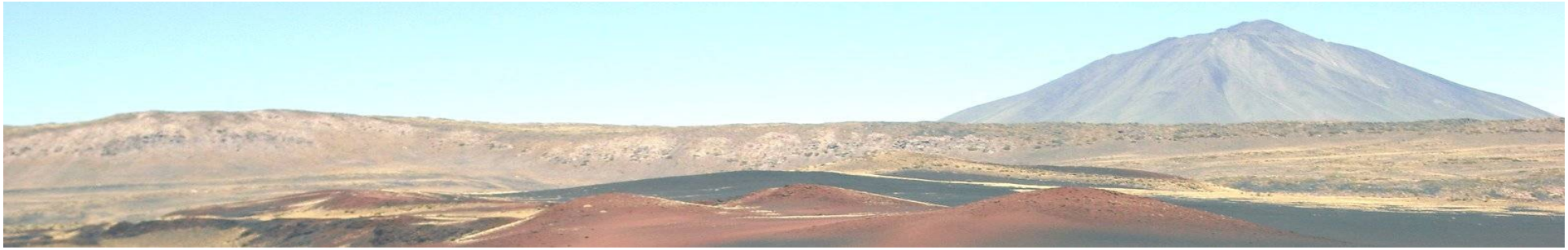
FCEN
FACULTAD DE CIENCIAS
EXACTAS Y NATURALES

UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

GEOLOGÍA DE LOS CUERPOS ÍGNEOS EXTRUSIVOS

Lic. Javier Gomez Figueroa

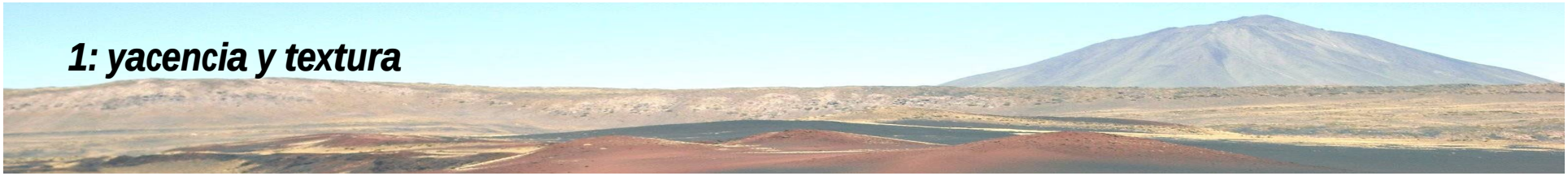
Cátedra de Petrología Ígnea y Metamórfica



Petrología Ígnea y Metamórfica

En esta clase intentaremos dar respuesta a las siguientes preguntas:

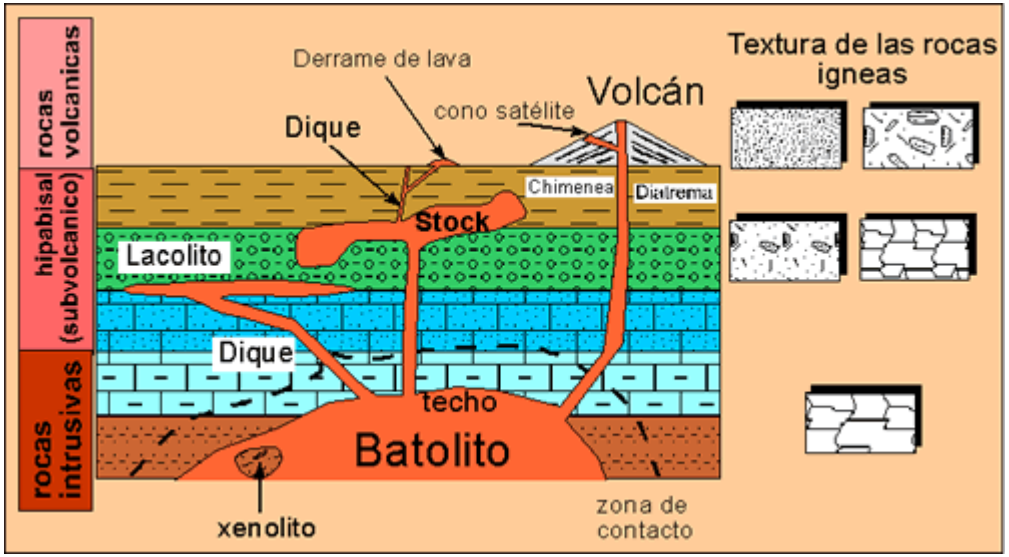
1. ¿Qué procesos generan los mecanismos de erupción magmáticos e hidromagmáticos?
2. ¿Como es la formación de los rocas ígneas extrusivas?
3. Geometría de los edificios volcánicos: calderas, estratovolcanes, domos, lavas, cono de escoria, anillo de tobas y maares

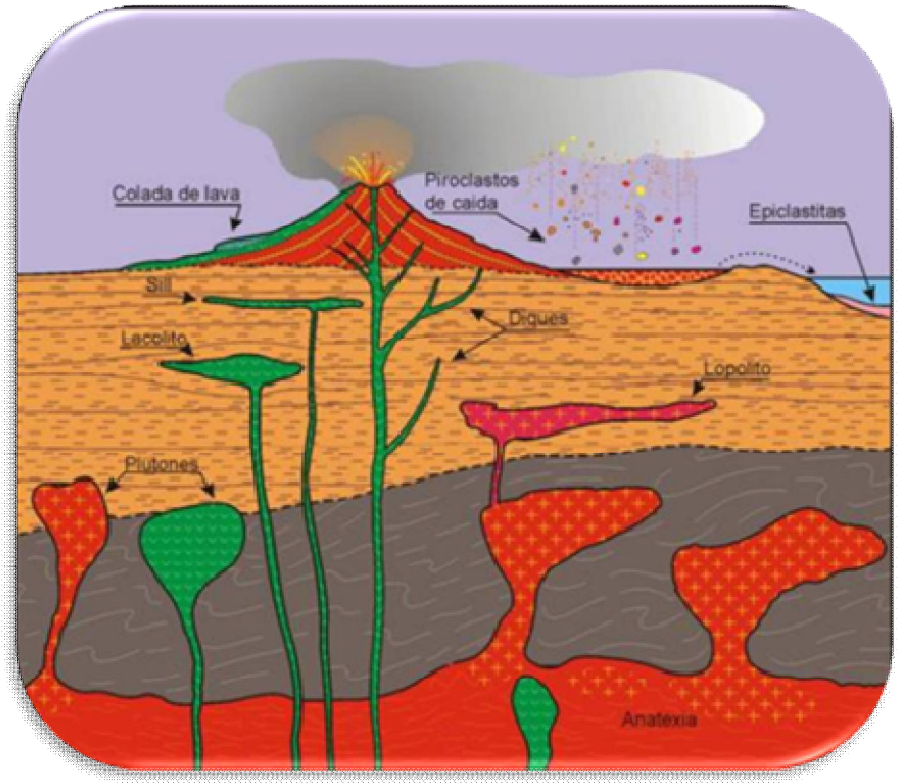


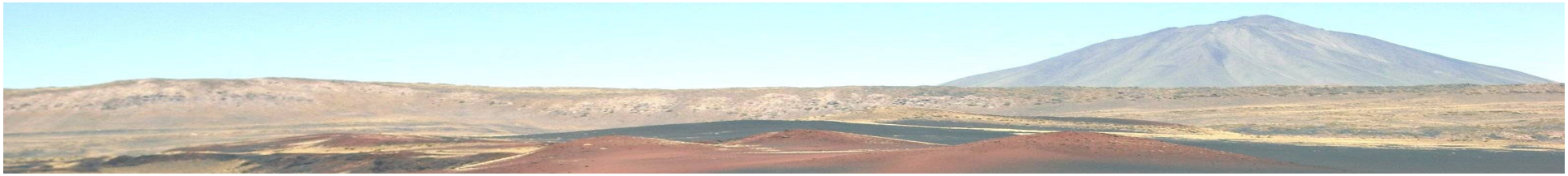
1: yacencia y textura

De acuerdo a la yacencia se clasifican en:

Volcánicas, Plutónicas, Hipabisales y Filonianas







Clasificaciones según la textura y yacencia

De acuerdo a la textura se clasifican en tres categorías:

Rocas Faneríticas: Se incluyen las que tienen cristales que son visibles e identificables a simple vista

Rocas Afaníticas: Están constituidos por cristales y componentes, que son demasiados pequeños para ser reconocidos a simple vista.

Rocas Fragmentadas: Están constituidas por material Ígneo desagregado, depositado y posteriormente amalgamado. Los fragmentos pueden incluir, rocas preexistentes (líticos), fragmentos de cristales y vidrio.

Roca con textura granular

Roca con textura volcánica

Ignimbrita

Roca con textura porfírica

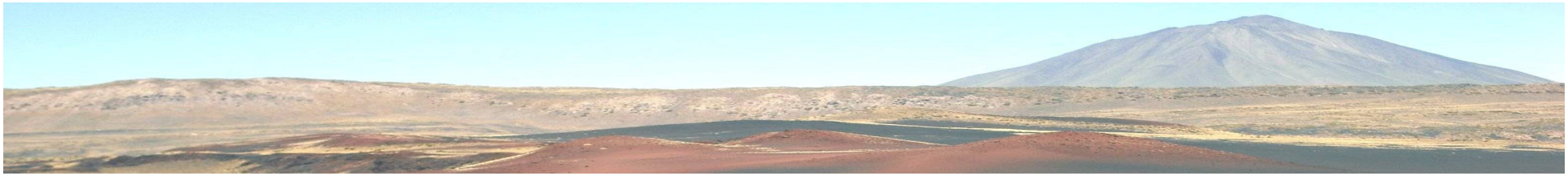
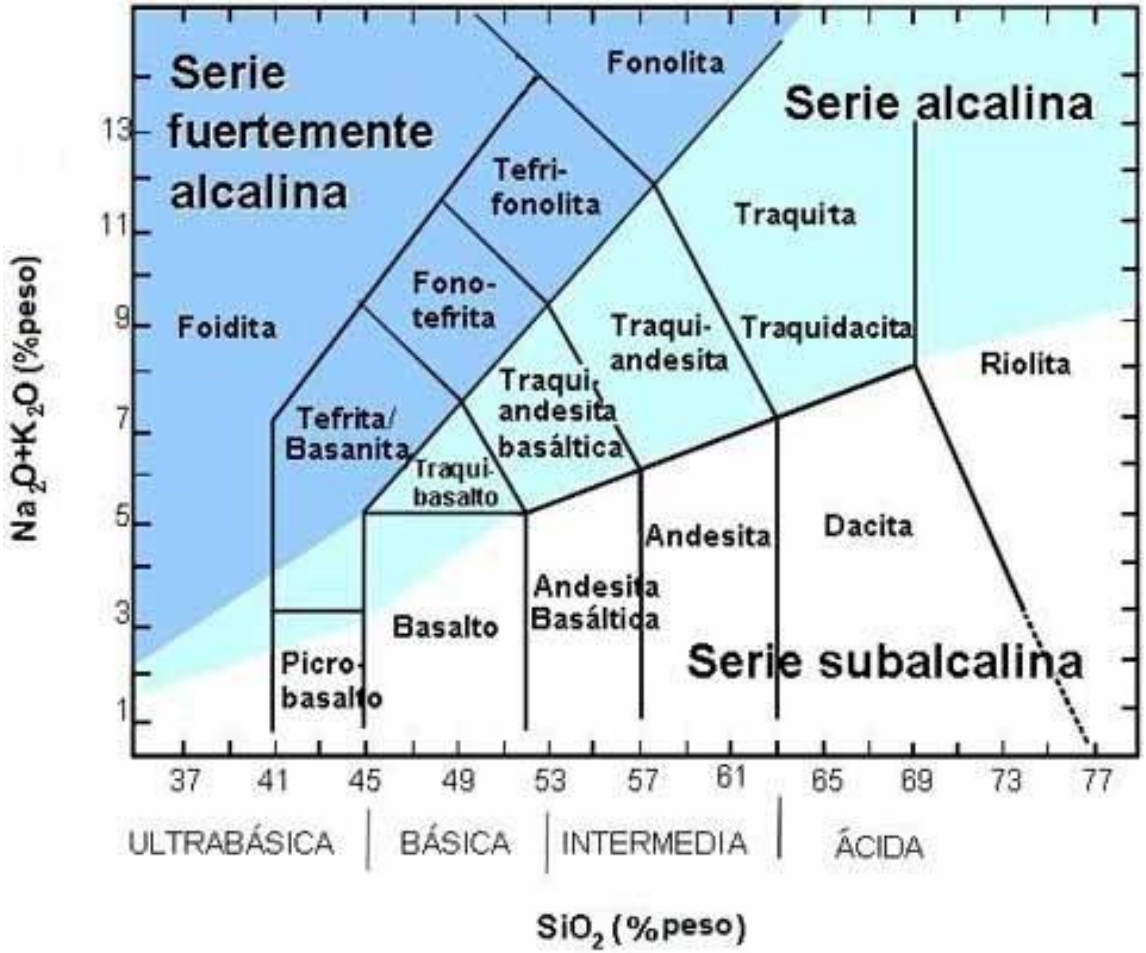


Diagrama TAS

IUGS, Le Bas et al. (1986)

