

El mundo después de París:
construyendo el futuro

17-21 OCTUBRE 2016



6^{to} Congreso Nacional
de Investigación en
Cambio Climático

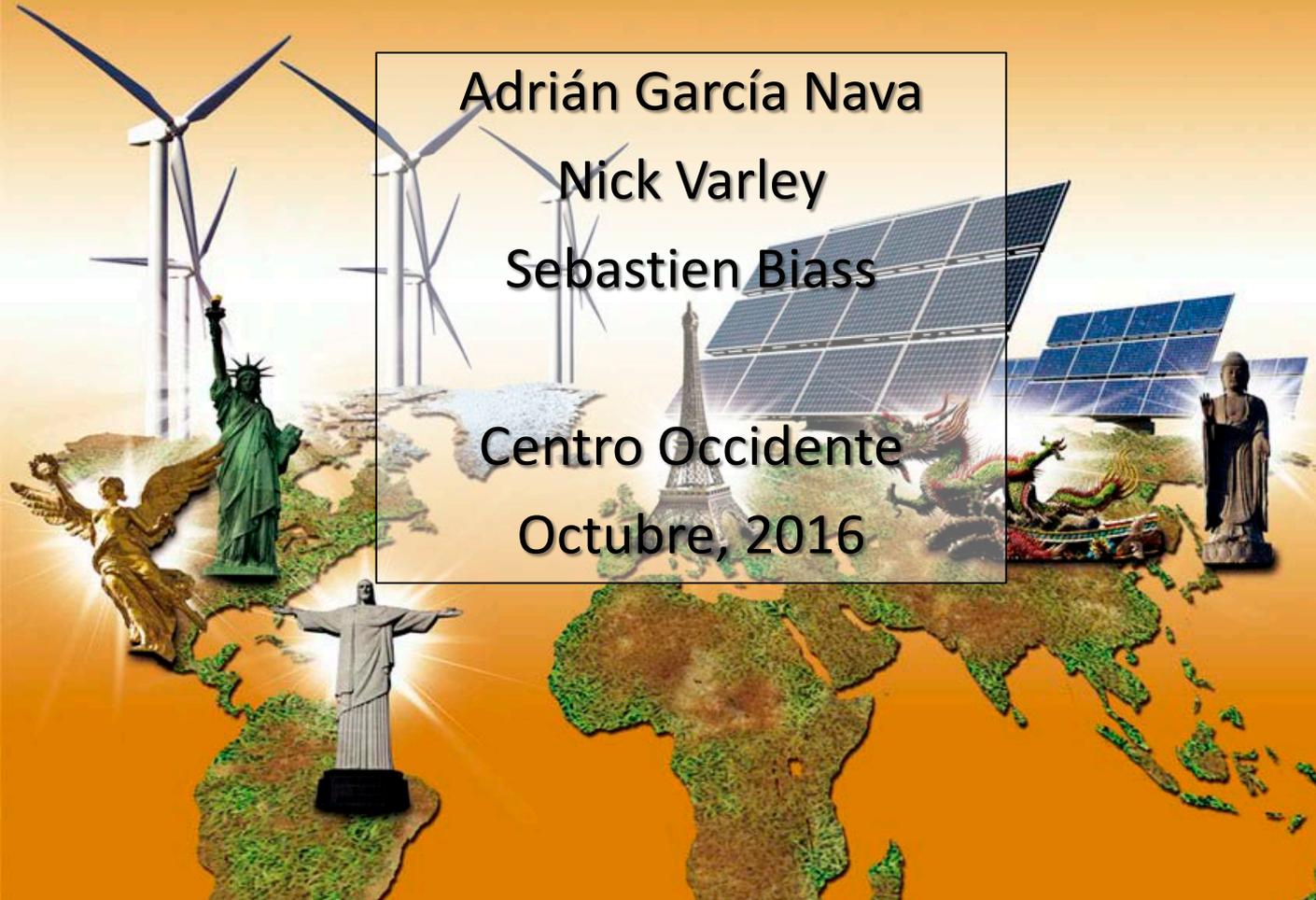
Adrián García Nava

Nick Varley

Sebastien Biass

Centro Occidente

Octubre, 2016





*Nueva Evaluación de Amenaza: Caída de Tefra Generada
por el Volcán de Colima y su Relación con las Condiciones
Meteorológicas*

Adrián García Nava
Universidad de Colima

Nick Varley
Universidad de Colima

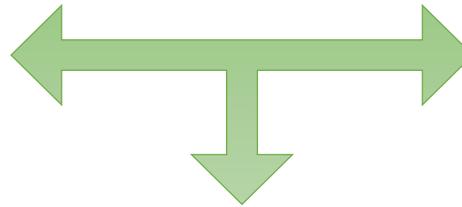
Sebastien Biass
Universidad de Ginebra

Colima, Colima, octubre 2016

Introducción



Condiciones
Atmosféricas



Distribución de
Tefra

Evaluación de la Amenaza

- **Métodos Recientes**
 - **Pronóstico de trayectorias del material**
 - Modelación numérica y análisis probabilístico
 - **Escenarios Eruptivos**
 - Definición de Parámetros
- **Análisis de vientos**
 - **Hardware – Software**
 - **Mapas de distribución**

Antecedentes



USGS - 12 de junio de 1991

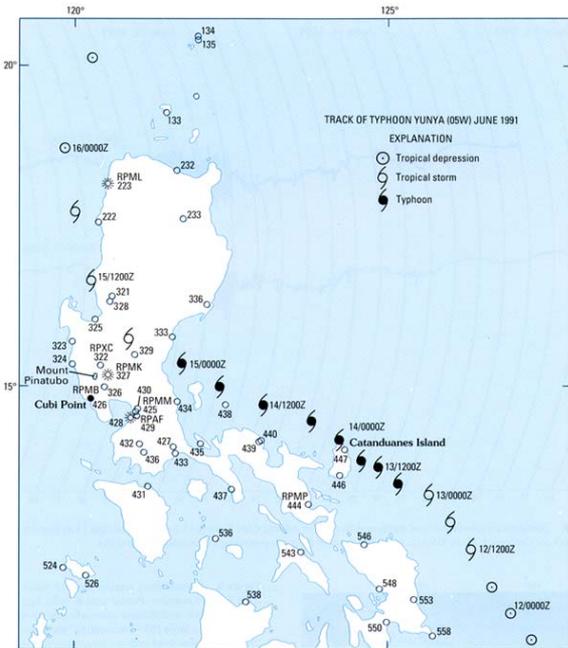
Monte Pinatubo - 1991

VEI 6

Columna eruptiva = 34 km de altura (Koyaguchi & Tokuno, 1993)

Volumen Total = 5.5 km³ (Wiesner *et al.*, 2004)

Evacuaciones – Radio de 30 km



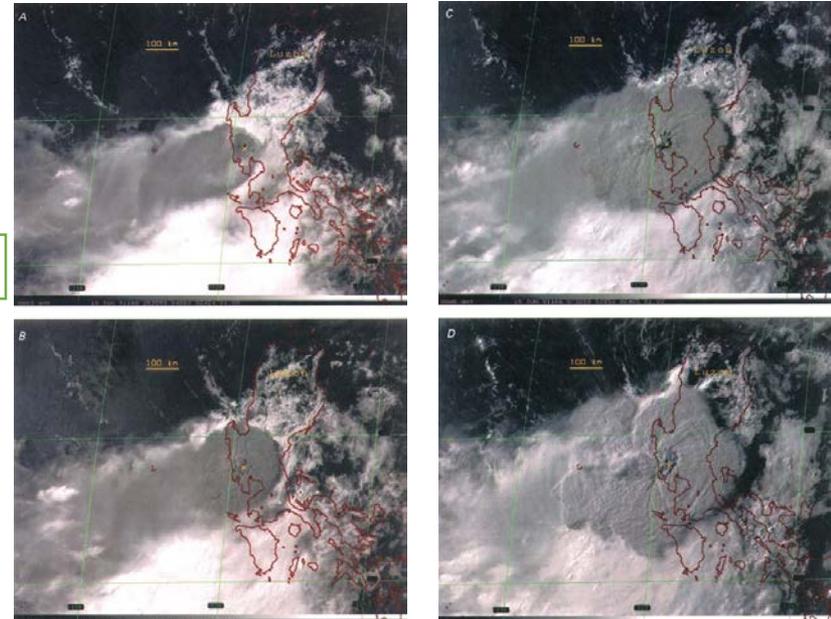
Tifón Yunya – 75 km NE

Vientos intensos

Lluvia Máx - 280 mm en 24 h

5 – 50 cm Tefra mojada

Colapso de techos – 300 muertes aprox.



15 de junio de 1991 (Holasek *et al.*, 1996)

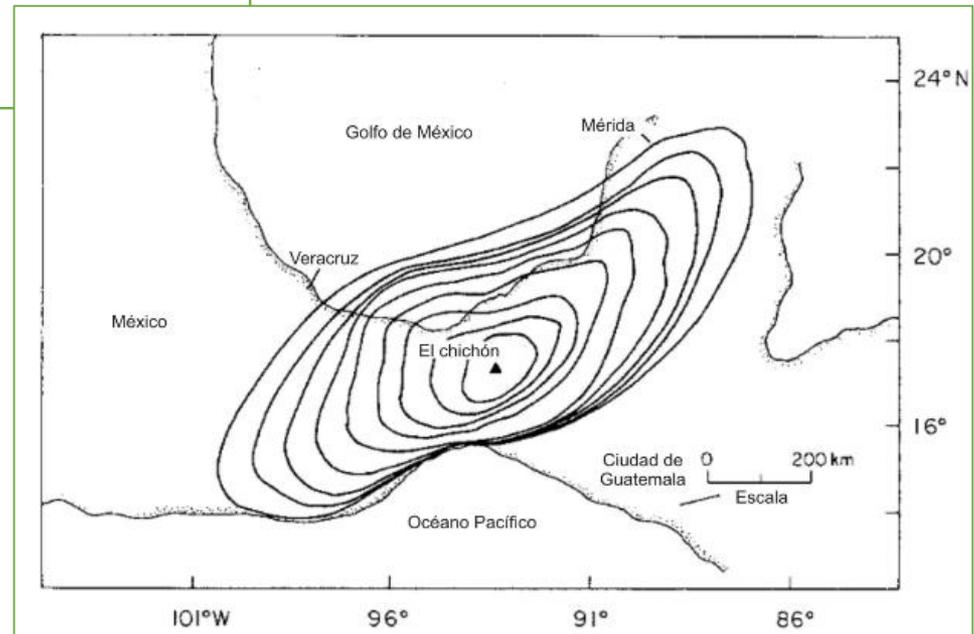
(Oswalt *et al.*, 1996)

