

# HERRAMIENTAS PARA LA GENERACIÓN DE MAPAS DE RIESGO EN LA AVIACIÓN POR ERUPCIONES VOLCANICAS



**José Carlos Jiménez Escalona**

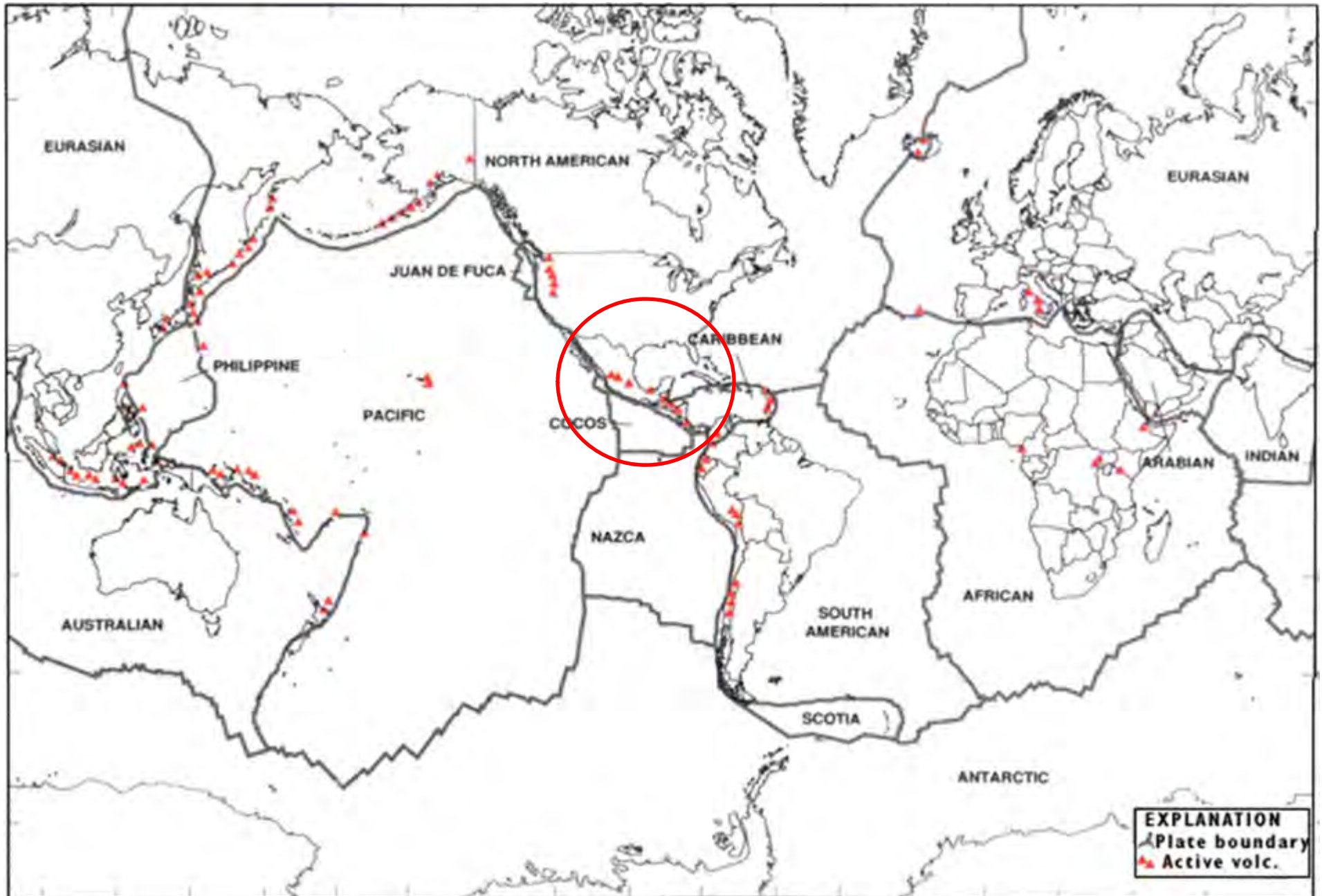
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U. Ticomán

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación

# Algunos datos importantes

- Existen a nivel mundial más de 1, 300 volcanes activos.
- Se presentan alrededor de 60 erupciones explosiva al año.
- Número estimado de días por año que la ceniza volcánica en suspensión en el aire es motivo de preocupación para la aviación: 50 a 75.
- Número estimado de días por año que la ceniza volcánica es> 30.000 pies y en las rutas aéreas: 25 a 30
- De 1973 a 2003, se documentaron 101 encuentros de aeronaves con cenizas volcánicas (Guffanti et al., 2005).
- Mediciones mediante PR en los volcanes mas activos.

# Volcanes activos en el Mundo (> 500)

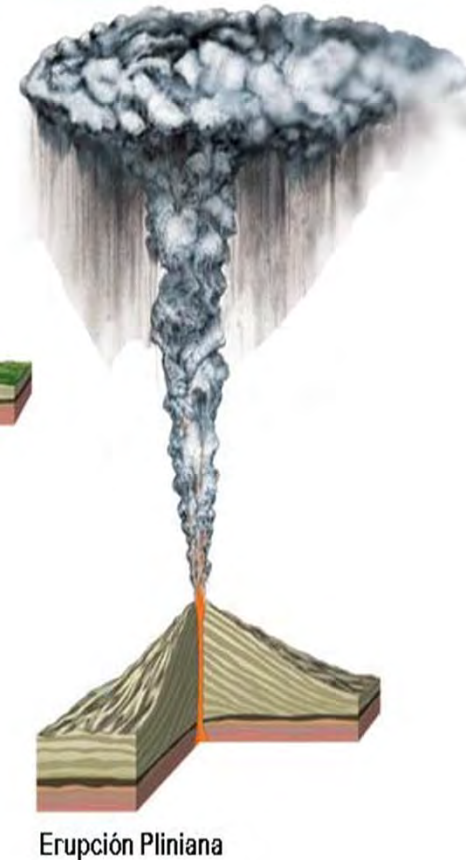
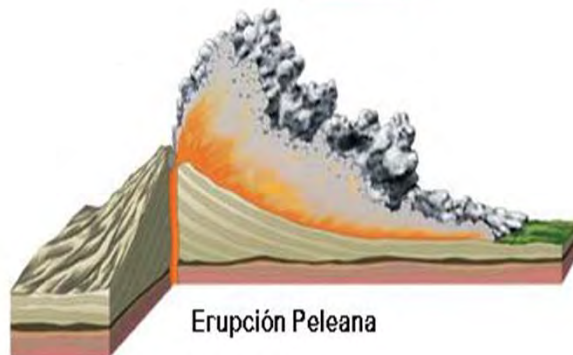
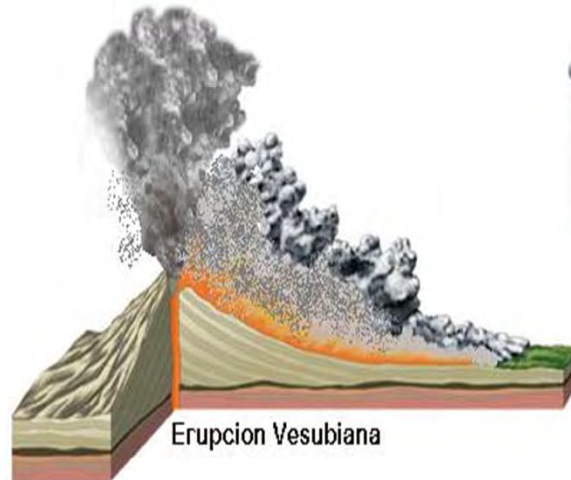
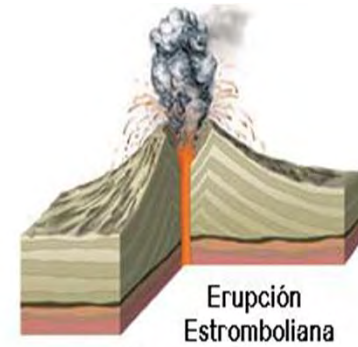
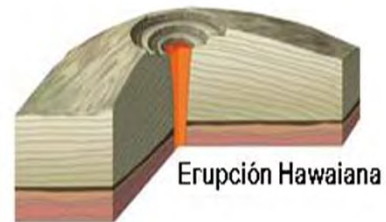
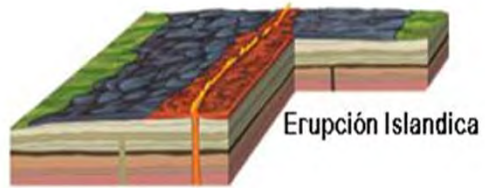


# ¿Qué es un Volcán?

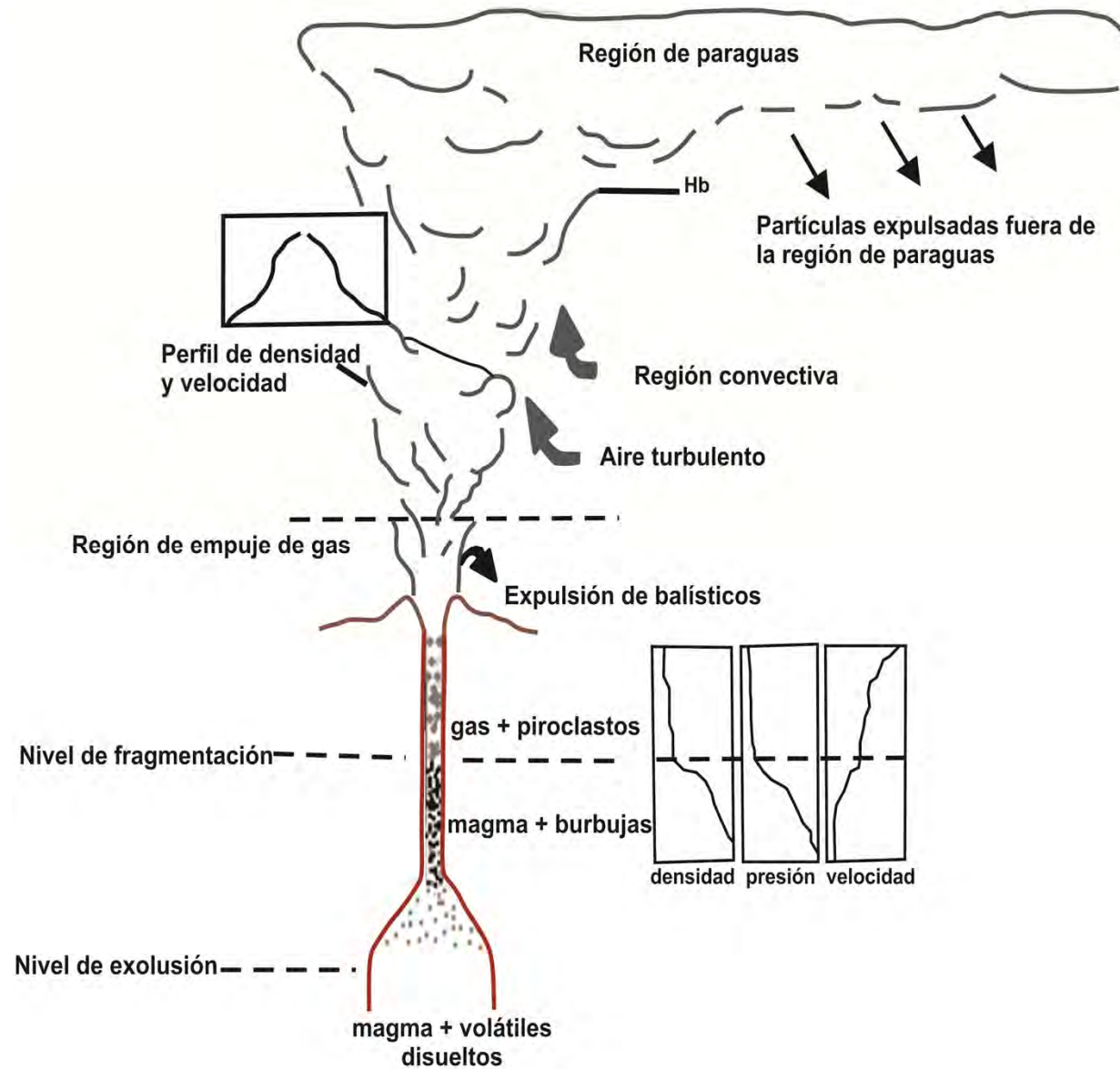
Un volcán activo constituye una fuente muy importante de emisión a la atmósfera de múltiples especies gaseosas y partículas sólidas que son transportadas por efecto de los vientos dominantes



