

## **DELIMITACION DE AREAS DE RIESGO POR DEPOSICION DE CENIZA VOLCANICA**

**Juan C. Parra** ( [jparra@ufro.cl](mailto:jparra@ufro.cl) )

**Patricio Acevedo A.** ( [pacevedo@ufro.cl](mailto:pacevedo@ufro.cl) )

Depto. de Ciencias Físicas. Universidad de La Frontera

Av. Francisco Salazar 01145. Casilla 54-D. Temuco, Chile

### **RESUMEN**

Un modelo numérico del tipo advección-difusión es aplicado para estimar la distribución espacial de los espesores de ceniza depositados a nivel del suelo. Básicamente es resuelta una ecuación de continuidad donde se integran procesos de advección horizontal, difusión turbulenta y deposición vertical. La resolución de la ecuación es lograda por técnicas numéricas, siendo los espesores de ceniza, corregidos por el efecto introducido por la topografía del terreno. Con la definición de los escenarios meteorológicos y eruptivo, el modelo se aplica a una eventual erupción de carácter explosiva en el volcán Lonquimay ( $38^{\circ} 22' S - 71^{\circ} 35' W$ ), Andes del Sur, Chile. Los resultados obtenidos permiten la generación de una cartografía de riesgo por deposición de ceniza a escala 1:1.000.000.

### **ABSTRACT**

A numeric model of the type advección-diffusion is applied to estimate the space distribution of the thickness of ash deposited at level of the ground. Basically it is resolved an equation of continuity where they are integrated processes of horizontal advección, turbulent diffusion and vertical deposition. The resolution of the equation is achieved for technical numeric, being the thickness of ash, corrected by the

effect introduced by the topography of the ground. With the definition of the meteorological and eruptive scenarios, the pattern is applied to an eventual explosive eruption of character in the volcano Lonquimay ( $38^{\circ} 22' S - 71^{\circ} 35' W$ ), Southern Andes, Chile. The obtained results allow the generation of a cartography of risk for deposition of ash to scale 1:1.000.000.

## **INTRODUCCION**

Cuando se declara una erupción volcánica variados son los eventos asociados (terremotos volcánicos, caída de material piroclástico, flujos de lava, entre otros), los cuales pueden inducir peligros de distinta magnitud sobre el medio ambiente. De todos los productos expulsados al exterior de un volcán, Scott (1993) reconoce en la lluvia de tefra fina el peligro de mayor alcance, capaz de cubrir grandes extensiones de terreno y afectar intensamente a ecosistemas terrestres y acuáticos, incluido al hombre.

Considerando que las erupciones volcánicas se constituyen en un desastre natural derivado de la propia variabilidad de la naturaleza, en consecuencia inevitables desde el punto de vista de su ocurrencia, la defensa contra sus efectos descansa en la adecuada utilización de instrumentos de gestión, orientados a mitigar en parte las externalidades generadas. En este sentido, la delimitación de áreas de riesgo, asistida por técnicas de modelación numérica y sistemas de información geográficos, puede ser de eficaz ayuda para proveer los lineamientos básicos en la planificación de largo alcance del territorio en los alrededores de los volcanes, así como en la identificación de las zonas geográficas que deberían ser evacuadas y evitadas durante las erupciones.

En la presente contribución, un modelo numérico del tipo advección-difusión es aplicado para estimar la distribución espacial de los espesores de ceniza depositados a nivel del suelo, provenientes de una erupción volcánica. El modelo considera procesos de advección horizontal, difusión turbulenta y deposición vertical,

integrados en una ecuación de continuidad, y la topografía del terreno. La resolución numérica de la ecuación admite como input de información: coeficientes de difusión turbulenta, velocidad terminal de las partículas eruptadas, campo de viento horizontal y la concentración de partículas que por unidad de tiempo abandonan la columna eruptiva. Con la definición de los escenarios meteorológicos y eruptivo, el modelo se aplica a una eventual erupción de carácter explosiva en el volcán Lonquimay ( 38° 22' S - 71° 35'W), Andes del Sur, Chile. Los resultados obtenidos permiten la generación de una cartografía de riesgo por deposición de ceniza expresada a una escala 1:1.000.000.

