

Andrés G. Ruiz
Diego P. Barba
Hugo Yepes
Minard L. Hall

LAS NUBES DE CENIZA DEL VOLCÁN TUNGURAHUA ENTRE OCTUBRE 1999 Y SEPTIEMBRE 2001

Instituto Geofísico/
Departamento de Geofísica,
Escuela Politécnica Nacional,
Quito

Resumen

El seguimiento visual de la actividad eruptiva del volcán Tungurahua permitió conocer con mas exactitud la zona de influencia por caída y dispersión de piroclastos. Así la ceniza, gases y vapor son predominantemente llevados y distribuidos al Oeste. Los materiales expulsados por las explosiones, emisiones y/o fuentes de lava no siempre son detectados por los Satélites. En este caso es necesario aplicar parámetros volcanológicos. Las relaciones matemáticas del Desplazamiento Reducido (DR, Aki y Koyagani, 1981) con respecto a la altura de las columnas de ceniza (ACC) y el Índice de Explosividad Volcánica (VEI, Newhall y Self, 1982), ayudan a dar un pronóstico de la actividad. Así es posible coordinar acciones entre el Departamento de Geofísica, Dirección de Aviación Civil, Instituto de Meteorología e Hidrología, INAMHI y autoridades.

Abstract

Visual observation of the eruptive activity of Tungurahua volcano allowed us to determine with greater precision the zones that were under ashfall given that the materials expelled by the explosions, emissions and lava fountains are not always registered by satellite imagery. Usually the ash, gases and vapor emitted from the volcano are predominantly carried and distributed to the west of the volcano. In this cases where satellite imagery could not be used it was necessary to apply volcanological parameters. The mathematical relations of the Reduced Displacement (DR) calculation, (Aki y Koyanagi, 1981) with respect to the height of the columns of ash (ACC) y and the Volcano Explosivity Index (VEI) (Newhall and Self, 1982) help to give a prognosis of the explosive activity. Therefore using the combination of these relationships it has been possible to coordinate actions between the Instituto Geofísico, the DAC- Civil Aviation Agency, INAMHI – Instituto Nacional de Meteorología y Hidrología and others.

gorkiruiz@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En agosto-octubre de 1999 el volcán Tungurahua (5023 msnm) comenzó una nueva fase de actividad eruptiva que continúa hasta el presente. Este proceso se caracteriza por presentar erupciones Estrombolianas y Vulcanianas. Las erupciones son interrumpidas por cortos períodos de calma, siendo el máximo de siete meses. Las explosiones, emisiones y/o fuentes de lava lanzan a la atmósfera gases, vapor y material rocoso juvenil. De este modo los productos más grandes (bloques) caen en las cercanías del cono y/o en el viento, pero los materiales finos (ceniza volcánica), gases y vapor pueden alcanzar una mayor distribución debido a los siguientes factores: altura de la columna eruptiva, vientos dominantes de la zona, expansión térmica, volumen y energía de la erupción. (Figuras 1 y 3).

Como parte de la vigilancia volcánica se realiza un monitoreo visual. Este puede ser directo con visitas de campo o a través de sensores remotos. Las fotografías aéreas e imágenes de los satélites permiten hacer el seguimiento de los cambios morfológicos del edificio volcánico, así como las zonas de influencia por caída y dispersión de piroclastos.

Las nubes de ceniza volcánica influyen sobre el tráfico aéreo. El encuentro de aeronaves en vuelos comerciales con nubes de ceniza puede tener efectos desas-

OBSERVACIONES GENERALES

Las condiciones climáticas juegan un papel importante, pues en buena parte de estas depende el número de observaciones satelitales. La obtención de la mayoría de las imágenes es posible en días solares y en presencia de baja nubosidad meteórica (Fig.2). El gap de datos ocurre en los períodos de baja actividad volcánica e.g. (noviembre 2000-junio 2001), la falta de cobertura de satélites sobre la región, y finalmente por condiciones atmosféricas adversas. (Yepes H., Ruiz A., Viracucha D., 2001)

En la tabla 1 se muestra el resumen mensual de las nubes de ceniza de VAAC (Volcanic Ash Advisor Center), que en algunos casos fueron confirmadas por vuelos comerciales en la ruta Quito-Cuenca-Guayaquil y por el OVT-IG (Observatorio del Volcán Tungurahua) asentado en el valle del Río Patate.