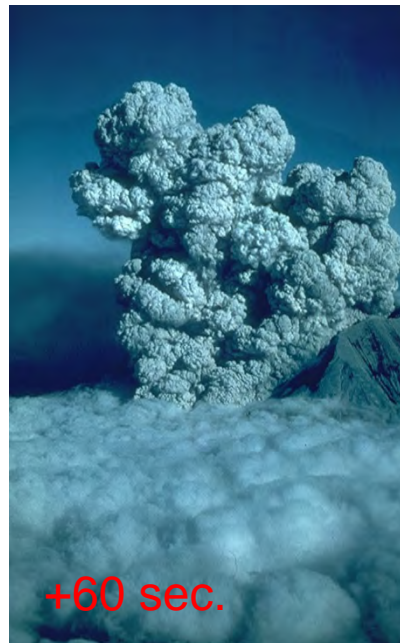
# Tipos de Erupción Volcánica



# Secciones de una Columna Eruptiva



# Erupción Explosiva

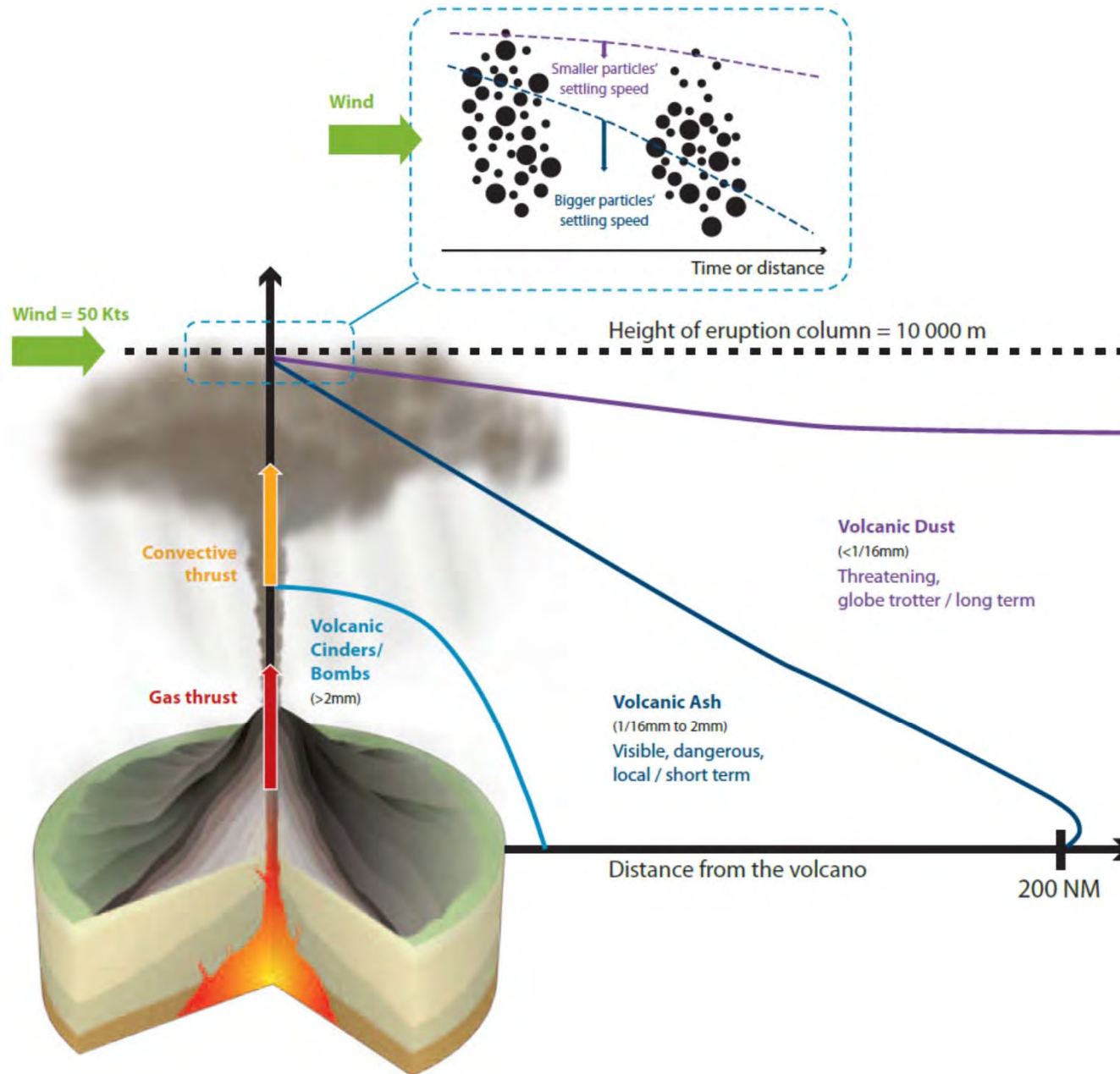


# Columnas Eruptivas

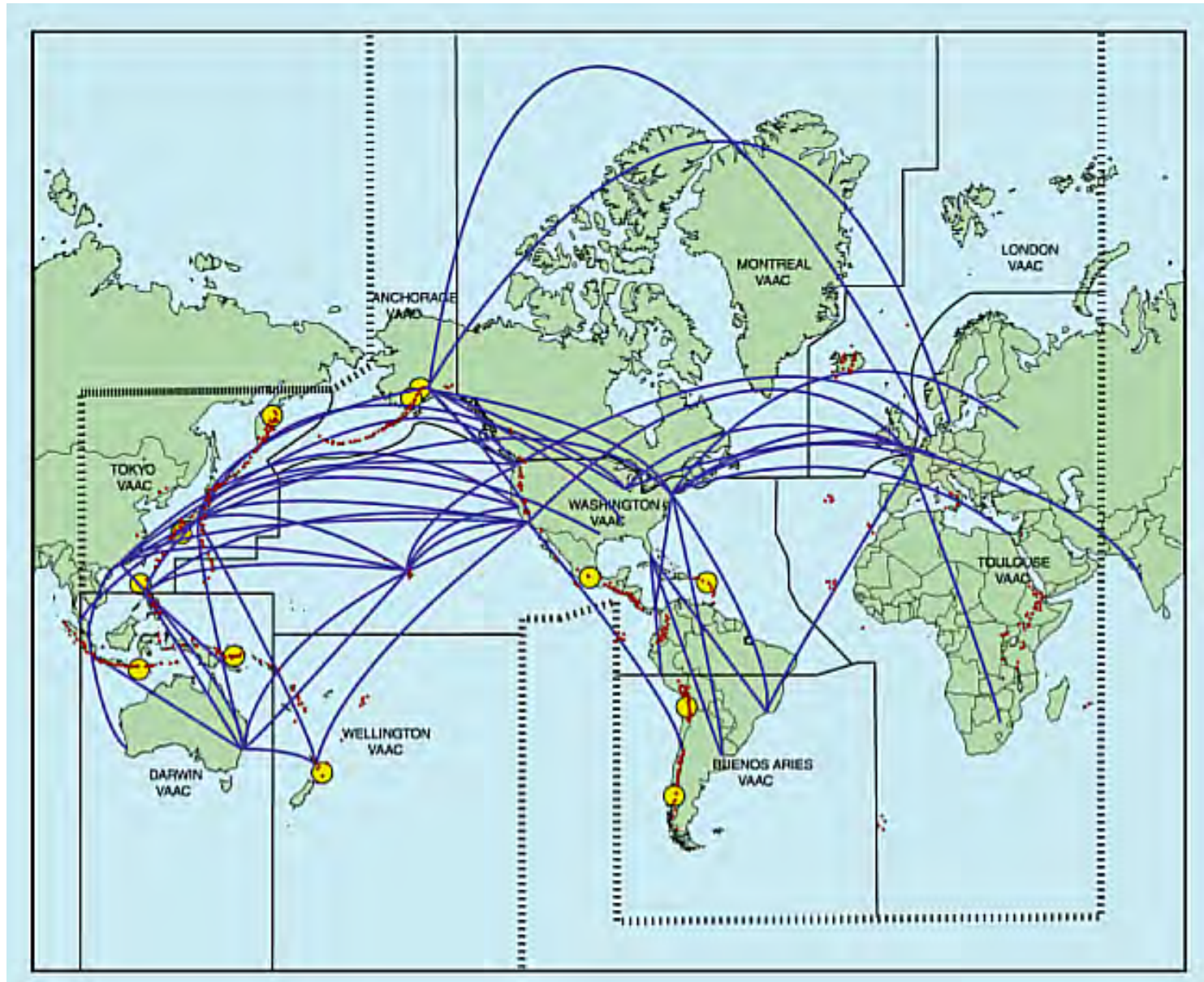




# *Distribución de la Ceniza Volcánica*



# Los Volcanes y las rutas Aéreas



# Erupciones significativas

Erupciones volcánicas en las últimas décadas, que han causado daño o que han afectado significativamente operaciones de aeronaves en todo el mundo

| <u>Volcano</u> | <u>Location</u> | <u>Date</u> |
|----------------|-----------------|-------------|
| Redoubt        | Alaska          | 1989-90     |
| Unzen          | Japan           | 1991        |
| Mt. Pinatubo   | Philippines     | 1991        |
| Hudson         | Chile           | 1992        |
| Mt Spurr       | Alaska          | 1992        |
| Lascar         | Chile           | 1993        |
| Rabaul         | New Britain     | 1994        |

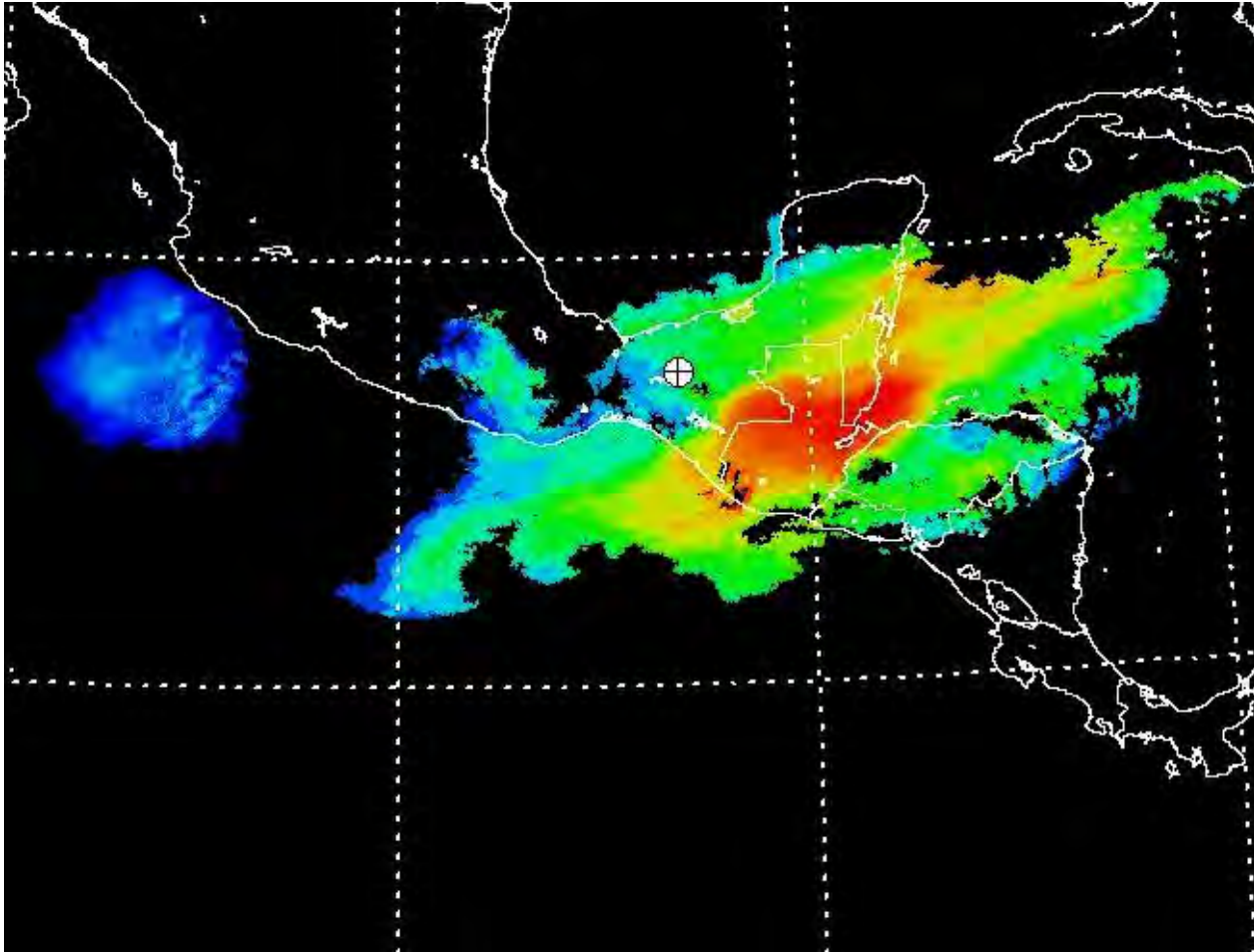
# **Erupciones significativas**

|                         |                    |                |
|-------------------------|--------------------|----------------|
| <b>Klyuchevskoy</b>     | <b>Kamchatka</b>   | <b>1992</b>    |
| <b>Rinjani</b>          | <b>Indonesia</b>   | <b>1994-95</b> |
| <b>Ruapehu</b>          | <b>New Zealand</b> | <b>1995</b>    |
| <b>Soufriere Hills</b>  | <b>Montserrat</b>  | <b>1996-98</b> |
| <b>Popocatepetl</b>     | <b>Mexico</b>      | <b>1996-98</b> |
| <b>Guagua Pichincha</b> | <b>Ecuador</b>     | <b>1999</b>    |
| <b>Hekla</b>            | <b>Iceland</b>     | <b>2000</b>    |
| <b>Etna</b>             | <b>Italy</b>       | <b>2000</b>    |
| <b>Miyake-jima</b>      | <b>Japan</b>       | <b>2000</b>    |
| <b>Volcán de Colima</b> | <b>México</b>      | <b>2005</b>    |
| <b>Chatien</b>          | <b>Chile</b>       | <b>2008</b>    |

# El Instituto de Geofísica, UNAM reporta 12 volcanes activos en territorio Mexicano



# Grandes Erupciones



El Chichon 1982, 1 día despues de la erupción. Principal nube de Ceniza 1500 millas al rededor

# Efectos de la ceniza volcánica en la Aviación

Height of Icelandic volcano ash cloud

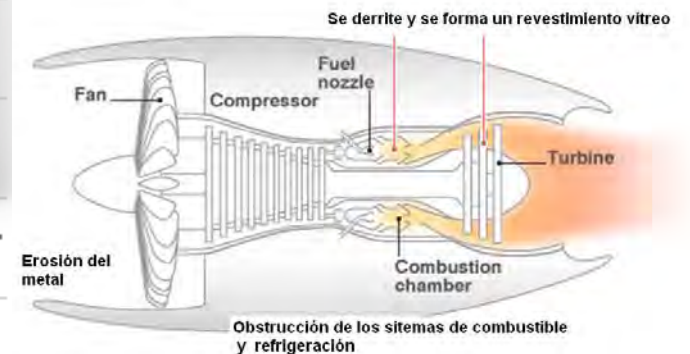
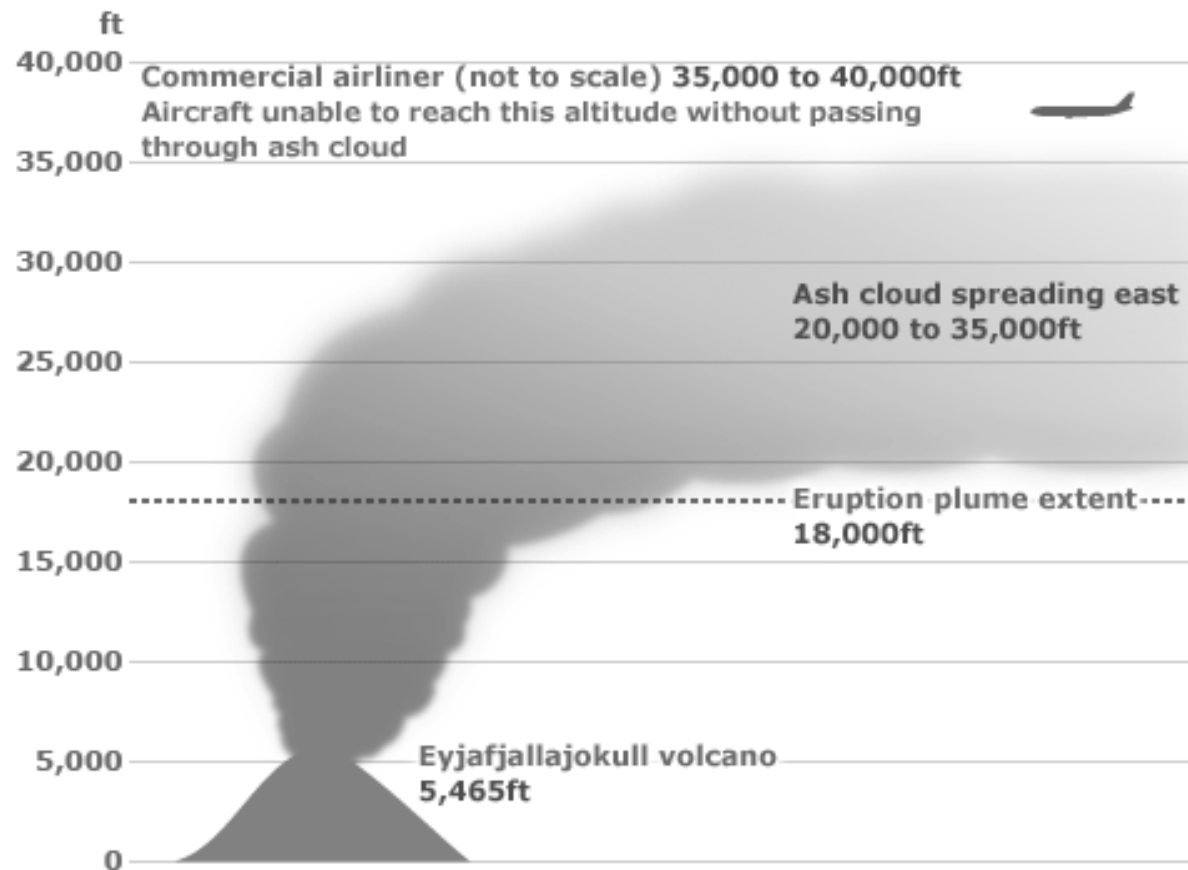
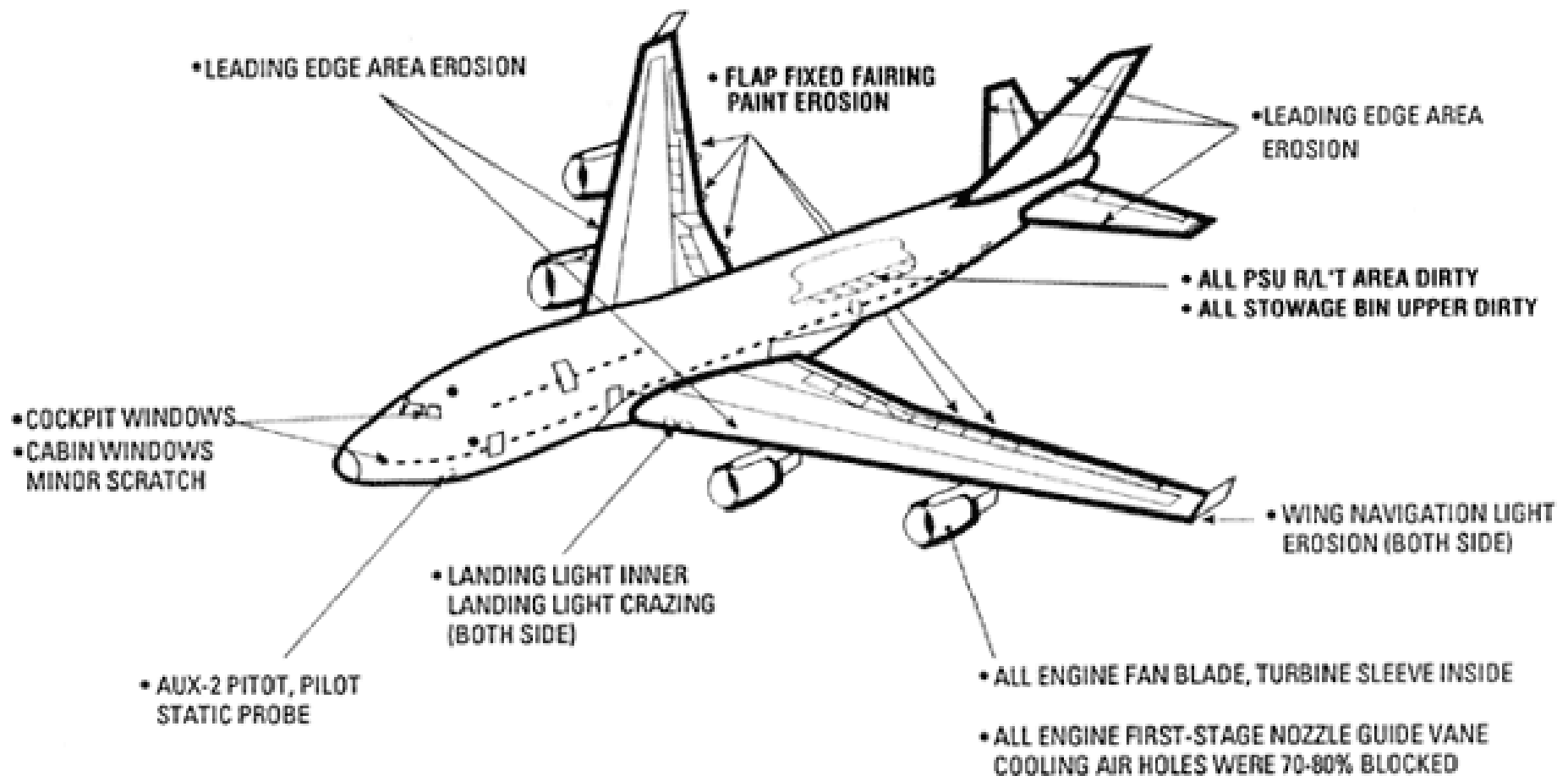


Imagen modificada de BBC News, 2010.

