

## VOLCÁN TUNGURAHUA: TAMAÑO DE LAS ERUPCIONES EXPLOSIVAS.

**Jorge Bustillos;** *Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador*  
**Pablo Samaniego;** *Institut de Recherche pour le Développement, IRD-Francia*

### Introducción

Las erupciones volcánicas cubren un amplio rango de volúmenes, tasas de erupción, estilos eruptivos y una amplia variedad de violencia y destrucción. Consecuentemente, el tamaño de una erupción puede ser medido por diferentes maneras o vías. Las dos principales cantidades que definen la escala de una erupción son la *magnitud*, la masa de material erupcionado, y la *intensidad*, la tasa de masa erupcionada (Pyle, 2000). Estas dos cantidades pueden ser determinadas más o menos con cierta precisión para erupciones recientes o antiguas, así como efusivas y explosivas. Estudios de los tamaños de erupciones recientes y antiguas han permitido a los vulcanólogos comparar “pequeñas” erupciones frecuentes con las escasas, pero colosales erupciones de milenarios anteriores.

### Escala del tamaño de una erupción

Debido a que la masa y la tasa de erupción varían en diferentes ordenes de magnitud, una escala logarítmica es necesaria para categorizar los tamaños de las erupciones volcánicas en la misma forma de la escala de magnitud Richter usada para los sismos (Pyle, 2000). Una escala llamada Índice de Explosividad Volcánica (VEI por sus siglas en inglés) desarrolla este concepto. El VEI (Tabla 1) usa una escala integradora desde un valor de 0 a 8 para describir el volumen y la altura de la pluma de una erupción dada. El índice está basado en la información de la magnitud (volumen erupcionado) y la intensidad (altura de la columna eruptiva). Por ejemplo, una erupción de VEI=4 esta definida por tener un volumen total de 0.1-1 km<sup>3</sup> de tefra (ceniza, pómez, bombas) y una altura de columna entre 10-25 km. El índice de explosividad volcánica puede ser aplicada para erupciones recientes como antiguas, por otro lado esta escala no es usada para erupciones de lava, las cuales primeramente son no-explosivas y por lo tanto reciben una clasificación de 0/1 (Tabla 1). La supuesta asunción del índice de explosividad volcánica es que la magnitud y la intensidad de las erupciones están relacionadas de alguna manera, de modo que un solo número puede describir los diferentes aspectos del tamaño de una erupción, subsecuentes trabajos han mostrado que no existe una simple relación entre la magnitud y la intensidad de varias erupciones; por lo tanto son necesarias dos escalas diferentes para describir la magnitud e intensidad (Pyle, 2000).

VEI index	0	1	2	3	4	5	6	7	8
General description	Nonexplosive	Small	Moderate	Moderate-large	Large	Very large			
Qualitative description	Gentle	Effusive	← Explosive →		← Cataclysmic, paroxysmal →				
Maximum erupted volume of tephra (m <sup>3</sup> )	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>
Eruption cloud column height (km)	<0.1	0.1-1	1-5	3-15	10-25	>25			

Tabla 1: Índice de Explosividad Volcánica (VEI) (Adaptada de Newhall y Self, 1982 y Modificado de Pyle, 2000).

### Masa y Volumen de los Depósitos Volcánicos

Según Pyle (2000) la determinación de la masa de los depósitos volcánicos no es un asunto trivial debido a que no todos los magmas comprenden la misma composición química y en superficie los flujos de lava muestran patrones diferentes de espesor y distribución. Además los depósitos de tefra tienen densidades distintas a causa de su pobre consolidación y potencial preservación en el campo. Si todos los magmas y los depósitos piroclásticos tuvieran las mismas propiedades físicas no existiría complicaciones al realizar comparaciones entre ellos. Por tal motivo y para homogenizar estas propiedades con estudios realizados en varios de estos depósitos se ha podido determinar densidades ( $\rho$ ).

promedio: roca fundida libre de burbujas de gas entre 2300-2700 kg/m<sup>3</sup>; depósitos de tefra entre 600-800 kg/m<sup>3</sup>; depósitos de flujos de bloques y ceniza en 1600-200 kg/m<sup>3</sup>; y depósitos de flujos densos en 1800-200 kg/m<sup>3</sup>.