ANÁLISIS DE DATOS

El volcán Tungurahua ubicado en las estribaciones occidentales de la Cordillera Real soporta dos estaciones climáticas regionales: El período lluvioso causado

por el invierno de la cuenca oriental, va desde el fin de febrero a finales de septiembre, mientras que el verano corresponde a los meses de octubre-febrero.

Por otra parte las imágenes de la VAAC muestran que los vientos dominantes transportan y dispersan los materiales volcánicos finos, en su mayoría hacia el oeste. Por otra parte, es importante considerar la altura máxima que alcanzan las columnas eruptivas, ya que la dirección de los vientos cambia a diferente altura. Considerando esto se planteó la superposición de todas las imágenes de nubes de ceniza en y sobre los 25000 pies, así como las imágenes bajo los 25000 pies, que se muestran en las figuras 1 y 3 respectivamente. Estos gráficos son un resumen de la dispersión de las nubes entre octubre 1999-noviembre 2000 y junio 2001-septiembre 2001 respectivamente.

Como referencia del volumen emitido, solamente al considerar el segundo pico de mayor actividad, y específicamente para el mes de Agosto del 2001, el Tungurahua lanzó un total de 10^7 m³ de ceniza más balísticos (Le Pennec et al, 2002).

Por otra parte, para cuantificar la energía de las explosiones se usa el Desplazamiento Reducido (**DR**, Aki y

Tabla 1. Observaciones generales en el periodo octubre 1999-septiembre 2001.

Mes / año	No. Imágenes Satélite VAAC	Mayor a 25000 (pies)	Menor a 25000 (pies)	Rumbo dominante VAAC	V máx., (nudos) Rumbo VAAC	V mín. (nudos) Rumbo VAAC	Flujo SO ₂ ton / día máximo mensual IG
Oct. -99	6	3	3	W	20 SW	10 SW	10280
Nov. -99	62	58	4	WNE y ENE	8 ENE	45 WNW	10441
Dic. -99	30	14	16	SW	35 NNW	5 SW	5935
Ene. -00	35	30	5	NW-SW	25 W	5 W	11905
Feb. -00	26	7	19	NW-SW	20 WSW	10 SSW	—
Mar. -00	12	7	5	W-NW	25 W-SW	5 N	986
Abr. -00	15	7	8	NW-W	25 NW	10 W-SW	5826
May. -00	12	9	3	W	25 W-SW	10 W-NW	4343
Jun. -00	13	10	3	W	30 W	10 W	3161
Jul. -00	6	4	2	W-SW	25 W-NW	10 W-SW y NE	1564
Agto. -00	6	4	2	W	25 W	6 NW	1780
Sep. -00	4	3	1	W	25 W	5 NW	1050
Oct. -00	6	5	1	W	20 W	15 N y E	600
Nov. -00	1	0	1	ESE	15 SE	10 E	1055
Jun.-01	1	0	1	ESE	50 ESE	—	677
Jul.-01	4	2	2	W	20 SW	10 ESE	—
Agto.-01	72	20	52	W-SW-NW	30 W-E y SW	10 WSW-NW	3584
Sep.-01	5	3	2	W-SW	40 WSW	5 SW y NW	—