# Efectos de la ceniza volcánica en la Aviación

## Mitigación de riesgos en la aviación

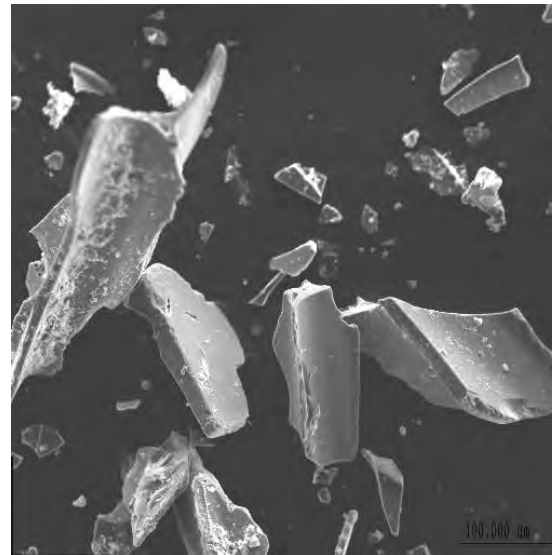
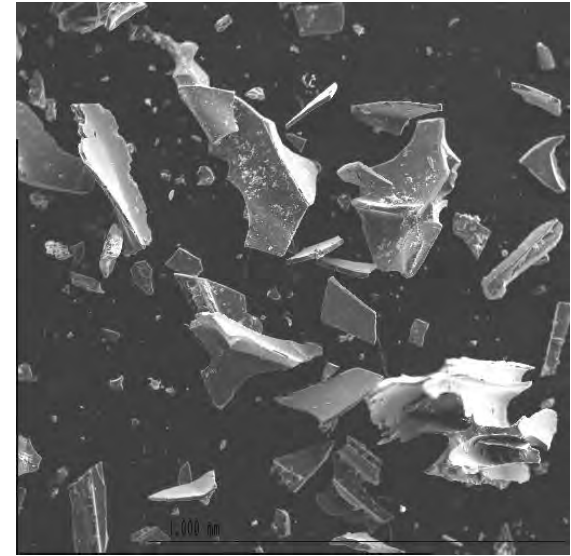
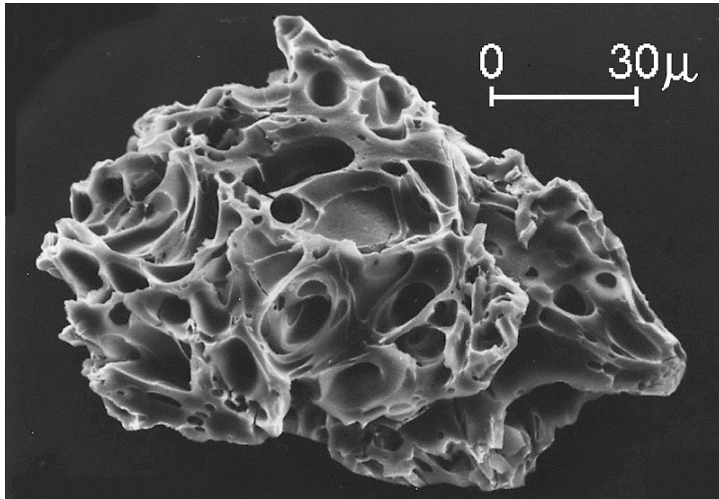




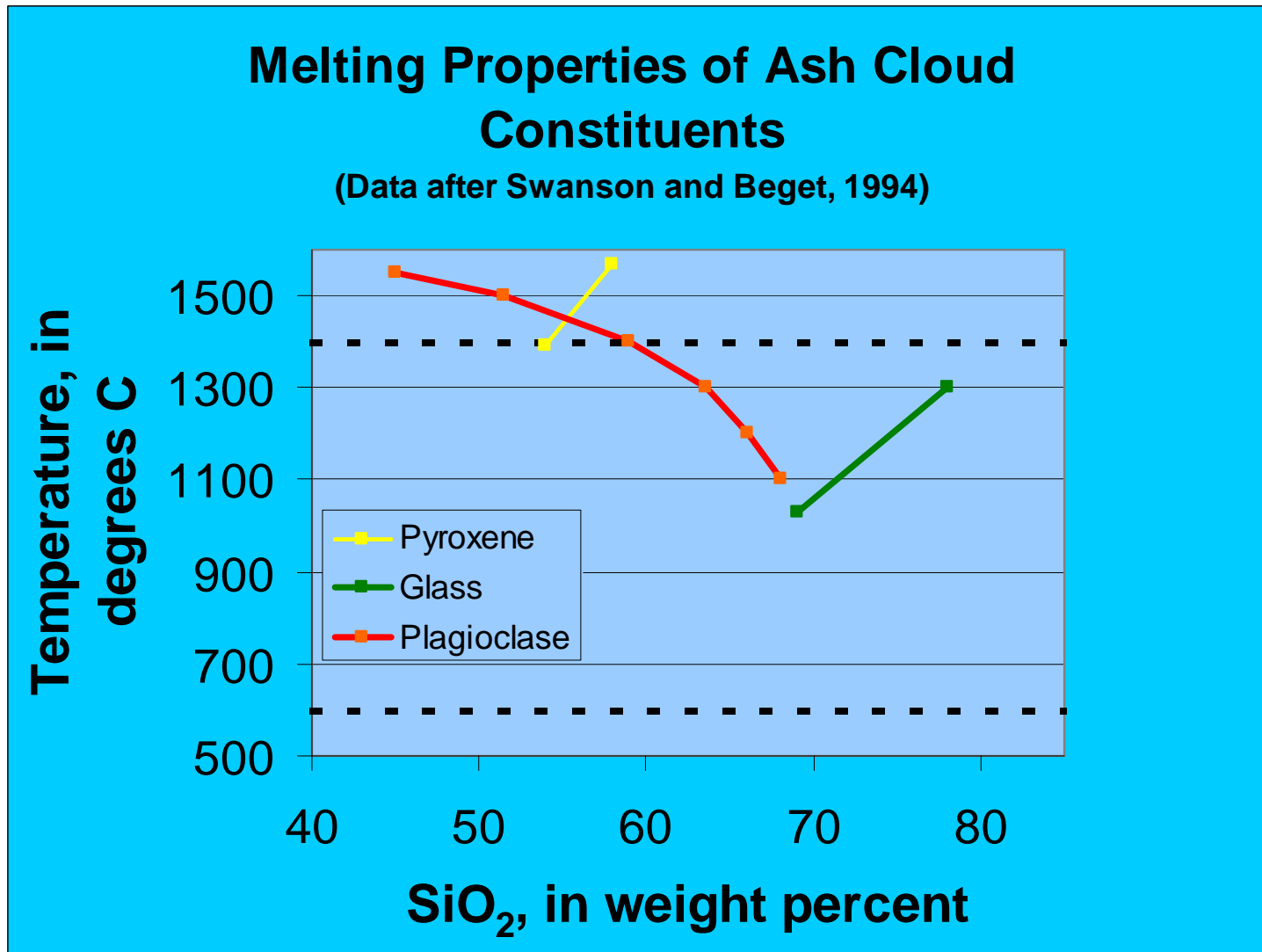
# Características de la Ceniza Volcánica

- Es una mezcla no consolidados de arena y polvo de tamaño (0.001 mm a 1 mm) constituida por fragmentos de rocas y minerales producidos durante las erupciones explosivas.
- Los fragmentos de roca contienen gran cantidad de Vidrio Volcánico.
- Incluyen fragmentos de mineral feldespato plagioclasa, hornblenda y piroxeno. Estos se funden a temperaturas más altas que los fragmentos de roca vidriosa.
- Ceniza es duro, fuerte, y angular.

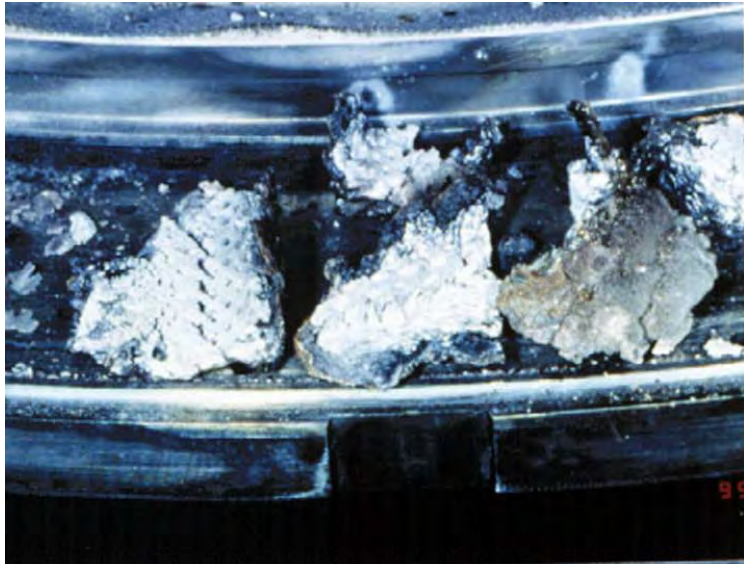
# Características de la Ceniza Volcánica



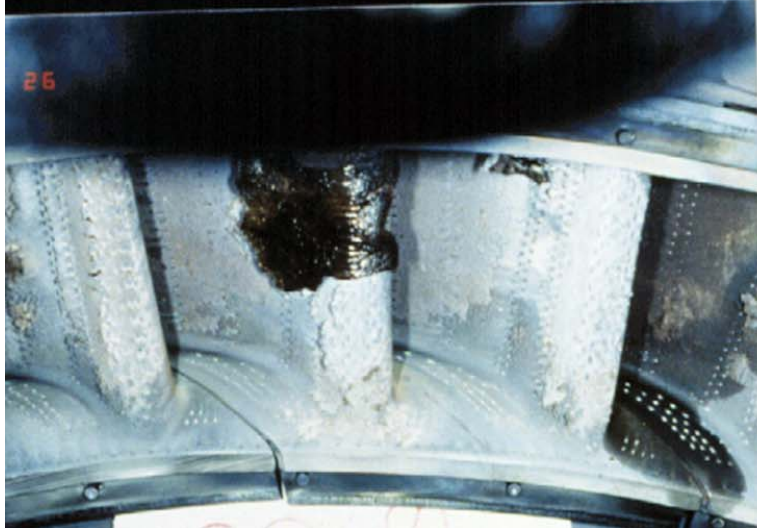
# Punto de fusión de la Ceniza Volcánica



# Deposición de vidrio volcánico en los alabes de la Turbina



C209 899-33



209899-30





# Identificación de la Ceniza Volcánica en el aire.

- Las nubes de ceniza a la deriva no son visibles por los radares meteorológicos debido al tamaño muy pequeño de las partículas y a su baja reflectancia.
- La identificación visual es difícil cuando la nube se dispersa, y en condiciones de poca luz.