Por otro lado, para que los volúmenes de los depósitos volcánicos puedan ser comparados en el cálculo de magnitud e intensidad de las erupciones volcánicas es necesario trasladados a valores equivalentes de roca densa (DRE por sus siglas en inglés; Ec. 1). Esto implica una estimación del volumen denso de un magma no-vesiculado que fue erupcionado en forma de depósitos piroclásticos.

$$\text{Ec. 1} \quad DRE = \frac{\rho_{dep} \cdot V_{dep}}{\rho_{magma}}$$

$\rho_{dep}$  = Densidad del depósito  
 $V_{dep}$  = Volumen del depósito  
 $\rho_{magma}$  = Densidad del magma

### Magnitud e Intensidad de las Erupciones

La estimación de estos dos parámetros implican principalmente la masa erupcionada y la tasa de ésta al ser extruida, sin embargo hay otras medidas que puede ser consideradas para definir el tamaño de erupciones volcánicas. Según Pyle (2000), estos parámetros son el *potencial destructivo* y el *índice de destructividad*. Respectivamente definen el área dentro de la cual las estructuras humanas podrían ser completamente destruidas por causa de una erupción volcánica y el valor logarítmico del área total afectada por fenómenos como flujos de lava, lahares, flujos y oleadas piroclásticas y acumulación de caída de ceniza.

- *Calculo de la Magnitud de una erupción volcánica*

La estimación de este parámetro relaciona la masa eyectada durante las erupciones explosivas, consta de 9 ordenes de magnitud (Pyle, 2000), de cierta manera se relaciona con los valores de VEI; y está determinada por:

$$\text{Ec. 2} \quad \text{Magnitud} = \log_{10} (\text{masa erupcionada, kg}) - 7$$

- *Calculo de la Intensidad de una erupción volcánica*

Según Pyle (2000), la intensidad de una erupción explosiva, o la tasa en la cual es eyectada desde el viento, es el principal factor que controla la altura de una pluma eruptiva. Para erupciones sostenidas, la altura alcanzada por una columna eruptiva es proporcional a la raíz cuarta de la intensidad; por lo tanto la intensidad esta dada por:

$$\text{Ec. 3} \quad \text{Intensidad} = \log_{10} (\text{tasa masa erupcionada, kg/s}) + 3$$

### Parámetros considerados y Resultados obtenidos

En la aplicación de las Ec. 1, 2 y 3 para el caso del volcán Tungurahua se consideró lo siguiente: **a)** Valores de densidades de los depósitos piroclásticos (Samaniego et al., 2011): Ceniza= 700 kg/m<sup>3</sup>; Flujos de lava= 2000 kg/m<sup>3</sup>; Flujos Piroclásticos= 1800 kg/m<sup>3</sup>. **b)** Masa erupcionada, considerando los valores de volúmenes obtenidos en los eventos y fases explosivas de Agosto 2001 (Le Pennec et al., 2011); 14 de julio de 2006 (Troncoso et al., 2006); 16 de agosto de 2006 (Eychenne et al., 2011); 8 de febrero de 2008, 28 de mayo, 22 de noviembre y 04 de diciembre de 2010 (Bustillos, 2010). **c)** Duración total de los eventos explosivos según los episodios de tremor de emisión identificados en las estaciones de banda ancha del sistema de monitorización (<http://192.168.100.103/cgi-bin/drumplot-1d.cgi>).

En las Tabla 2 y Tabla 3 se resumen los parámetros y valores obtenidos en la estimación de la magnitud e intensidad de las erupciones explosivas del volcán Tungurahua