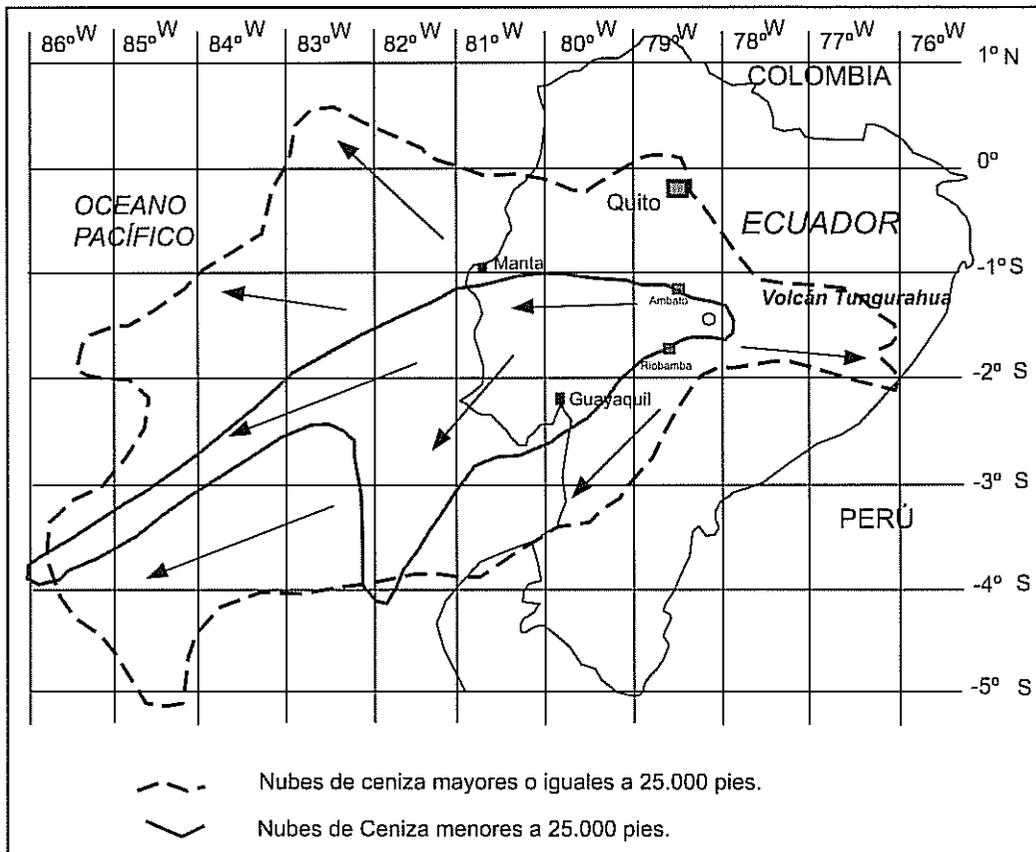


Figura 3. Dispersión de las cenizas entre Junio y Septiembre de 2001. Modificado de: <http://www.ssd.noaa/VAAC/ARCHIVE/gifs/tung>.

Koyagani, 1981), que en el caso del volcán Tungurahua, se calcula usando las ondas de superficie en la estación sísmica Patacocha. La ecuación usada es la siguiente:

$$DR = \frac{ATr}{4\pi\sqrt{2}M}$$

Donde:

A = Amplitud en centímetros pico a pico

r = Distancia de la fuente a la estación sísmica en cm.

M = Magnificación del sísmógrafo a la frecuencia del tremor.

T = Periodo de la onda en segundos

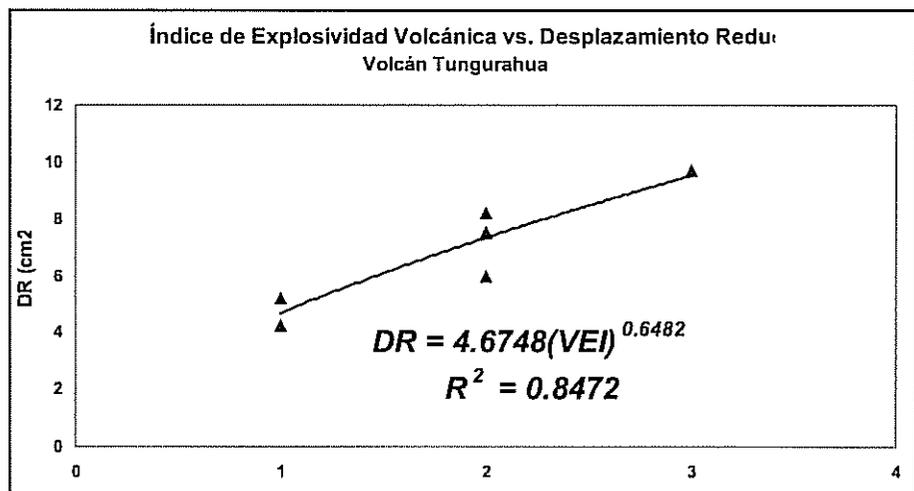
2π = constante sinusoidal

2√2 = (rms) corrección de amplitud.

Figura 4. Relación matemática entre el VEI y el DR, la cual se obtiene al asociar el VEI en función de las alturas de las columnas de ceniza y el DR promedio para cada rango de altura.

VEI

Para el caso del volcán Tungurahua las ecuaciones de las figuras 4 y 5 modelan el comportamiento de las ACC en función del DR, y también el VEI en función del DR. Si ocurren explosiones y/o emisiones en condiciones en las cuales no hay visibilidad y adicionalmente están acompañadas por un gap de información satelital, las ecuaciones de las figuras 4 y 5, ayudan a pronosticar las alturas de las columnas de ceniza con el respectivo VEI, permitiendo coordinar acciones entre el Instituto Geofísico (IG), INAMHI y DAC.