El Chichón - 1982



- VEI 5
- Altura de columna = 29 – 32 km (Macías et al., 1997)
- Volumen total = 2.19 km³ (Carey & Sigurdsson, 1986)
- Caídas de ceniza húmeda en la zona cercana (7 – 10 km)
 - 100 muertes aprox. (De la Cruz Reyna & Martin Del Pozzo 2009)
 - 20,000 personas sin hogar
- Ceniza fina a más de 200 km
 - Cierre de carreteras, caminos y aeropuertos
 - Daños económicos

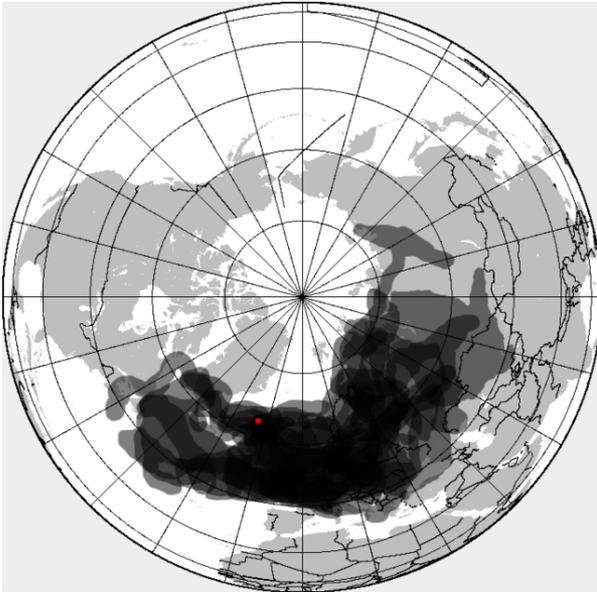
Crecimiento lateral de la nube de ceniza producida por el Volcán Chichón el 29 de marzo de 1982, según los registros del satélite climático GOES. Las curvas están en intervalos de una hora y su distribución bidireccional se debe a la combinación del transporte troposférico (ENE) y estratosférico (OSO) (Carey & Sigurdsson, 1986).



Eyjafjallajökul - 2010



- Erupción moderada (VEI 3)
- Explosiones prolongadas y sostenidas de ceniza muy fina
- Transporte predominante hacia el sureste (Ansmann *et al.*, 2010).
- 95,000 vuelos fueron cancelados en toda Europa (Gudmundsson *et al.*, 2012; Petersen, 2010)



Mapa de la nube de ceniza - Periodo 14 - 25 de abril del 2010 (Oficina Meteorológica del Reino Unido).



Pluma volcánica el 4 de mayo de 2010, día en que se produjo un cambio en la dirección del viento que llevó la nube de ceniza hacia el SE (Robert Simmon, NASA)

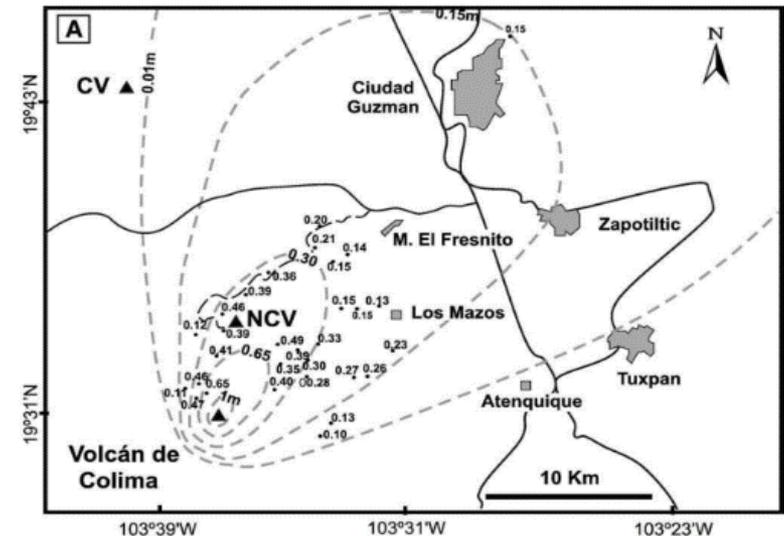
Volcán de Colima - 1913



- VEI 4 (Saucedo et al., 2005)
- Masa: $1 - 5 \times 10^{11}$
- Altura de columna: 18 – 25 km (Saucedo *et al.*, 2010)
- Transporte predominante hacia el noreste

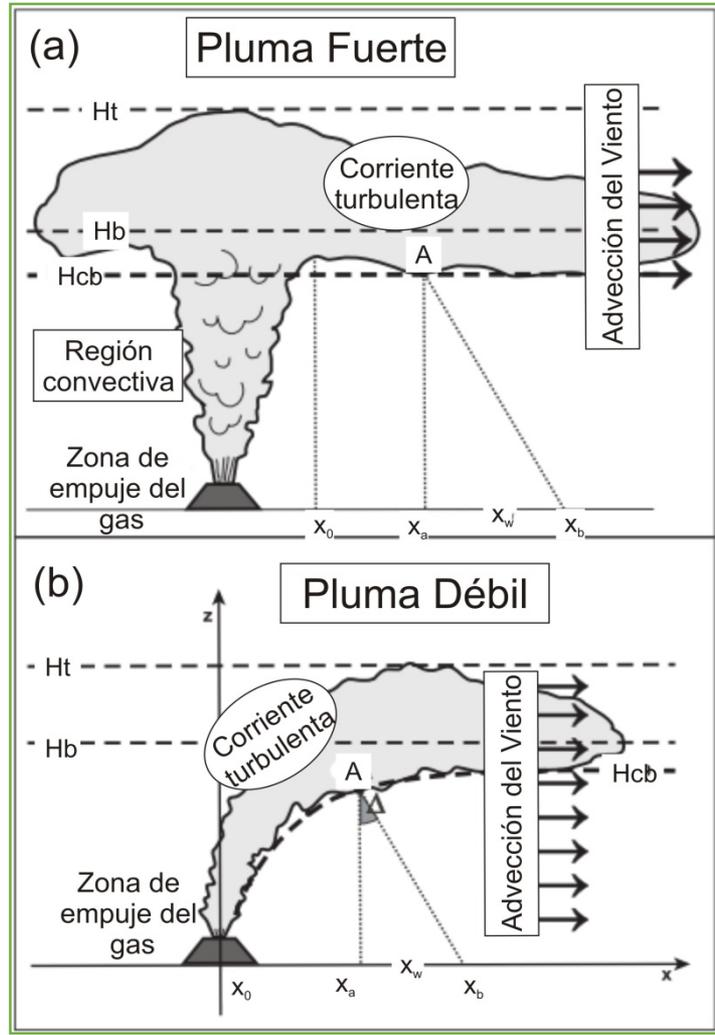


Imagen del Archivo General e Histórico Municipal “Juan S. Vizcaíno de Zapotlán el Grande, Jalisco”



Mapa de Isopacas que muestra la distribución del material de caída en la erupción de 1913, afectando ciudades como Ciudad Guzmán en el estado de Jalisco (Saucedo *et al.*, 2010).

Descripción del Fenómeno



- (Hb) Flotabilidad neutra
- (A) Base de Corriente
- (x_a) Sedimentación vertical
- (x_b) Partícula en campo de viento
- (x_w) Razón entre la velocidad del viento y la velocidad final de partícula
- (Δ) Ángulo de trayectoria de caída
- (x_0) Fuente de corriente turbulenta

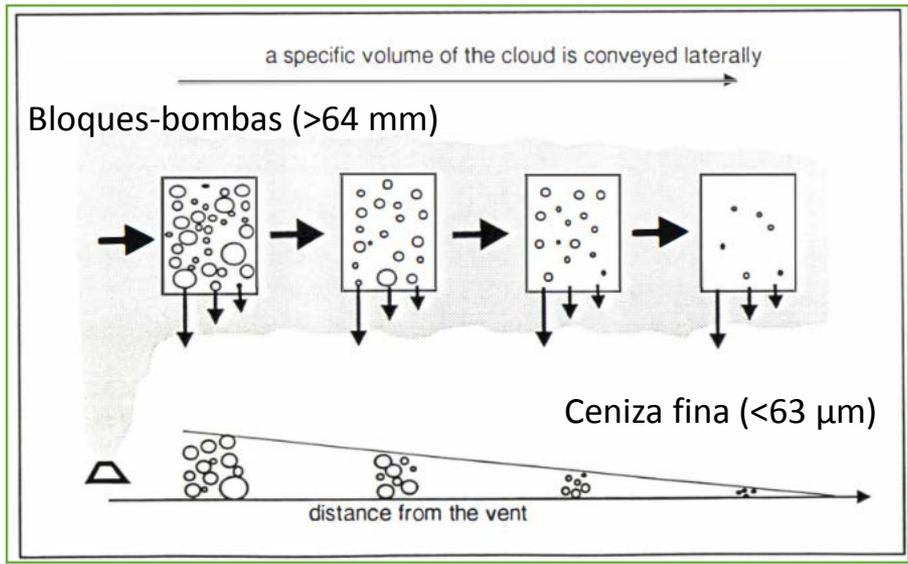


Diagrama de las características principales de los tipos de pluma desarrollándose en un campo de viento (Bonadona et al. 2005).

Caída de partículas de una erupción mostrando el decremento en espesor y tamaño medio de grano con la distancia desde la fuente

Impacto por Caída de Tefra



Carga de Ceniza (kg/m ²)	Impacto Potencial	Referencia
1	<ul style="list-style-type: none"> • Intoxicación por flúor • Cortes en la corriente eléctrica • Cierre de Aeropuertos 	Thorarinnsson & Sigvaldason (1972) Blong (1984) Bebbington et al. (2008) Wilson et al. (2011)
10	<ul style="list-style-type: none"> • Impacto en el tráfico terrestre • Daños a los cultivos 	Blong (1984) Wilson et al. (2014)
100	<ul style="list-style-type: none"> • Daños estructurales de las construcciones más débiles 	Blong (1984) Spence et al. (2005) Marti et al. (2008)

Densidades relacionadas a diferentes condiciones de la tefra (Johnston, 1997).

