

Artículo original

Simulación de la dispersión de cenizas volcánicas mediante los software ambientales Screen View y Disper 5.2

Dispersion simulation of volcanic ashes using the environmental software Screen View and Disper 5.2

J. Ramiro Velasteguí Sánchez
rvelasteguis@yahoo.com

Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES-Ambato). Ecuador

RESUMEN

La investigación trató sobre la utilización de los software ambientales Screen View y Disper 5.2 con el objetivo de simular la dispersión de las cenizas emitidas en una de las actividades eruptivas del volcán Tungurahua en el año 2011. Se emplearon los datos registrados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional; por el Centro de Investigación de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en el aeropuerto de Chachoán, Ambato; por el Volcanic Ash Advisory Center y; por la estación de monitoreo de material particulado MP10 de la Municipalidad de Ambato. Los resultados obtenidos permitieron establecer que los softwares empleados constituyen una herramienta de interés con aproximaciones a la situación real que deben ser consideradas de manera positiva y que con las modificaciones necesarias pueden contribuir al conocimiento de la dispersión de emisiones de los volcanes en actividad, temática de suma actualidad en el Ecuador por los procesos eruptivos de los volcanes Cotopaxi y Tungurahua.

PALABRAS CLAVE: Volcán Tungurahua, Emisiones Volcánicas, Ceniza, Simulación, Dispersión, Softwares Ambientales.

ABSTRACT

The research work was about the usage of the environmental software Screen View and Disper 5.2 in order to simulate the dispersion of the ashes from the Tungurahua volcano in 2011. The registered data taken into account were from the EPN Geophysical Institute; FAE Ambato; Volcanic Ash Advisory Center and the particulate material station from Ambato Borough Council. The results obtained allowed to establish that the software used were an interesting tool for real situations which must be considered positively and with necessary modifications could contribute to the knowledge on the emission dispersion from active volcanoes. This subject is very important nowadays in Ecuador because the present eruptive process of the Cotopaxi and Tungurahua volcanoes.

KEYWORDS: Tungurahua Volcano, Volcanic Emissions, Ash, Simulation, Dispersion, Environmental Software.

INTRODUCCIÓN

La existencia de por lo menos siete volcanes activos en la región interandina del Ecuador, la permanente aunque intermitente actividad eruptiva del volcán Tungurahua desde 1999 y la actual reactivación del volcán Cotopaxi en el 2015, delinean una situación preocupante para el país.

Recibido: Diciembre 2015. **Aceptado:** Febrero 2016
Universidad Regional Autónoma de los Andes UNIANDES

En el año 2010, el autor del presente artículo técnico, organizó, promovió y estableció los nexos interinstitucionales necesarios para la realización del Proyecto de Investigación UTA denominado “Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato” (Velasteguí et al., 2010-2012). Dentro del proyecto se ejecutó una investigación de Tesis de Grado denominada: “Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View” (Bustillos, 2011), en la cual se ejecutó una simulación de la dispersión de contaminantes emitidos por la actividad del volcán Tungurahua en su evento eruptivo entre Abril y Mayo 2011, mediante la utilización de los softwares ambientales mencionados los mismos que fueron proporcionados por la empresa Plasticaucho Industrial S.A.

Las emisiones del volcán Tungurahua en su calidad de fuente fija natural se estudiaron durante el importante evento eruptivo del coloso en la segunda quincena de Abril e inicios de Mayo 2011 para lo cual se emplearon los softwares ambientales Screen View y Disper 5.2, los datos registrados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN, 2011), por el Centro de Investigación de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en el aeropuerto de Chachoán, Ambato (FAE, 2011), por el Volcanic Ash Advisory Center (VAAC, 2011) y por la estación de monitoreo de material particulado MP10 de la Municipalidad de Ambato (IMA, 2011). Para simular la dispersión de las emisiones del volcán se realizaron ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza con el fin de acercarse mejor a la dinámica del evento eruptivo y a la aplicación de los software ambientales mencionados.

Los resultados mostraron una fluctuación en los niveles de emisiones en razón de la intermitencia de los flujos de ceniza y su dispersión por las corrientes de aire. Particular atención merecieron las elevadas emisiones de dióxido de azufre (SO₂) lo cual representaba el riesgo de producción de lluvias ácidas.