### **GENERALIDADES DEL MODELO DE DISPERSION ADVECCION – DIFUSION**

La implementación de modelos físicos-matemáticos en eventos eruptivos, principalmente para dispersión de ceniza volcánica, ha sido ampliamente divulgado por diversos investigadores ( Armienti et al., 1988; Macedonio et al., 1990; Suzuki, 1983). En nuestro país, este problema ha sido tratado satisfactoriamente para la erupción del volcán Hudson ( 45°54' S - 72°58' W ) ocurrida en agosto de 1991 ( Parra et al., 1999 ). Básicamente ha sido resuelta una ecuación de continuidad donde se resumen los mecanismos que rigen la dispersión y posterior deposición de la ceniza volcánica a nivel del suelo (Pasquill, 1971)

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + \frac{\partial (V_s C)}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + S$$

donde C (x,y,z,t) es la concentración de partículas,

$$K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

es el término de difusión;  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$  son los coeficientes de difusión turbulenta en las direcciones x,y,z.

$$u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y}$$

es el término de advección, debido al campo de viento horizontal de componentes u,v.

$$\frac{\partial(V_s C)}{\partial z} = V_s \frac{\partial C}{\partial z} + C \frac{\partial V_s}{\partial z}$$

es un término de deposición, donde  $V_s(z)$  es la velocidad terminal de caída de las partículas eruptadas. Un algoritmo propuesto por Armienti et al. (1988) en el rango de 0 - 30 km permite calcular a  $V_s$  como:

$$V_s(z) = V_s(z = z_{\min}) \exp(0.024z)$$

donde z es la altura de las partículas, expresada en km , y  $V_s(z = z_{\min})$  es la velocidad terminal de caída de las partículas eruptadas a nivel del mar. Finalmente, la función S(t) representa la fuente de material particulado, y describe la evolución temporal de la concentración de partículas que ingresan a la atmósfera. Esta fuente es modelada mediante un algoritmo derivado por Suzuki (1983):

$$S(x, y, z, t) = Q(t) \frac{A^2(1 - z/H) \exp A(z/H - 1)}{H(1 - (1 + A)e^{-A})} f(x, y)$$

donde Q (t) es la masa de las partículas eruptadas por unidad de tiempo; H (t) la altura máxima alcanzada por la columna; A un parámetro adimensional mayor que la unidad que determina la posición de máxima concentración de las partículas en la columna y f(x,y) una función relacionada con la distribución horizontal

de las partículas en la columna, siendo descrita por:

$$f(x, y) = \frac{I}{\rho r^2(z)} = \frac{I}{\rho(x^2 + y^2)}$$

con  $r(z) = r_0 + z/8$  [ 11 ],  $r_0$  radio del crater (Wilson, 1976).

A partir del establecimiento de condiciones de contorno e inicial, la resolución de la ecuación de continuidad, es lograda a partir de la aplicación de diferencias finitas a cada uno de los términos contenidos en la ecuación diferencial. Para tal efecto, se ha generado una grilla tridimensional, no uniforme, con pasos espaciales (horizontal y vertical) y temporal de 2.5 km, 500 m y 15 seg respectivamente (Parra et al., 2000).

#### **APLICACION MODELO DE DISPERSION: VOLCAN LONQUIMAY, ANDES DEL SUR**

El volcán Lonquimay está ubicado a 118 km al noreste de la ciudad de Temuco y a 35 km al noreste de Curacautín, siendo las localidades pobladas más cercanas Malalcahuello (10 km al sur), Lonquimay (20 km al sureste) y la Hacienda Lolco (28 km al noreste). Se accede al volcán Lonquimay desde la carretera Longitudinal Sur (Ruta 5) por la ciudad de Victoria hacia Curacautín y Malalcahuello, ruta cuyos últimos 15 km , aproximadamente están sin pavimentar. A 10 km de Malalcahuello, por el camino de tierra de Cuesta Las Raices hacia Lonquimay se bifurca otra ruta, también de tierra, que permite el acceso al volcán (Moreno y Gardeweg, 1989).