Tipo de Depósito	Densidad (kg/m ³)
Ceniza seca no compactada	500
Ceniza seca compactada	1000
Ceniza mojada compactada	1500



Equivalencias de carga de tefra y espesor para depósitos de ceniza.

Ceniza seca no compactada

Carga (kg m ⁻²)	100
Espesor (m)	0.2
Presión (kPa)	0.98

Ceniza seca compactada

Carga (kg m ⁻²)	100
Espesor (m)	0.1
Presión (kPa)	0.98

Ceniza mojada compactada

Carga (kg m ⁻²)	100
Espesor (m)	0.06
Presión (kPa)	0.98

Ceniza seca no compactada

Carga (kg m ⁻²)	100
Espesor (m)	0.2
Presión (kPa)	0.98

Ceniza seca compactada

Carga (kg m ⁻²)	200
Espesor (m)	0.2
Presión (kPa)	1.96

Ceniza mojada compactada

Carga (kg m ⁻²)	300
Espesor (m)	0.2
Presión (kPa)	2.94

Modelo para el Volcán de Colima



Detalles	Referencia
Modelación de un escenario como la erupción de 1913 con Hazmap	Saucedo et al. (2010) Bonasia et al. (2011)
Modelación inversa con Tephra2	Connor et al. (2015)

- La modelación en este trabajo define el impacto de la amenaza con la delimitación de las áreas de carga de material.

Amenaza	Modelo numérico o método	Referencia
Caída de tefra	Tephra2	Bonadonna et al., 2005 Biass et al., 2014

Tephra 2



Datos de Entrada

Datos de Salida

Parámetros de la Erupción

- Ubicación del volcán y altura
- Masa total de la erupción
- Distribución del tamaño de partícula
- Altura de Columna
- Duración de la erupción
- Divisiones de la columna

Parámetros de las Partículas

- Umbral de tiempo de caída
- Coeficiente de difusión
- Densidad de Pómez
- Densidad de Líticos
- Modelo de dispersión de la columna

Parámetros atmosféricos

- Niveles (altura/presión) de la atmósfera
- Velocidad del viento
- Dirección del viento

Parámetros geográficos

- Calculation grid

Simulación basada en el modelo de Advección-Difusión

- Probabilidad de masa por unidad de área (kg/m^2).
- Isomasa para una probabilidad dada.

Escenarios



Para cada caso

Limitado por
(Marzocchi et al., 2004).

- Disponibilidad de datos
 - Record eruptivo
 - Mediciones atmosféricas

Volcán de Colima

- Record eruptivo corto y poca preservación de depósitos debido a la erosión.
- Gran variedad de tipos de erupción
 - Vulcanianas (VEI 2 – 3)
 - Sub-Plinianas (VEI 4)
 - Registro geológico – Pliniana (VEI 6) (Luhr *et al.*, 2010)
 - Probabilidad = 0.028/20 años – 0.13/100 años (Mendoza-Rosas y De la Cruz-Reyna , 2008)
- Poco datos meteorológicos locales

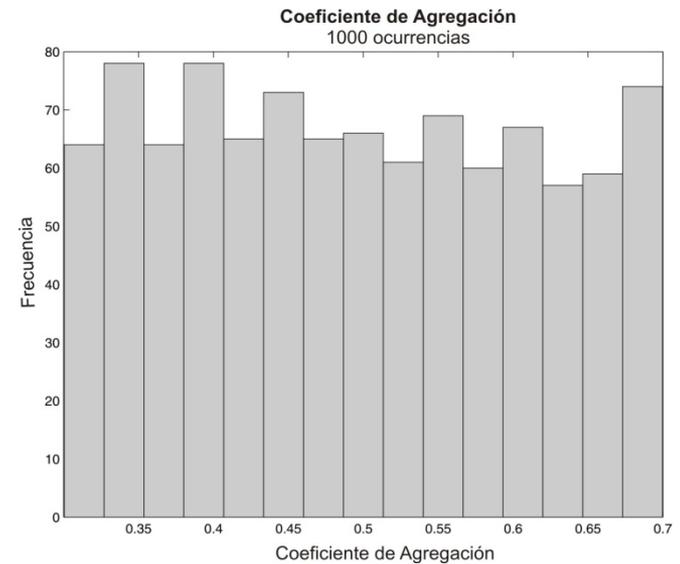
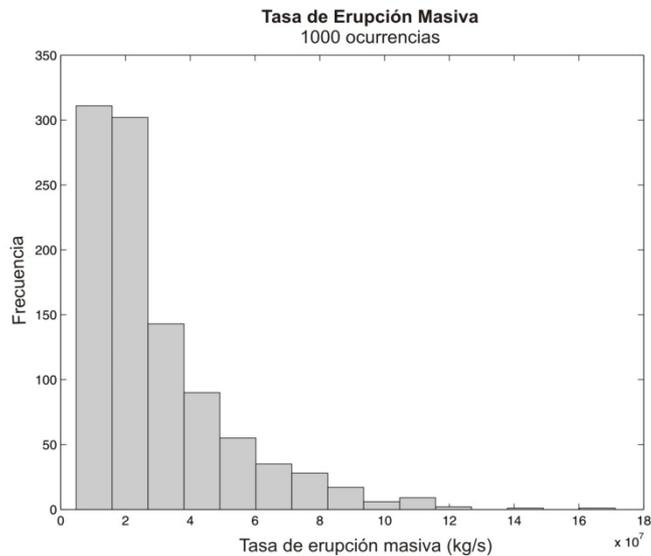
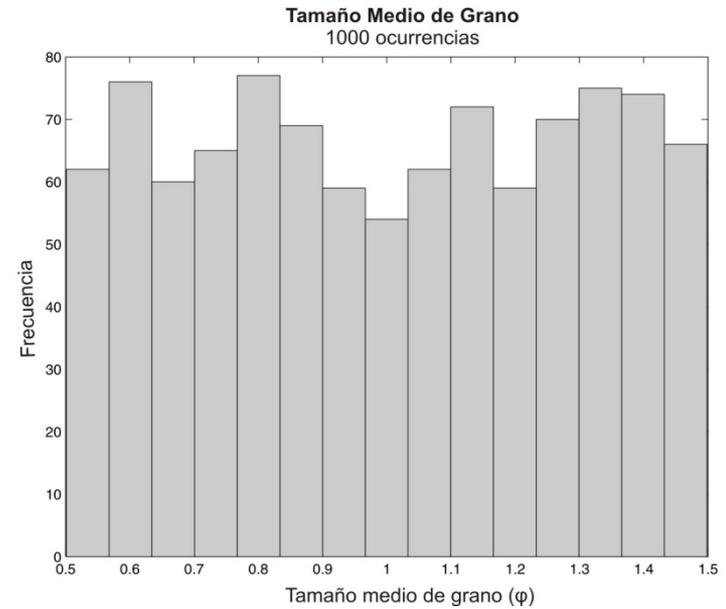
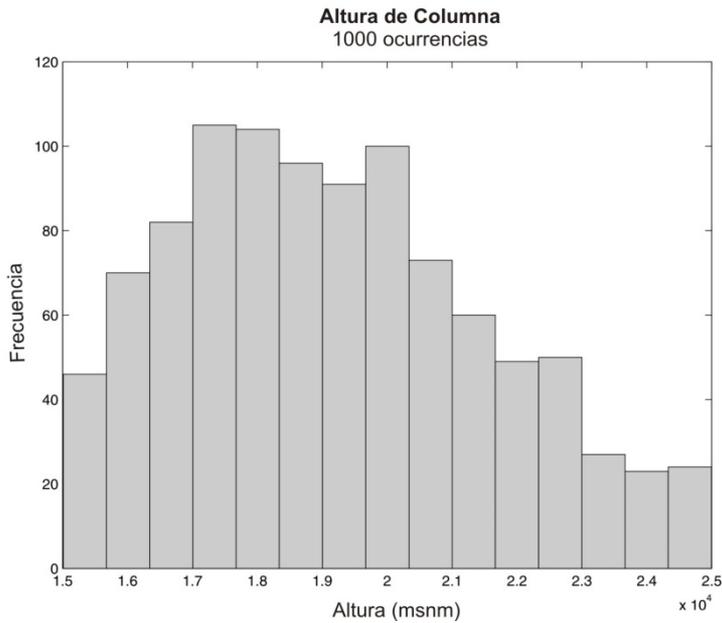


Escenarios propuestos por (Biass & Bonadonna, 2013):

- Escenario de Una Erupción (OES: One Eruptive Scenario) que está formado en base a un planteamiento semi-propabilístico que compila la probabilidad de alcanzar un umbral peligroso de acumulación de tefra con vientos variables, y donde los parámetros eruptivos son definidos de manera determinística. Este método es muy útil para evaluar los posibles impactos de una erupción conocida y estudiada.
- Escenario de Rango de Erupción (ERS: Eruption Range Scenario). Este tipo de escenario describe la probabilidad de alcanzar una acumulación de tefra determinada basado en la distribución estadística tanto de los perfiles de viento como de los parámetros eruptivos

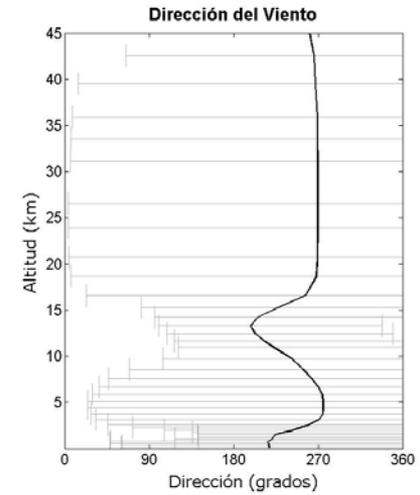
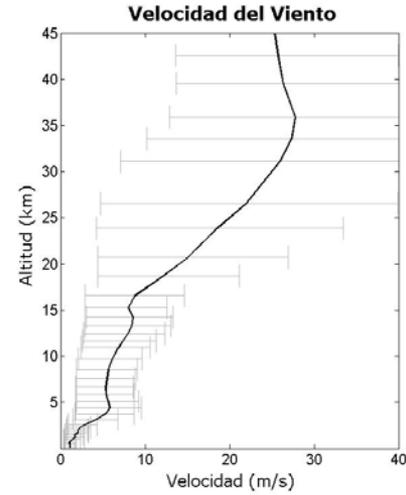
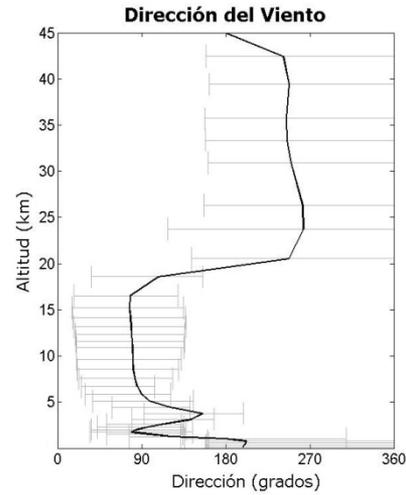
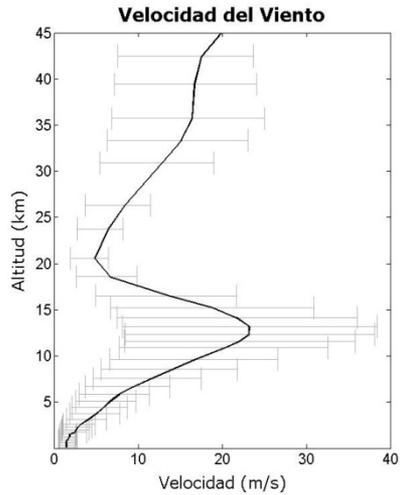
Sub-Pliniana (ERS)