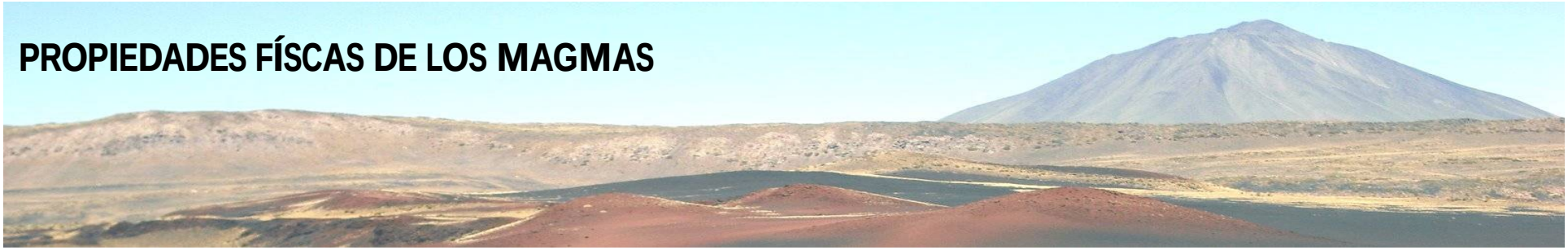
- Clasificación de Rocas Volcánicas basada en la composición química de roca total
- Se aplica a rocas volcánicas frescas (H_2O <2% y CO_2 < 0.5%) en las que no es posible determinar la composición modal



EL MAGMA – GENERALIDADES -

- Palabra griega = “pasta”
- Masa silicatada parcialmente fundida
- Componentes sólidos y gaseosos (fases en solución)
- Interior de la Tierra o Planeta
- 700º - 1200º C aprox.
- En superficie = LAVA

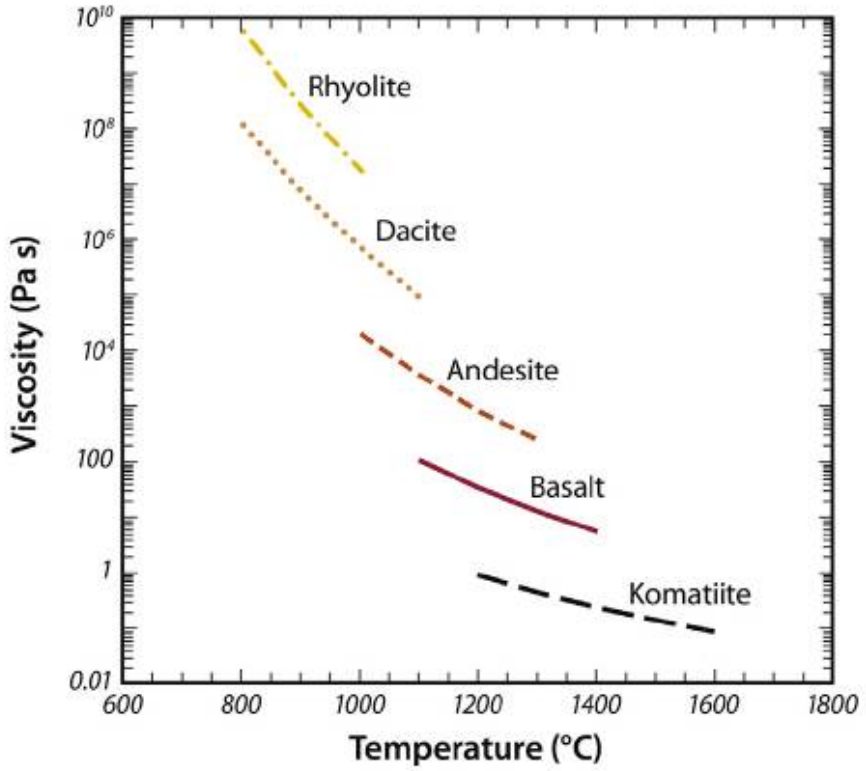
PROPIEDADES FÍSCAS DE LOS MAGMAS

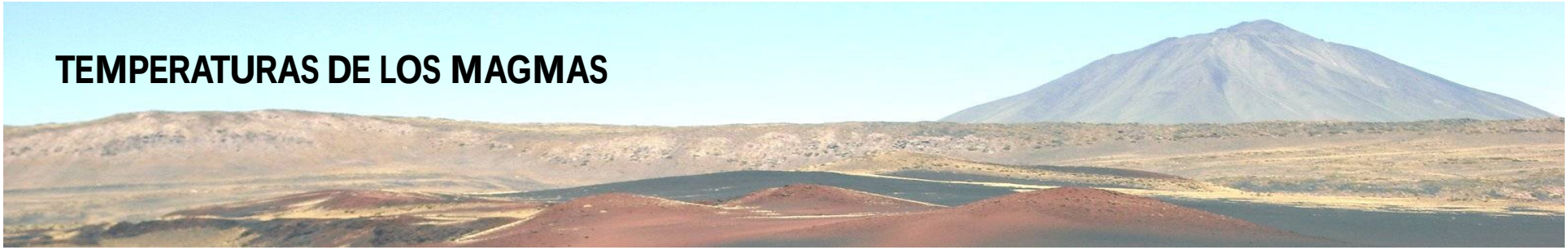


- Temperatura (proceso adiabático)
- Presión (presión litostática)
- Composición Química (contenido de sílice % wt SiO2)
- Contenido de Cristales (fase sólida)
- Contenido de Volátiles (fase gaseosa)
- Densidad

VISCOSIDAD
Resistencia de un líquido a fluir

VISCOSIDAD
Resistencia de un líquido a fluir

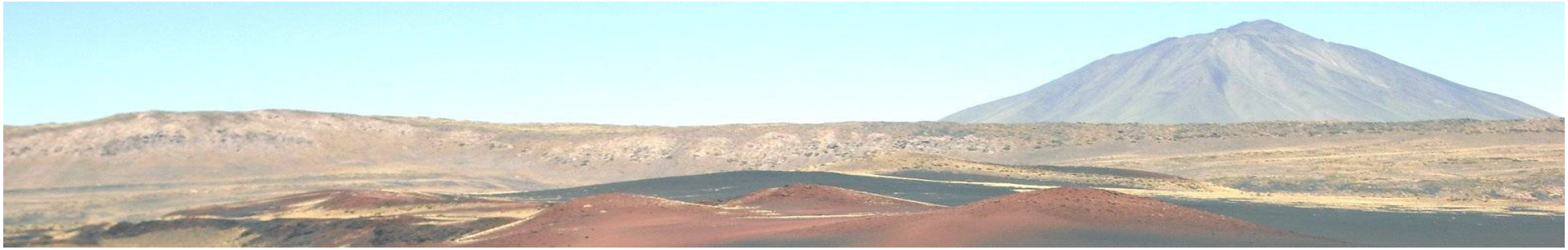




TEMPERATURAS DE LOS MAGMAS

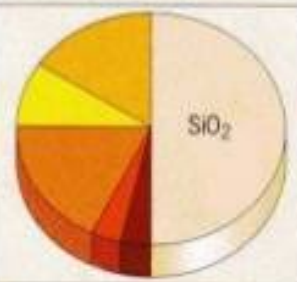
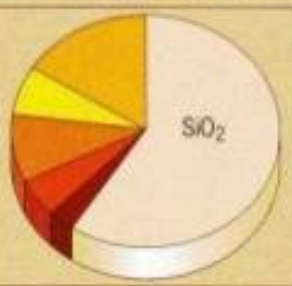
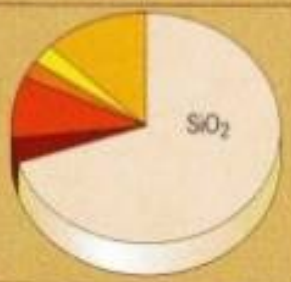
Medición directa, medición óptica y laboratorio

Temperaturas de erupción estimadas en rocas volcánicas	
Tipo de roca	Temperatura (°C)
Riolítico	700-900
Dacítico	800-1100
Andesítico	950-1200
Basáltico	1000-1200

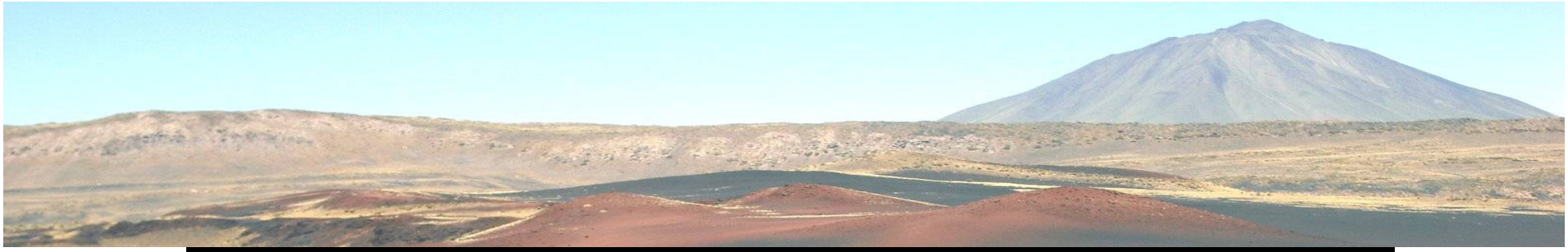


Composição do magma

O magma é formado por uma mistura de silicatos fundidos, por cristais em suspensão e por diversos gases, que se designam, globalmente, susbtâncias voláteis.

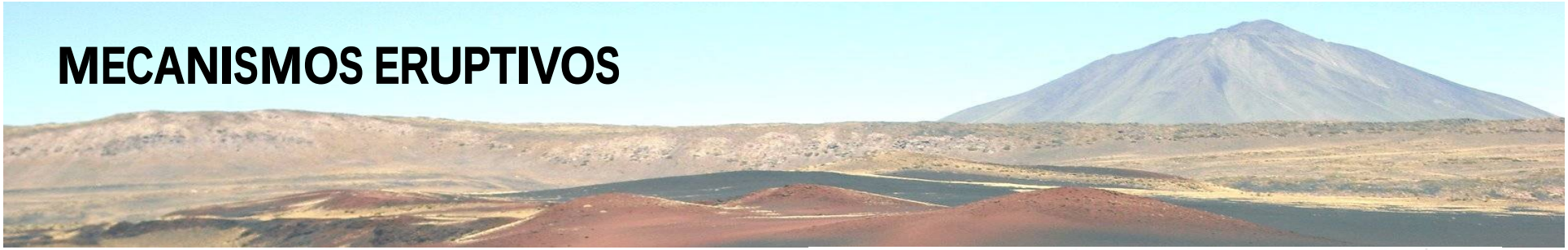
Magma	Básico	Intermédio	Ácido
Al_2O_3, $FeO + Fe_2O_3$, $MgO + CaO$, $Na_2O + K_2O$, Outros			
Percentagem de sílica	45% a 50%	50% a 70%	Superior a 70%

António Sousa – professor na Escola Secundária C/ 3º Ciclo de Júlio Dinis de Ovar