	VEI	1	2	3	4
Descripción general Explosiones	No explosiva	Pequeña	Moderada	Media	Grande
Volumen de cenizas	<10 ⁴	<10 ⁶	<10 ⁷	<10 ⁸	<10 ⁹
Altura Columna (km) Sobre el Cráter	<0.1	0.1 - 1	1 - 5	3 - 15	10 - 25
Sobre el Nivel del mar					
Descripción Cualitativa	----	Efusiva	Explosiva		Severa
Tipo de Erupción		Hawaiana	Estromboliana		Vulcaniana
Inyección troposférica	mínima	Pequeña	media	grande...
Inyección estratosférica	No	No	No	Posible	Siempre

Tabla. 2. VEI, modificado de Newhall y Self,1982.

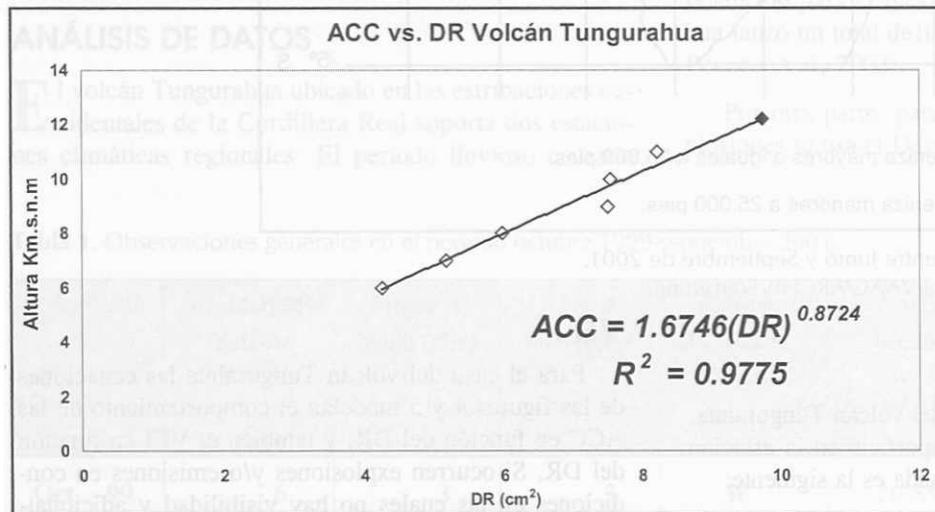


Figura 5. Relación ACC vs. DR. Esta relación proviene de seleccionar y concatenar los rangos de las alturas de las nubes de ceniza con el DR promedio. Tabla 3.

Rango de altura s.n.m. en km	DR medio (cm ²) ACC	VEI (Newhall, 1982)
< a 6	4.25933333	1
6 a 7	5.194736842	1
7 a 8	5.9965	2
8 a 9	7.497857143	2
9 a 10	7.54122449	2
10 a 11	8.21666666	2
> 11	9.732857143	3*

Tabla 3. VEI = 3* explosiones sin flujos piroclásticos.

La velocidad y el rumbo del viento influyen drásticamente en la distribución de las cenizas. Si aumenta la velocidad, las partículas y gases son esparcidos en áreas más grandes en corto tiempo. Dado que existe mayor energía en los vientos es posible que estos transporten partículas de mayor tamaño. Las velocidades máximas

reportadas son 45 nudos (15-nov.-1999) - 40 nudos (11-sep.-2001) con rumbo WNW y WSW respectivamente y la mas baja registrada es 5 nudos (18-jul.-2000) al E-NE. Las nubes mas rápidas se encuentran entre 220 y 310 grados de azimut (figura 6). La anisotropía de las velocidades de las corrientes de aire no permite establecer un modelo claro de velocidad en función de la altura.