# Detección de una nube de ceniza de forma visual



# Nube de ceniza que se confunde con nubes meteorológicas





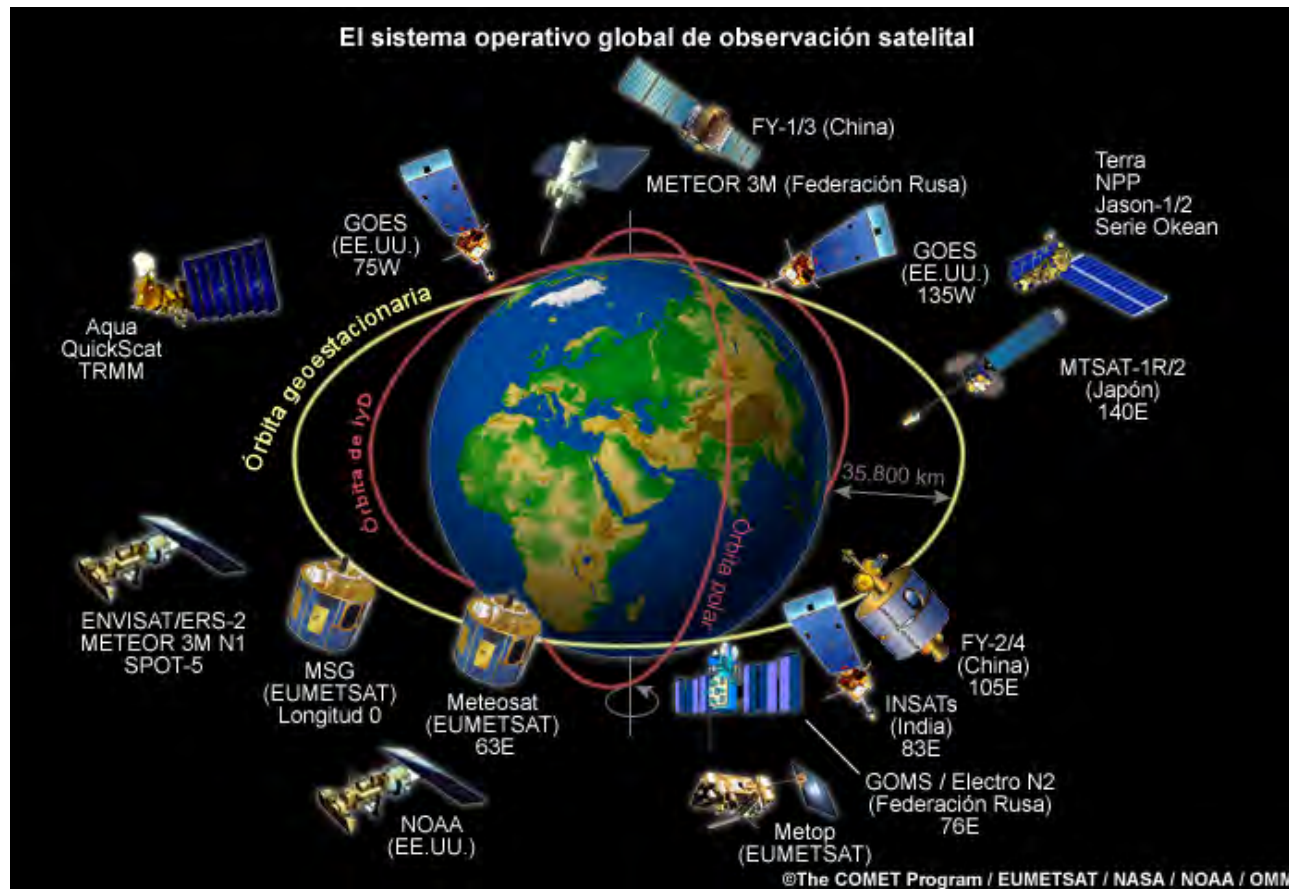
# Efectos de la Caída de Ceniza



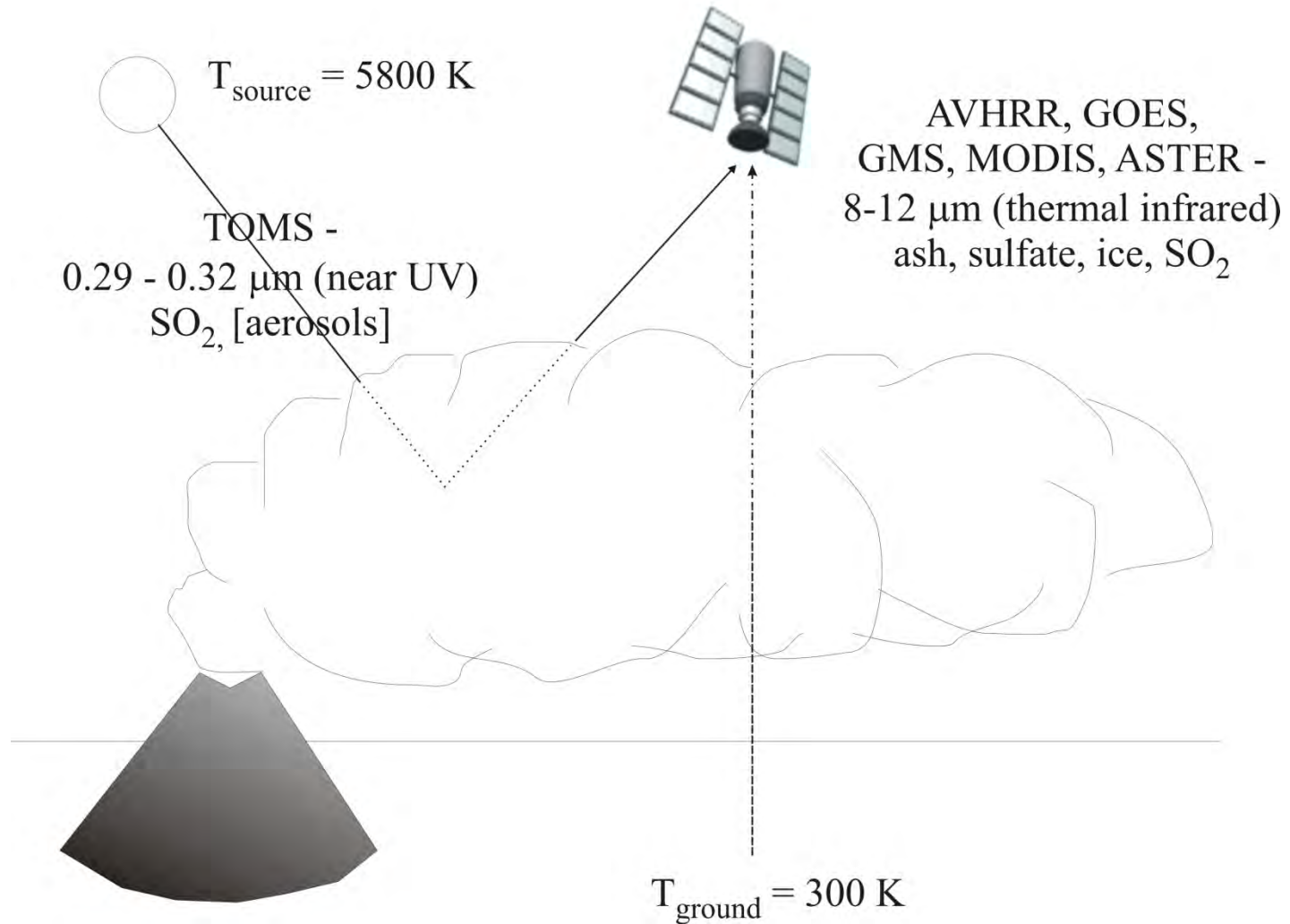
**Herramientas que se  
utilizan para la  
Mitigación de riesgos  
por erupciones  
volcánicas en aviación**

# Imágenes Satelitales

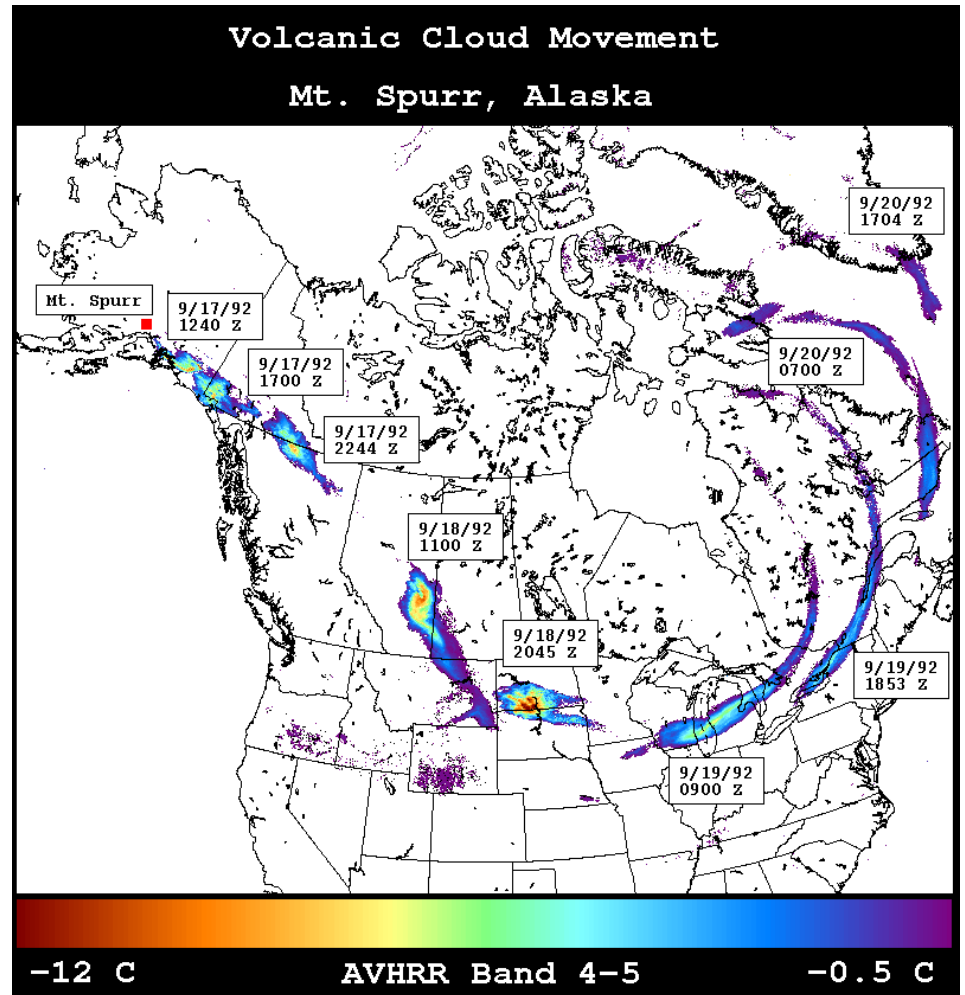
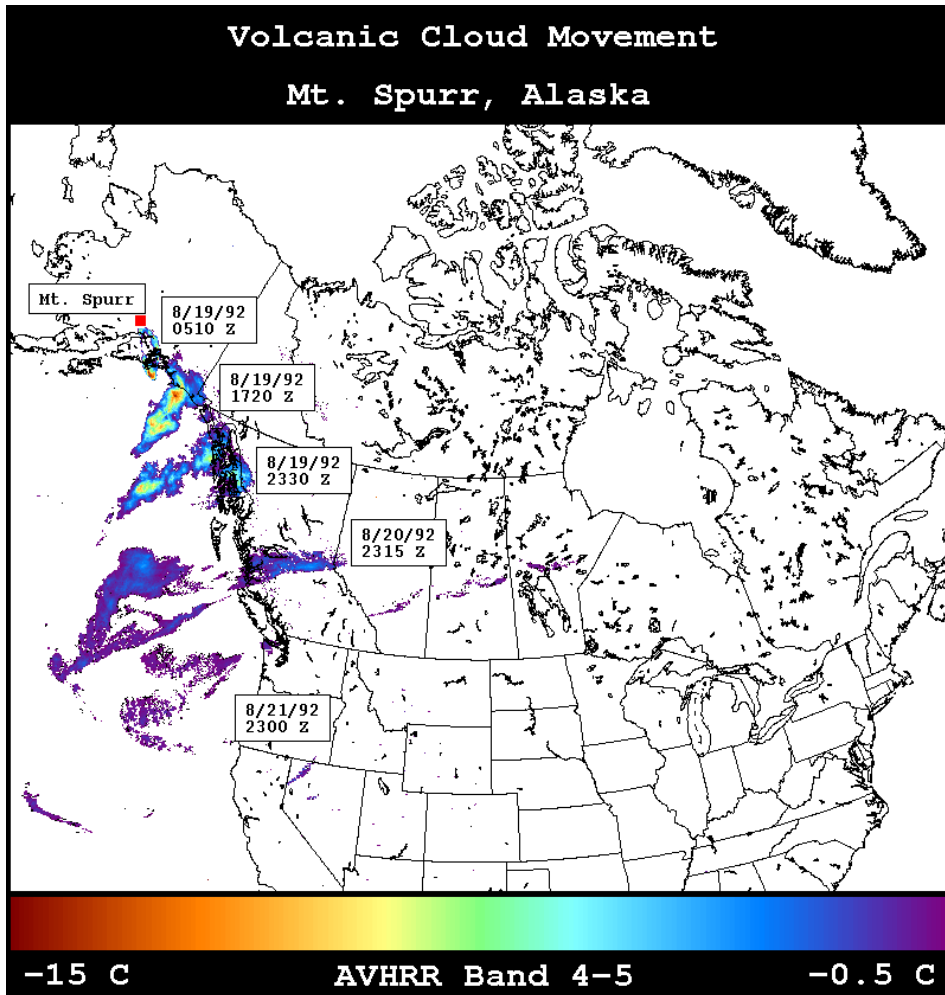
➤ En la actualidad existen otros sensores que permiten la detección de productos volcánicos como son el  $SO_2$  y la ceniza volcánica (p. ej. *GMS-5*, *GOES*, *TIMS*, *AVHRR*, *MODIS*, *ASTER*, *OMI*).