Estructuralmente, el volcán Lonquimay presenta un cono principal de 2865 m.s.n.m., cuyo cráter presenta una geometría elíptica de 700 m de diámetro en el eje mayor. Su base de unos 8.5 km de diámetro cubre una superficie de unos 60 km<sup>2</sup>. En su borde norte existen tres cráteres secundarios de 150 a 250 m de

diámetro, en el borde oeste suroeste, otro de 300 m de diámetro (González-Ferrán, 1995).

Aún cuando el cono principal del volcán Lonquimay es claramente visible desde la depresión central, y a pesar de estar rodeado por diversos poblados, existen pocos antecedentes respecto a su actividad histórica. No obstante, a juzgar por los materiales emitidos las erupciones ocurridas han sido de magnitudes moderadas a grandes, con índices de explosividad probables de 2 - 4 (Moreno y Gardeweg, 1989).

Dentro de este marco, la aplicación del modelo se sustenta en la ocurrencia de potenciales erupciones explosivas, de tipo pliniano. En la tabla 1 se muestra un resumen con los parámetros volcanológicos ingresados al modelo. En lo que a información meteorológica se refiere, los datos utilizados consideran perfiles de velocidad de viento en altura, los que provienen de radiosondeos realizados en la estación Tepual en Puerto Montt (  $41^{\circ}25'S$  -  $73^{\circ}05'W$  ) para el período 1987 - 1995 ( D.M.C., 1987-1995). Aún cuando la dirección de los vientos es dependiente de la altura, ésta ha sido fijada hacia el SE, coincidente con la tendencia predominante de dispersión de las plumas volcánicas en erupciones históricas ocurridas en los Andes Chilenos (Moreno y Gardeweg, 1989; Naranjo et al., 1993; Moreno y Fuentealba, 1994 ).

## **RESULTADOS OBTENIDOS Y CONCLUSIONES**

La figura 1 muestra la distribución areal “estacional” de las isópacas obtenidas por el modelo para un tiempo de duración de la erupción de 24 horas. Una comparación de las dos curvas permite asegurar que, de acuerdo a la variabilidad vertical de los vientos, en invierno las áreas encerradas por cada isolínea son mayores que en verano.

En la figura 2 se ilustra la carta de riesgo por deposición de ceniza a escala 1:1.000.000, para una condición estacional de invierno. Esta carta contiene la distribución espacial de las isópacas superpuestas a la topografía del terreno y algunos atributos cartográficos relevantes (ciudades, caminos, ríos, etc). Según se

advierde de la figura, la dispersión de ceniza es de amplio rango sobrepasando fácilmente el límite internacional Chile-Argentina con espesores menores a los 5 cm. Las zonas más intesamente impactadas corresponden a aquellas más próximas al volcán. Entre éstas últimas, centros poblaciones con más de 1.000 habitantes como Lonquimay y Malalcahuello son los más afectados con depósitos de ceniza mayores a los 50 cm de espesor. En reducciones poblacionales menores como el Tallón, Colonia Mitrauquen, Porvenir, Liucura y Comunidad Calluqueo la acumulación de ceniza es del orden de los 10 cm. En el tramo latitudinal comprendido entre los 38.4° y 38.7°S, variaciones comprendidas entre los 5 y 20 cm de ceniza se distribuyen a lo largo del curso principal del río Bío-Bío. Dada la baja densidad del material particulado ( $< 1.5 \text{ gr/cc}$ ), el Bío-Bío desde su nacimiento en las lagunas Galletué e Icalma, con una superficie de 12.5 y 11.7 km<sup>2</sup> respectivamente, puede transportar aguas abajo los contaminantes y ser descargados hacia sus distintos afluentes ( ríos Lonquimay, Pedregoso, Lolco, entre otros ).

