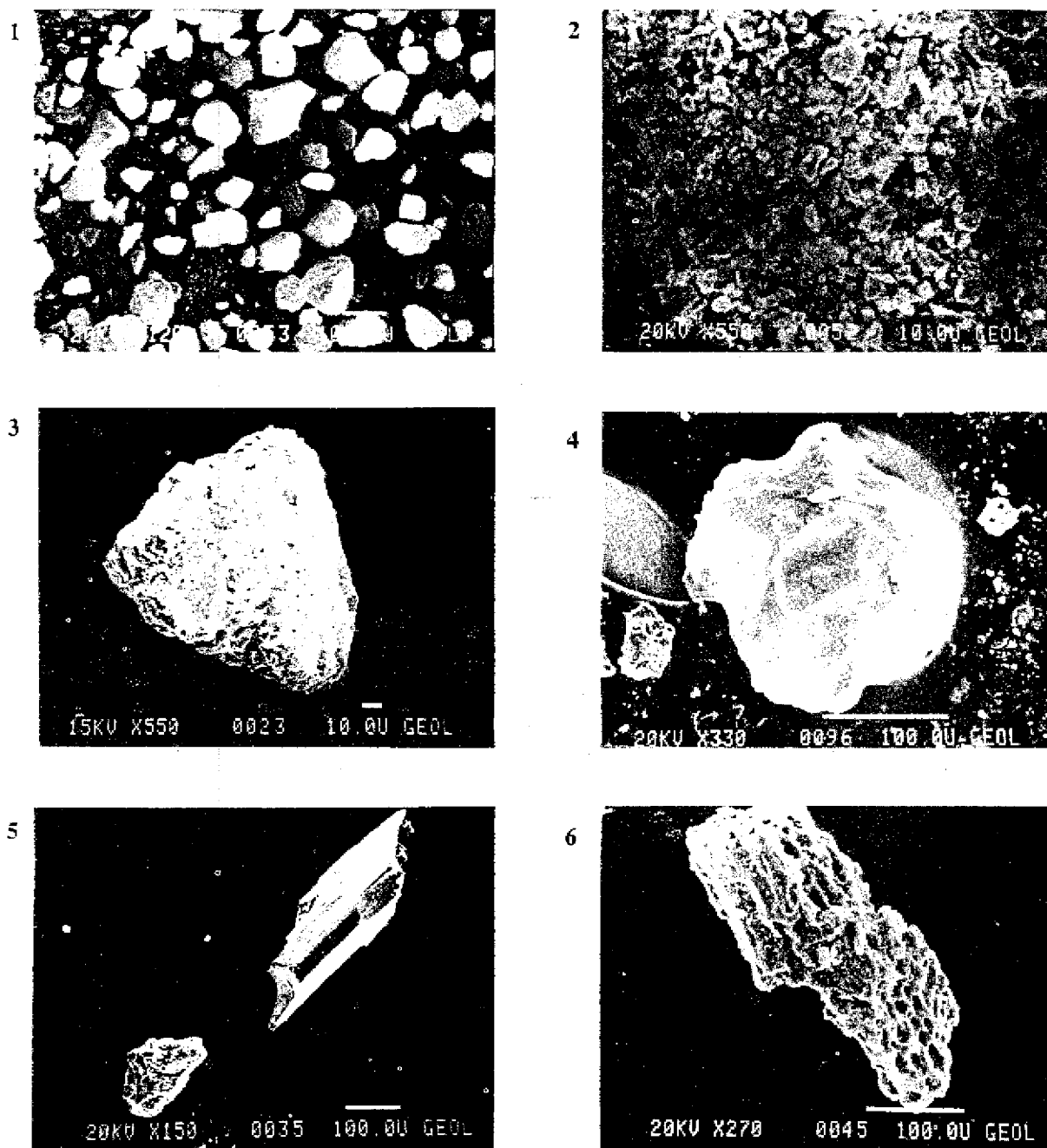


Figura 2. Fotografías de las cenizas tomadas en el microscopio electrónico: 1. Aspecto general de la ceniza (fracción gruesa), 2. Aspecto general (fracción fina), 3. Lítico gris claro, 4. Vidrio negro brillante, 5. Arriba un cristal de piroxena, abajo un lítico, 6. Sublimado de potacio y azufre.