- Función de Densidad Probabilística (PDF) (Bonadonna, 2006)
- Monte-Carlo



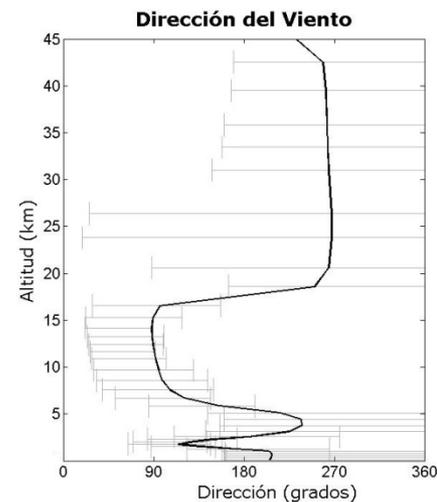
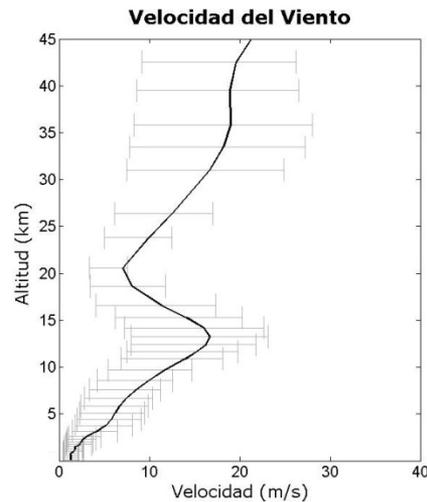


- ECMWF (Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio)
 - Base de Datos Era-Interim Reanalysis a 1.5° de resolución.
 - Periodo 1980 – 2013

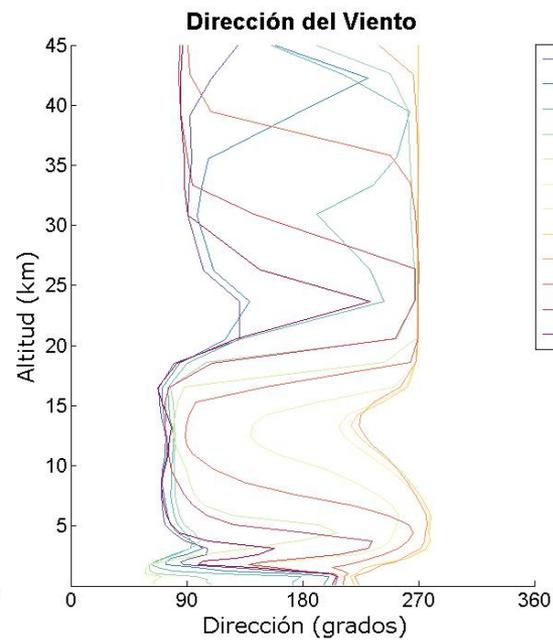
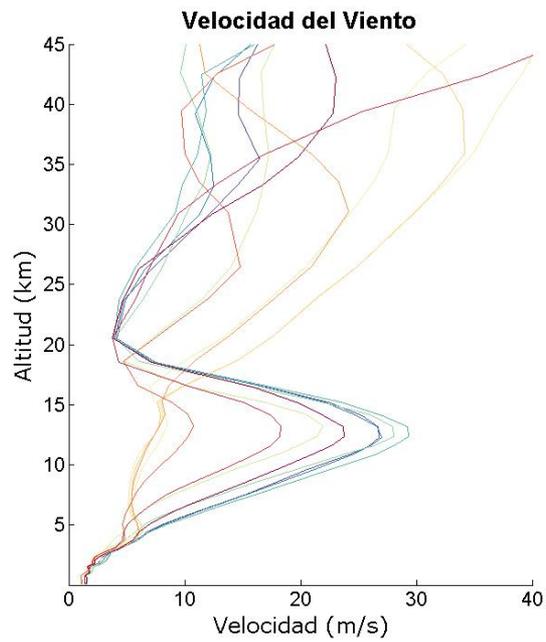


Estación de secas

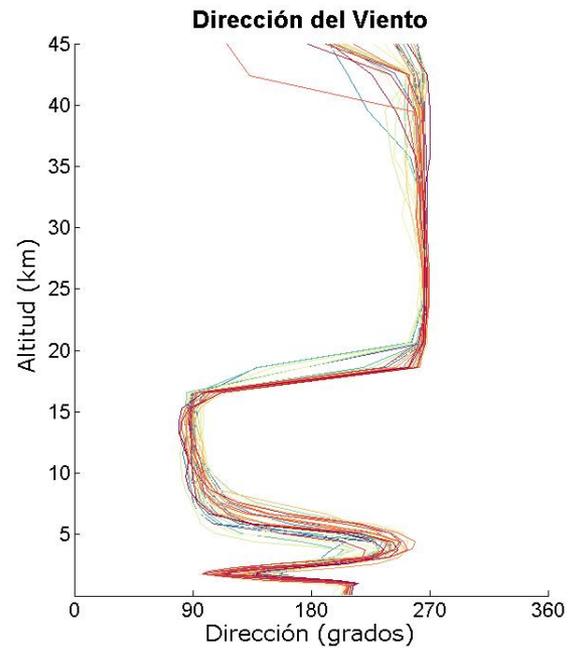
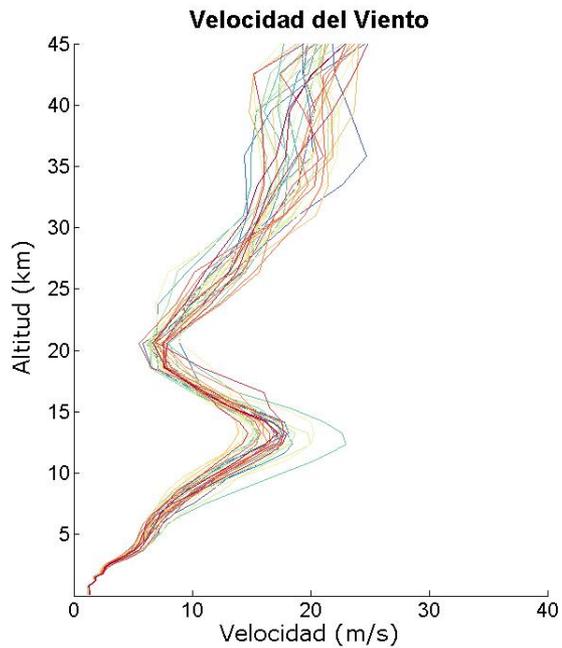
Estación de lluvias



Todo el año

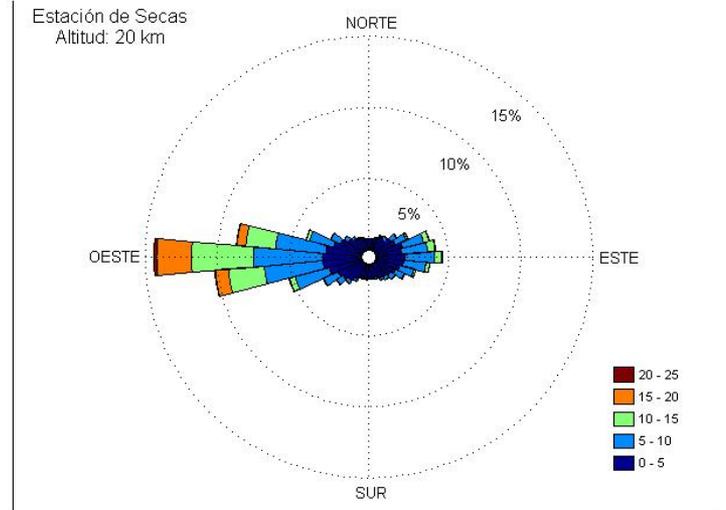
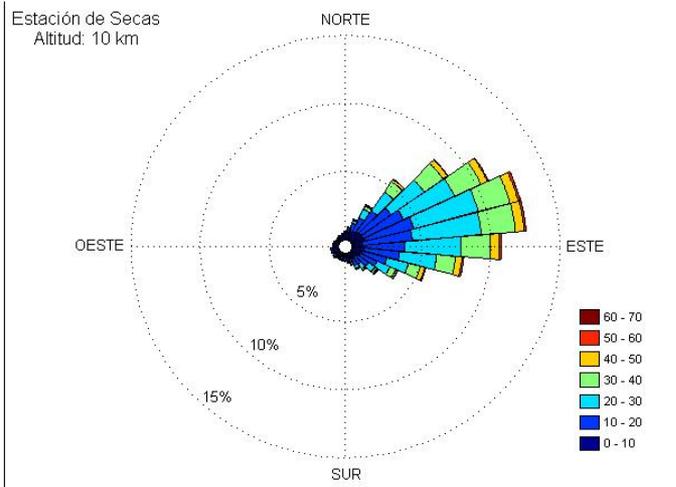
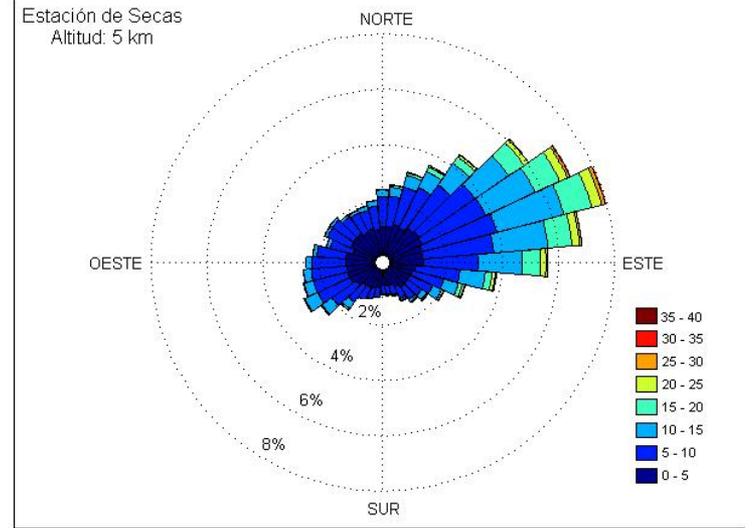
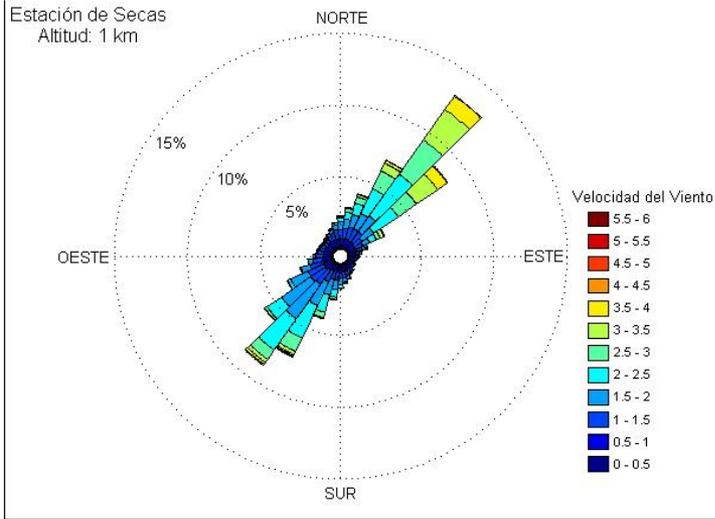