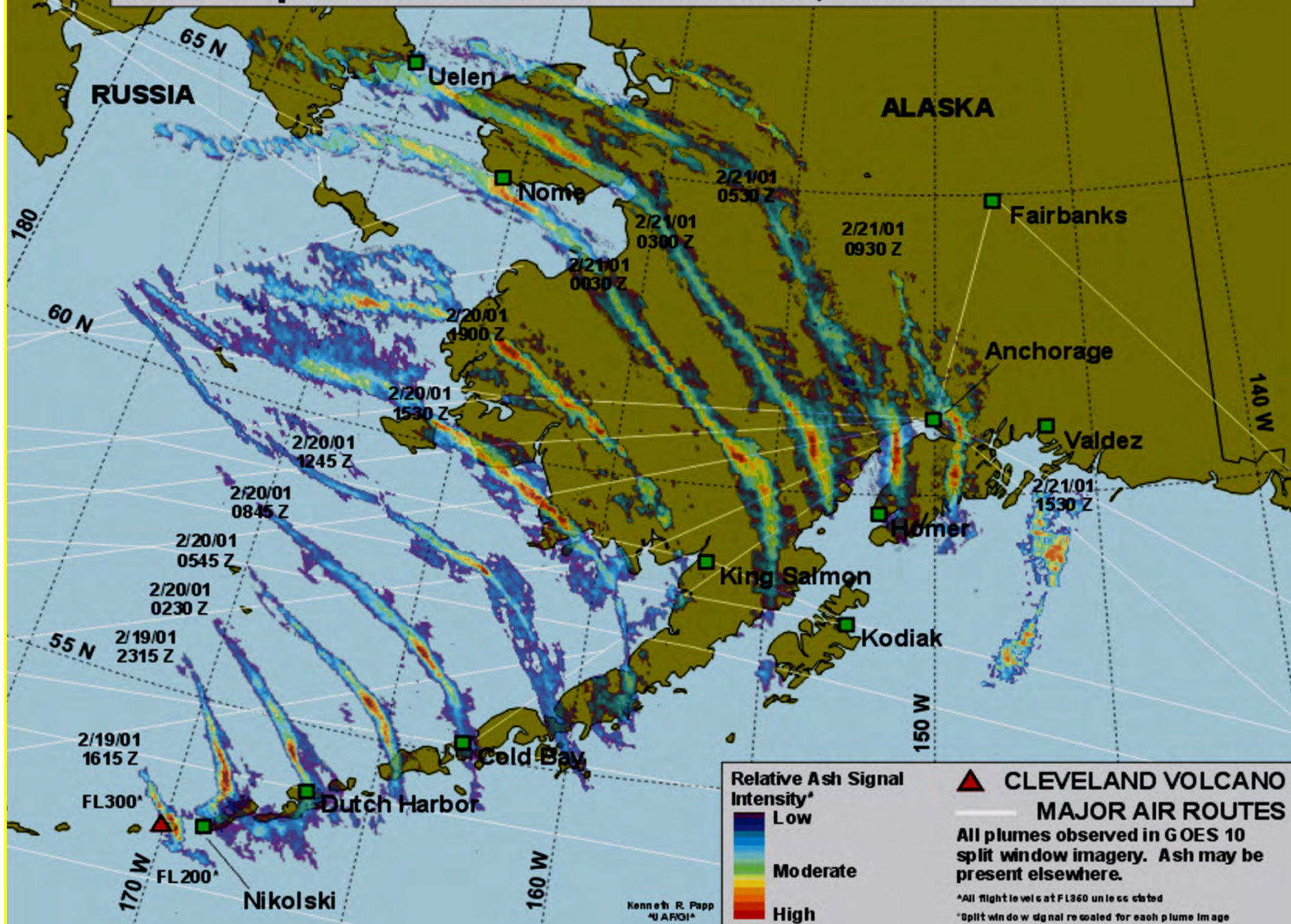
# *Imágenes Satelitales*



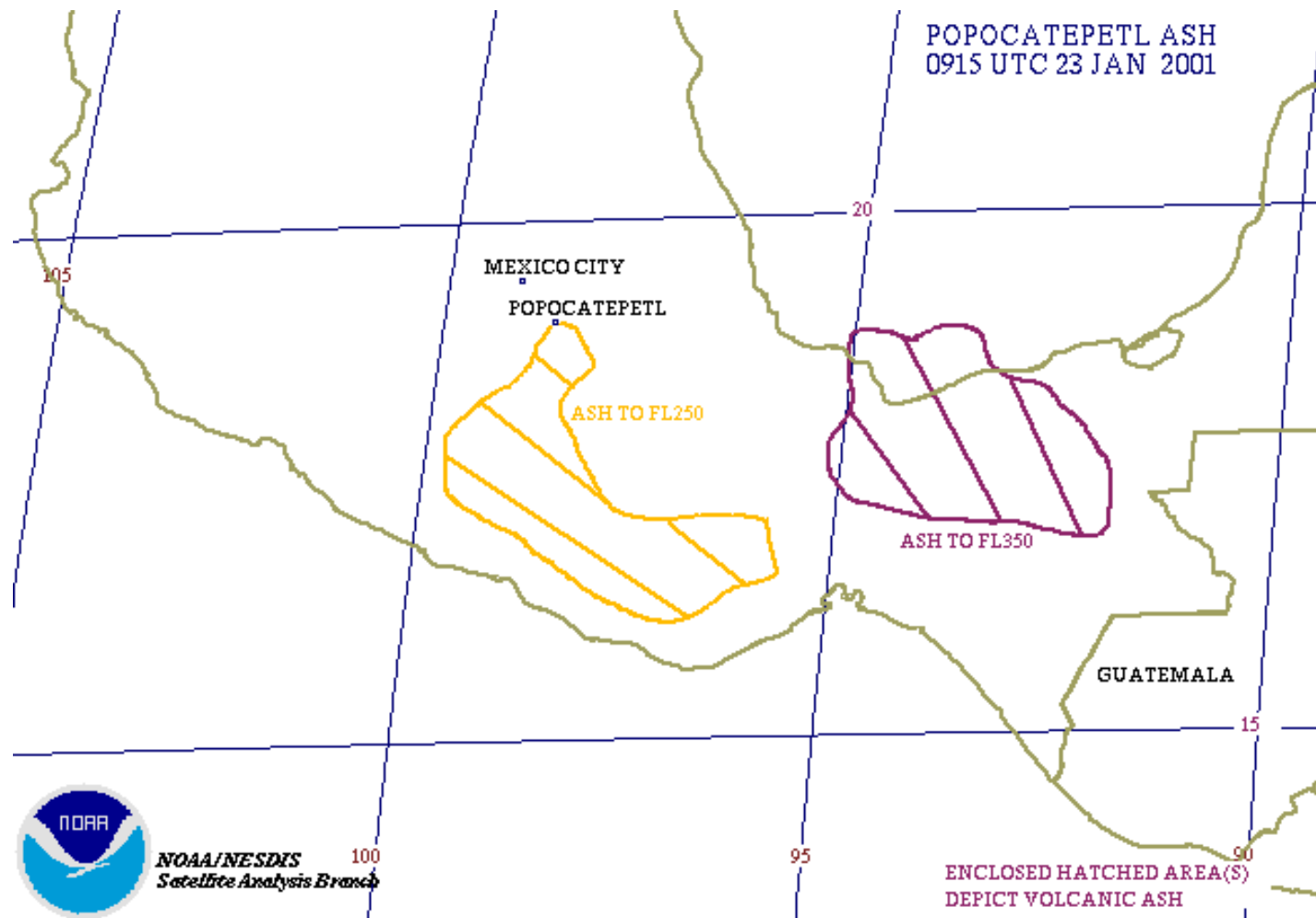
# Rastreo de la nube de Ceniza



# The Eruption of Cleveland Volcano, Alaska: Feb. 2001



# Reportes emitidos por la Volcanic Ash Advisory Centres (VAAC)

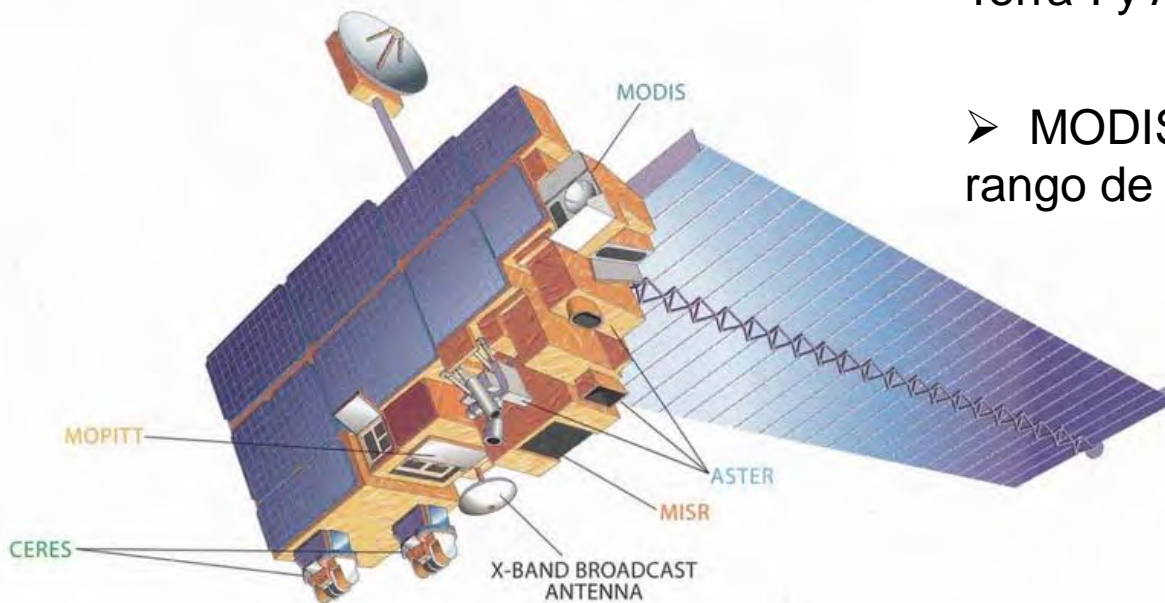


# Sensor MODIS

➤ Existen dos plataformas satelitales que cuentan con el sensor MODIS: Terra-I y Aqua –I

➤ MODIS cuenta con 36 Bandas en un rango de 0.4  $\mu\text{m}$  a 14.4  $\mu\text{m}$

➤ Cuenta con una Resolución Espacial de:  
250 m (Banda 1 y 2)  
500 m (Banda 3 a 7)  
1000 m (Bandas 8 a 36)



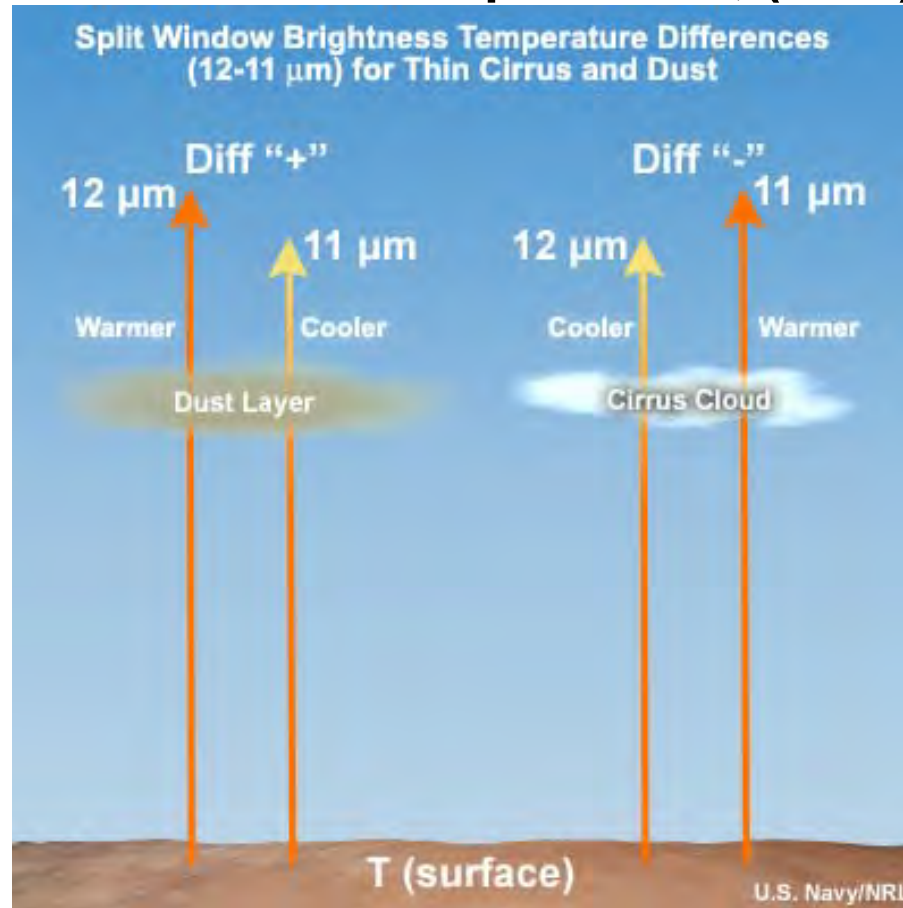
## Satélite Terra - I

➤ Terra-I fue puesto en orbita en Diciembre de 1999. Aqua-I fue puesto en orbita en Mayo del 2002.



# Detección de Ceniza Volcánica.

Técnica desarrollada por Prata, (1989)

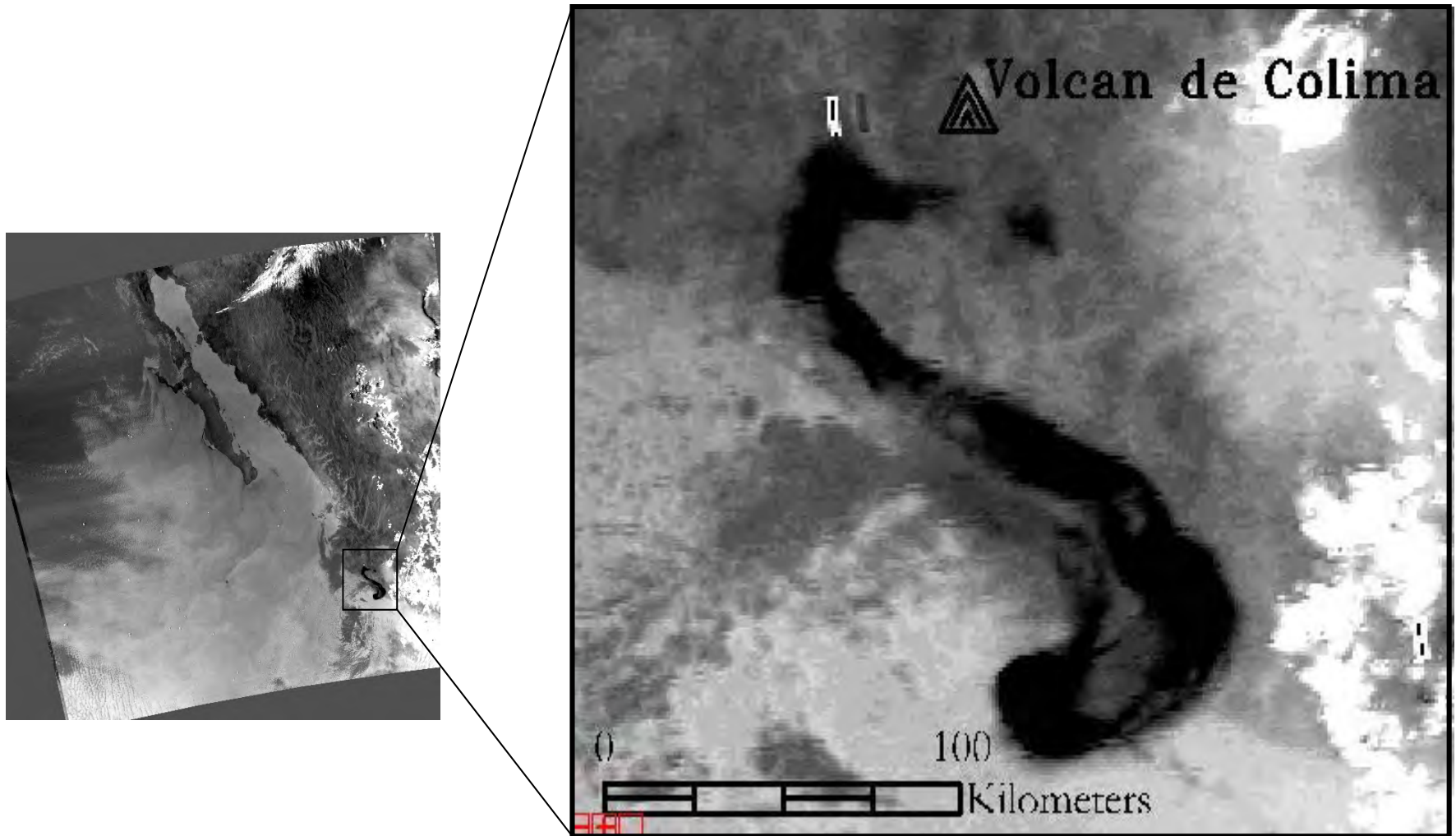


Detección de Ceniza (con el método de Split-Window)

$BT_{10.7\mu m} - BT_{12.0\mu m} = \text{Negativo para ceniza}$

$BT_{10.7\mu m} - BT_{12.0\mu m} = \text{Positivo para nube de hielo/agua}$

# Imagen MODIS resta de bandas: b31 - b32



Erupción del Volcán de Colima del 10 de Junio de 2005.