La problemática en el Ecuador al 2015 relacionada a la actividad volcánica en la región interandina en general y a la reactivación del volcán Cotopaxi en particular, reviste especial importancia y todo aporte posible es necesario a fin de incrementar el conocimiento al respecto.

El presente artículo técnico, que toma como base información relevante contenida en la Tesis de Grado de Bustillos (2011), Velasteguí et al. (2010-2012) y Velasteguí (2015), está dirigido a la revista científica EPISTEME de la Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES), con el propósito de proponer a la comunidad científica una herramienta más a ser considerada para ser utilizada en el estudio de la actividad volcánica en el Ecuador y subsecuentemente su implicación en la calidad del aire y la salud de los habitantes.

DESARROLLO

Métodos

La investigación fue cuali-cuantitativa, exploratoria, descriptiva y de simulación computarizada. Las emisiones del volcán Tungurahua en su calidad de fuente fija

natural, fueron estudiadas durante el evento eruptivo del coloso en la segunda quincena de Abril e inicios de Mayo 2011.

Se utilizaron los datos registrados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional (EPN, 2011), por el Centro de Investigación de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en el aeropuerto de Chachoán, Ambato (FAE, 2011), por el Volcanic Ash Advisory Center (VAAC, 2011) y por la estación de monitoreo de material particulado MP10 de la Municipalidad de Ambato (IMA, 2011).

La simulación de la dispersión de las emisiones del volcán se ejecutó mediante la utilización de los softwares ambientales Screen View y Disper 5.2.

a) Screen View: Es un software que permite obtener la concentración de contaminantes a nivel del suelo y la distancia a la concentración máxima. Es un software que usa el modelo gaussiano de dispersión, requiere factores de la fuente de emisión y datos meteorológicos para evaluar la concentración y el alcance de contaminantes emitidos por una fuente continua. Se puede usar Screen View para analizar los peores escenarios de concentraciones de aire contaminado (SSG, 2015).

b) Disper 5.2: Es un software que permite evaluar la dispersión de una gran cantidad de contaminantes atmosféricos en el aire (COx, NOx, Cl, Pb, partículas en suspensión, etc). El Disper 5.2 es un modelo detallado con capacidad para incluir diferentes fuentes fijas y con capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para períodos de tiempo mayores a una hora, e inclusive, de predecir la concentración anual de un determinado contaminante (Canarina Software Ambiental, 2001).

Se requiere recordar que un "Modelo de dispersión" de acuerdo al Ministerio del Ambiente, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), es la técnica de investigación que utiliza una representación matemática y física de un sistema, en este caso el sistema consiste de una o varias fuentes fijas de emisión, de las condiciones meteorológicas y topográficas de la región y que se utiliza para predecir la(s) concentración(es) resultante(s) de uno o más contaminantes emitidos desde ya sea una fuente fija específica o desde un grupo de dichas fuentes (MAE, 2011).

En la investigación se estableció los valores de la concentración por la dispersión y alcance de los contaminantes mediante simulación con Screen View y se profundizó el análisis de la simulación mediante el uso de Disper 5.2. En base a ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza se determinó la existencia de la relación con las emisiones del volcán Tungurahua y los datos de material particulado MP10.

Los niveles de emisión de ceniza volcánica se determinaron en miligramos por metro cúbico (mg/m³) y en microgramos por metro cúbico (ug/m³). Se reportaron la velocidad y dirección de los vientos y su representación gráfica en forma de windrose (Originlab, 2011); imágenes satelitales reportadas por el Volcanic Ash Advisory Center (VAAC, 2011); imágenes obtenidas mediante la simulación con el software Disper 5.2 y reporte de las concentraciones a nivel del suelo expresadas en MP10 con Screen View y; la simulación de la dispersión regional de las emisiones del volcán.