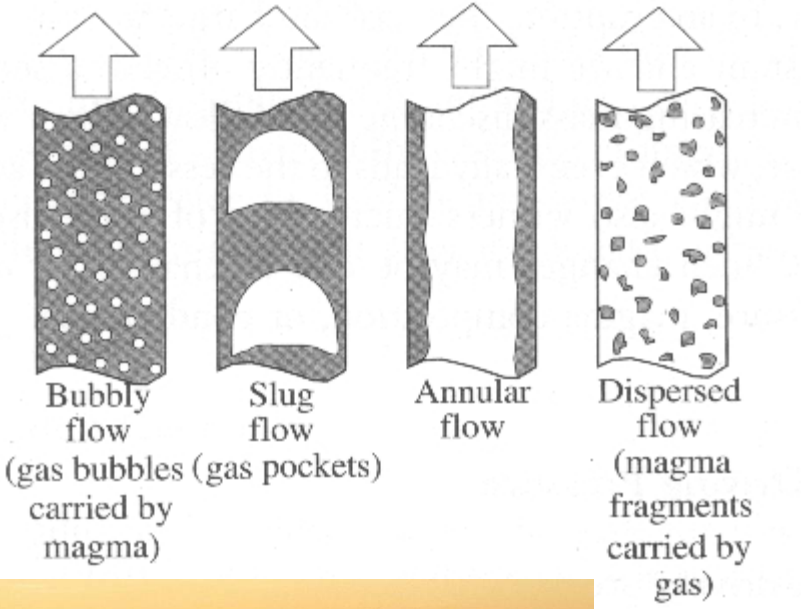


TIPOS DE LAVAS

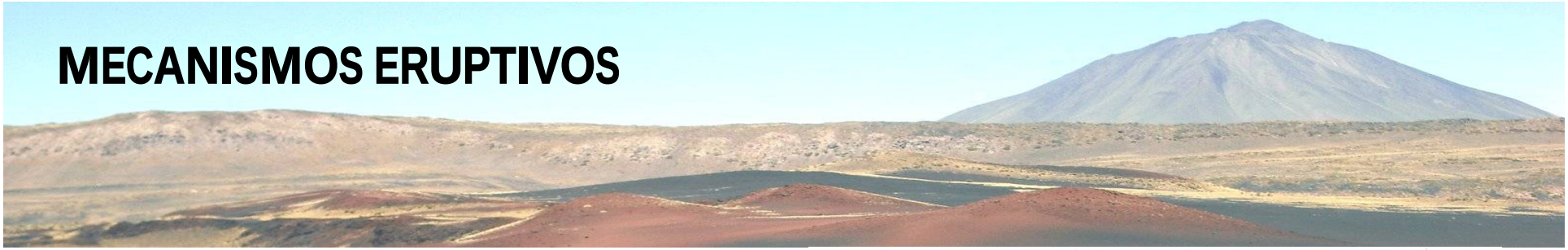
MECANISMOS ERUPTIVOS



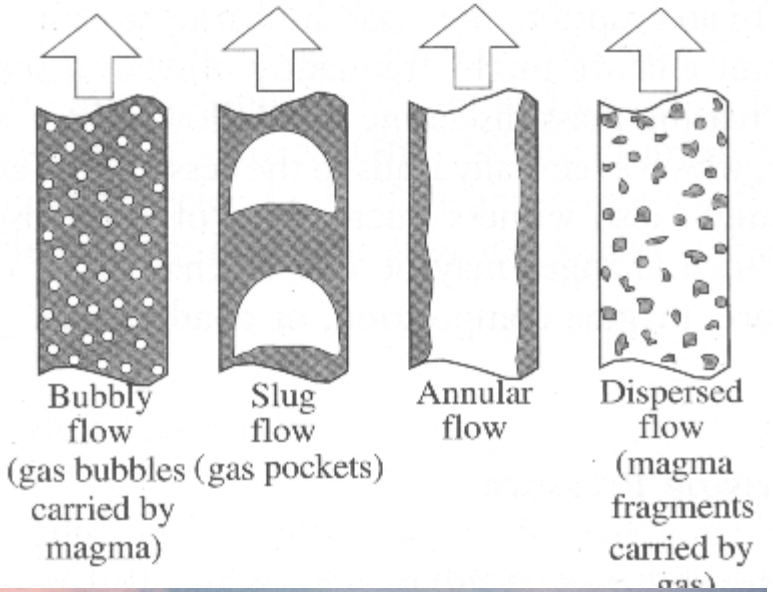
Magma = líquido a alta Tº + gases
Bajas velocidades = Fluido ± viscosos
Altas velocidades = Rotura frágil
Regímenes de flujo de dos fases:
1. Bajos volúmenes de gas, lavas de poco a muy viscosas
2 y 3. Magmas poco viscosos (funcionan como pulsos)
4. Altos volúmenes de gas, generalmente magmas viscosos, ocurre fragmentación del magma



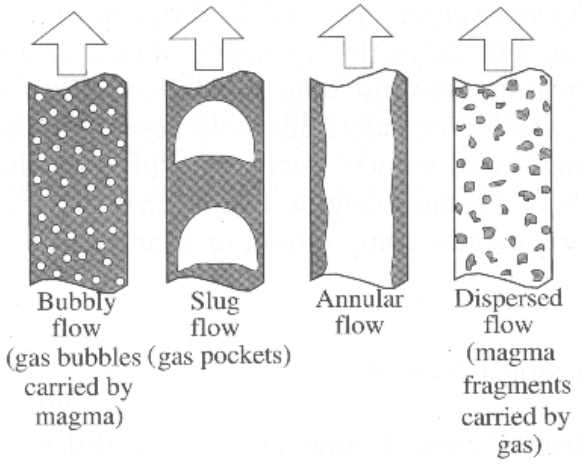
MECANISMOS ERUPTIVOS



Magma = líquido a alta Tº + gases
Bajas velocidades = Fluido ± viscosos
Altas velocidades = Rotura frágil
Regímenes de flujo de dos fases:
1. Bajos volúmenes de gas, lavas de poco a muy viscosas
2 y 3. Magmas poco viscosos (funcionan como pulsos)
4. Altos volúmenes de gas, generalmente magmas viscosos, ocurre fragmentación del magma

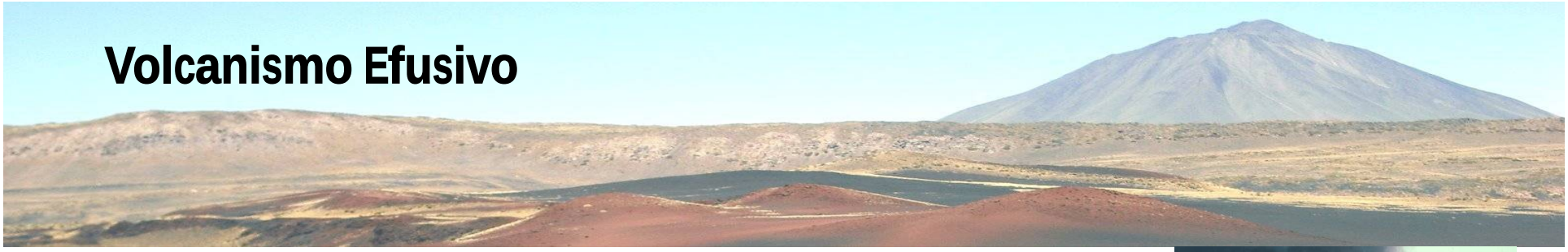


MECANISMOS ERUPTIVOS

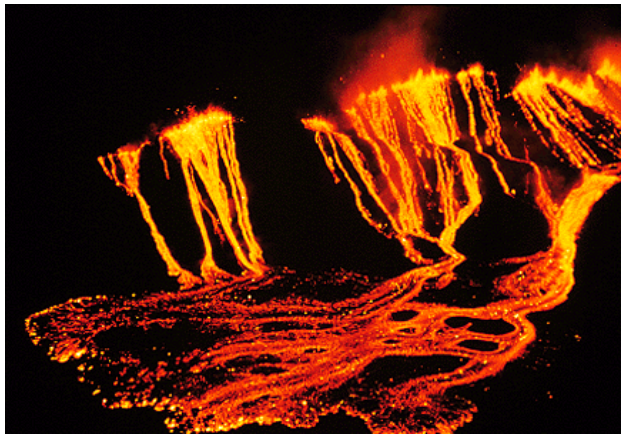


Magma = líquido a alta Tº + gases
Bajas velocidades = Fluido ± viscosos
Altas velocidades = Rotura frágil

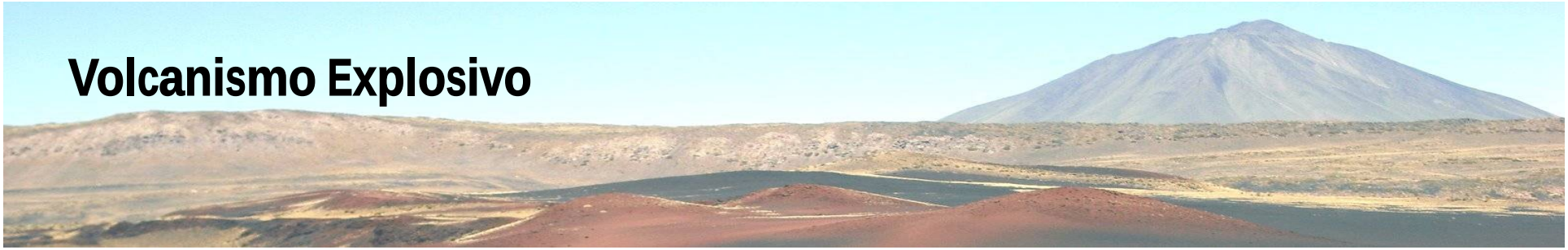
Volcanismo Efusivo



Erupción de lava = derrames de magma en superficie
Tº < Tlig
Fase continua: Fundido.
Ascenso y descarga del magma con pocos volátiles.



Volcanismo Explosivo

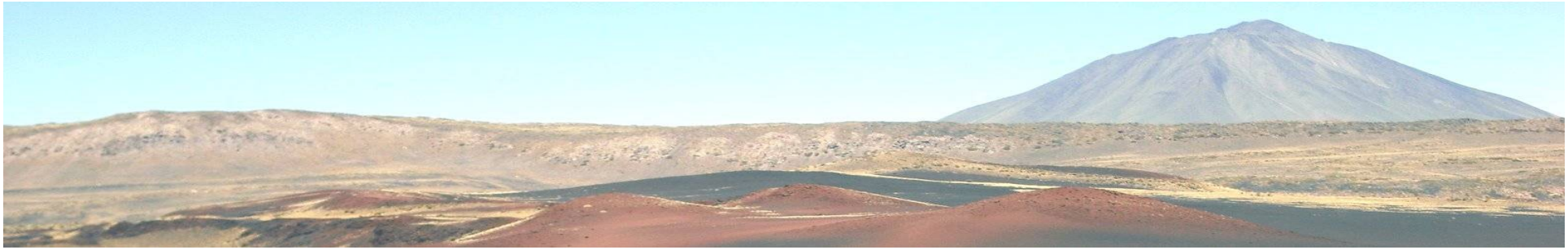


Erupción de piroclastos principalmente
Gran cantidad de volátiles acumulados en el techo de una cámara magmática

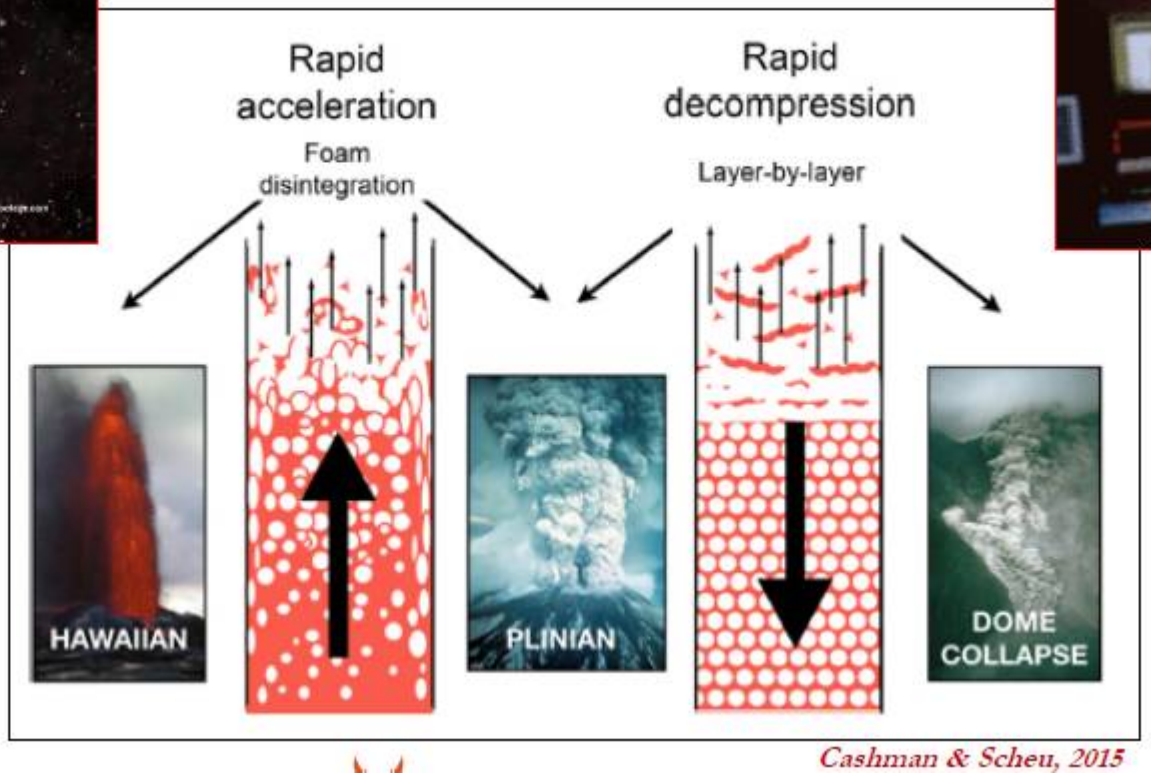
FRAGMENTACIÓN MAGMÁTICA

FRAGMENTACIÓN → **Proceso por el cual una fase continua líquida o sólida se transforma en una fase gaseosa continua con partículas suspendidas.**

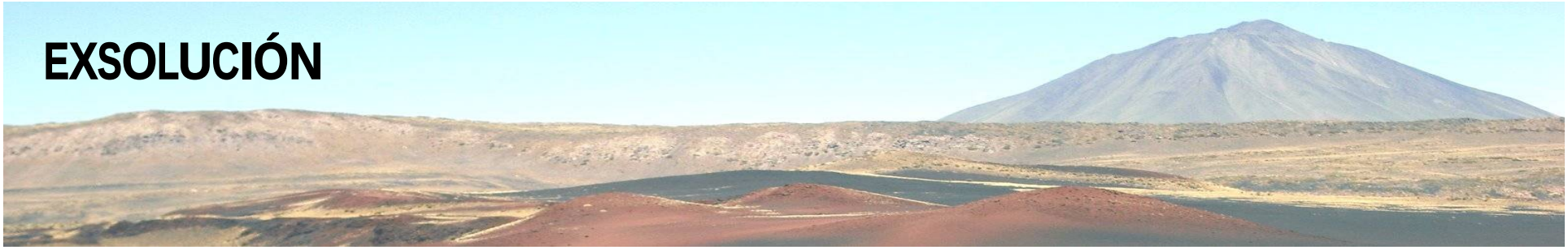
Formación de depósitos volcanoclásticos		
Explosiones magmáticas	Erupciones Piroclásticas	Procesos volcánicos primarios
Explosiones freatomagmáticas		
Explosiones de vapor o freáticas		
Fragmentación por enfriamiento o congelamiento	Procesos autoclásticos	
Fragmentación por flujo (autobrechización)		
Fragmentación epiclástica		Procesos superficiales secundarios