- Enero
- Febrero
- Marzo
- Abril
- Mayo
- Junio
- Julio
- Agosto
- Septiembre
- Octubre
- Noviembre
- Diciembre

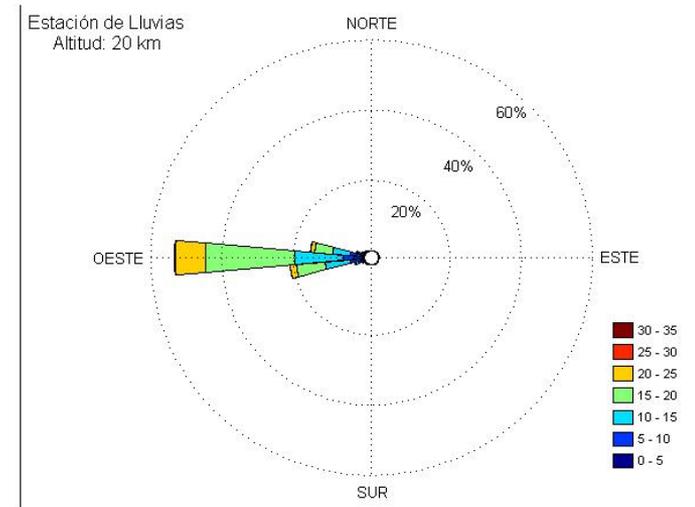
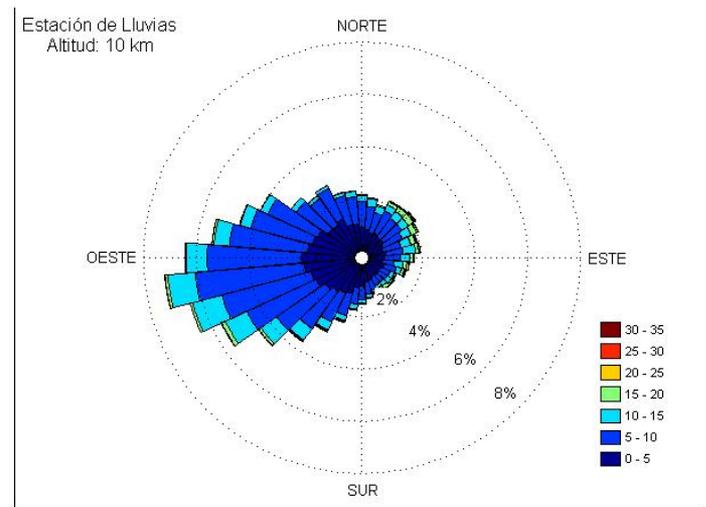
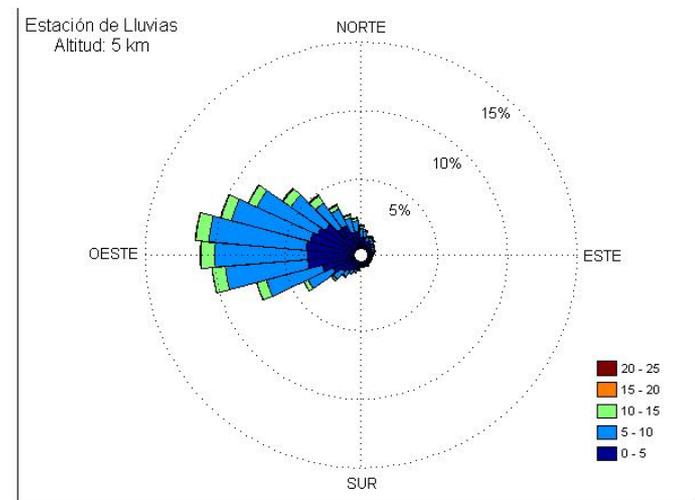
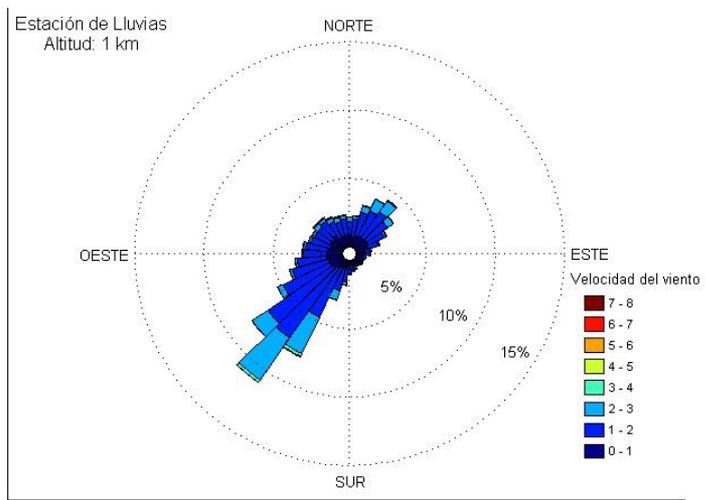


- 1980
- 1981
- 1982
- 1983
- 1984
- 1985
- 1986
- 1987
- 1988
- 1989
- 1990
- 1991
- 1992
- 1993
- 1994
- 1995
- 1996
- 1997
- 1998
- 1999
- 2000
- 2001
- 2002
- 2003
- 2004
- 2005
- 2006
- 2007
- 2008
- 2009
- 2010
- 2011
- 2012
- 2013

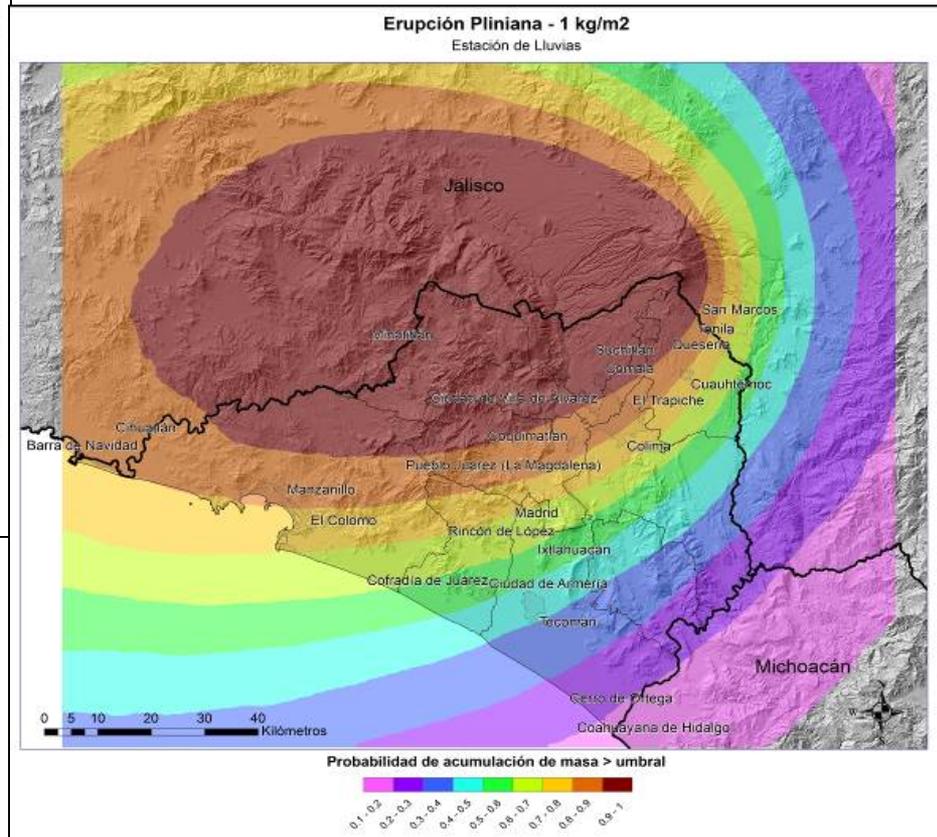
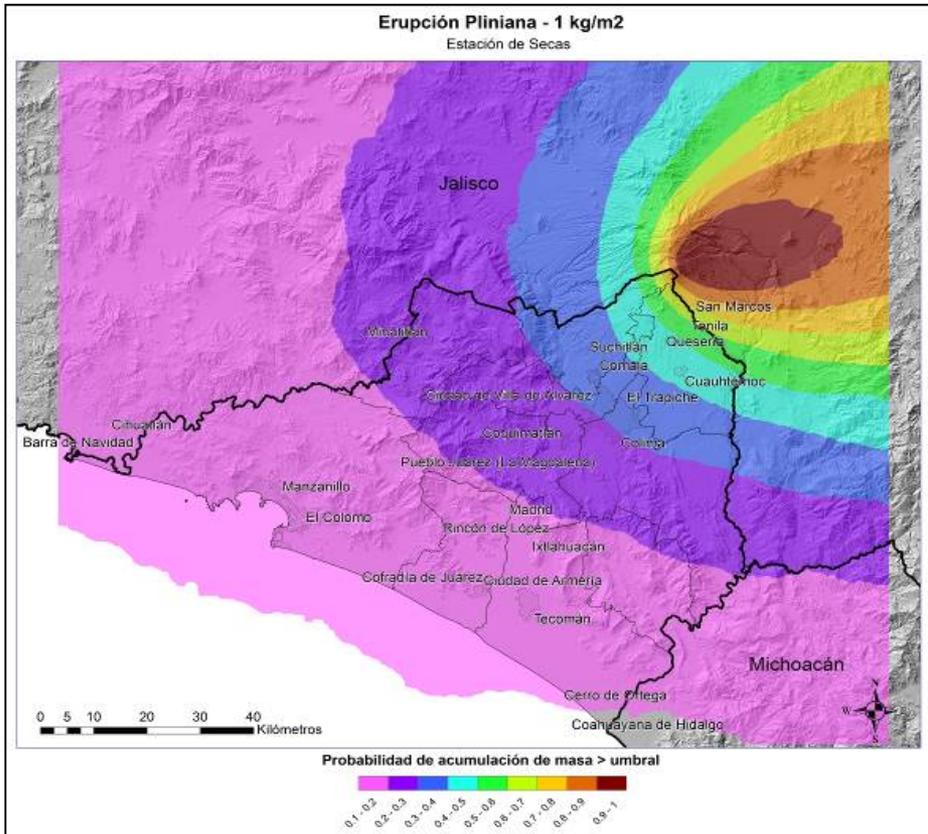
Secas