Resultados y discusión

Registro de las condiciones meteorológicas

En la ciudad de Ambato, la velocidad del viento, entre Noviembre 2010 y Abril 2011, inclusive, tuvo un promedio de 1.3 m/s, mientras que en Mayo y Junio 2011, inclusive, el promedio fue de 3.9 m/s. Entre Noviembre 2010 y Junio 2011, la dirección prevalente de los vientos fue hacia el Sur-Oeste. Se presentaron ilustraciones gráficas de la dirección y velocidad del viento en los meses de Abril y Mayo 2011, en plena erupción del volcán. La Nubosidad entre Noviembre 2010 y Junio 2011 fue de 6 Octas/mes. Las Temperaturas del aire en promedio entre 1987 y 2009, fueron de 14.8°C/mes, con temperaturas mínimas promedio de 14.7°C entre Julio y Agosto y temperaturas máximas promedio de 17.3°C por Noviembre y Diciembre (Anexos 1, 2, 3, 4).

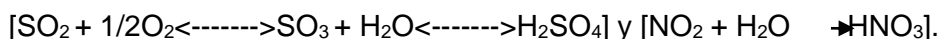
Registros de emisiones del volcán Tungurahua

En cuanto a las emisiones del volcán Tungurahua en su calidad de fuente fija natural, las mismas se estudiaron durante el evento eruptivo del coloso en la segunda quincena de Abril e inicios de Mayo 2011 (EPN, 2011; IMA, 2011).

Los datos denotaron una alta fluctuación en los niveles de emisiones dentro de un rango amplio, de un mínimo de 15.86 mg/m³ hasta un máximo de 84.15 en razón de la intermitencia de las emisiones de ceniza y su dispersión por las corrientes de aire. Las mayores cantidades de ceniza se registraron entre el 28 de Abril y el 2 de Mayo 2011. De los análisis reportados como valores con influencia de la actividad del volcán Tungurahua, al comparar con los reportes del Instituto Geofísico, se identificó una relación para cinco resultados de material particulado en las fechas 26/4/2011, 27/4/2011, 28/4/2011, 1/5/2011 y 2/5/2011 respectivamente, los mismos que correspondieron a actividad volcánica importante (Anexo 5).

Las emisiones de Dióxido de azufre (SO₂) estuvieron en un rango entre 116 y 5332 ton/día, determinadas por el Instituto Geofísico de la EPN. La cantidad total en ese lapso fue de 34278 ton., con un promedio de 1371 ton/día. En la máxima intensidad del evento eruptivo del volcán, entre el 26 de Abril y el 5 de Mayo 2011, la cantidad total en esos 7 días fue de 25185 ton., con un promedio de 3598 ton/día (Anexo 6).

De acuerdo a Montalvo y Escobar (2011), se debe recordar que la lluvia ácida de origen volcánico es la lluvia que posee cantidades intolerables de Ácido Sulfúrico (H₂SO₄) y Ácido Nítrico (HNO₃) disueltos en sus gotas de agua (vapor de agua, nubes, niebla). Ambos ácidos se forman al reaccionar el trióxido de azufre (SO₃) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) con el agua (H₂O). De manera que la acidez del agua lluvia alcanza significativamente niveles que oscilan entre 3.5 a 5.5 con respecto al pH normal del agua que es aproximadamente 6.5. Las respectivas reacciones son:



Los ácidos mencionados arrastrados por lluvias producen las denominadas "lluvias ácidas" que provocan daños en la salud de los seres vivos (humanos, animales y plantas).

Resultados de la simulación de la dispersión de emisiones utilizando los softwares Screen View y Disper 5.2

En el Anexo 7, los gráficos del evento eruptivo del 27 de Abril 2011, indican (a) la imagen satelital reportada y (b) la imagen obtenida de la dispersión mediante simulación con Disper 5.2. El penacho fue evaluado como una dispersión de área, con los datos reportados por el Instituto Geofísico en el resumen mensual de la actividad volcánica en el mes de Abril del 2011. Al no ser Disper 5.2 un modelo diseñado para este tipo de análisis se tomó en consideración únicamente el análisis del alcance y de la trayectoria que de una manera cualitativa se asemejó a la imagen satelital. Se reportó un alcance de 177 Km en dirección Noroeste.