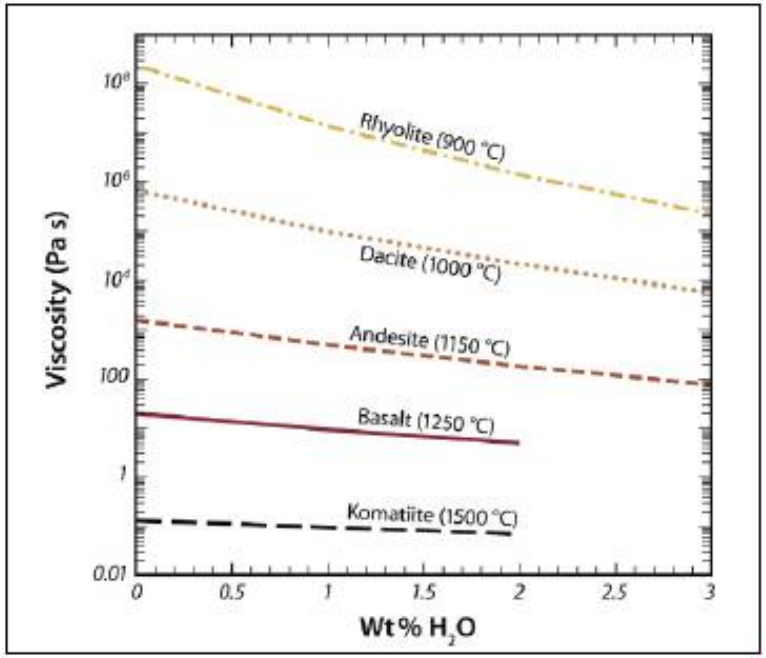
FRAGMENTACIÓN → **Proceso por el cual una fase continua líquida o sólida se transforma en una fase gaseosa continua con partículas suspendidas.**

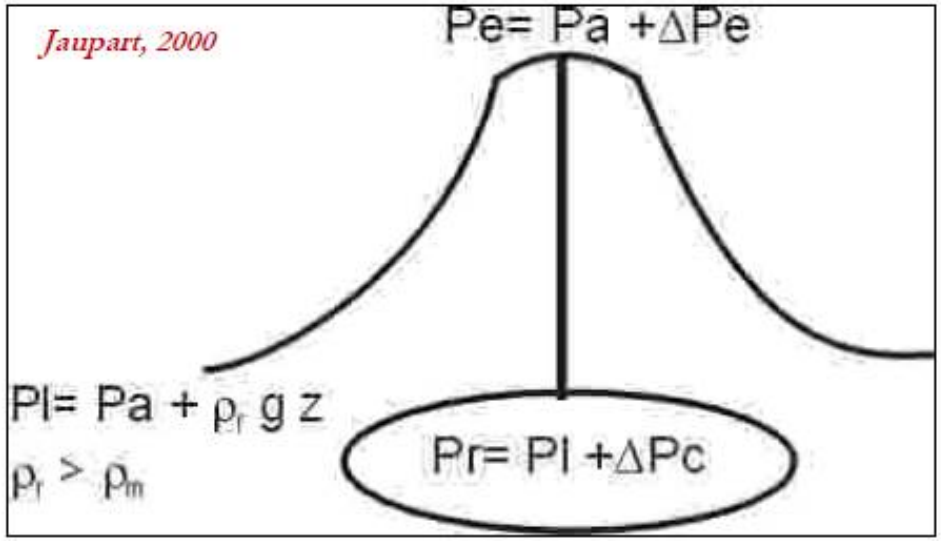


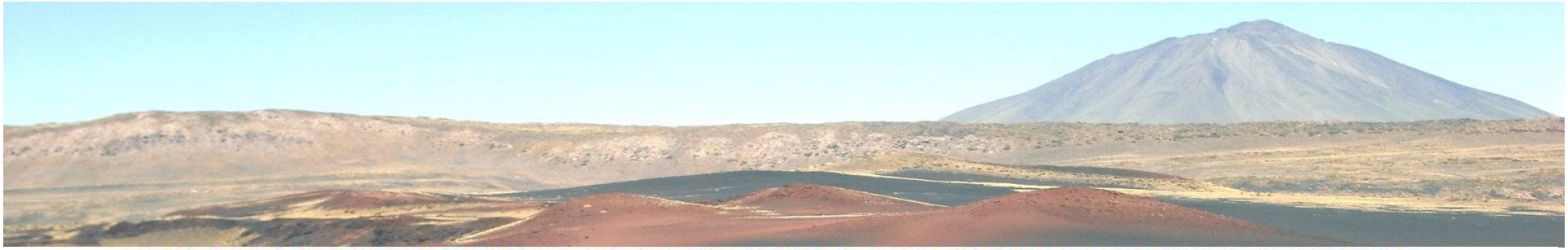
EXSOLUCIÓN



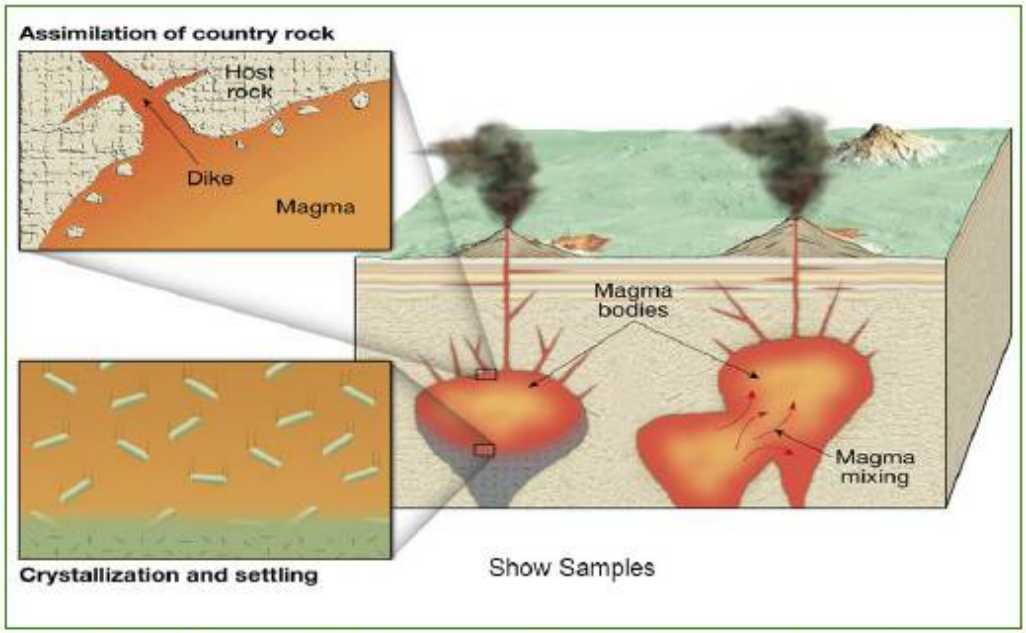
- **Volátiles disueltos afectan a la naturaleza de las erupciones, pudiendo ser explosivas o no explosivas**
- **El volátil dominante es el H2O, siendo el CO2 el segundo en importancia (especialmente importante es en los basaltos).**
- **Solubilidad principalmente controlada por la presión confinante.**
- **La solubilidad de los volátiles disminuye a medida que asciende a superficie, llegando a separarse como fases distintas.**
- **La exsolución de los gases comienza cuando la presión de vapor iguala a la presión confinante.**







MEZCLA DE MAGMAS COMO MEDIO GENERADOR DE ERUPCIONES EXPLOSIVAS



https://ayudahispano-3000.blogspot.com/2015/06/geologia_13.html

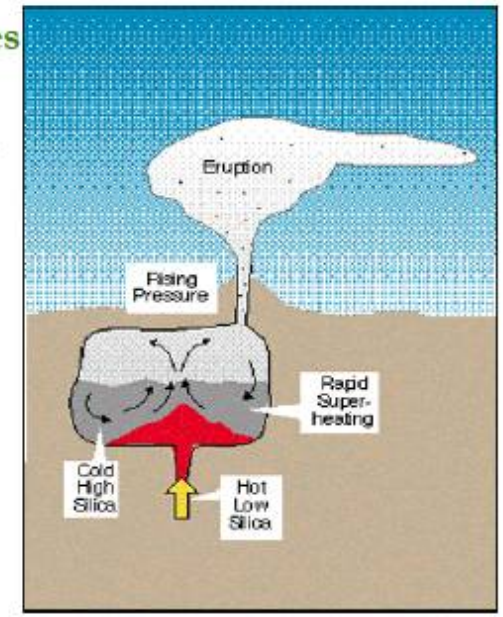
http://www.annarecetasfaciles.com/files/bizcocho-marmolado-3-815x458.jpg

MEZCLA DE MAGMAS COMO MEDIO GENERADOR DE ERUPCIONES EXPLOSIVAS

- Dos magmas de diferentes composiciones, temperaturas y diferente contenido de volátiles se ponen en contacto en una cámara magmática subsuperficial
- La mezcla puede darse por diversas circunstancias:

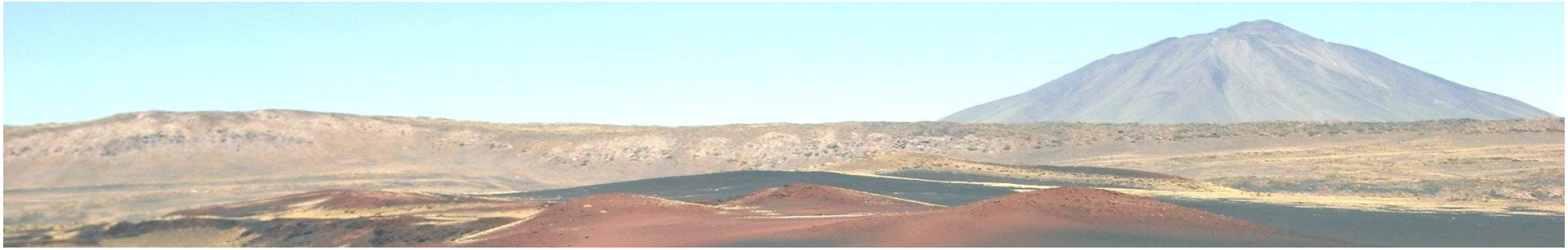
a. Adición de magma a una cámara puede causar el exceso de la presión de fluido en la misma, llevando al rompimiento del techo de la cámara y la consecuente emisión de magma en superficie.

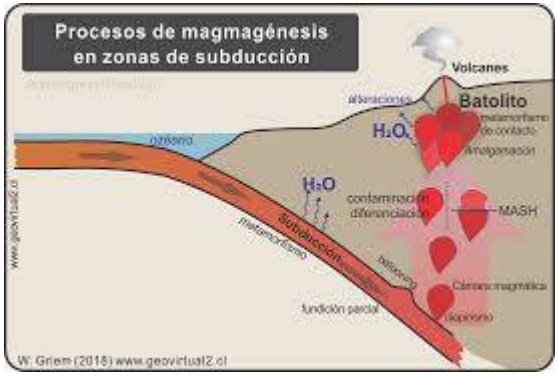
b. Una cámara con un magma riolítico con un contenido de volátiles moderado es rellenada con un magma básico, produciendo un sobrecalentamiento de la base del magma riolítico, y por ende, una convexión ascendente de este magma.

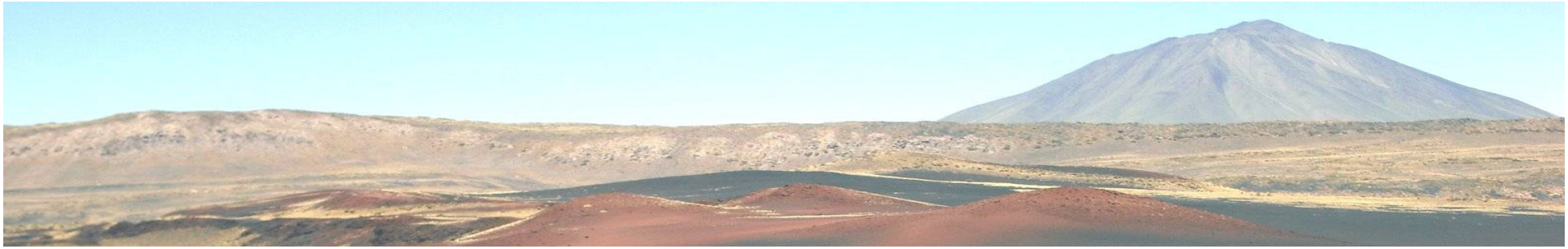


c. Inyección de magma básico rico en volátiles, los cuales son transferidos por convexión, difusión y mezcla al magma riolítico con pocos volátiles.

d. En el caso b., la transferencia de calor puede producir un enfriamiento rápido del magma básico, causando cristalización, y por ende, aumento de la presión de fluido.