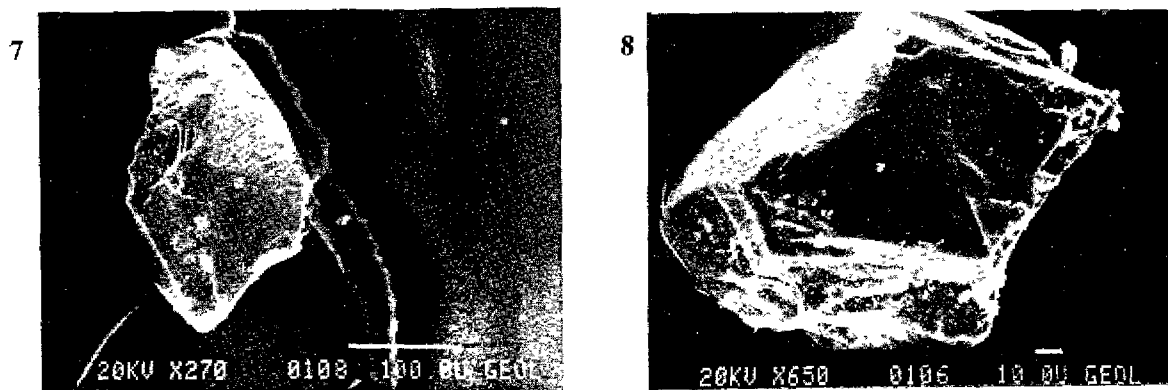


Figura 2 (Continuación). Fotografías de las cenizas tomadas en el microscopio electrónico: 7. Cuarzo, 8. Plagioclasa.

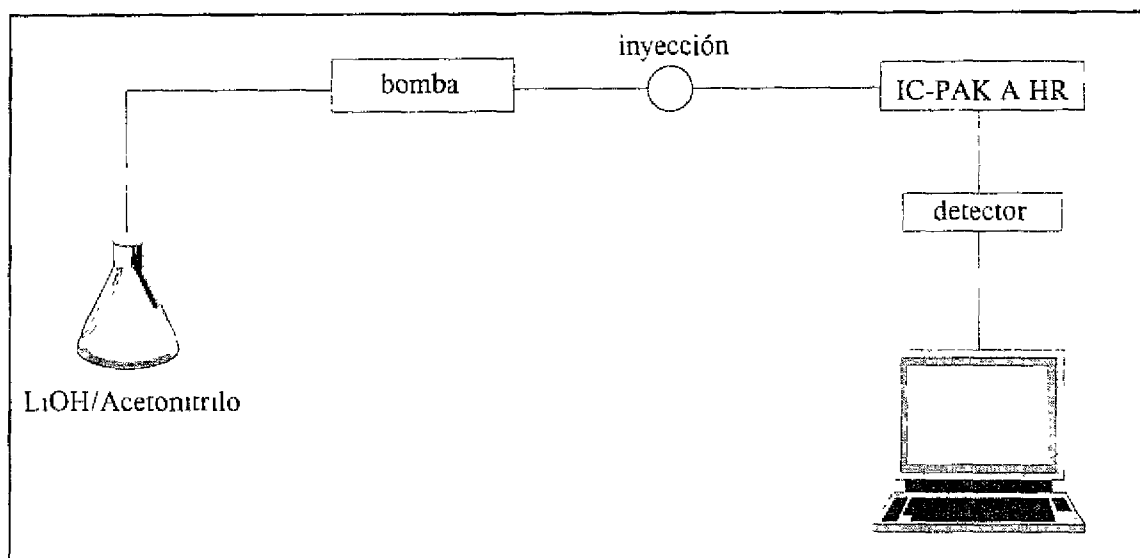


Figura 3 Componentes de un Cromatógrafo de Iones.