Lluvias

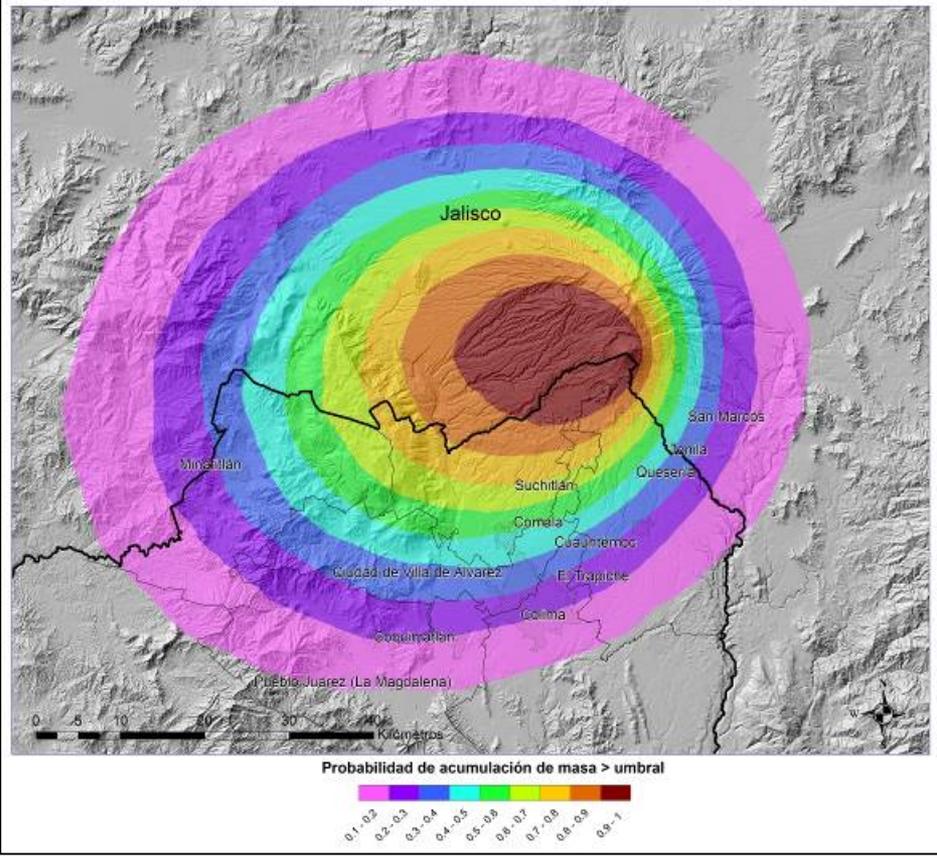


Resultados

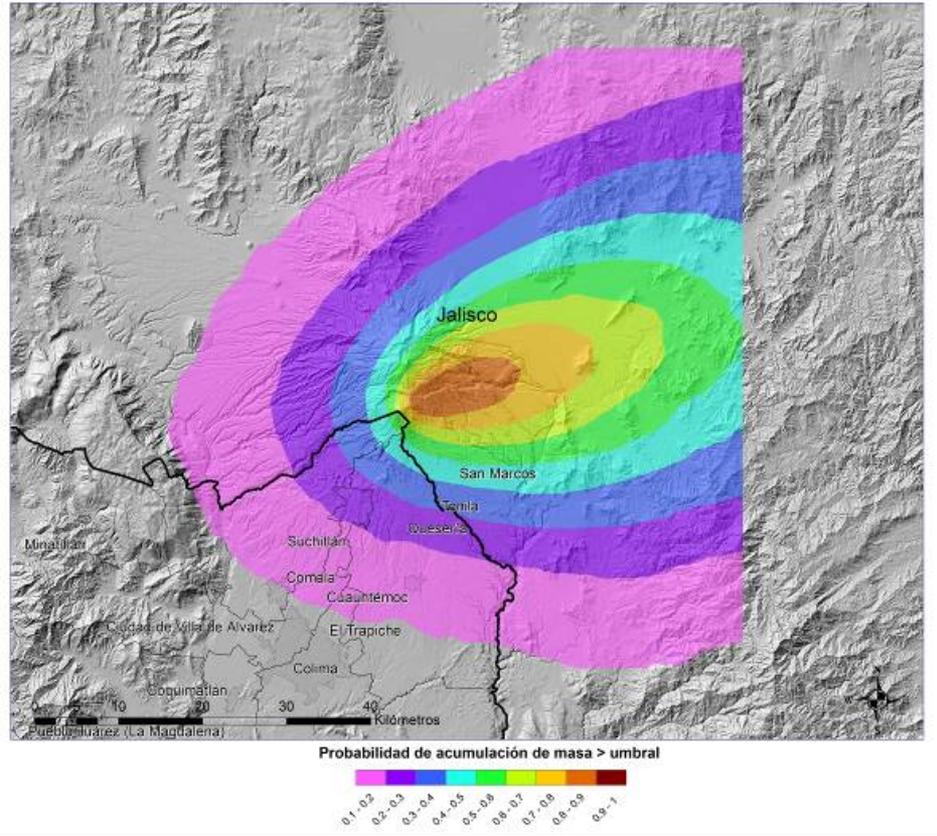


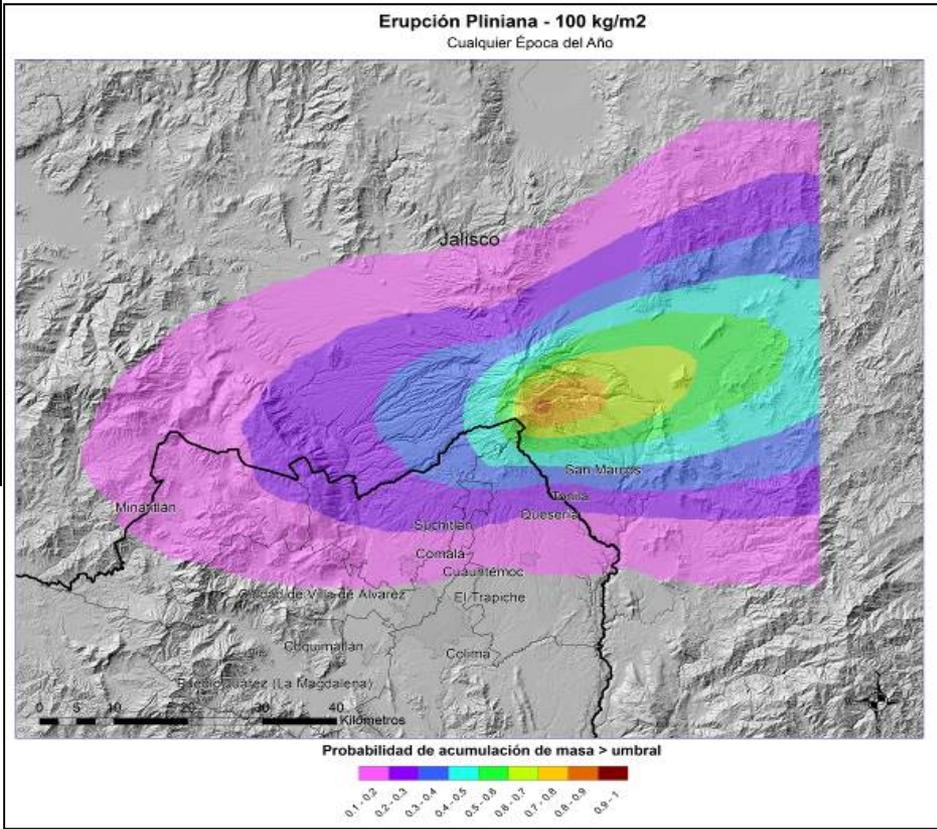
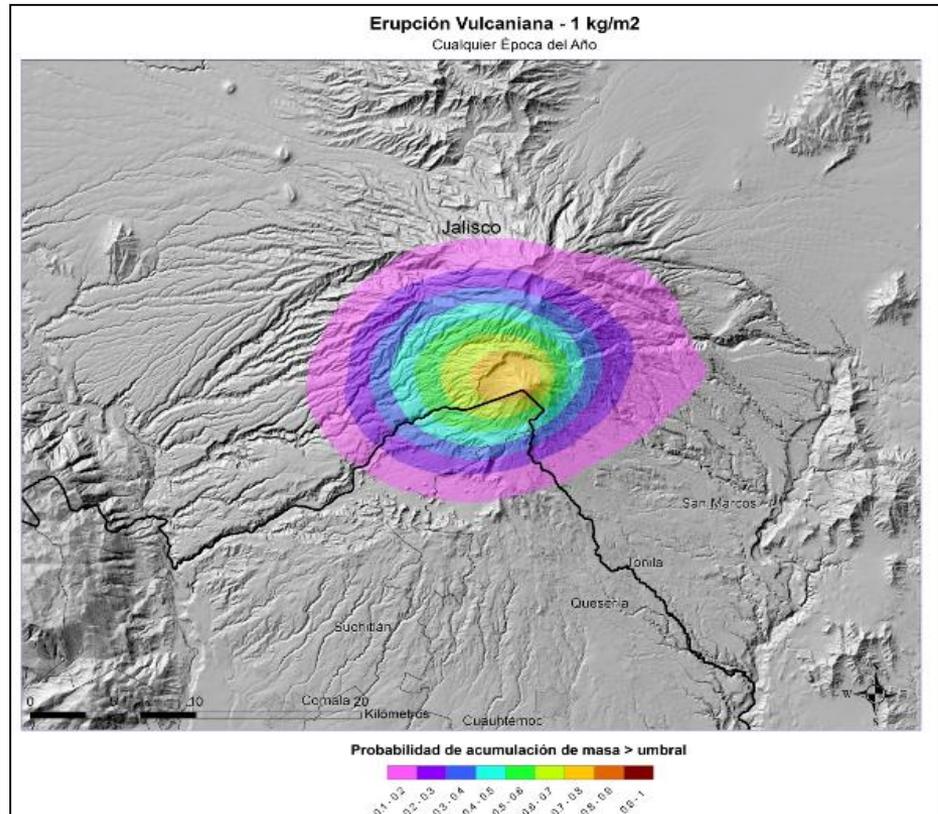