Procesos de magmagénesis
en zonas de subducción
Volcanes
Batolito
alteraciones
H_2O
metamorfismo de contacto
anatexis
asimilación
corteza
H_2O
contaminación
diferenciación
MASH
Subducción
metamorfismo
basamento
Cámara magmática
fundición parcial
Slab
W. Griem (2018) www.geovirtual2.cl



EXPLOSIONES DE VAPOR O FREÁTICAS Y ERUPCIONES FREATOMAGMÁTICAS

- Interacción magma caliente con agua produce *actividad hidrovolcánica.*

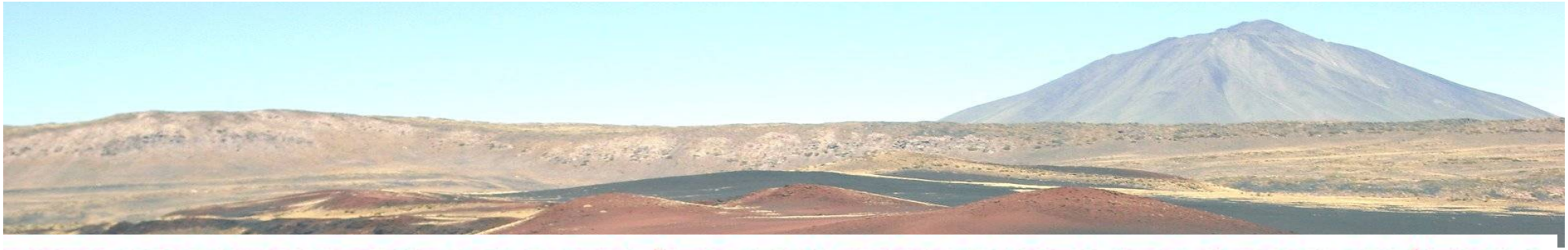
- El agua puede ser un reservorio de agua subterránea o la superficie de un cuerpo de agua (e.g. lago cratérico, lago, agua de mar).

- El efecto inmediato es el *sobrecalentamiento*, ebullición, volatilización, ascenso de la presión del gas del agua externa, expansión explosiva del gas producido.

- La intensidad de la actividad es controlada por la razón *agua : masa de magma* y la cantidad de sobrecalentamiento del agua.

- Agua : *magma bajo* (menor a 0.2) el agua externa controla escasamente la fragmentación, y el dominio lo tienen los mecanismos revisados anteriormente (volátiles magmáticos).

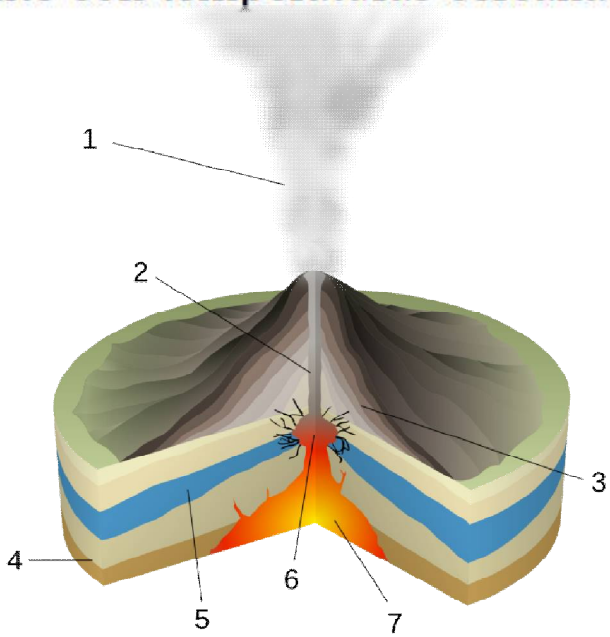
- Agua : *magma alto* (sobre los 0.3), la fragmentación y los niveles de explosividad son altos (mucha participación del agua).



EXPLOSIONES DE VAPOR O FREÁTICAS Y ERUPCIONES FREATOMAGMÁTICAS

Las erupciones hidrovolcánicas pueden darse por:

a. Magma ascendente que interactúa con agua subterránea.
b. Magma en un sistema abierto en contacto con un cuerpo de agua (lago, océano, etc.).
c. Flujo de lava fluyendo en un cuerpo de agua o sedimento saturado en agua.
d. Flujo piroclástico moviéndose sobre un cuerpo de agua o sedimento saturado en agua.
e. Magma ascendiendo en un sistema hidrotermal caliente con temperaturas cercanas a la ebullición.



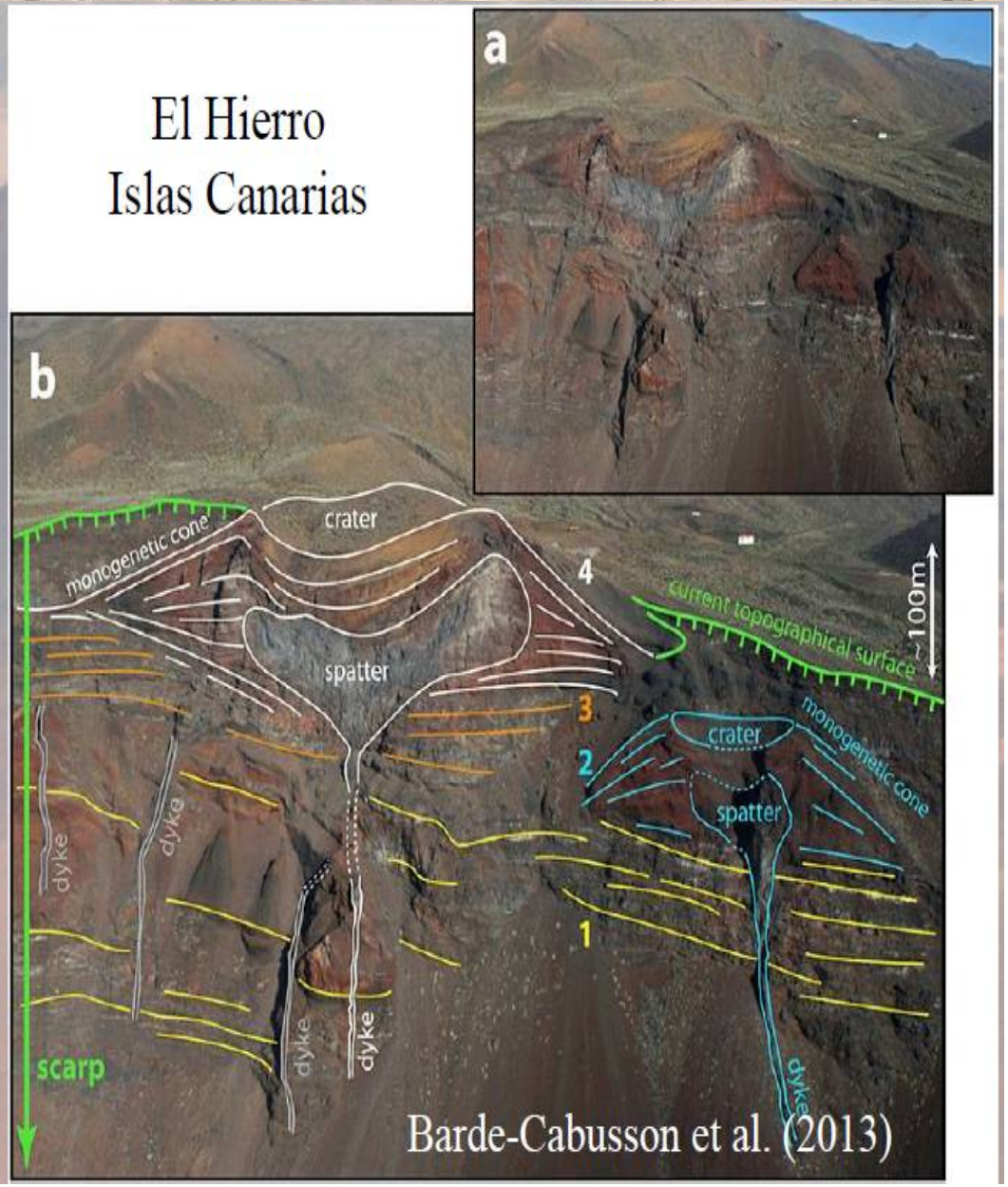
Geometría de los edificios volcánicos

Volcán: Es una acumulación de materiales expulsados de forma explosiva o efusiva, a partir de una o varios «ventiladeros» (respiraderos) o fisuras en la superficie de la Tierra o de otros planetas (Siebert et al., 2015).

De acuerdo con Németh & Kereszturi (2015):

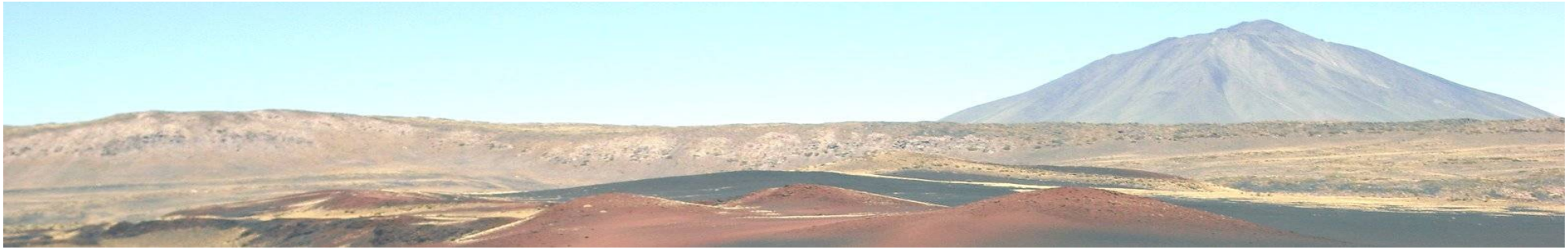
Monogenético: Volcán de pequeño volumen (típicamente ≤1 km3), que se ha construido por una erupción continua o varias erupciones discontinuas alimentadas por uno o varios cuerpos de magma.

Poligenético: Volcán formado a lo largo de cientos o miles de años a través de erupciones sostenidas, con un sistema alimentador y conductos eruptivos estables.



- **Inicialmente**: En base al tipo de actividad, magmas y productos eruptivos
- **En la actualidad:** Escala geomorfológica, origen constructivo v/s erosivo, mono v/s poli génesis, tipos de actividad, tipo y volumen de magma y materiales emitidos.

Basado en Thouret (1999), de Silva & Lindsay (2015)



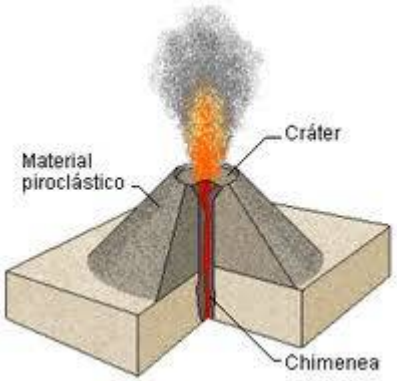
Tamaño de grano (mm)	Denominación	
> 64	Bloque/bomba	
16 - 64	Lapilli	grueso
4 -16		medio
2- 4		fino
1 -2	Ceniza	muy gruesa
0,5 - 1		gruesa
0,5 - 0,25		media
0,125 - 0,25		fina
0,0062 - 0,125		muy fina
< 0, 0062		extremadamente fina