## **AGRADECIMIENTOS**

J.C.Parra agradece el apoyo financiero prestado por la Dirección de Perfeccionamiento y Postgrado de la Universidad de La Frontera, a través del Programa de Reinserción de Investigadores.

## **REFERENCIAS**

**Armienti, P. ; Macedonio, G.1988.** A numerical model for simulation of tephra transport and deposition: Applications to May, 1980, Mount St. Helens Eruption. Journal Geophysical Research. 93 (B6), p. 6463 - 6467.

**Dirección Meteorológica de Chile.1987 - 1995.**Anuarios Meteorológicos. Santiago de Chile.

**González - Ferrán, O. 1995.** Volcanes de Chile. Instituto Geográfico Militar, 635 p. Santiago.

- Macedonio G.; Pareschi M.T.; Santacrone R., 1990.** A numerical simulation of the plinian fall phase of 79 A.D. eruption of Vesuvius. *J. Geophys. Res.* , 93 (B12), p. 14817-14827.
- Macedonio G.; Pareschi M.T.; Santacrone R., 1990.** Renewal of explosive activity at Vesuvius: models for the expected tephra fallout. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 40, p. 327-342.
- Moreno, H.; Gardeweg, M. 1989.** La erupción reciente en el complejo volcánico Lonquimay (diciembre 1988-), Andes del Sur. *Revista Geológica de Chile*, Vol 16, No.1, p. 93-117.
- Moreno, H.; Fuentealba, G. 1994.** The may 17 - 19 1994 Llaima volcano eruption, Southern Andes (38°42' S - 71°44' W ). *Revista Geológica de Chile*, Vol 21, No. 1, p.167-171.
- Naranjo, J.A.; Moreno, H.; Banks, N.1993.** La erupción del volcán Hudson en 1991 (46°S), Región XI, Aisén, Chile. *Servicio Nacional de Geología y Minería, Bol. No. 44*, p.1-50.
- Parra, J.C.; Figueora, D. 1998.** Modelo de advección-difusión para dispersión de ceniza volcánica: erupción volcán Hudson. *Revista Mexicana de Física* 45 (5). p. 466-471.
- Parra, J.C.; Figueroa, D.; Acevedo, P. 2000.** Model of dispersion advection-diffusion and risk zonation for ash fall: Lonquimay volcano, Southern Andes, Chile. *Geophysical Research Letters* (submitted)
- Pasquill, F. 1971.** *Atmospheric Diffusion*. Van Nostrand Reinhold. New York.
- Suzuki, T. 1983.** A theoretical model for dispersion of tephra. In *Physics and tectonics*, D. Shimozuru and I. Yokoyama (editor). Terra Scientific Publishing Company, p.95 - 111. Tokyo.
- Scott, W. 1993.** Los peligros volcánicos. Cap.2. *World Organization of Volcano Observatories*, 125 p.
- Wilson, L. 1976.** Explosive volcanic eruptions III, Plinian eruption columns. *Geophysical Journal Royal Society*, No. 45, p.543-556.



Tasa de emisión	:	4.9 - 8.4 x 10 <sup>6</sup>	( kg/s )
Duración erupción	:	24	( hr )
Distribución tamaño partículas	:	125 - 1000	( μm )
Distribución densidades partículas	:	0.80 - 1.51	( gr/cc )
Distribución velocidades partículas	:	73.3 - 114.1	( cm/s )
Coefficientes difusión horizontal	:	4000	( m <sup>2</sup> /s )
Coefficientes difusión vertical	:	45	( m <sup>2</sup> /s )
Altura columna	:	16 - 18	( km )