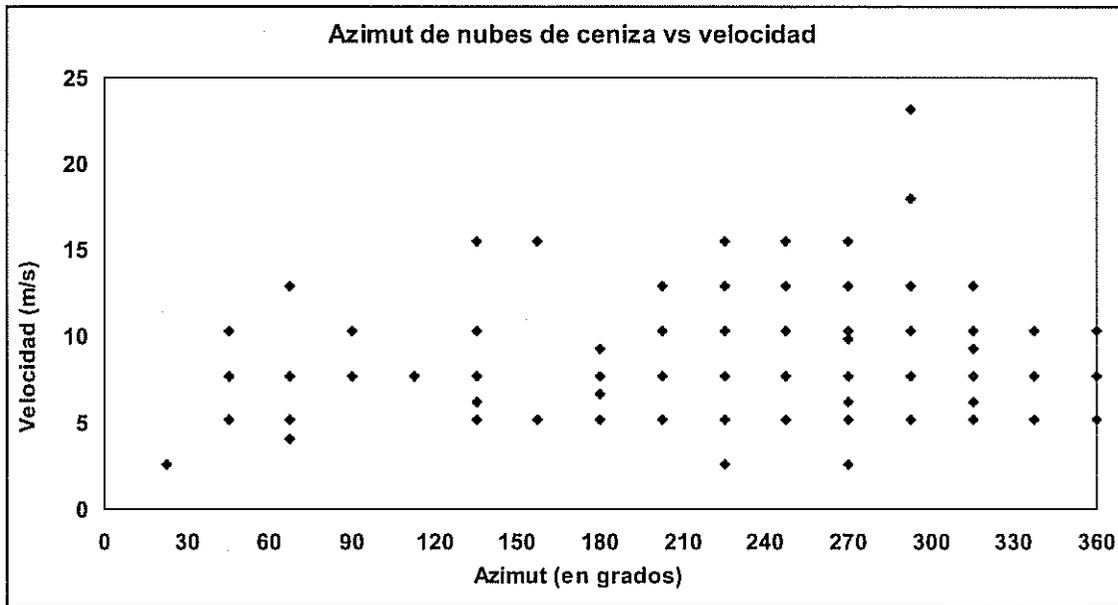


Figura 6. Tendencia general del rumbo de los vientos. La mayoría de puntos caen en el rango de 220 a 310 grados.

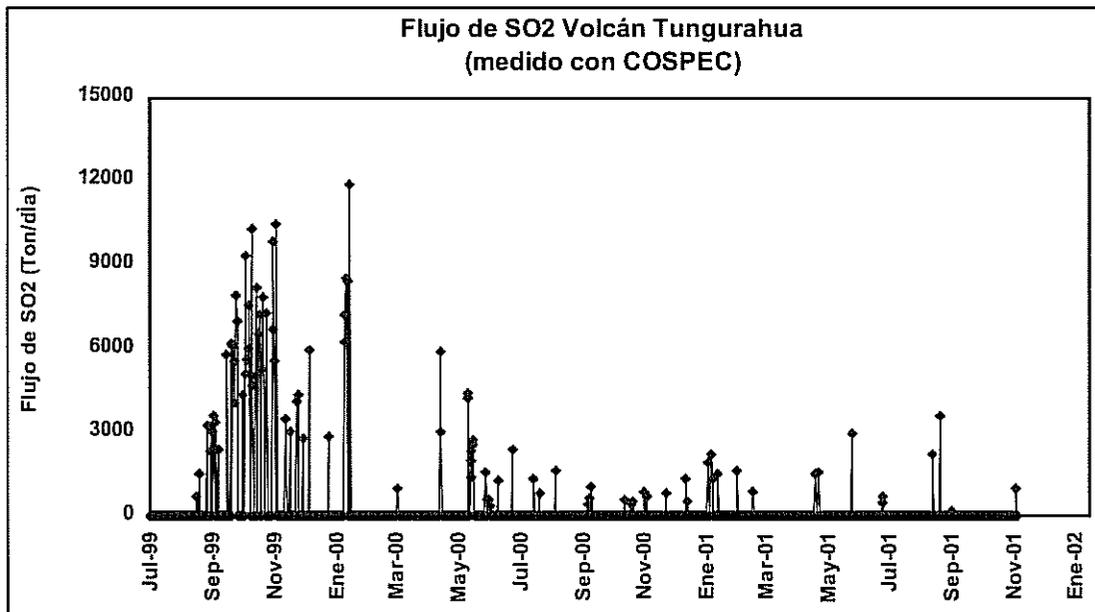


Figura 7. Flujo de SO₂ en función del tiempo. Modalidad COSPEC estático.

Las nubes de ceniza más altas corresponden obviamente a los DR's más grandes, considerando que estas fueron poco perturbadas por los vientos de la región. Pocas veces con DR moderados a altos, las columnas no subieron mucho y fueron llevadas rápidamente al W o SW. En otros casos las columnas alcanzaron alturas de hasta 10 km. sobre el volcán con DR's moderados a bajos. Los materiales subieron verticalmente, confirmando que los vientos no son suficientemente fuertes para desplazar y enfriar a la columna, permitiendo el ascenso rápido de esta.