# Imagen MODIS resta de bandas: b31 - b32

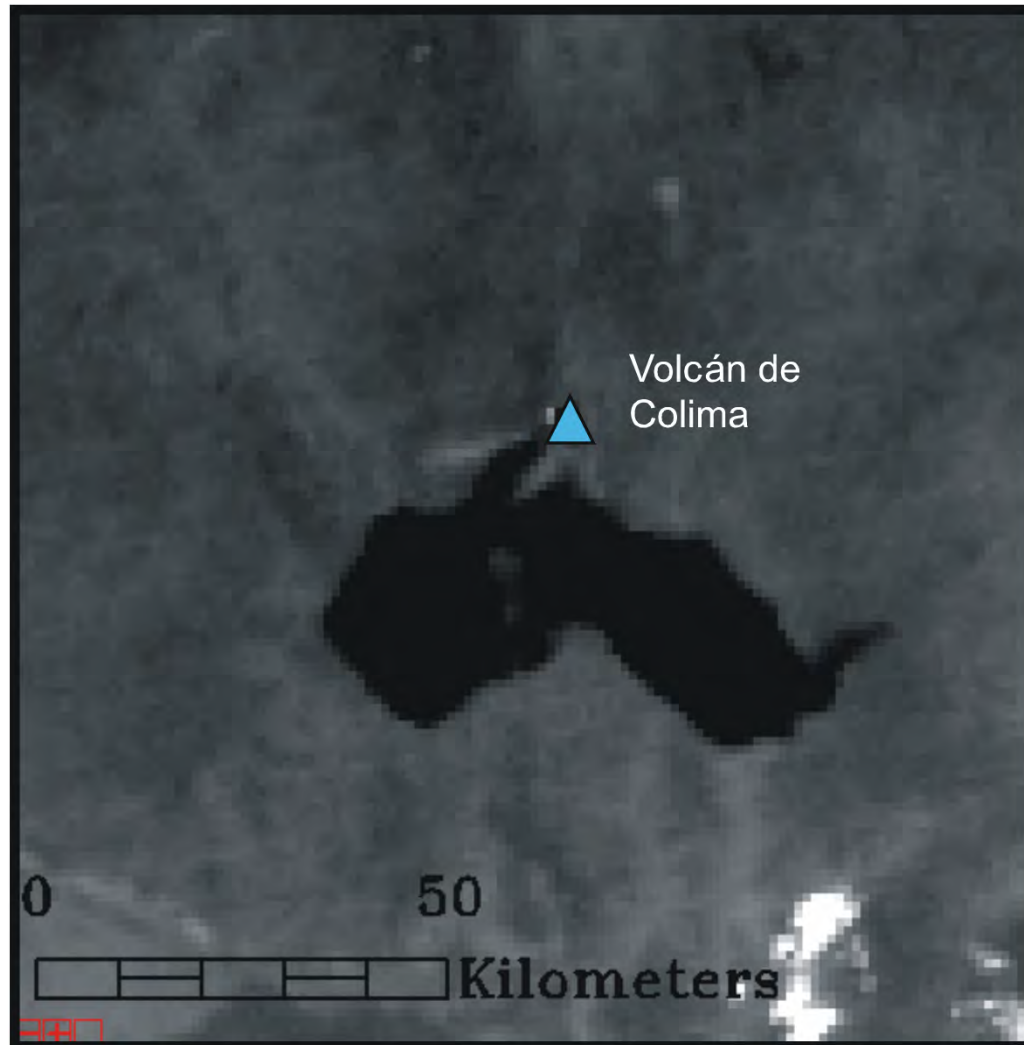
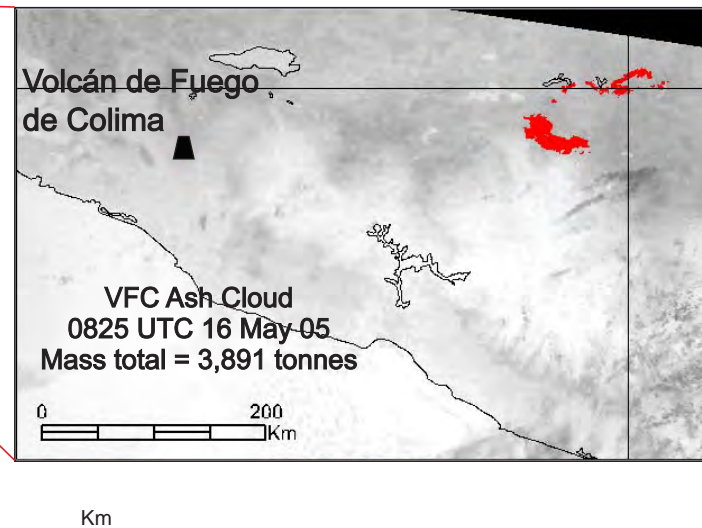
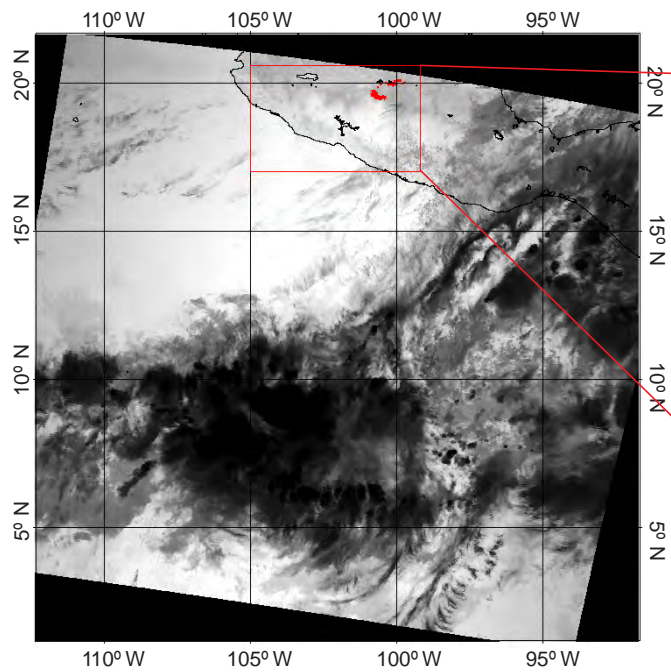
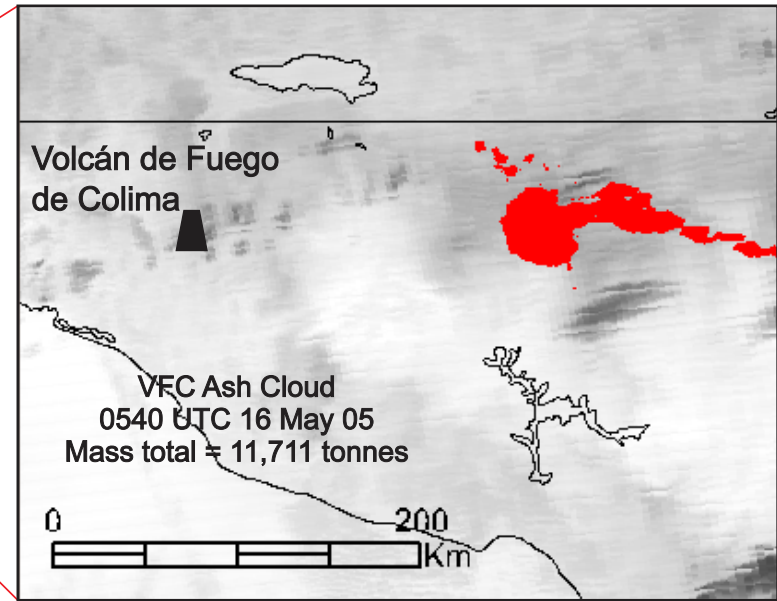
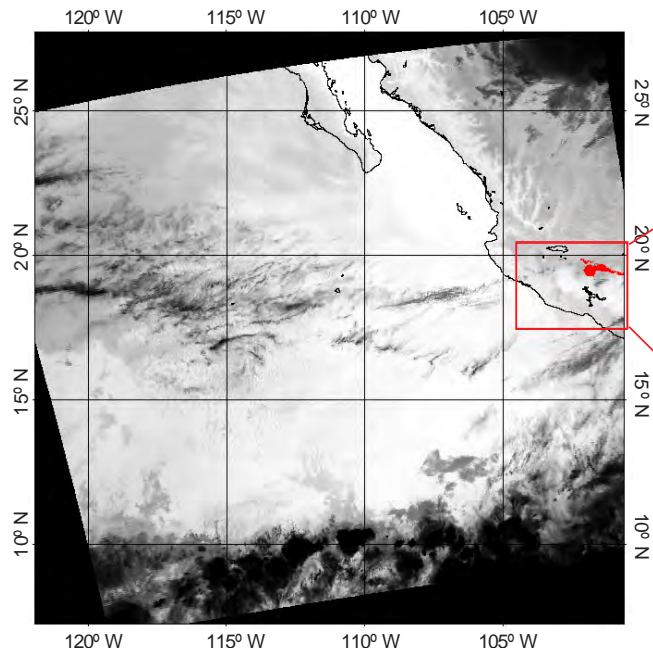


Imagen MODIS del  
7 de Junio de 2005.  
05:35 UTM

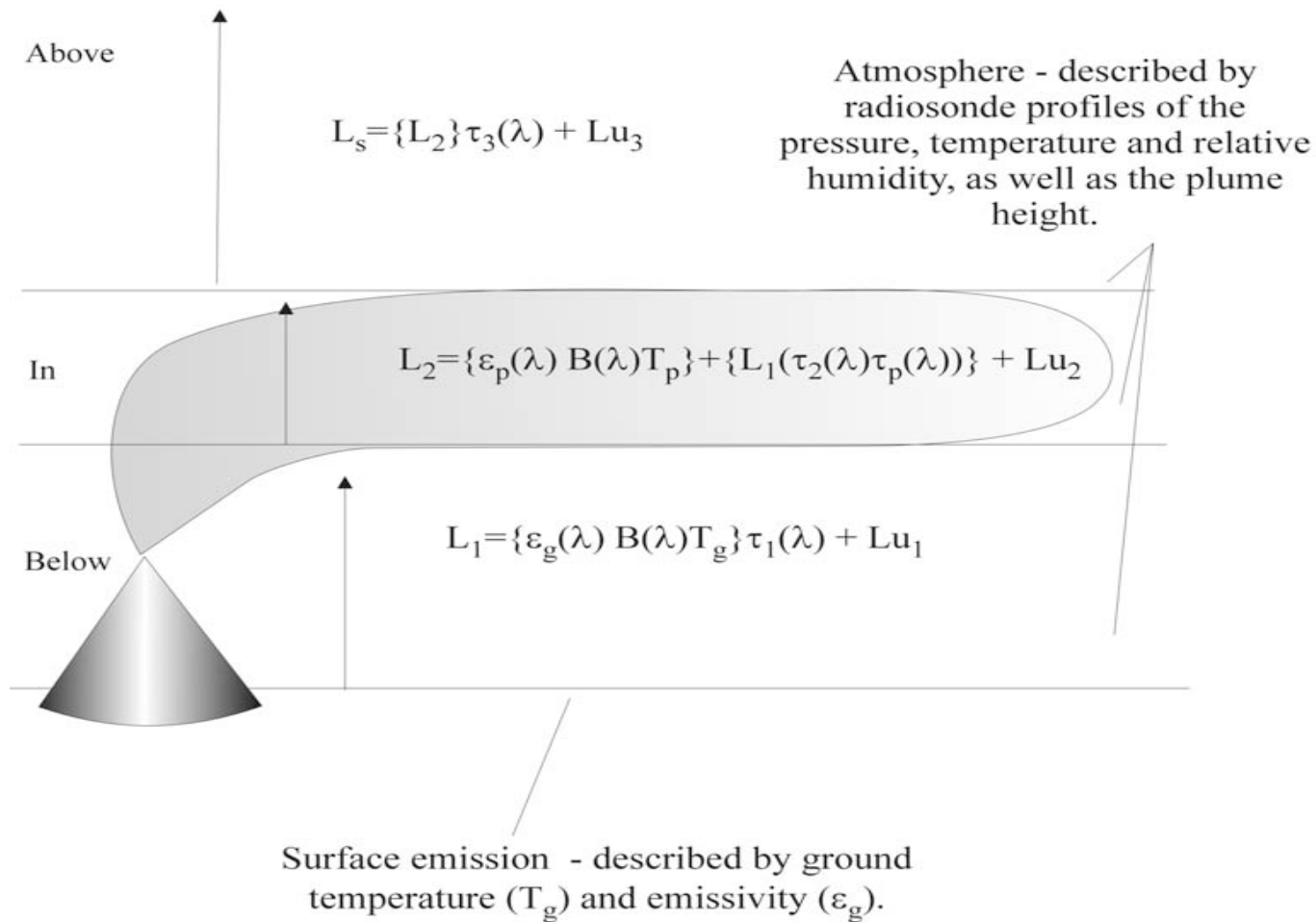
Cantidad de CENIZA:  
4538 Tons

Área: 1200 Km<sup>2</sup>

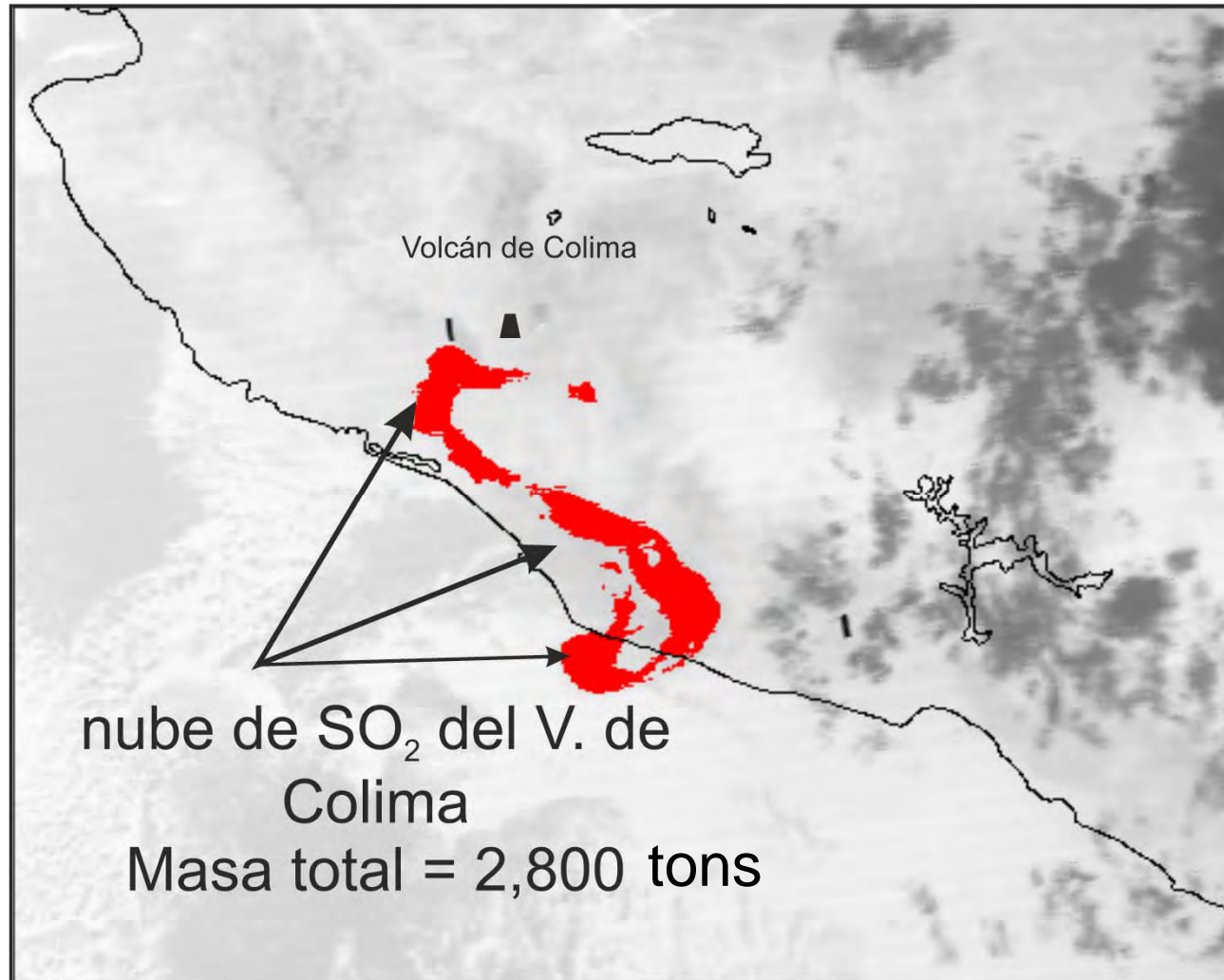


# Teoría de cuantificación de SO<sub>2</sub> basada en 8.6μm, Realmutto et al., (1994)

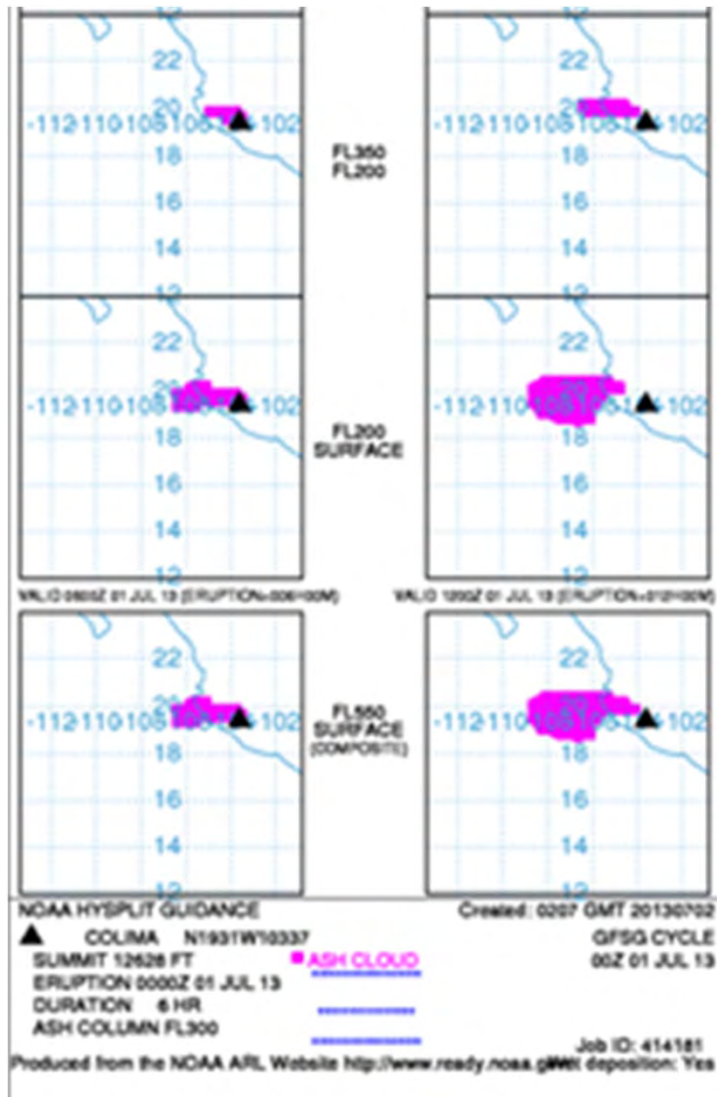
At-satellite radiance - described by the surface emission, the transmission of the plume ( $\tau_p$ ) and the atmosphere.