En el Anexo 8, los gráficos del evento eruptivo del 28 de Abril 2011 indican (a) la imagen satelital reportada, (b) la imagen obtenida de la dispersión mediante simulación con Disper 5.2 y (c) la dispersión a nivel regional. El penacho fue evaluado como una dispersión de área, con los datos reportados por EPN (2011) en el resumen mensual de la actividad del volcán Tungurahua en el mes de Abril del 2011. Se reportó un alcance de 31 Km en dirección Noroeste así como también en dirección Suroeste.

Puesto que Disper 5.2 no está diseñado para simulaciones de dispersión de emisiones volcánicas, para establecer un factor de corrección del modelo se deben realizar futuros estudios para acoplar el modelo a la emisión de material particulado MP10.

CONCLUSIONES

Registros meteorológicos

En velocidad del viento, entre Noviembre 2010 y Abril 2011, inclusive, el promedio fue de 1.3 m/s, mientras que en Mayo y Junio 2011, inclusive, el promedio fue de 3.9 m/s. Entre Noviembre 2010 y Junio 2011, la dirección de los vientos fue predominantemente desde el este hacia el suroeste. La nubosidad entre Noviembre 2010 y Junio 2011 fue de 6 octas/mes. Las temperaturas del aire en promedio entre 1987 y 2009, fueron de 14.8°C/mes, con temperaturas mínimas promedio de 14.7°C entre Julio y Agosto y temperaturas máximas promedio de 17.3°C por Noviembre y Diciembre. Las temperaturas mínimas promedio fueron de 3.2°C entre Julio y Septiembre mientras que las máximas fueron de 26.4°C por Noviembre y Diciembre.

Emisiones del volcán Tungurahua

Las mayores cantidades de ceniza se registraron entre el 28 de Abril y el 2 de Mayo 2011. Los datos denotaron una fluctuación en los niveles de emisiones dentro de un amplio rango, de un mínimo de 15.86 hasta un máximo de 84.15 mg/m³ en razón de la intermitencia de las emisiones de ceniza y su dispersión por las corrientes de aire.

En cuanto a las emisiones de dióxido de azufre (SO₂) entre el 3 de Marzo y el 25 de Mayo 2011, la cantidad total fue de 34278 ton. y el promedio de 1371 ton/día. En la máxima intensidad del último evento eruptivo del volcán, entre el 26 de Abril y el 5 de Mayo 2011, la cantidad total en esos 7 días fue de 25185 ton., con un promedio de 3598 ton/día.

Para futuros estudios se debería considerar este factor puesto que generaría el riesgo de ocurrencia de "lluvias ácidas" a causa de la formación de los ácidos sulfúrico (SO₄H₂) y nítrico (HNO₃).

Simulación de la dispersión de emisiones del volcán Tungurahua

Para simular la erupción del volcán Tungurahua en abril 2011, se realizaron ejercicios comparativos con imágenes satelitales de los flujos de ceniza, con el fin de acercarse mejor a la dinámica de la erupción. Puesto que el software Disper 5.2 no es un modelo concebido para el estudio de una columna volcánica con sus procesos asociados, los ejercicios son simplificaciones para rescatar el efecto regional de las emisiones de ceniza a la atmósfera. Para establecer factores de corrección del modelo se debe realizar un estudio más profundo para acondicionar al mismo para simular la dispersión de emisiones volcánicas.

Los gráficos e imágenes consignados en Anexos son aproximaciones a la situación real que deben ser considerados de manera positiva y que servirían de base para estudios avanzados respecto a los modelos empleados. Los software Screen View y Disper 5.2 son en definitiva herramientas de interés que con las modificaciones matemáticas y físicas necesarias pueden contribuir al conocimiento de la dispersión de emisiones de los volcanes en actividad.