Tabla 1. Parámetros volcanológicos ingresados al modelo

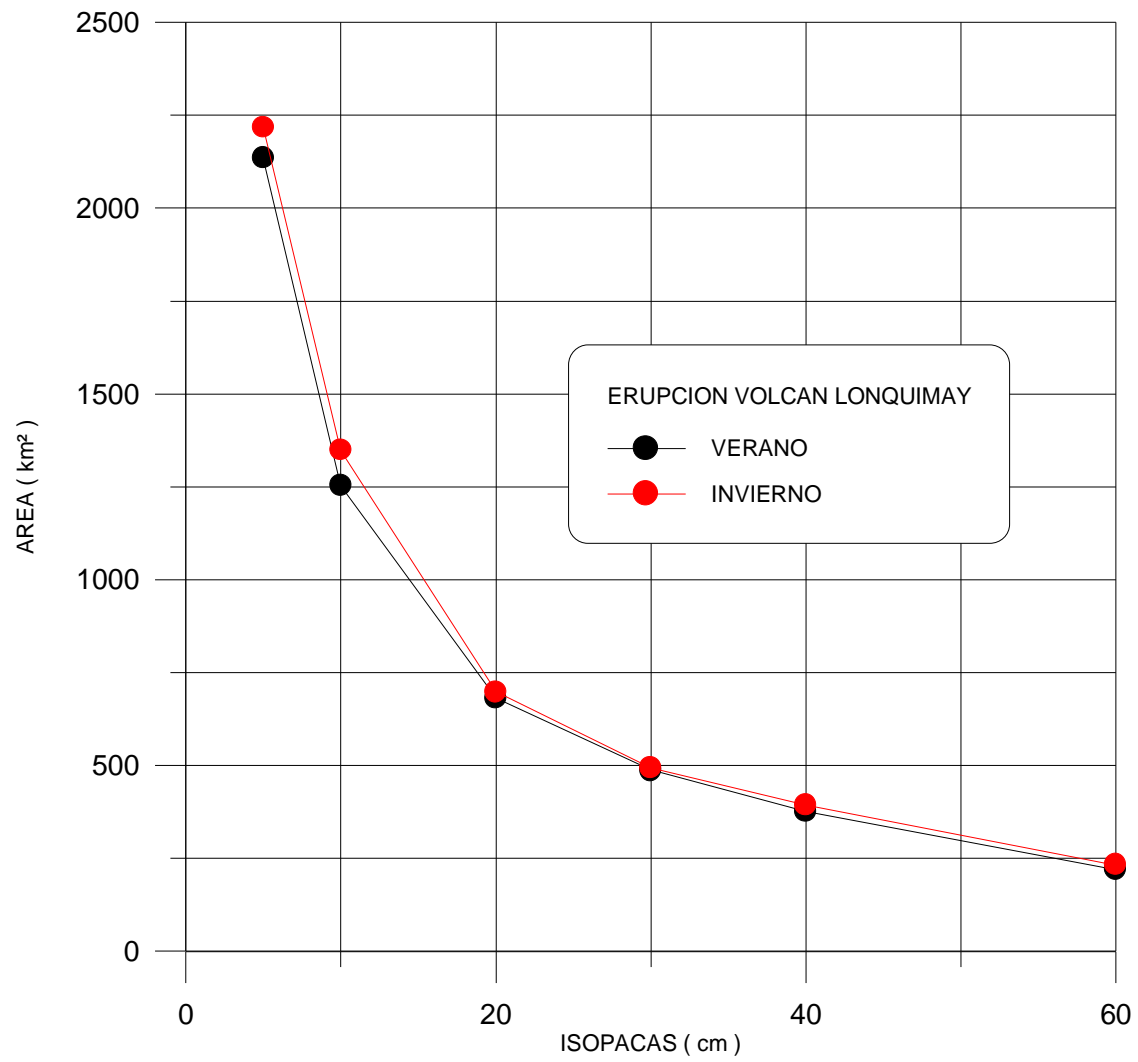


Figura 1. Distribución areal ( verano e invierno ) de isópacas.