TEFRA

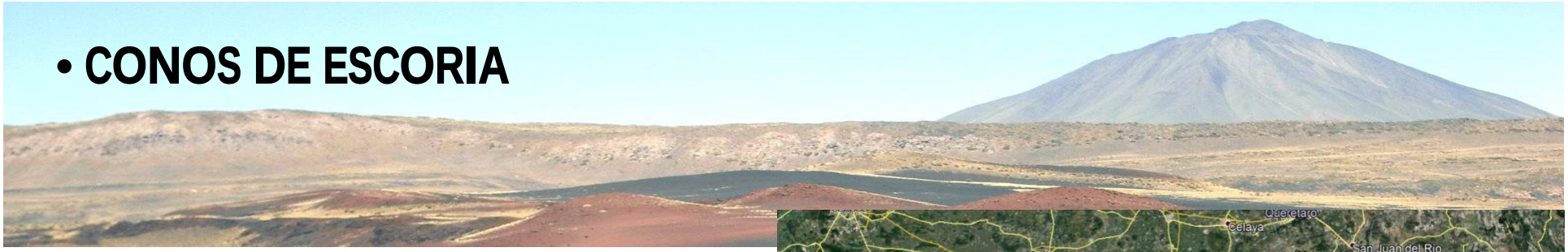
VOLCANES MONOGENÉTICOS

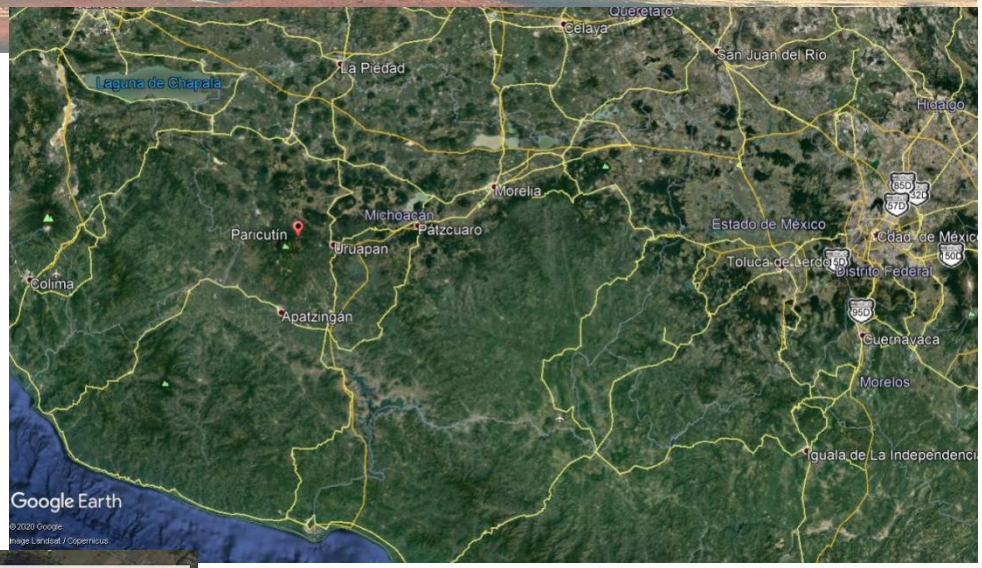
• CONOS DE ESCORIA

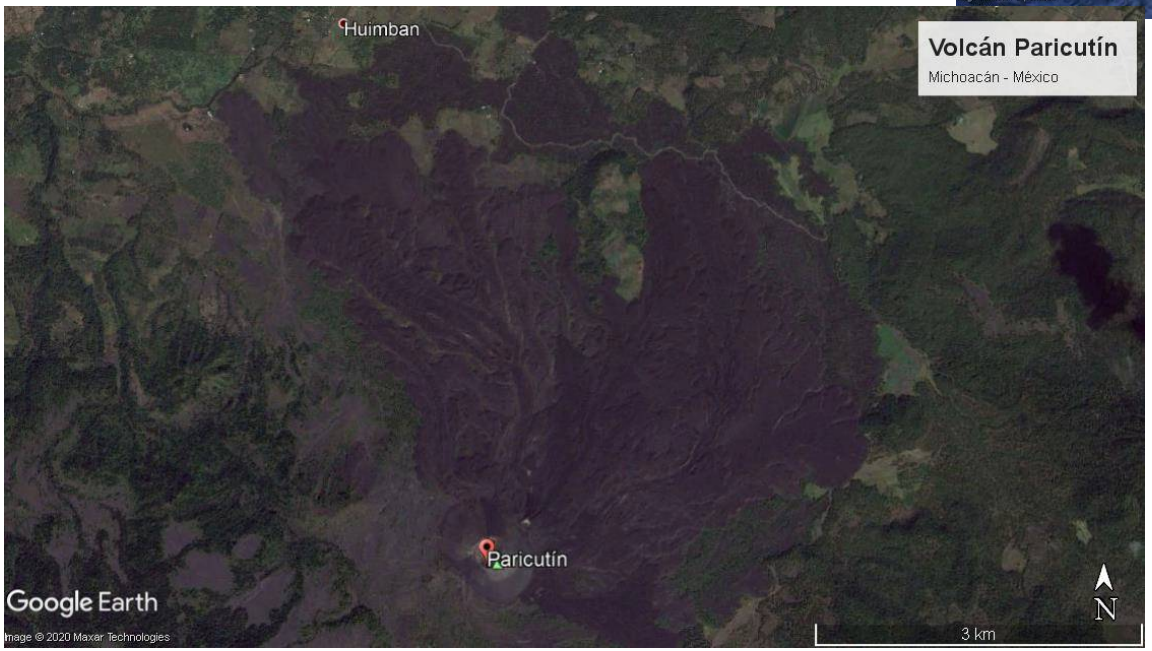
Son volcanes cónicos de tefra, la cual se acumula alrededor de un ventiladero volcánico y en dirección de sotavento. Sus dimensiones alcanzan hasta 300 m de alto y poseen pendientes cercanas a 30°, con bases de hasta 900 m de diámetro. Se componen predominantemente de fragmentos de escoria (de Silva & Lindsay, 2015).



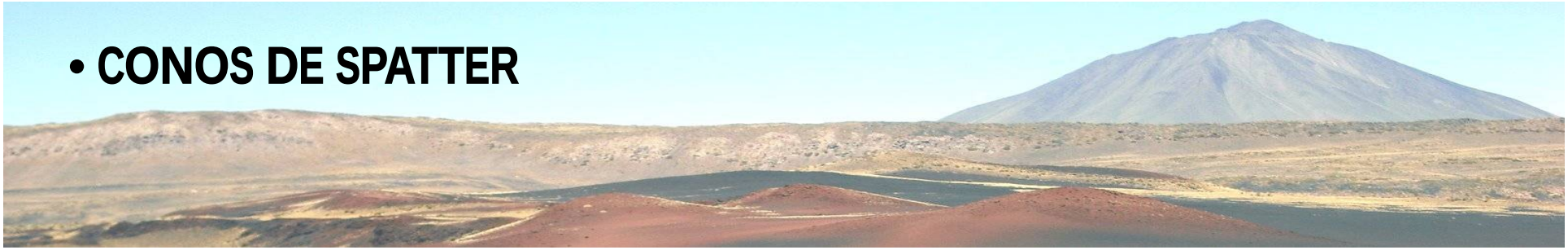
• CONOS DE ESCORIA







• CONOS DE SPATTER



Son acumulaciones caóticas de *spatter aglutinado y soldado, alrededor de un ventiladero volcánico, usualmente de tamaño pequeño y con pendientes superiores a 30°.*

• CONOS DE ESCORIA/CONOS DE SPATTER

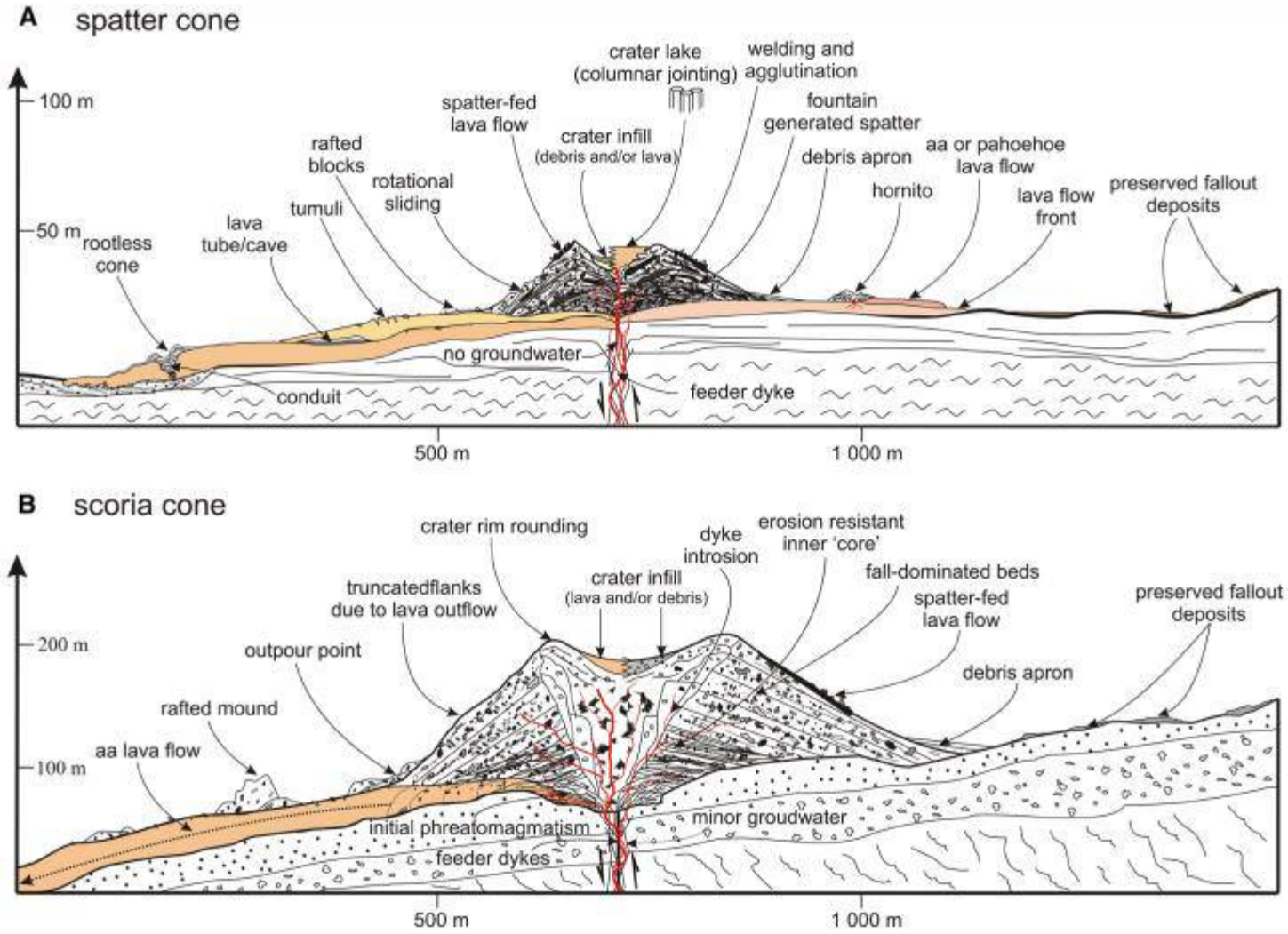
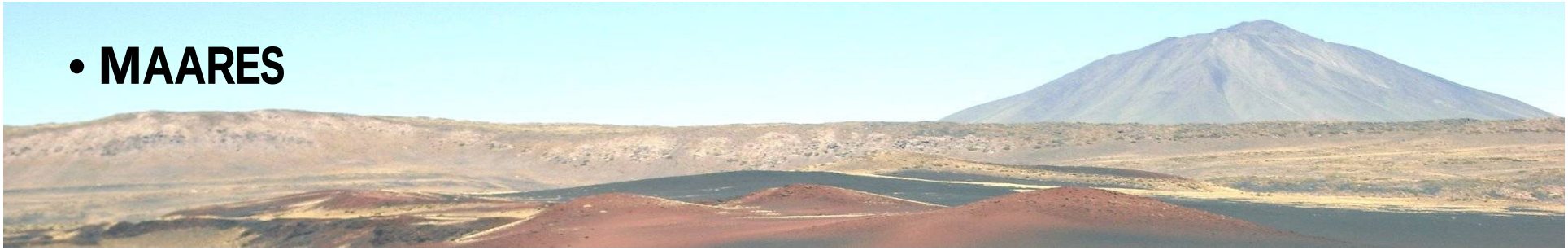
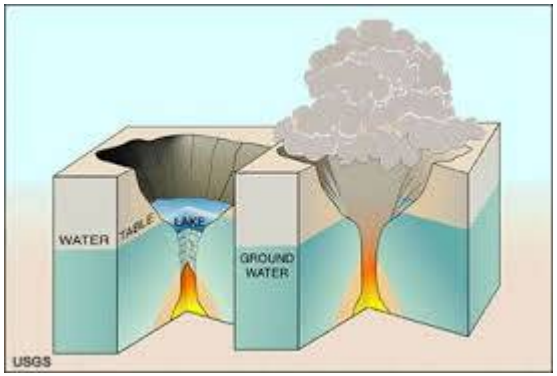


Fig. 1 A theoretical cross section of a spatter (**a**) and scoria (**b**) cone



- **MAARES**

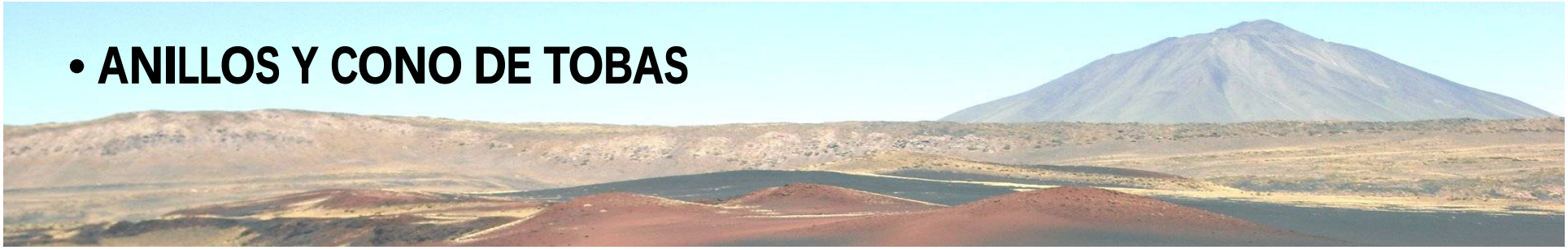
Son cráteres circulares con un fondo plano, normalmente relleno de agua, que se formó durante la interacción explosiva entre el magma y un acuífero. El fondo del cráter se encuentra bajo el nivel del sustrato del volcán, y está rodeado por bordes de poca altura constituidos por escombros asociados con las explosiones (de Silva & Lindsay, 2015).