REFERENCIAS

- Bustillos, A. (2011) Simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Disper 5.2 y Screen View. Tesis Ing. Bioq., Carrera de Ingeniería Bioquímica, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Repositorio de la Carrera de Ingeniería Bioquímica: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/1864>
(Esta investigación formó parte del Proyecto de Investigación UTA (2010-2012). "Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato". 210p. + Anexos).
- Canarina Software Ambiental. (2001) Disper Versión 5.2. Aplicación informática para la simulación por ordenador de la contaminación atmosférica. La Orotava, Esp. 100p.
- Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE). (2011) Centro de Investigación de la FAE. Departamento de Meteorología Aeronáutica. Aeropuerto de Chachoán, Ambato, Ec. v/p.
- Environmental Protection Agency (EPA). (1995) Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources. Revised, EPA-454/R-92-019. U.S. Environmental Protection Agency. <http://epa.gov>
- Escuela Politécnica Nacional (EPN). (2011). Instituto Geofísico. Observatorio Volcánico Tungurahua (OVT). Recuperado de:
<http://www.igepn.edu.ec/index.php/volcan-tungurahua/vigilancia.html>
- Municipalidad de Ambato (IMA). (2011) Estación de monitoreo de material particulado MP10. Dirección Municipal de Higiene y Ambiente (DMH). Ambato, Ec. v/p.
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2011). Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión. Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

- (TULAS), Libro VI, Anexo 3. Ministerio del Ambiente. 371-401pp. Recuperado de: www.recaiecuador.com/Biblioteca%20Ambi
- Montalvo, F. y Escobar, D. (2011) Lluvia ácida de origen volcánico. Servicio Nacional de Estudios Territoriales y Universidad de El Salvador. Recuperado de: http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/lluvia_acida.pdf
- National Association of Clean Air Agencies (NACAA). (2009) Measuring air pollution. Recuperado de: www.cleanairworld.org
- Originlab. (2011) Windrose graphs. Recuperado de: <http://www.originlab.com/doc/Tutorials/Windrose-Graph>
- Scientific Software Group (SSG). (2015) Screen View. Recuperado de: http://www.scisoftware.com/environmental_software/detailed_description.php?products_id=106
- Velasteguí, R. y Técnicos Ambientales de la Municipalidad de Ambato (IMA). (2010-2012) Diagnóstico de las emisiones por fuentes fijas y diseño de un programa de monitoreo para el control de la calidad del aire en la ciudad de Ambato. Proyecto de Investigación Universidad Técnica de Ambato, con la colaboración de la Municipalidad de Ambato. Informe Técnico Final. Ambato, Ec. 210p. + Anexos.
- Velasteguí, R. (2015) Calidad del aire por fuentes fijas en Ambato, Ecuador. Ed. Académica Española. 220p. ISBN-13:978-3-659-09095-0 ISBN 10:3659090956 EAN:9783659090950
- Volcanic Ash Advisory Center (VAAC). (2011) Imágenes satelitales reportadas por el Volcanic Ash Advisory Center. International Civil Aviation Organisation (ICAO), Agencia de las Naciones Unidas (ONU). Recuperado de: www.ssd.noaa.gov/VAAC/vaac.html

Anexo 1. Temperatura del aire (°C) en la ciudad de Ambato

Parámetro	MESES 2010											
	ENE	FEB	MAR	AB	MA	JUN	JUL	AG	SEP	OC	NO	DIC
Media	16.7	16.5	16.5	16.4	16.1	15.2	14.7	14.9	15.8	16.9	17.3	17.1
Máximo reportado	25.9	25.5	25.6	25	24	22.6	22.5	23.1	24.3	25.9	26.4	26.2
Mínimo reportado	5.4	6.1	6.8	6.7	6.2	5	4	3.4	3.2	4.4	4.6	5.2

