

Resume

Les éruptions volcaniques explosives sont des sources majeures de cendres et d'aérosols dans l'atmosphère terrestre. De nombreux volcans sont situés à proximité des côtes ou de sources d'eau douce, de sorte qu'une grande partie des matériaux extrudés résultant de cette activité peuvent se déposer dans les écosystèmes aquatiques. Des recherches antérieures suggèrent que le dépôt des cendres volcaniques dans ces environnements peuvent avoir des conséquences bénéfiques ou néfastes, en raison de la lixiviation d'un large éventail d'éléments chimiques dans l'eau. Il est donc impératif de mieux comprendre comment les particules volcaniques interagissent avec l'eau.

Cette nouvelle étude, explore l'effet de la taille des particules - une variable qui change naturellement en fonction de la distance avec une source éruptive - sur le potentiel de lixiviation des cendres volcaniques. Pour ce faire, un échantillon de cendres vierges provenant de l'éruption de Cumbre Vieja (La Palma) en 2021 a été séparé en une fraction non tamisée, et deux fractions tamisées à sec : une fraction grossière (500 - 2000 μm) et une fraction fine (63 - 250 μm). Chacune de ces fractions a ensuite été agitée avec de l'eau désionisée (rapport 1:100 entre les cendres et le liquide) sur une bascule pendant une période allant de 0,5 à 74 heures.

Nous avons utilisé l'analyse granulométrique par diffraction laser pour obtenir la distribution granulométrique des échantillons de cendres (et de chacune de ses fractions tamisées) avant leur utilisation dans les expériences. Ces données ont permis de déduire le rapport hypothétique entre la surface et le volume des particules utilisées pour les expériences. Ceci a facilité l'analyse des différences observées entre le taux de lixiviation et la concentration du lixiviat en fonction de la taille des particules de cendres. Cette méthode analytique, a également été utilisée après les expériences pour les particules lixiviées par rapport aux particules vierges.

Les particules de cendres ont été analysées à l'aide de la microscopie électronique à balayage (MEB). Cela a permis de suivre l'évolution des textures de surface des particules de cendres avant, pendant et après les expériences de lixiviation. L'évolution temporelle du lixiviat filtré, c'est-à-dire la composition en cations traces, a été quantifiée à l'aide d'une méthode de spectrométrie de masse à plasma inductif (ICP-MS) mise au point pour ce projet de recherche.

Les analyses approfondies des particules au MEB ont permis à la fois de visualiser le processus de lixiviation (c'est-à-dire l'identification de l'aplatissement des particules de cendres au contact de l'eau) et de mettre au point un système de classification des cendres approprié dans le cadre de cette étude. La répétition de ce schéma pour chaque fraction de cendres utilisée lors de la lixiviation, a révélé que les différentes fractions tamisées granulométriques comprenaient des cendres dont les morphologies, les structures et les textures de surface étaient largement opposées.

Les analyses ICP-MS des lixiviats ont révélé qu'il existe une relation claire entre la taille des particules, la vitesse et l'intensité de la lixiviation des cendres. La fraction de cendres grossières étant lixiviée à une vitesse apparente plus lente et produisant des lixiviats moins concentrés. Toutefois, il existe des divergences entre chacune des fractions de cendres dans les tendances observées pour la concentration et les taux de lixiviation apparents. Ceci suggère que le potentiel de lixiviation des cendres n'est pas uniquement contrôlé par la taille des particules. La composition des particules et les techniques de traitement des échantillons (par exemple, la cuisson et le tamisage) doivent également être considérées comme des facteurs affectant les tendances observées.

En ce qui concerne les applications, cette étude démontre clairement que les dépôts de cendres contenant des proportions élevées de particules fines ($>250 \mu\text{m}$) ont un potentiel de lixiviation plus grand, rapide et intense. Cela a des implications pour la surveillance

des risques liés aux éruptions connues pour produire de grandes proportions de particules fines (par exemple, l'activité phréatomagmatique).