Erupción Subpliniana - 10 kg/m2
Estación de Lluvias



Erupción Subpliniana - 10 kg/m2
Estación de Secas



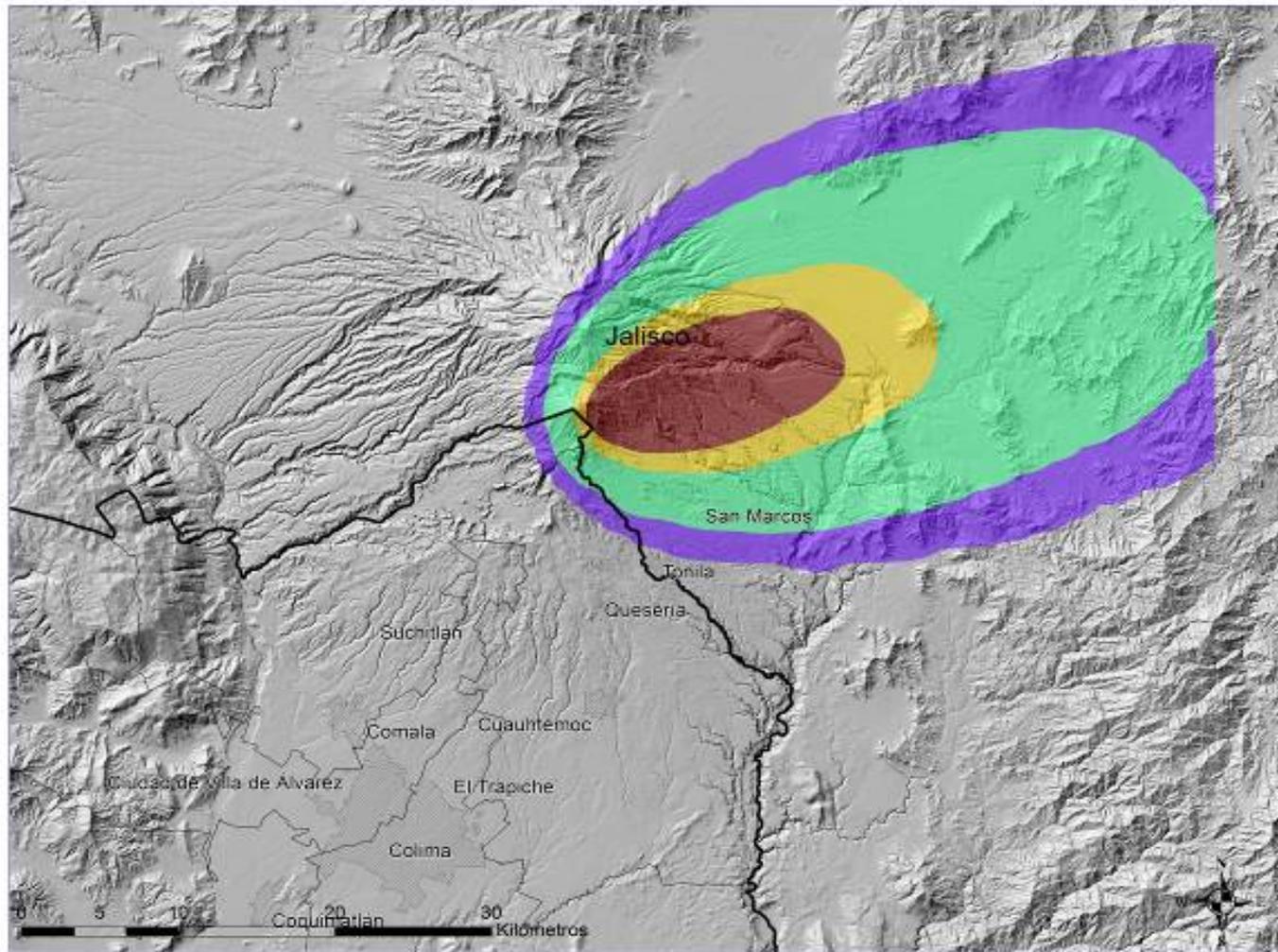


Isomasa

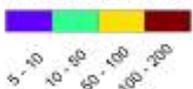


Erupción Subpliniana (1913) - 50 % Probabilidad

Temporada de Secas



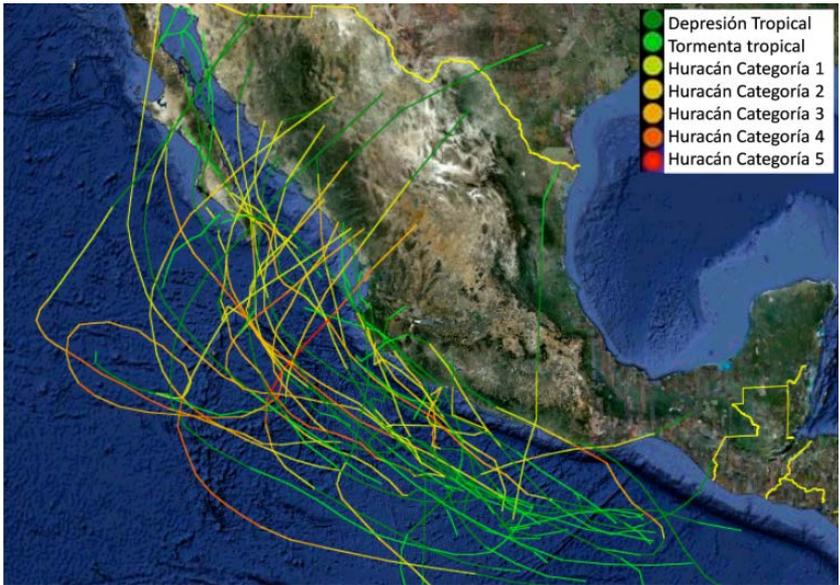
Carga de Tefra (kg/m²)



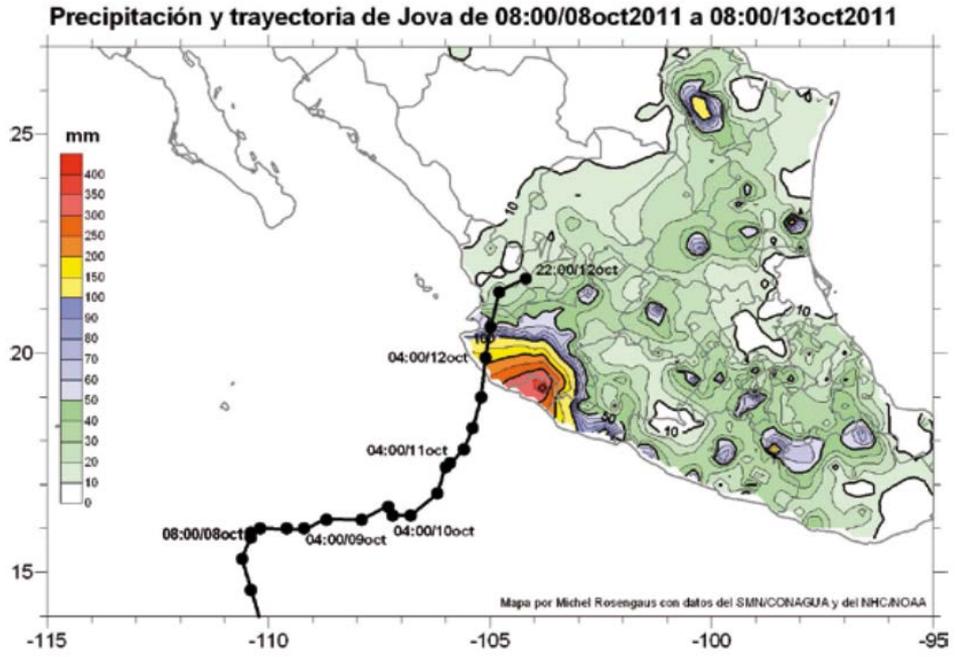
Cambios en el Clima



- No hay cambios relevantes en la dirección y velocidad de los vientos en 34 años.
- Detección de cambios a micro y mesoescala – Alteración en la caída de Tefra.
- Efectos de ENOS
- Tormentas locales más intensas.
- Variaciones en la temporada de Ciclones Tropicales.



Trayectorias de huracanes que tocaron tierra en México en el periodo 1980 – 2008 (IMTA, 2009)



Huracán Jova – Máx. 374 mm en 24 h (Comisión Nacional del Agua, 2012)



Conclusiones

- Evaluación de la amenaza más completa hasta la fecha.
- Es posible un escenario con alteraciones por tormenta.
- Instalación de estaciones meteorológicas cerca del volcán.
- Más simulaciones.
- Generación de bases de datos (eruptivos y atmosféricos).
- Trabajo interdisciplinario – Organización.