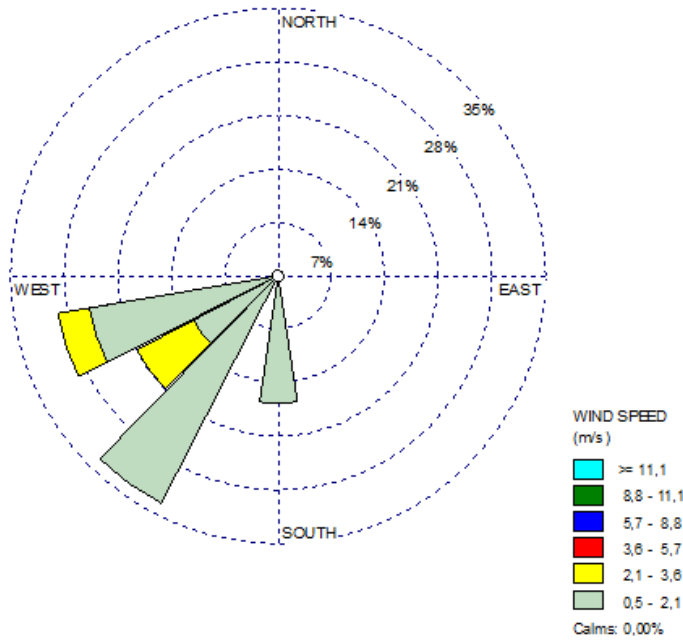
Fuente: Departamento de Meteorología Aeronáutica – Aeropuerto Chachoán, FAE, Ambato, 2010

Anexo 2. Velocidad del viento, nubosidad y estabilidad atmosférica en la Ciudad de Ambato

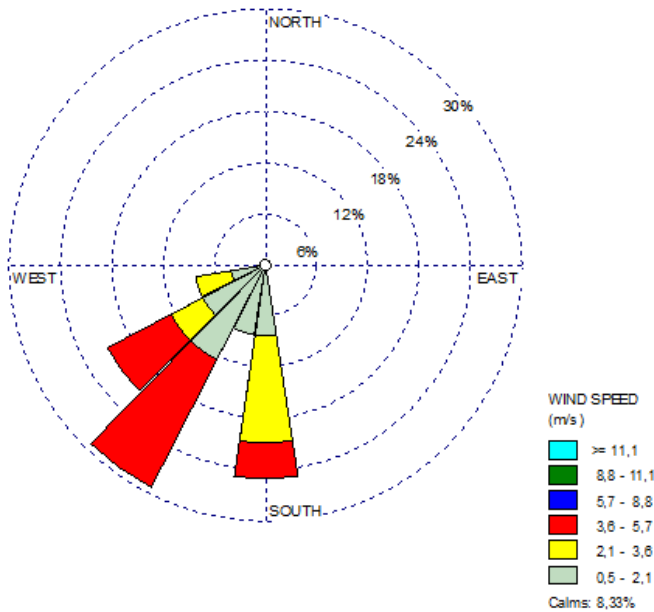
Mes	Media de la velocidad del viento (m/s)	Nubosidad (octas)	Parámetro de estabilidad atmosférica K
Noviembre 2010	1.2869775	6	2
Diciembre 2010	1.2354984	6	2
Enero 2011	1.6473312	6	2
Febrero 2011	1.4414148	6	2
Marzo 2011	1.6473312	6	2
Abril 2011	1.6473312	6	2
Mayo 2011	3.63	6	3
Junio 2011	4.21	6	3

Fuente: Departamento de Meteorología Aeronáutica – Aeropuerto Chachoán, FAE Ambato, 2010-2011

Anexo 3. Gráfico de velocidades y direcciones de viento predominantes correspondiente al mes de Abril del 2011 en Ambato (Originlab, 2011)



Anexo 4. Gráfico de velocidades y direcciones de viento predominantes correspondiente al mes de Mayo del 2011 en Ambato (Originlab, 2011)



Anexo 5. Registros de material particulado MP10 y de ceniza caído en Ambato por emisiones del volcán Tungurahua.

Tratamiento	Fecha	MP10* (mg/m ³)	Reporte de caída de ceniza en Ambato**
V1	1/3/2011	48.22	No reportado
V2	7/3/2011	73.23	No reportado
V3	10/3/2011	45.28	No reportado
V4	16/3/2011	38.76	No reportado
V5	21/3/2011	47.00	No reportado
V6	23/3/2011	50.44	No reportado
V7	25/3/2011	34.61	No reportado
V8	29/3/2011	41.56	No reportado
V9	31/3/2011	49.4	No reportado
V10	3/4/2011	66.06	No reportado
V11	5/4/2011	51.96	No reportado
V12	11/4/2011	32.02	No reportado
V13	13/4/2011	47.25	No reportado
V14	19/4/2011	47.34	No reportado
V15	26/4/2011	60.77	Reportado
V16	27/4/2011	70.08	Reportado
V17	28/4/2011	84.15	Reportado
V18	1/5/2011	82.47	Reportado
V19	2/5/2011	69.16	Reportado
V20	4/5/2011	28.12	No reportado
V21	5/5/2011	45.22	No reportado
V22	9/5/2011	58.95	No reportado
V23	17/5/2011	15.86	No reportado
V24	19/5/2011	39.23	No reportado
V25	23/5/2011	53.49	No reportado