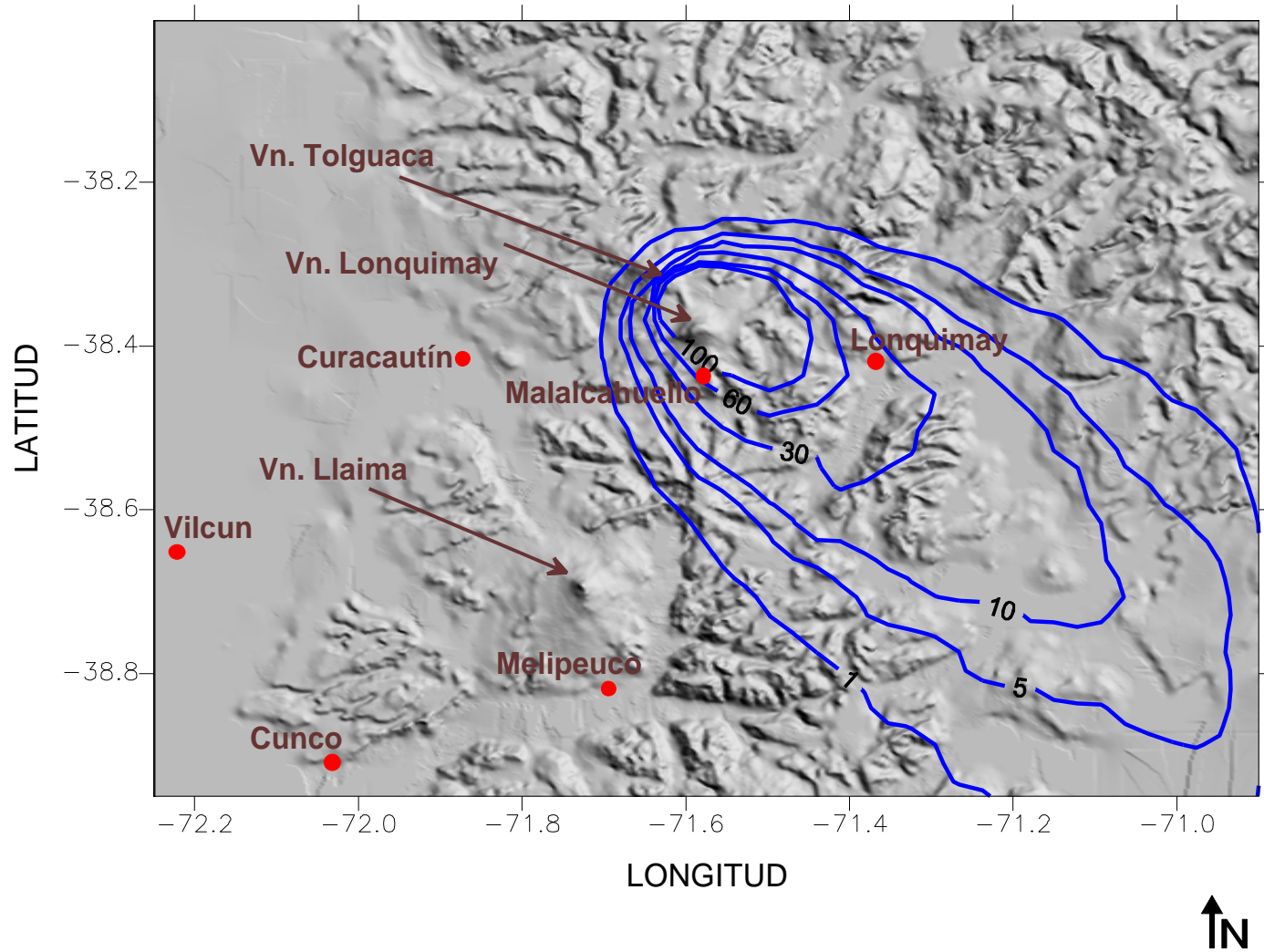


Figura 2. Cartografía de riesgo por deposición de ceniza (1:1.000.000.)