Erupción	Productos	Volumen (m3)	Volumen Total (m3)	VEI	Densidad (kg/m3)*	DRE (m3)	Total DRE	Masa (kg)	Masa Total (kg)	Magnitud
ago-01	Ash	6,0E+06		2	700	1,7E+06		4,2E+09		2,6
14-jul-06	Ash	2,0E+06			700	5,6E+05		1,4E+09		
	PFs	4,1E+06	6,1E+06	2	1800	3,0E+06	3,5E+06	7,4E+09	8,8E+09	2,9
16-ago-06	Ash	3,3E+07			700	9,2E+06		2,3E+10		
	PFs	1,3E+07	4,6E+07	3	1800	9,0E+06	1,8E+07	2,3E+10	4,6E+10	3,7
	LF	7,0E+06	5,3E+07		2000	5,6E+06	2,4E+07	1,4E+10	6,0E+10	3,8
feb-08	30Ene-10Feb	8,0E+05			700	2,2E+05		5,6E+08		
	10-11 Feb	7,0E+05	1,5E+06	2	700	2,0E+05	4,2E+05	4,9E+08	1,1E+09	2,0
28-may-10	Ash	2,1E+06	2,1E+06	2	700	6,0E+05		1,5E+09		2,2
	PFs									
22-nov-10	Ash	5,0E+05	5,0E+05	1	700	1,4E+05		3,5E+08		1,5
04-dic-10	Ash	1,7E+06	1,7E+06	2	700	4,8E+05		1,2E+09	1,2E+09	
	LF	5,0E+05			2000	4,0E+05	8,8E+05	1,0E+09	2,2E+09	2,3
	PFs									

Tabla 2. Parámetros utilizados para el cálculo de MAGNITUD de los eventos explosivos del volcán Tungurahua.

Erupción	Productos	Masa (kg)	Masa Total (kg)	Duración Total (s)	Duración Paroxismal (s)	Tasa de Erupción (kg/s)	Tasa de Erupción Pico (kg/s)	Intensidad	Intensidad Pico
ago-01	Ash	4,2E+09		1209600		3,5E+03		6,5	
14-jul-06	Ash	1,4E+09							
	PFs	7,4E+09	8,8E+09	21600		4,1E+05		8,6	
16-ago-06	Ash	2,3E+10							
	PFs	2,3E+10	4,6E+10	50400	3000	9,0E+05	1,5E+07	9,0	10,2
	LF	1,4E+10	6,0E+10				2,0E+07		10,3
feb-08	30Ene-10Feb	5,6E+08							
	10-11 Feb	4,9E+08	1,1E+09	25200		4,2E+04		7,6	
28-may-10	Ash	1,5E+09		13680		1,1E+05		8,0	
	PFs								
22-nov-10	Ash	3,5E+08		7020		5,0E+04		7,7	
04-dic-10	Ash	1,2E+09	1,2E+09	17700	1800	6,7E+04	6,6E+05	7,8	8,8
	LF	1,0E+09	2,2E+09				1,2E+06		9,1
	PFs								

Tabla 3. Parámetros utilizados para el cálculo de INTENSIDAD de los eventos explosivos del volcán Tungurahua.

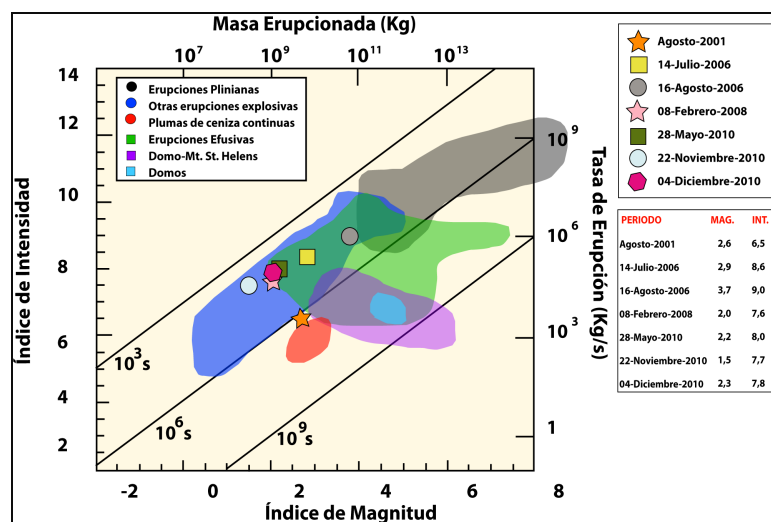


Figura 1. Relación entre los valores de MAGNITUD e INTENSIDAD de los eventos explosivos del volcán Tungurahua comparados con los campos de magnitudes e intensidad de erupciones representativas determinadas por Pyle (2000).