Fuente: * Estación de material particulado MP10 del DMH-IMA, 2011

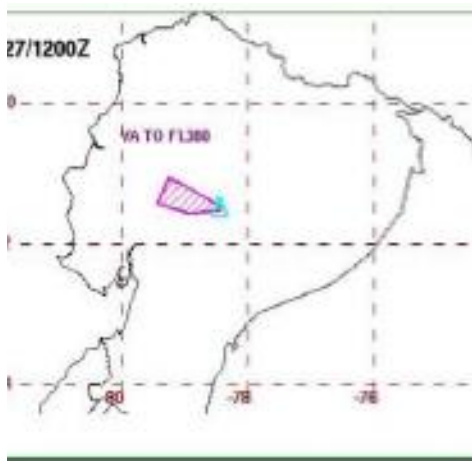
**Instituto Geofísico EPN, 2011

Anexo 6. Flujos de Dióxido de azufre (SO₂) emitidos durante la actividad del volcán Tungurahua

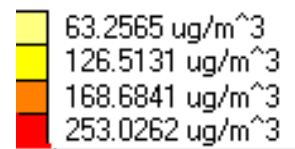
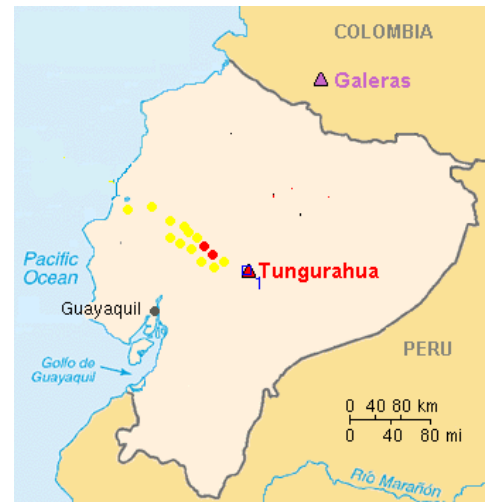
Fecha de muestreo	Flujo promedio SO ₂ (ton/día)	Viento (m/s)	Rumbo
1/3/2011	424	5	239
7/3/2011	272	3	248
10/3/2011	516	7	96
16/3/2011	116	5	315
21/3/2011	237	10	270
23/3/2011	117	5	92
25/3/2011	382	4	240
29/3/2011	508	6	245
31/3/2011	253	3	243
3/4/2011	491	5	225
5/4/2011	209	2	218
11/4/2011	231	3	50
13/4/2011	176	2	60
19/4/2011	571	5	270
26/4/2011	5332	10	298
27/4/2011	2584	8	270
28/4/2011	4886	8	255
31/4/2011	4968	10	90
2/5/2011	2565	5	215
4/5/2011	2683	5	270
5/5/2011	2167	5	270
9/5/2011	540	4	320
17/5/2011	949	5	304
19/5/2011	819	5	215
23/5/2011	2282	8	261

Fuente: Instituto Geofísico, Escuela Politécnica Nacional, 2011

Anexo 7. Dispersión de la ceniza del volcán Tungurahua reportado el 27 de Abril 2011