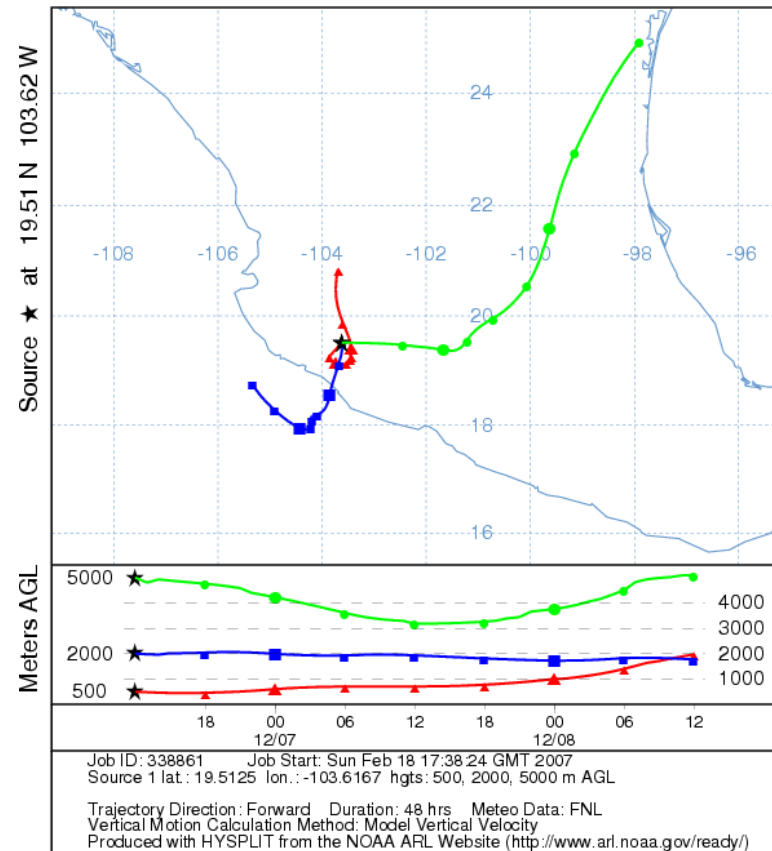
# Detección de SO<sub>2</sub> en la erupción de 10 de Junio del 2005 en el Volcán de Colima



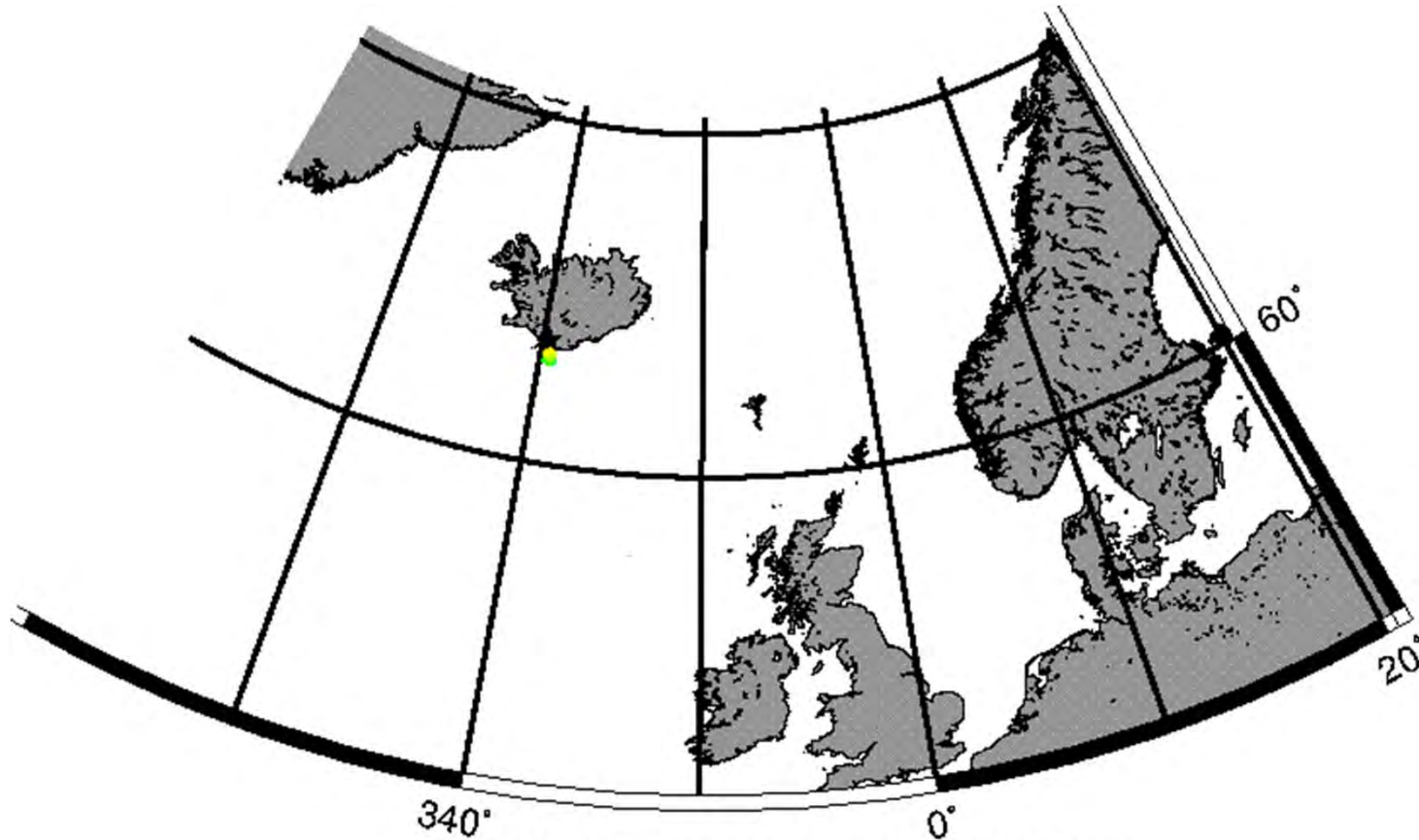
# Modelado Matemático



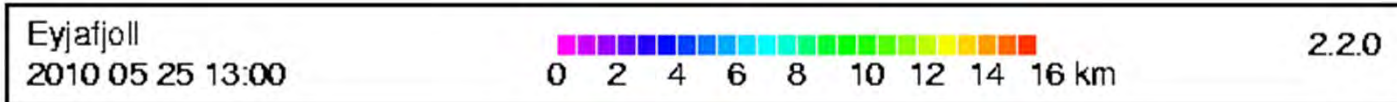
NOAA HYSPLIT MODEL  
 Forward trajectories starting at 12 UTC 06 Dec 06  
 FNL Meteorological Data



# Puff - Volcanic Ash Tracking Model

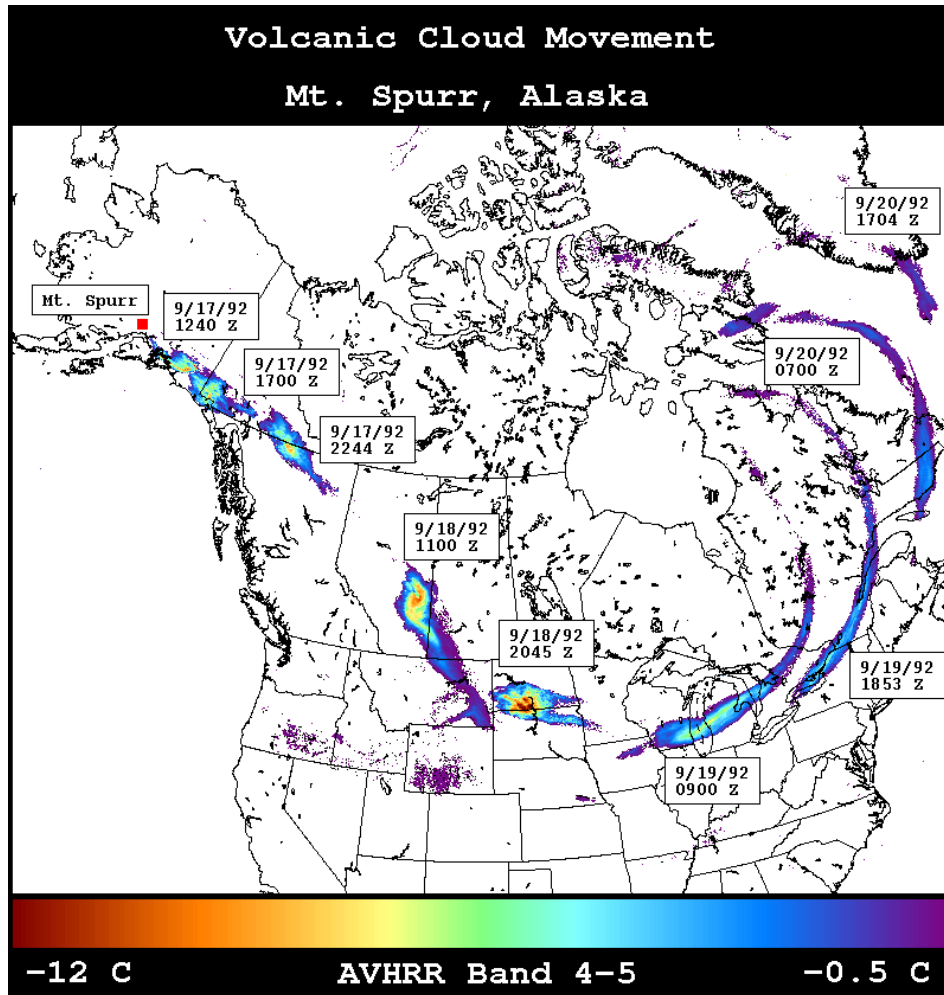


Simulation provided by Geophysical Institute, UAF  
[www.gi.alaska.edu](http://www.gi.alaska.edu) / [puff.images.alaska.edu](http://puff.images.alaska.edu)

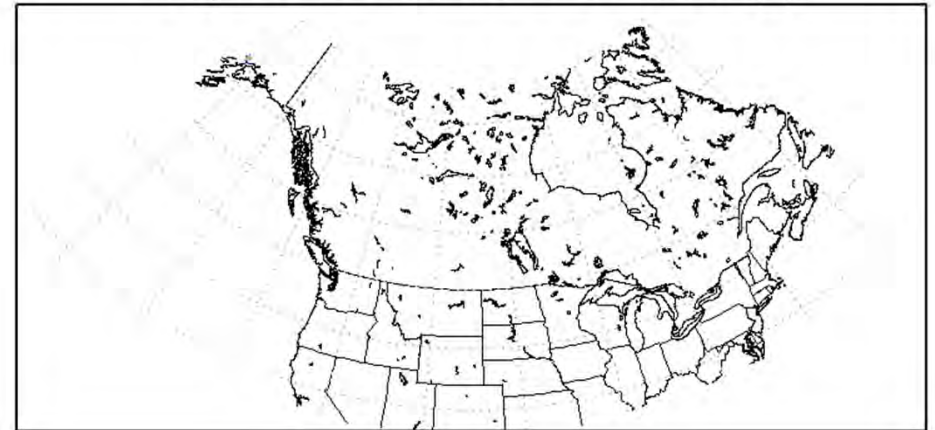




# Modelado Matemático



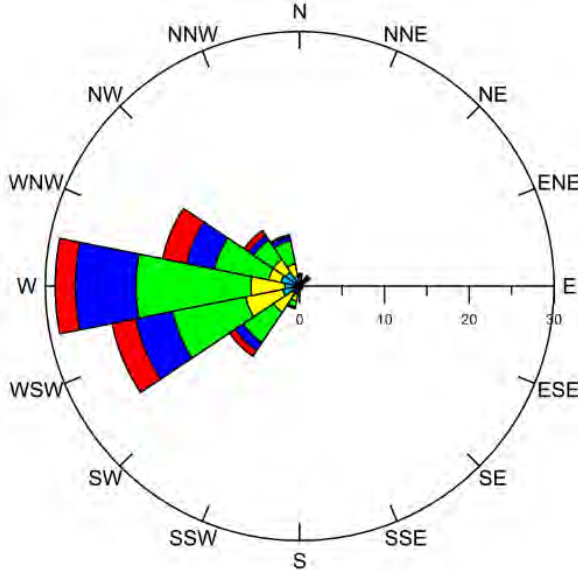
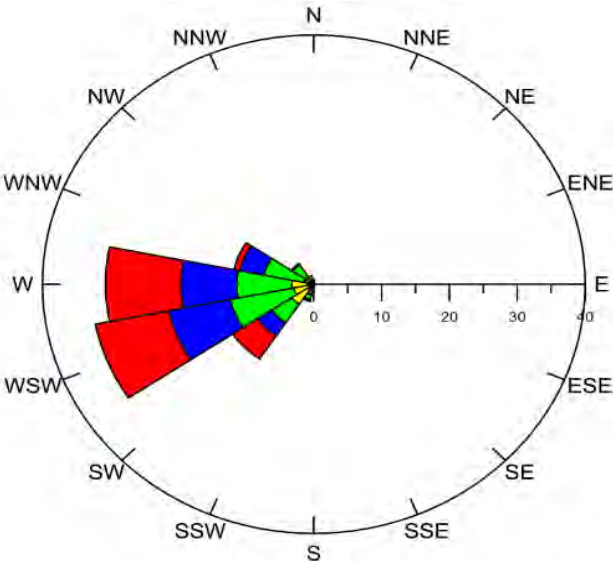
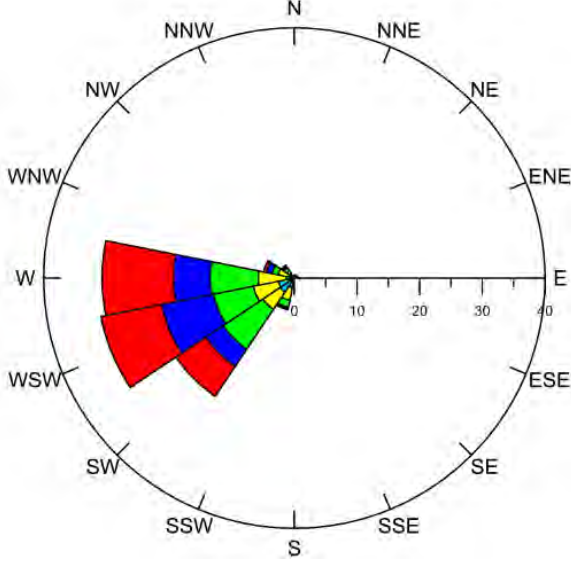
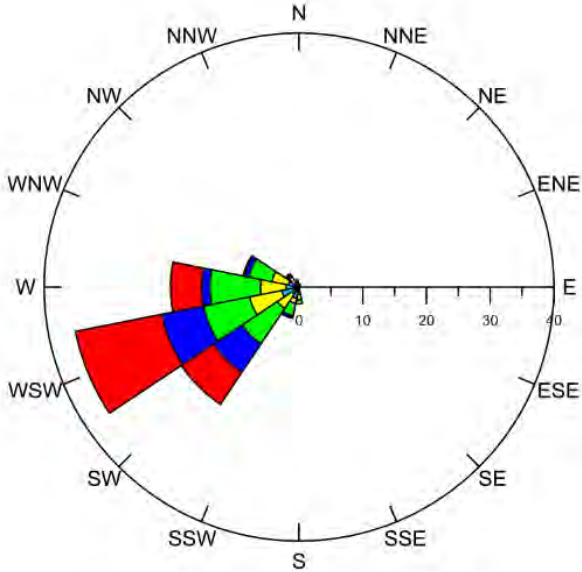
17sep1992 at 08:00 AOT at 0.5 micron (-)