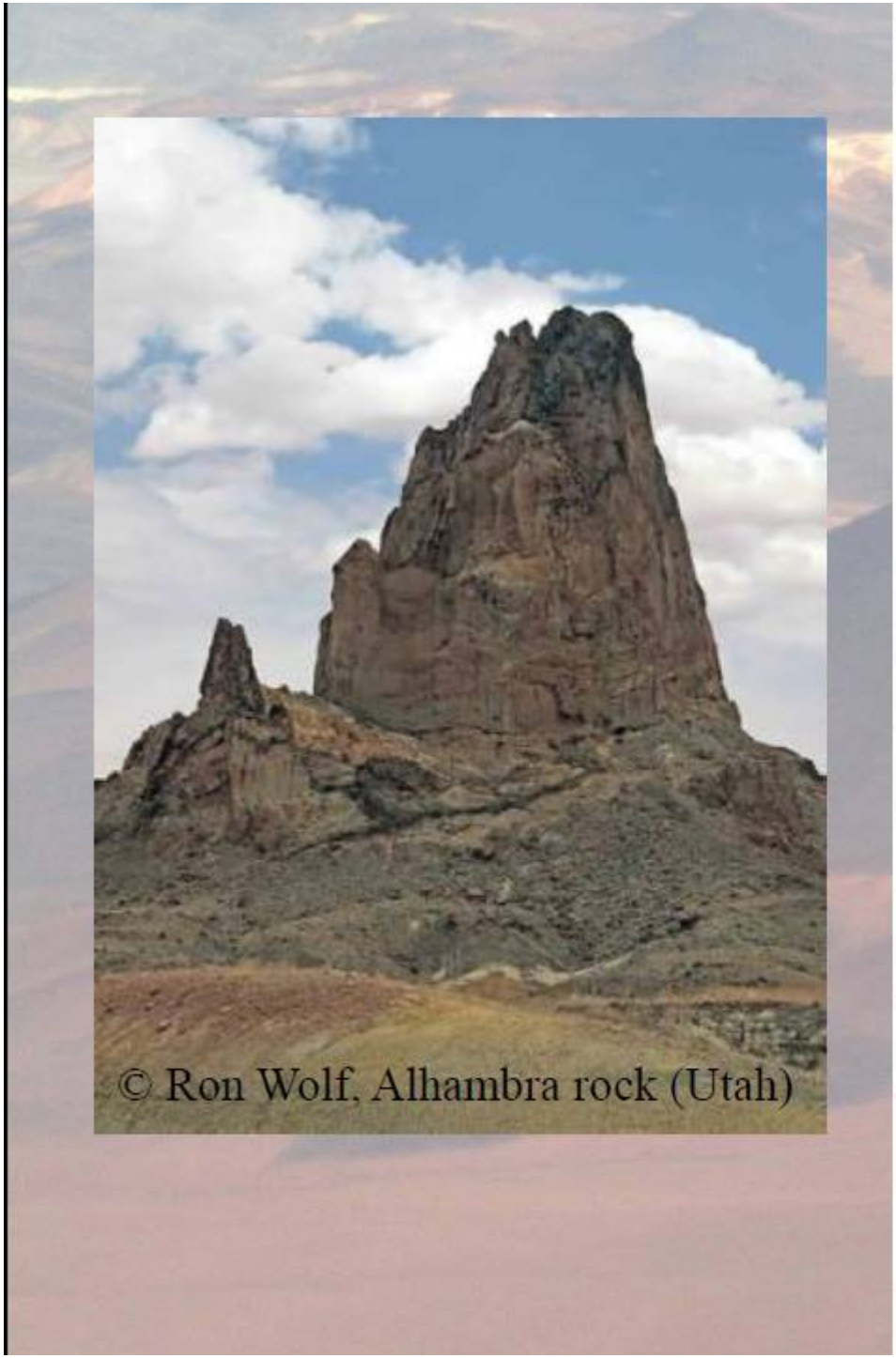
- **MAARES**

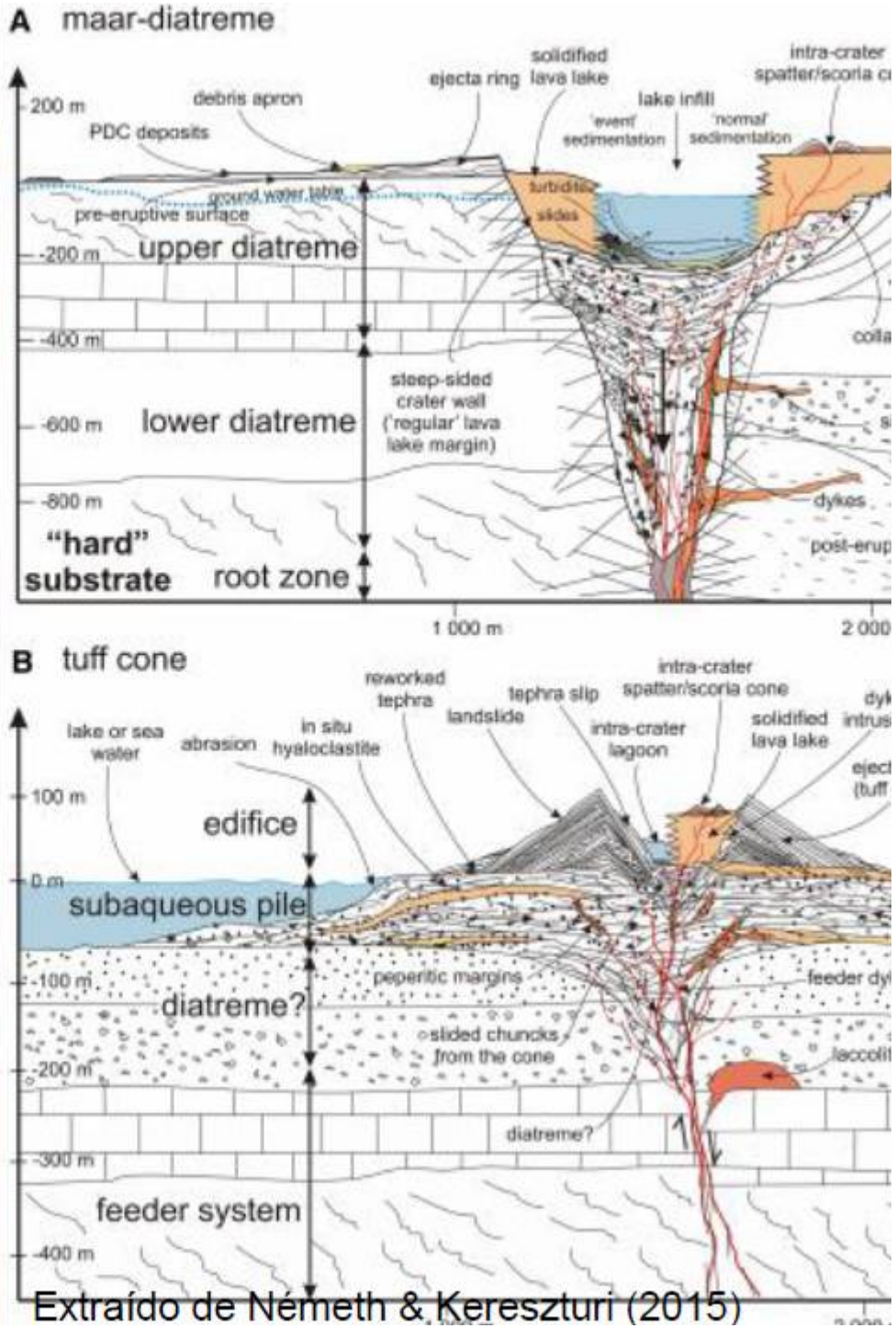
Cerro Overo
Antofagasta - Chile
Google Earth
Image © 2020 CNES / Airbus
N
700 m

• ANILLOS Y CONO DE TOBAS

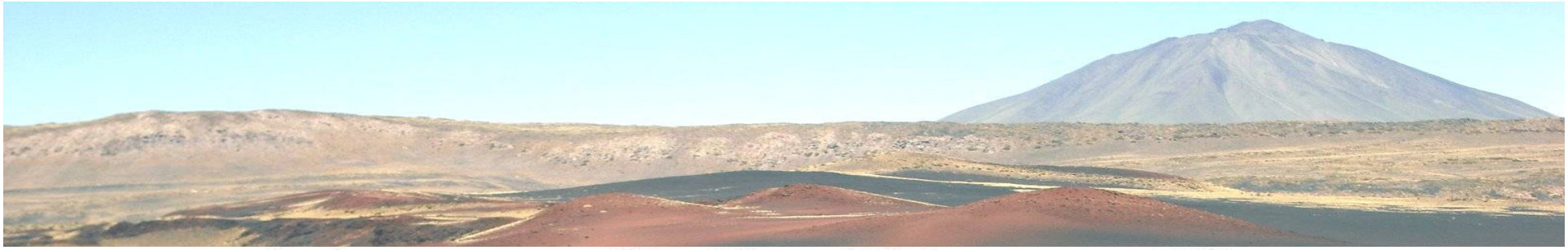


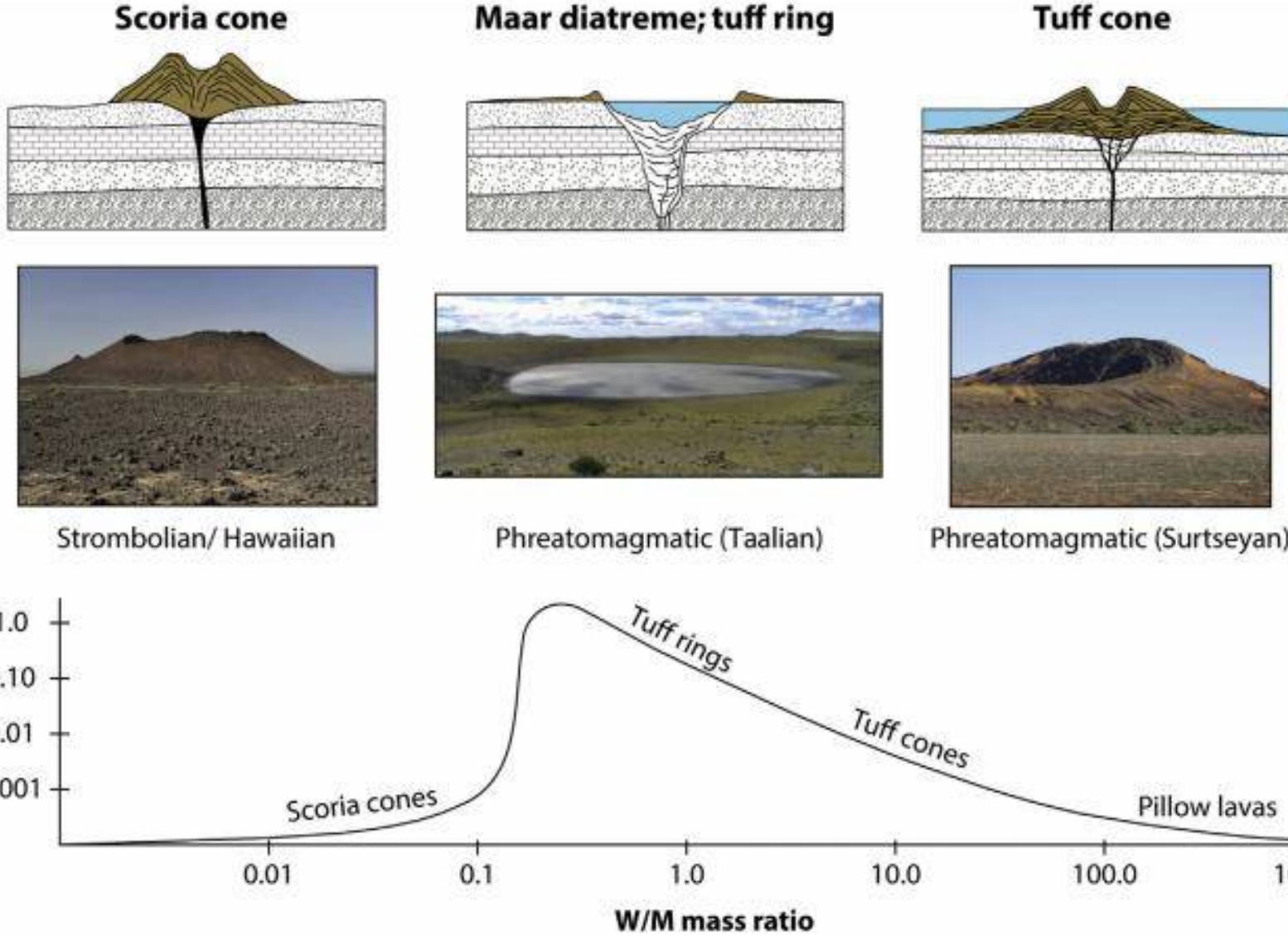
Los **anillos de tobas son mantos de tefra con pendiente suave 2-10° que rodean a volcanes de tipo maar-diatrema. La tefra suele estar inalterada y finamente estratificada, y generalmente se asocia a proceso de caída y corrientes piroclásticas. Los conos se son una variante más alta de estos edificios, y se asocian a erupciones freatomagmáticas menos violentas (de Silva & Lindsay, 2015).**

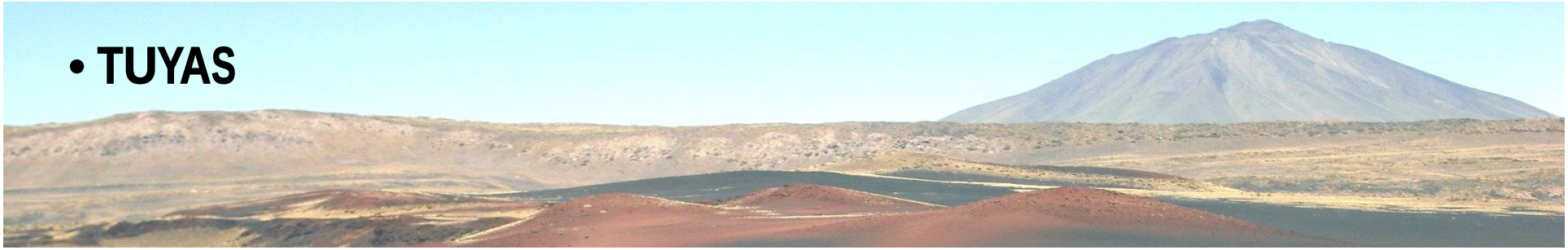




Extraído de Németh & Kereszturi (2015)