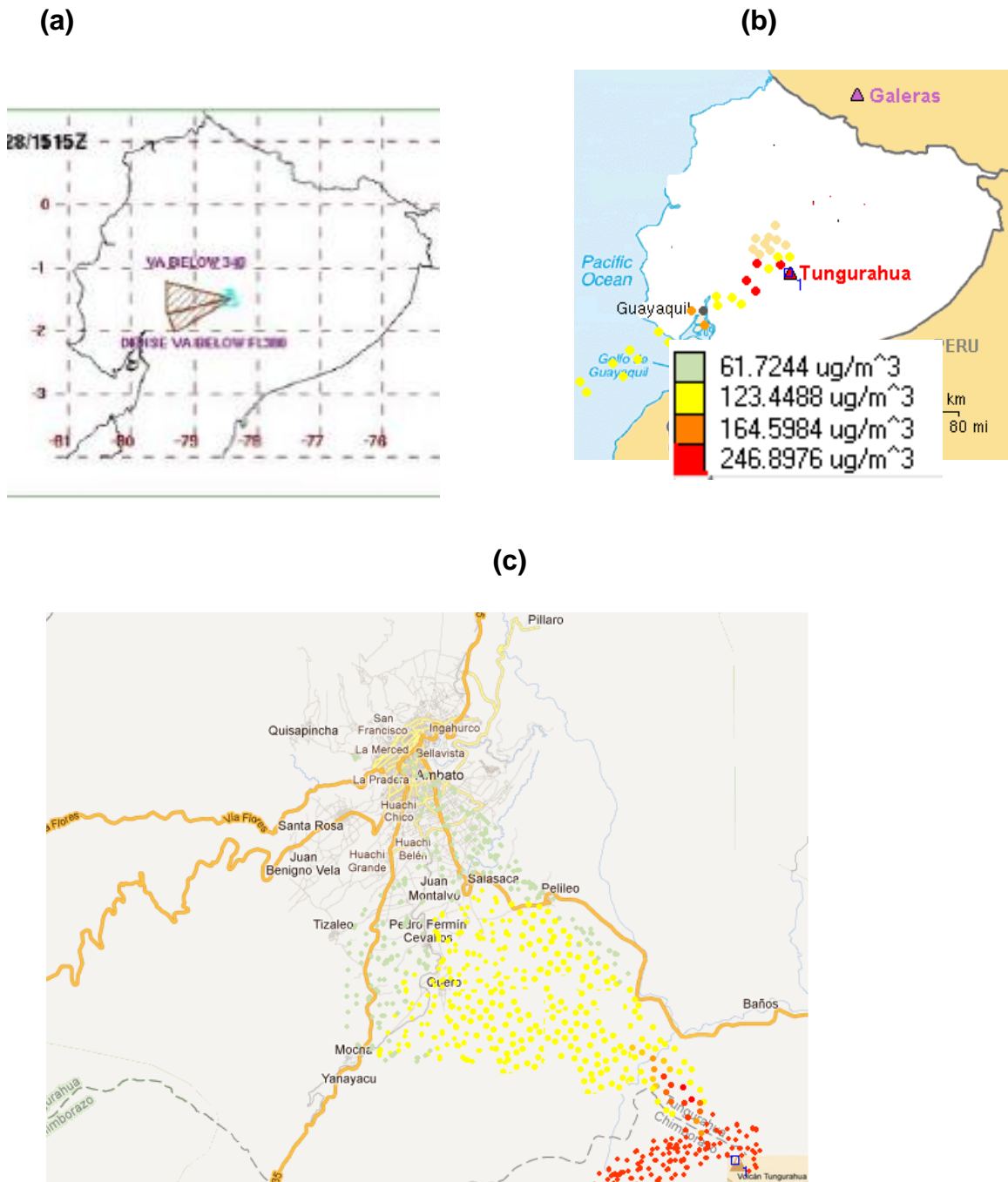
(a)



(b)

- (a) Imagen satelital reportada por Volcanic Ash Advisory Center (VAAC), (2011).
(b) Imagen obtenida mediante la simulación y reporte de las concentraciones expresadas en MP10, con Disper 5.2

Anexo 8. Dispersión de la ceniza del volcán Tungurahua reportado el 28 de Abril 2011



(a) Imagen satelital reportada por Volcanic Ash Advisory Center (VAAC), (2011).

(b) Imagen obtenida mediante la simulación y reporte de las concentraciones a nivel del suelo expresadas en MP_{10} , con Disper 5.2

(c) Simulación del efecto regional de las emisiones del volcán Tungurahua el 28 de Abril 2011, con Disper 5.2