## Conclusiones

Realizando una comparación entre los valores de magnitud e intensidad y según lo expuesto por Pyle (2000) (Fig. 1), se puede concluir que el evento eruptivo durante el mes de agosto de 2001 se encuentra en el campo de plumas continuas de ceniza de acuerdo con lo observado durante el periodo. La erupción del 14 de julio de 2006 y 28 de mayo de 2010 dentro del campo superior y medio-superior de las erupciones explosivas, respectivamente. Los eventos explosivos del 08 de febrero de 2008, 22 de noviembre y 04 de diciembre de 2010 contemplan el rango medio de las erupciones explosivas. Por otro lado, el evento del 16 de agosto de 2006 se encuentra en el campo bajo de las erupciones plinianas (subpliniana).

Ahora bien, relacionando con los VEI calculados para estos eventos (Troncoso et al., 2006; Bustillos, 2010; Eycheenne et al., 2011; Le Pennec et al., 2011), los valores de magnitud e intensidad ratifican los volúmenes y masas erupcionadas en estos episodios, como por ejemplo el 16 de agosto, en donde la columna eruptiva alcanzó entre 16-18 km sobre el viento y eyectó entre  $47-67 \times 10^6 \text{ m}^3$  de tefra, VEI=3 (Eycheenne et al., 2011).

## Referencias

- Bustillos J. (2010). Transición del estilo eruptivo durante las erupciones andesíticas en sistema abierto: Contribución al estudio de los depósitos de ceniza del volcán Tungurahua. Tesis de Master 2, Universidad de Nice Sophia Antipolis, Francia. 48 pp.
- Eycheenne J., Le Pennec J-L., Troncoso, L., Gouhier M., Nedelec J-M. (2011). Causes and consequences of bimodal grain-size distribution of tephra fall deposited during the August 2006 Tungurahua eruption (Ecuador). Bull. Volcanol., DOI 10.1007/s00445-011-0517-s
- Le Pennec, J.-L., Ruiz G., Ramón P., Palacios E., Mothes P., Yepes H. (2011) Impact of tephra falls on Andean communities: The influences of eruption size and weather conditions during the 1999–2001 activity., J. Volcanol. Geotherm. Res. (2011), doi:10.1016/j.jvolgeores.2011.06.011.
- Newhall C., Self S. (1982). The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism. J. Geophys. Res. 87, 1231-1238.
- Pyle D. M. (2000). Sizes of Volcanic Eruption. Encyclopedia of Volcanoes. Academy Press. Part II, pp 263-269. San Diego California.
- Troncoso L., Le Pennec J-L., Jaya D., Valle A., Mothes P., Arrais S. (2006). Depósitos de caída de ceniza producidos durante las erupciones del volcán Tungurahua, 14 de julio y 16 de agosto de 2006. 6tas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Escuela Politécnica Nacional, Departamento de Geología, Quito. pp. 181-184.
- Samaniego P., Le Pennec J-L., Robin C., Hidalgo S. (2011). Petrological analysis of the pre-eruptive magmatic process prior to the 2006 explosive eruptions at Tungurahua volcano (Ecuador). J. Volcanol. Geotherm. Res. doi:10.1016/j.jvolgeores.2010.10.010.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**  
**INSTITUTO GEOFÍSICO**



**7** <sup>mas</sup> **Jornadas**  
**en Ciencias**  
**de la Tierra**  
**y I Encuentro**  
**sobre Riesgos y**  
**Desastres**

**23 - 25 de Noviembre de 2011, Quito**



**PETROAMAZONAS EP**



**INIGEMM**

Instituto Nacional de Investigación  
Geológica Minero Metalúrgica  
República del Ecuador



**OCP ECUADOR S.A.**



**EP PETROECUADOR**

Memorias de las 7 mas Jornadas en Ciencias de la Tierra  
Editado por: Dr. Daniel Andrade Varela  
Publicado por: Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador  
Diagramación: Equator Meetings S.A., [www.equatormetings.com](http://www.equatormetings.com)  
Año: 2011  
ISBN: 978- 9978-383-17-9