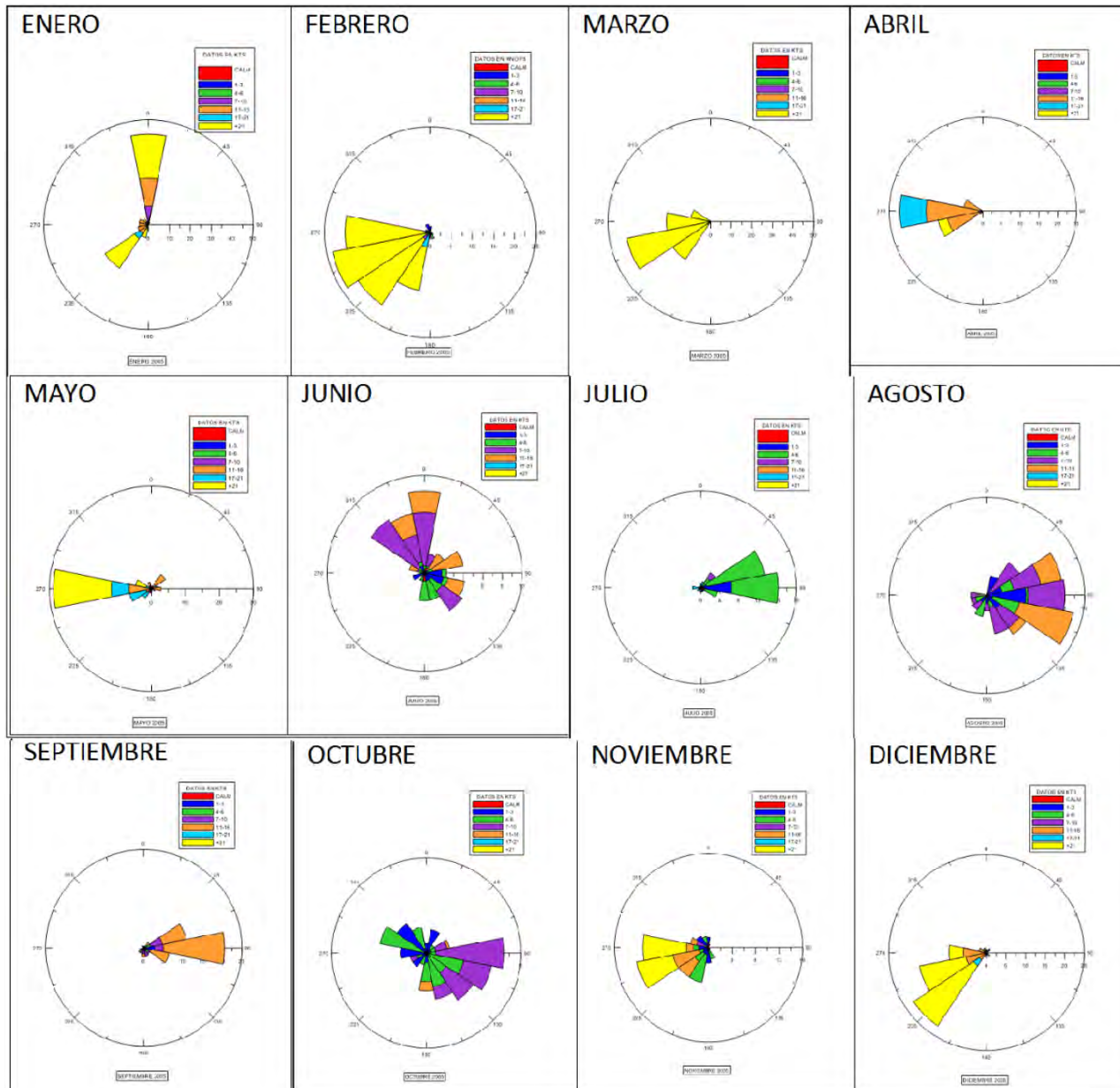
0.25 0.5 0.75 1 1.5 2 3 4 5

# Estudio de vientos en el Cráter del Volcán

|  |               |
|--|---------------|
|  | 1 a 3 m/s     |
|  | 4 a 6 m/s     |
|  | 7 a 10 m/s    |
|  | 11 a 16 m/s   |
|  | 17 a 21 m/s   |
|  | más de 21 m/s |



# Estudio de Vientos en la zona del Crater

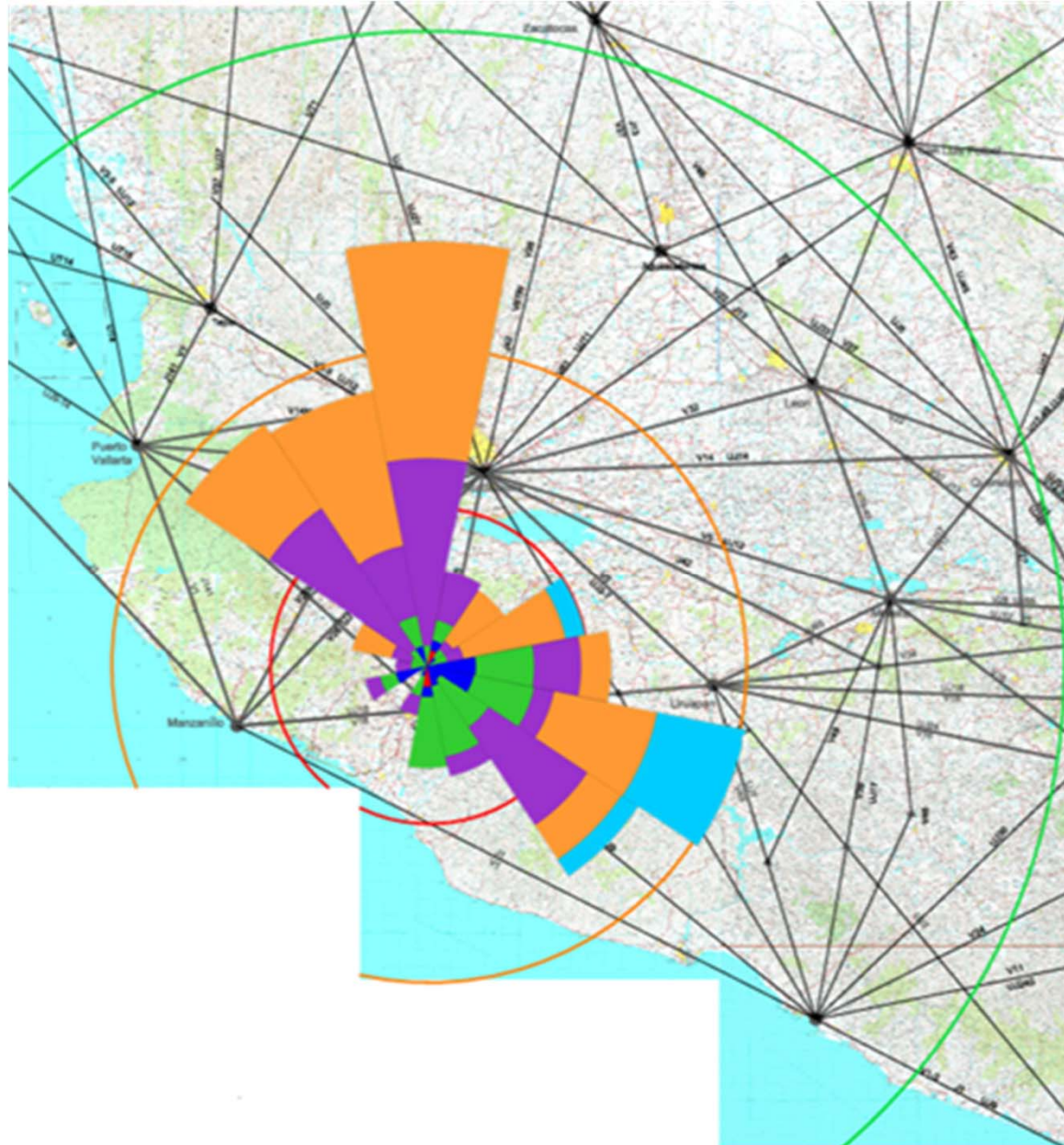


# Aerovías en el Espacio Aéreo Mexicano



Volcán de Colima

# Aerovías en el Espacio Aéreo Mexicano



# Aerovías en el Espacio Aéreo Mexicano

| <b>Origen</b>  | <b>Rumbo Origen</b> | <b>Aerovías</b> | <b>Rumbo Destino</b> | <b>Destino</b>  |
|----------------|---------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| COLIMA         | 077°                | UJ18 Y V18      | 258°                 | URUAPAN         |
| COLIMA         | 122°                | UJ9             | 303°                 | ZIHUATANEJO     |
| COLIMA         | 255°                | UJ18 Y V18      | 074°                 | MANZANILLO      |
| COLIMA         | 304°                | UJ9             | 123°                 | VALLARTA        |
| COLIMA         | 004°                | J25 Y V61       | 184°                 | GUADALAJARA     |
| GUADALAJARA    | 213°                | UJ11 Y V26      | 032°                 | MANZANILLO      |
| MANZANILLO     | 109°                | J1 Y V1         | 291°                 | ZIHUATANEJO     |
| GUADALAJARA    | 141°                | UJ27            | 322°                 | ZIHUATANEJO     |
| MANZANILLO     | 302°                | J1              | 120°                 | LOS CABOS       |
| MANZANILLO     | 329°                | V1 Y J141       | 149°                 | VALLARTA        |
| URUAPAN        | 057°                | UJ65 Y V17      | 239°                 | MORELIA         |
| URUAPAN        | 076°                | V34             | 257°                 | PESTEJE         |
| URUAPAN        | 098°                | UJ24 Y V26      | 279°                 | TEQUESQUITENGO  |
| TOLUCA         | 265°                | UJ18 Y V18      | 084°                 | URUAPAN         |
| URUAPAN        | 133°                | UJ3             | 314°                 | ACAPULCO        |
| URUAPAN        | 156°                | UJ7, V49 Y V3   | 336°                 | ZIHUATANEJO     |
| URUAPAN        | 125°                | UJ3-7 Y V3      | 306°                 | GUADALAJARA     |
| GUADALAJARA    | 99°                 | V5 Y UJ12       | 281°                 | MORELIA         |
| GUADALAJARA    | 282°                | V14N Y UJ14N    | 071°                 | VALLARTA        |
| GUADALAJARA    | 267°                | V14 Y UJ14      | 086°                 | VALLARTA        |
| GUADALAJARA    | 252°                | V14S Y UJ14S    | 101°                 | VALLARTA        |
| GUADALAJARA    | 295°                | V3-5 Y UJ12     | 113°                 | TEPIC           |
| GUADALAJARA    | 307°                | UJ3             | 124°                 | MAZATLAN        |
| GUADALAJARA    | 335°                | UJ27 Y UJ7      | 154°                 | DURANGO         |
| GUADALAJARA    | 006°                | J42, V61W Y V26 | 185°                 | ZACATECAS       |
| AGUASCALIENTES | 208°                | V61 Y UJ11      | 030°                 | GUADALAJARA     |
| GUADALAJARA    | 044°                | J25             | 224°                 | SAN LUIS POTOSI |
| GUADALAJARA    | 066°                | V32             | 24 /°                | LEON            |
| GUADALAJARA    | 080°                | V14 Y UJ14      | 262°                 | QUERETARO       |

# Aeropuertos alrededor del Volcán

| Aeropuerto  | Categoría     | No. de Operaciones Anuales |
|---|---------------|----------------------------|
| Aeropuerto de Aguascalientes "Jesús Terán"              | Internacional | 3090                       |
| Aeropuerto de Colima "Lic Miguel de la Madrid"          | Nacional      | 1020                       |
| Aeropuerto de Guadalajara "Don Miguel Hidalgo"          | Internacional | 47840                      |
| Aeropuerto de León                                      | Nacional      | 2950                       |
| Aeropuerto de Manzanillo "Playa de Oro"                 | Nacional      | 1100                       |
| Aeropuerto de Morelia "General Francisco J. Mujica"     | Internacional | 3620                       |
| Aeropuerto de Puerto Vallarta "Lic. Gustavo Díaz Ordaz" | Internacional | 12530                      |
| Aeropuerto de Querétaro                                 | Nacional      | 1575                       |
| Aeropuerto de Tepic                                     | Nacional      | 695                        |
| Aeropuerto de Uruapan                                   | Nacional      | 420                        |
| Aeropuerto de Zihuatanejo                               | Nacional      | 2820                       |
| Aeropuerto de Zacatecas                                 | Nacional      | 2133                       |
| Aeropuerto de San Luis Potosi                           | Nacional      | 4263                       |

| AEROPUERTO  | LOCALIZACION  | DISTANCIA NM |
|---|---------------|--------------|
| AEROPUERTO INTERNACIONAL DE PUEBLA HERMANOS SERDAN            | PUEBLA        | 16.51        |
| AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO BENITO JUÁREZ | CD. DE MEXICO | 35.47        |
| AEROPUERTO TLAXCALA   | MORELOS       | 38           |
| AEROPUERTO GRAL MARIANO MATAMOROS                             | TLAXCALA      | 40           |





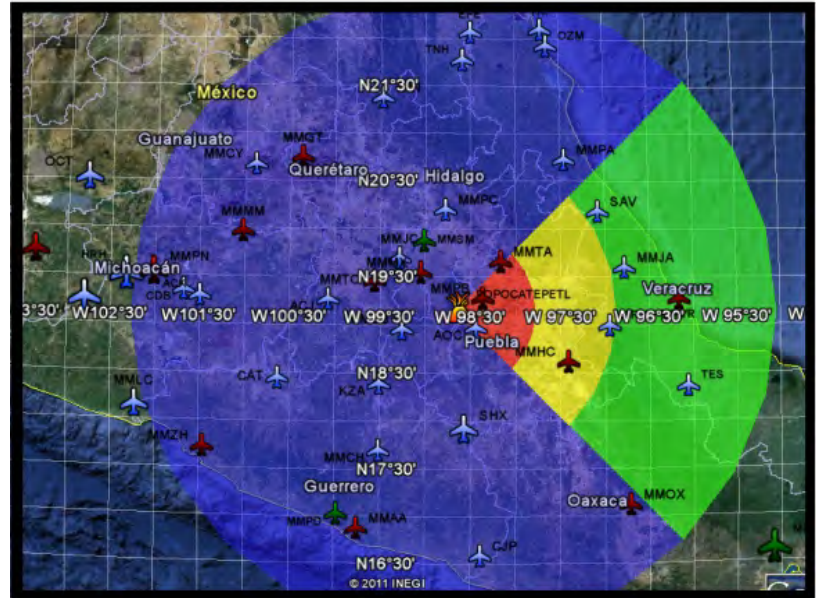




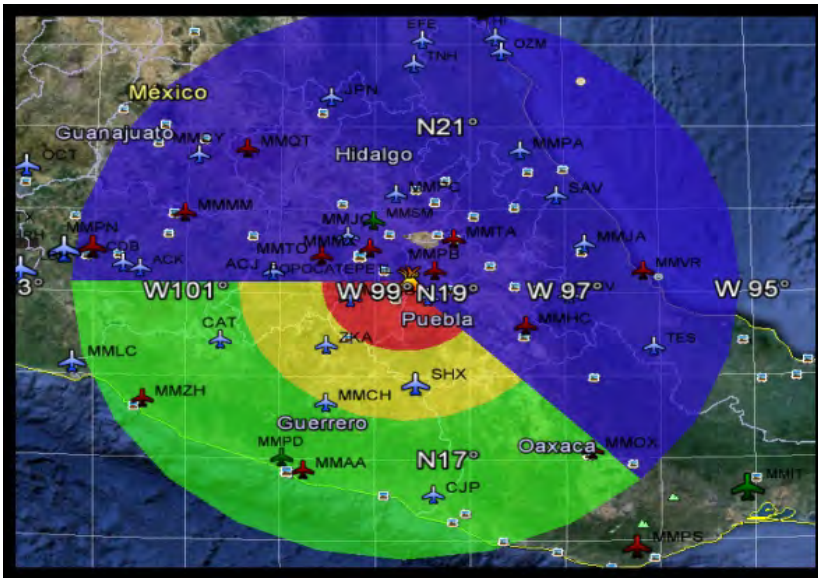




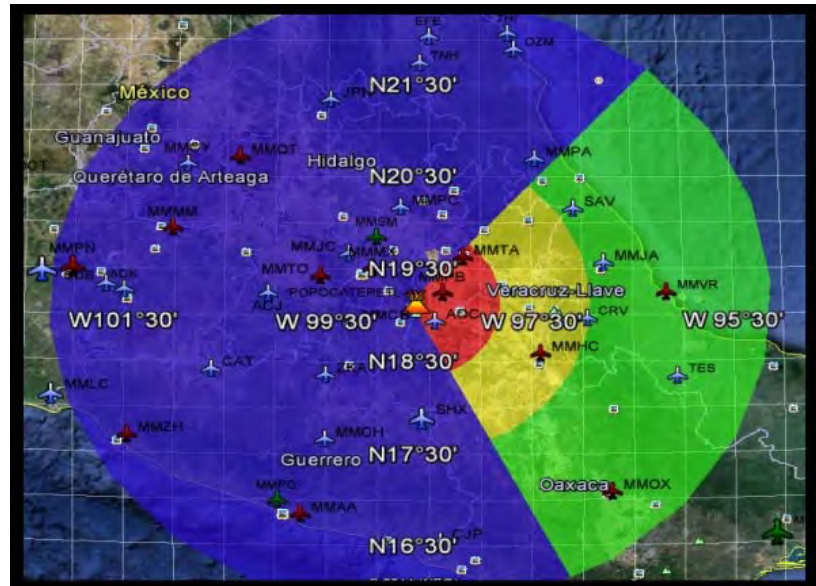
Enero - Febrero



Marzo - Mayo



Junio - Septiembre



Octubre - Diciembre

# Gracias por su atención!!!

jjimeneze@ipn.mx  
jjimeneze71@gmail.com

SEPI/ ESIME-Ticomán  
IPN