Los flujos de SO₂ medidos con COSPEC indican incremento del caudal en octubre 1999 a enero 2000 (figura 7). Para los meses siguientes se ve que los flujos de SO₂ decrecen hasta 500 ton/día, coincidiendo con la tendencia general de disminución de la actividad volcánica.

En el segundo pico de actividad los flujos de SO₂ se mantienen en niveles intermedios y el máximo mensual es: 3 584 ton/día en agosto-2001. La mayoría de las mediciones de SO₂ se realizaron en chorros de rumbo W-NW. Estas medidas también dependen de las condiciones climáticas de la zona.

CONCLUSIONES

Las características físicas de las explosiones y/o emisiones se pueden estimar con las ecuaciones de las figuras 4 y 5. De ninguna manera son absolutas, más bien representan tendencias generales hacia la obtención de un pronóstico.

Las nubes de ceniza generadas en los dos picos de mayor actividad tienen dos características principales: a)

mayor distribución hacia el Oeste, y b) el número de explosiones y emisiones reportadas por el IG es mucho mayor al número de imágenes obtenidas de la VAAC. Esta última información es controlada por el grado de actividad volcánica, el clima y la disponibilidad de satélites sobre la región.

Las corrientes de aire rápidas perturban el ascenso de las columnas de ceniza, enfriándolas y desplazándolas lateralmente. Todas las nubes de ceniza se ubicaron bajo la Tropopausa, así la dispersión de las cenizas es regional y no global.



REFERENCIAS

- Aki, K & Koyagani, R.Y. 1981. Deep volcanic tremor and magma ascent mechanism under Kilauea, Hawaii: Jour, Geophys. Res., v. 86, p.7095-7110.
- Departamento de Geofísica, Escuela Politécnica Nacional, 2000-2001. Síntesis Semanal del Estado del Volcán Tungurahua. (Observatorio del Volcán Tungurahua), informes No. 1 a 84. (Inéditos).
- Dunn M. & Wade D., 1991. Influence of Volcanic Ash Clouds on Gas Turbine Engines. VOLCANIC ASH AVIATION SAFETY: Proceedings of the First International Symposium on Volcanic and Aviation Safety. U.S. GEOLOGICAL SURVEY BULLETIN 2047 p. 107-117.
- Labadie J.R. IRT Corporation, 1983. Mitigation of Volcanic Dust Effects, Teal Granite, Final Report, WCA (WEHRMAN CONSULTANTS ASSOCIATED, INCORPORATED). Miscellaneous Publications about Responses to Volcanic Eruptions.
- Le Pennec J.L., Ruiz A.G., Mothes P. y Hall M.L., 2002. Estimación del volumen del depósito de ceniza de la erupción de agosto 2001 del Volcán Tungurahua. En esta publicación.
- McNutt S. R., 1991. Volcanic Tremor Amplitude Correlated with Eruption Explosivity and its Potential Use in Determining Ash Hazards for Aviation. VOLCANIC ASH AVIATION SAFETY: Proceedings of the First International Symposium on Volcanic and Aviation Safety. U.S. GEOLOGICAL SURVEY BULLETIN 2047, p. 377-385.
- Newhall, C.G. & Self, S., 1982. The Volcano Explosivity Index (VEI): An estimate of explosive magnitude for historical volcanism: Journal of Geophysical Research, v. 87, pp. 1231-1238.
- Self S. & Walker G., 1991. Ash Clouds: Characteristics of Eruption Columns. VOLCANIC ASH AVIATION SAFETY: Proceedings of the First International Symposium on Volcanic and Aviation Safety. U.S. GEOLOGICAL SURVEY BULLETIN 2047, pp. 65-79
- Volcanic Hazards and Aviation Safety. Lessons of the Past Decade, 1992. AVIATION SAFETY JOURNAL, The Volcano Threat to Aviation Safety. F. A.A. Vol. 2, No. 3, p. 9-17.
- Ruiz A.G., 2001. Dispersión de cenizas del volcán Tungurahua entre octubre 1999- noviembre 2000. Cuartas Jornadas en Ciencias de la Tierra. Quito, EPN. Abril, 2001.
- Yepes A., Ruiz A.G., Viracucha D., 2001. Volcanic Activity in Ecuador. Two erupting Volcanoes within a few kilometers from important cities. Volcanic Clouds workshop Michigan Tech., Houghton. Instituto Geofísico-Quito, Ecuador. August 2001.
- <http://www.ssd.noaa/VAAC/ARCHIVE/gifs/tung>