Néanmoins, la lixiviation de faible intensité présentée par les cendres de cette étude corrobore également les résultats d'autres études dans ce domaine (e.g.: Witham et al., 2005), qui suggèrent que les cendres dérivées de l'activité magmatique/strombolienne sont des sources comparativement pauvres en matériaux lixiviables. Ainsi, pour mieux évaluer les effets des dépôts de cendres dans les environnements aquatiques, il faudrait plutôt utiliser des cendres dérivées d'autres sources comme par exemple, le volcanisme de la zone de subduction plinienne.

Enfin, il a été conclu que la fraction de cendres fines de cette étude ne peut pas être utilisée pour évaluer le potentiel de lixiviation des dépôts de cendres distaux. Ceci est dû aux différents degrés de traitement atmosphérique entre les dépôts distaux et l'échantillon utilisé ici.

Mots-clés: Cumbre Vieja; cendres volcaniques; lixiviation des cendres volcaniques; analyses SEM; analyses ICP-MS.

Abstract

Ash and aerosol particles can be supplied to the Earth's atmosphere in great quantities by explosive volcanic eruptions. Many volcanoes are located proximal to either the coast and/or fresh-water sources, thus much extruded material resulting from such activity can be deposited into aquatic ecosystems. Previous research suggests that volcanic ash can have either beneficial or detrimental consequences following deposition into such environments - this is due to their leaching of a wide range of chemical elements into the water. Therefore, better understanding of how volcanogenic particles interact with water is imperative.

Here, a new study is presented exploring the effect of particle size - a variable which changes naturally with proximity to an eruptive source - on the leaching potential of volcanic ash. To do this, a pristine ash sample from the 2021 eruption of Cumbre Vieja (La Palma) was separated into one un-sieved and two dry sieved fractions: a coarse fraction (500 - 2000 μm) and a fine fraction (63 - 250 μm). Ash from each of these fractions was then agitated in combination with de-ionised water (1:100 ratio of ash to liquid) on a rocker for a period of 0.5 to 74 hours.

Laser Diffraction Particle Size Analysis was used to obtain the grain size distribution of the ash sample (and each of its sieved fractions) prior to use in the experiments. From this data, the theoretical surface area to volume ratio of the particles used for the experiments was inferred, aiding the discussion of the observed differences in leaching rate and intensity as a function of ash particle size. Post experimental analyses of leached versus pristine particles also utilised this analytical method.

Further ash particle analyses were performed using Scanning Electron Microscopy (SEM). This allowed for tracking of the evolution of ash particle surface textures before, during and after the leaching experiments. The temporal evolution of the filtered leachate

with regards to trace cation composition was quantified using an Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) method developed for this research.

The extensive SEM particle analyses allowed for both visualisation of the leaching process (i.e.: identification of ash particle balding upon contact with water), and also the development of an ash classification scheme for use in this study. Application of this scheme to each ash fraction used for leaching revealed that the different sieved particle size fractions comprised ash with largely opposing morphologies, structures and surface textures.

The results of the ICP-MS leachate analyses revealed that there is a clear particle size effect with regards to ash leaching rate and intensity, as the coarse ash fraction leached at the slowest apparent rate and yielded the least concentrated leachates. However, discrepancies in the trends shown for concentration and apparent leaching rates between each of the ash fractions suggest that ash leaching potential is not solely controlled by particle size. Particle composition and sample processing techniques (e.g.: baking and sieving) are considered also to be controlling factors.

With regards to applications, this study clearly demonstrates that ash deposits containing high proportions of fines (i.e.: particles $>250\ \mu\text{m}$) have a greater potential to leach rapidly and to high intensity. This has implications for hazard monitoring for eruptions known to produce large proportions of fines (e.g.: phreatomagmatic activity).

Nevertheless, the low intensity leaching presented by the ash in this study also corroborates the findings of other studies in this area (e.g.: Witham et al., 2005), which suggest that ashes derived from magmatic/Strombolian activity are comparatively poor sources of leachable material. Thus, in order to better assess the effects of ash deposition into aquatic environments, ash derived from other sources with greater leaching potential (e.g.: Plinian subduction zone volcanism) should be used instead.

Finally, it has been concluded that the fine ash fraction of this study cannot be used to approximate the leaching potential of distal ash deposits. This is due to the different degrees of atmospheric processing undergone by particles comprising distal deposits versus the sample used here.

Key words: Cumbre Vieja; volcanic ash; volcanic ash leaching; SEM analyses; ICP-MS analyses.