Análisis de las temporadas de huracanes de los años 2009, 2010 y 2011 en México (Comisión Nacional del Agua, 2012)

Ansmann, A., Tesche, M., Groß, S., Freudenthaler, V., Seifert, P., Hiebsch, A., ... Wiegner, M. (2010). The 16 April 2010 major volcanic ash plume over central Europe: EARLINET lidar and AERONET photometer observations at Leipzig and Munich, Germany: EYJAFJOLL ASH PLUME OVER EUROPE. *Geophysical Research Letters*, 37(13).

Bebbington, M., Cronin, S.J., Chapman, I. and Turner, M.B., 2008. Quantifying volcanic ash fall hazard to electricity infrastructure. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177(4): 1055-1062.

Biass, S., & Bonadonna, C. (2013). A fast GIS-based risk assessment for tephra fallout: the example of Cotopaxi volcano, Ecuador: Part I: probabilistic hazard assessment. *Natural Hazards*, 65(1), 477–495.

Biass, S., Scaini, C., Bonadonna, C., Folch, A., Smith, K. and Höskuldsson, A., 2014. A multi-scale risk assessment for tephra fallout and airborne concentration from multiple Icelandic volcanoes; Part 1: Hazard assessment. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14(8): 2265-2287.

Blong, R.J., 1984. *Volcanic hazards: A sourcebook on the effects of eruptions*. Academic Press, Sydney, Australia.

Bonadonna, C., Phillips, J.C. and Houghton, B.F., 2005. Modeling tephra sedimentation from a Ruapehu weak plume eruption. *J Geophys Res*, 110: B08209

Bonasia, R., Capra, L., Costa, A., Macedonio, G. and Saucedo, R., (2011). Tephra fallout hazard assessment for a Plinian eruption scenario at Volcán de Colima (Mexico). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 203(1-2): 12-22.



Carey, S., & Sigurdsson, H. (1986). The 1982 eruptions of El Chichón volcano, Mexico (2): Observations and numerical modelling of tephra-fall distribution. *Bulletin of Volcanology*, 48(2–3), 127–141.

Connor, C. B., Connor, L. J., Bonadonna, C., Luhr, J., Savov, I., & Navarro-Ochoa, C. (2015). Modelling Tephra Thickness and Particle Size Distribution of the 1913 Eruption of Volcán de Colima, México. En: Eds. Varley, N.R. y Komorowski, J-C. *Volcán de Colima: Managing the Threat*; Springer. En prensa.

De la Cruz-Reyna, D., & Martin Del Pozzo, A. L. (2009). The 1982 eruption of El Chichón volcano, Mexico: eyewitness of the disaster. *Geofísica internacional*, 48(1), 21–31.

Gudmundsson, M. T., Thordarson, T., Höskuldsson, Á., Larsen, G., Björnsson, H., Prata, F. J., ... Jónsdóttir, I. (2012). Ash generation and distribution from the April-May 2010 eruption of Eyjafjallajökull, Iceland. *Scientific Reports*, 2.

Holasek, R.E., Self, S., & Woods, A.W., (1996). Satellite observations and interpretation of the 1991 Mount Pinatubo eruption plumes. *Journal of Geophysical Research*, 101(B12): 27,635-27,655.

Johnston, D., 1997. Physical and social impacts of past and future volcanic eruptions in New Zealand (Tesis Doctoral) Massey University, Nueva Zelanda.

Koyaguchi, T., & Tokuno, M. (1993). Origin of the giant eruption cloud of Pinatubo, June 15, 1991. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 55(1-2): 85-96.

Luhr, J.F., Navarro-Ochoa, C. and Savov, I.P., 2010. Tephrochronology, petrology and geochemistry of Late-Holocene pyroclastic deposits from Volcán de Colima, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 197(1-4): 1-32.



Macías, J. L., M. F. Sheridan and J. M. Espíndola, 1997. Reappraisal of the 1982 eruptions of El Chichón Volcano, Chiapas, Mexico: New data from proximal deposits. *Bulletin of Volcanology*, 58, 459-471.

Marti, J., Spence, R., Calogero, E., Ordoñez, A., Felpeto, A. and Baxter, P., 2008. Estimating building exposure and impact to volcanic hazards in Icod de los Vinos, Tenerife (Canary Islands). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 178(3): 553-561.

Marzocchi, W., Sandri, L., Gasparini, P., Newhall, C.G. and Boschi, E., (2004). Quantifying probabilities of volcanic events: The example of volcanic hazard at Mount Vesuvius. *J Geophys Res*, 109(B11201).

Mendoza-Rosas, A.T. and De la Cruz-Reyna, S., 2008. A statistical method linking geological and historical eruption time series for volcanic hazard estimations: Applications to active polygenetic volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 176(2): 277-290

Oswalt, J. S., Nichols, W., & O'Hara, J. F. (1996). Meteorological Observations of the 1991 Mount Pinatubo Eruption. En *Fire and mud: eruptions and lahars of Mount Pinatubo, Philippines*. Hong Kong: Philippine Institute of Volcanology and Seismology Quezon City.

Petersen, G. N. (2010). A short meteorological overview of the Eyjafjallajökull eruption 14 April–23 May 2010. *Weather*, 65(8), 203–207.

Saucedo, R., Macias, J.L., Sheridan, M.F., Bursik, M.I. and Komorowski, J.C., 2005. Modeling of pyroclastic flows of Colima Volcano, Mexico: implications for hazard assessment. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 139(1-2): 103-115.



Saucedo, R., Macías, J.L., Gavilanes, J.C., Arce, J.L., Komorowski, J.C., Gardner, J.E. and Valdez-Moreno, G., (2010). Eyewitness, stratigraphy, chemistry, and eruptive dynamics of the 1913 Plinian eruption of Volcán de Colima, México. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 191(3-4): 149-166.

Spence, R. J. S., Kelman, I., Baxter, P. J., Zuccaro, G., and Petrazzuoli, S. 2005. Residential building and occupant vulnerability to tephra fall, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 5, 477–494

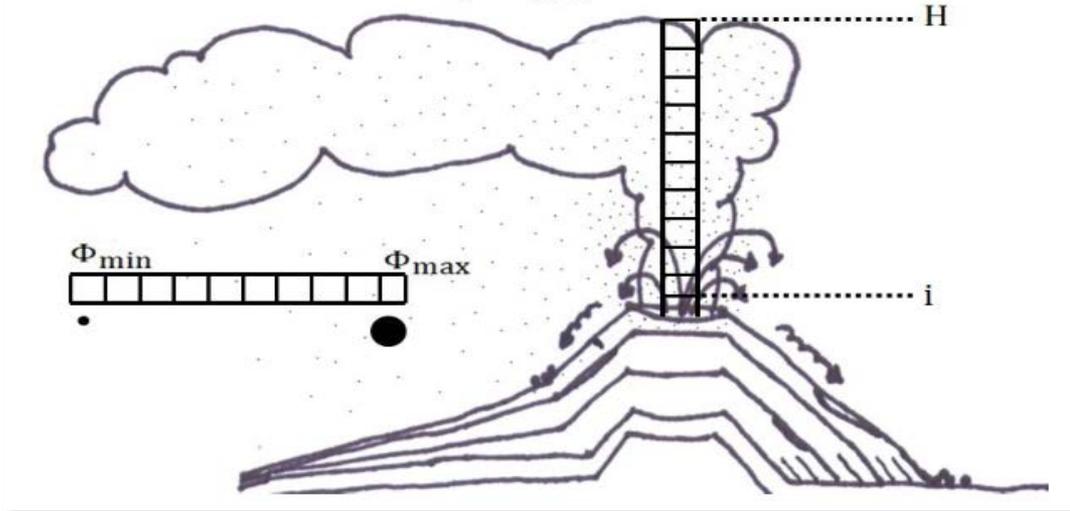
Thorarinsson, S. and Sigvaldason, G.E., 1972. The Hekla Eruption of 1970, *Bulletin Volcanol.*, 36, 269–288, doi:10.1007/BF02596870.

Wiesner, M. G., Wetzel, A., Catane, S. G., Listanco, E. L., & Mirabueno, H. T. (2004). Grain size, areal thickness distribution and controls on sedimentation of the 1991 Mount Pinatubo tephra layer in the South China Sea. *Bulletin of Volcanology*, 66(3), 226–242.

Wilson, G., Wilson, T.M., Deligne, N.I. and Cole, J.W., 2014. Volcanic hazard impacts to critical infrastructure: A review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 286(0): 148-182.



$$M(x, y) = \sum_{i=1}^H \sum_{j=\Phi_{\min}}^{\Phi_{\max}} M_{i,j}^0 f_{i,j}(x, y)$$



Pasos del Cálculo

- 1 Distribución en cada nivel de la columna eruptiva (i, H) para cada tamaño de partícula (min, max)
- 2 Probabilidad de liberación de partícula en cada nivel
- 3 Tiempo de caída de partícula desde cualquier punto
- 4 Modificación por difusión de la columna
- 5 Modificación por difusión atmosférica
- 6 Caída a través de las capas atmosféricas
- 7 Masa acumulada (M) en cada ubicación (x, y)



Parámetros en los escenarios propuestos para el Volcán de Colima

VEI	Tipo	Erupción	Referencia	Altura de columna (m)	Duración (h)	Masa (kg)	Distribución del tamaño de grano	Media del tamaño de grano (ϕ)	Modelo
3	Vulc.			11,000 - 15,000	0.03 - 1	5 - 8 E8	-1 to 8	1 - 2	ERS
4 a 5	Subplin.	St Helens 1980 - Colima 1913	(Carey & Sigurdsson 1982) (Fero 2008)	15,000 - 25,000	2 - 8	1 - 5 E11	-4 to 3	0.5 - 1.5	ERS
4 a 5	Subplin.	Colima 1913	(Saucedo et al., 2010)	18,000 - 25,000	2 - 8	1 - 5 E11	-3.3 to 2.9	0.5 - 1.5	OES
6	Plin.	Pinatubo 1991 - Chichón 1982	(Wiesner, 2004) (Koyaguchi & Tokuno, 1993) (Sigurdsson, 1987)	22,000 - 36,000	2 - 10	1- 14 E12	0 to 6	-1.5 - 1.5	ERS