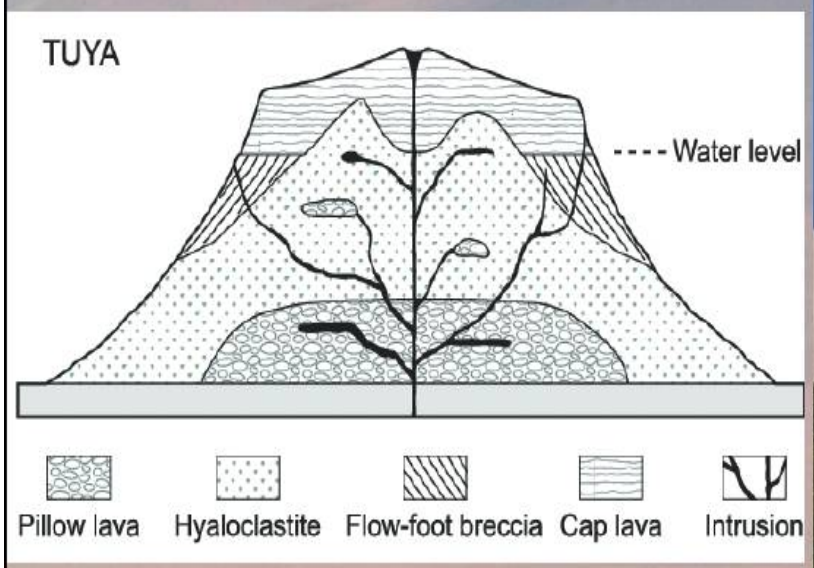



Scoria cone
Maar diatreme; tuff ring
Tuff cone
Strombolian/ Hawaiian
Phreatomagmatic (Taalian)
Phreatomagmatic (Surtseyan)
Scaled energy
1.0
0.10
0.01
0.001
Scoria cones
Tuff rings
Tuff cones
Pillow lavas
0.01
0.1
1.0
10.0
100.0
1000.0
W/M mass ratio



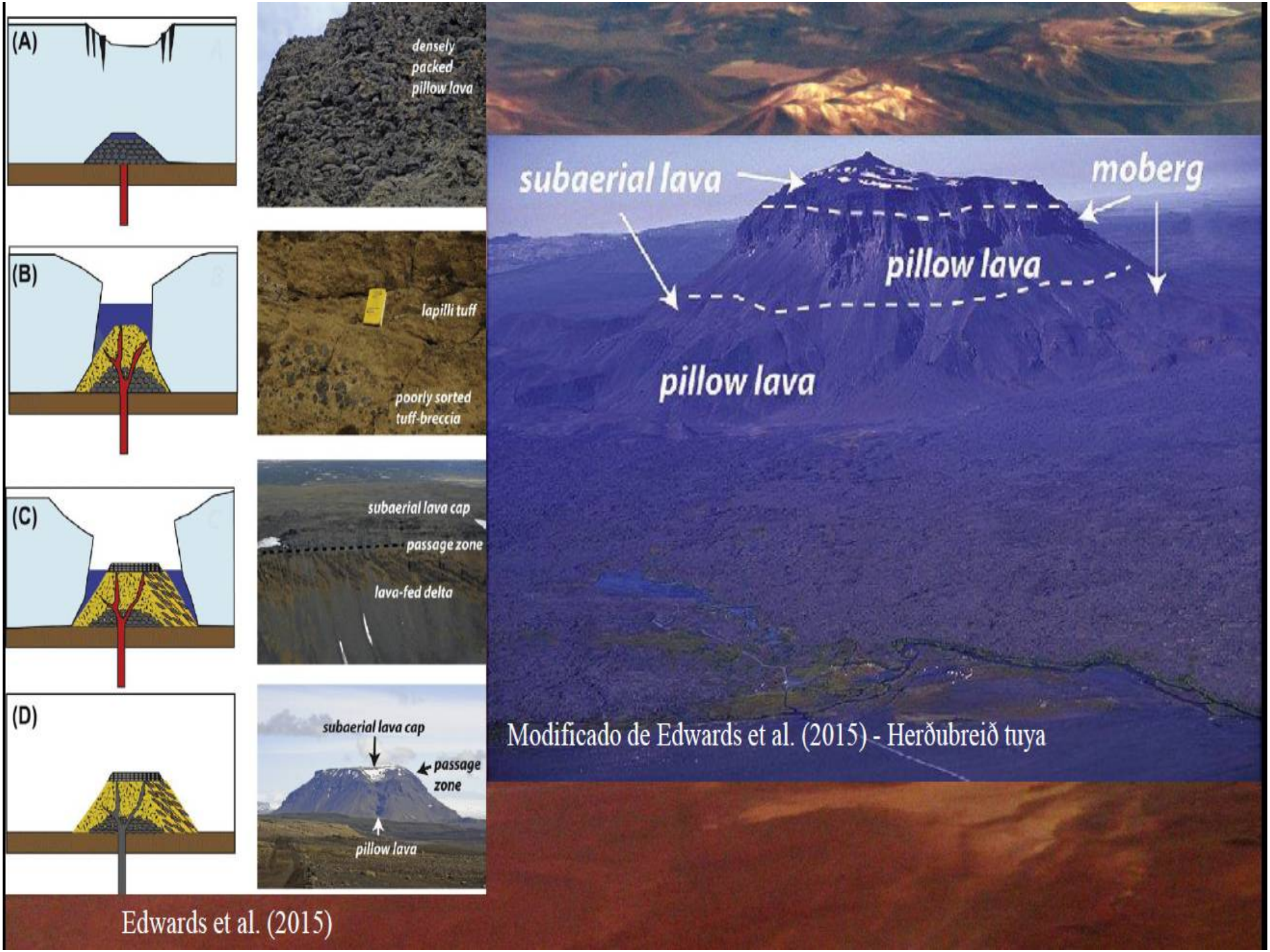
• TUYAS

Corresponden a volcanes producidos por procesos intra o subglaciares, y también se les conoce como cerros «mesa» (Thouret, 1999). Se producen al ocurrir extrusiones de lava en cavidades formadas al interior del hielo derretido por la actividad volcánica (Siebert et al., 2015).

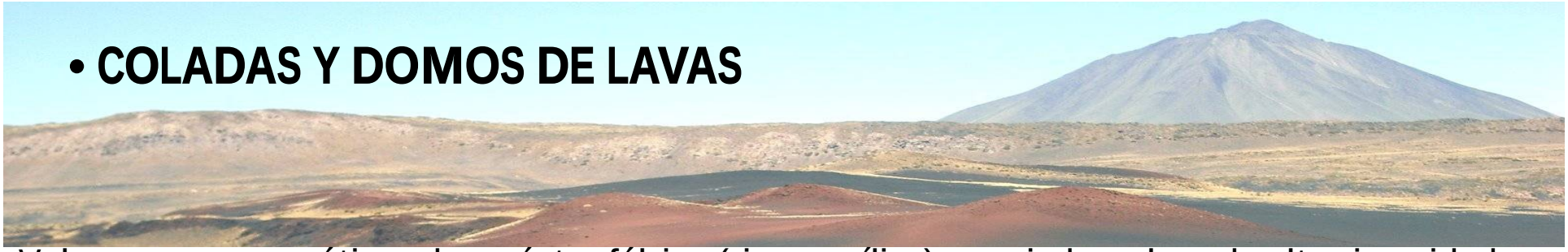


Modificado de Jakobsson and Gudmudsson (2008)

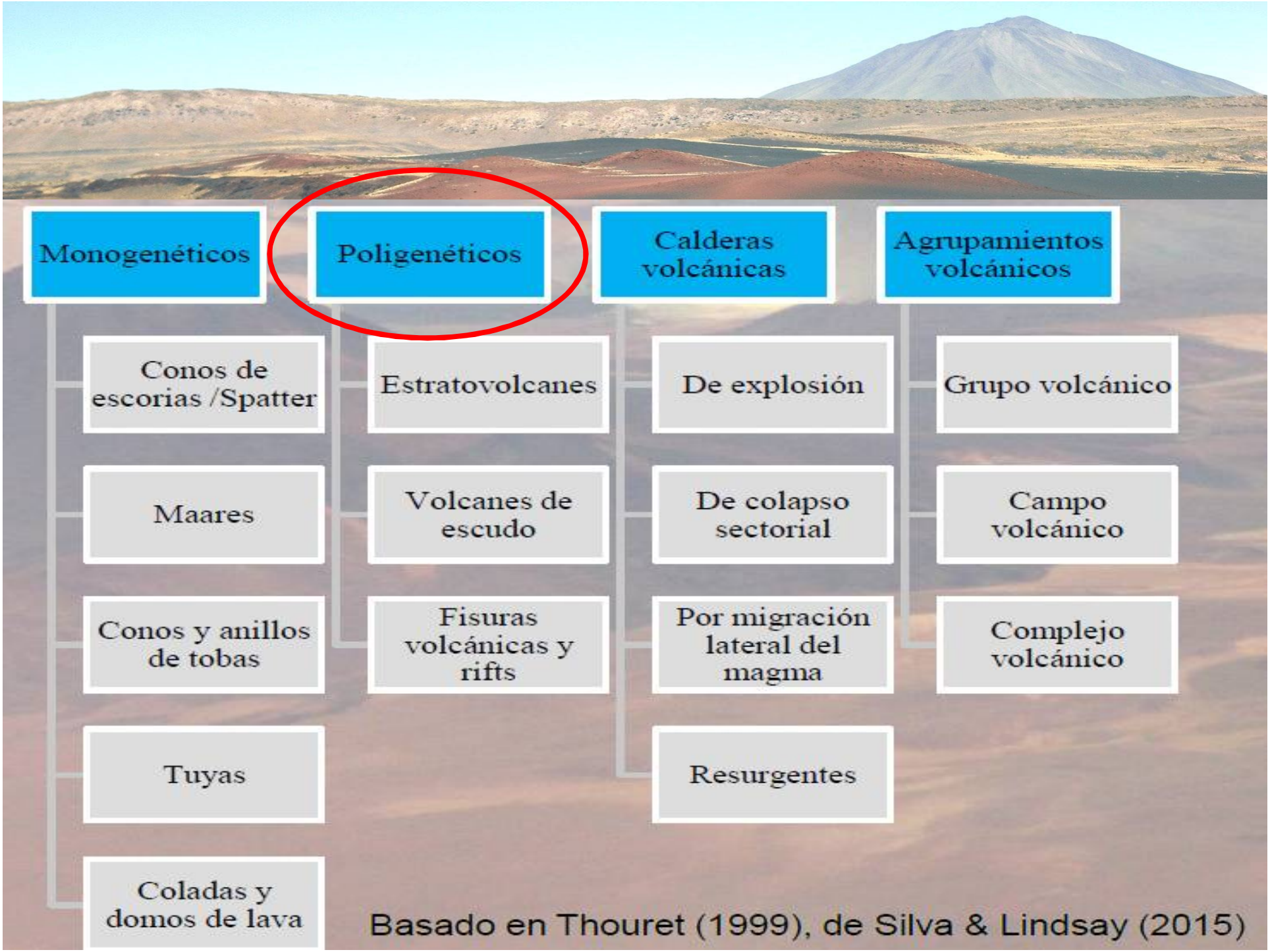
© Alex Wilson/Canadian Press – Table Mountain, British Columbia


(A)
densely packed pillow lava
(B)
lapilli tuff
poorly sorted tuff-breccia
(C)
subaerial lava cap
passage zone
lava-fed delta
(D)
subaerial lava cap
passage zone
pillow lava
Edwards et al. (2015)
subaerial lava
moberg
pillow lava
pillow lava
Modificado de Edwards et al. (2015) - Herðubreið tuya

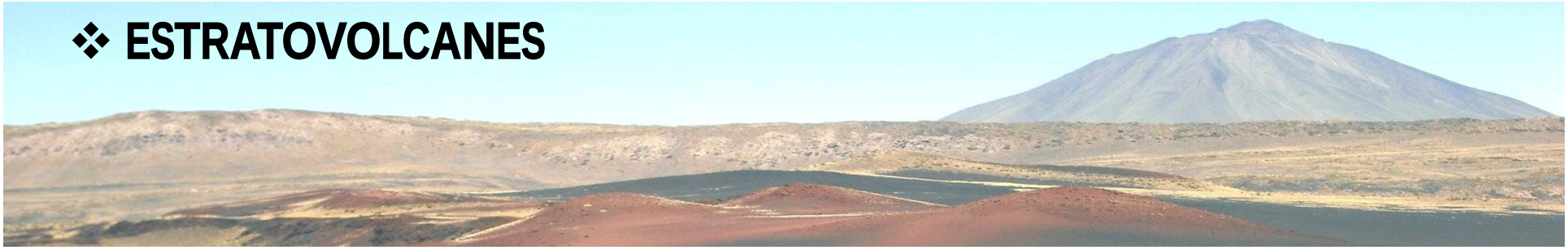
• COLADAS Y DOMOS DE LAVAS



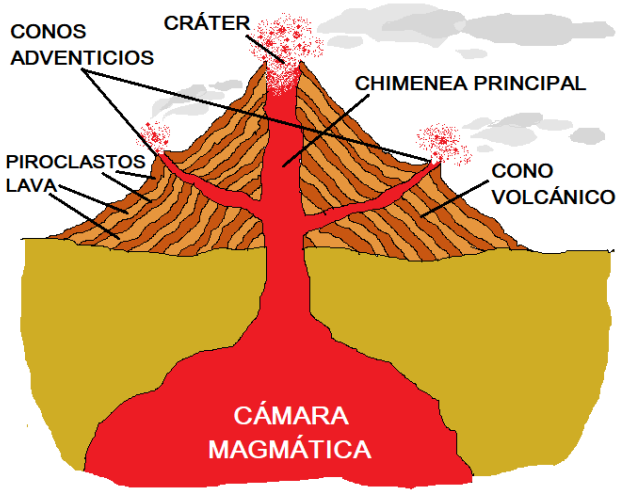
Volcanes monogenéticos de carácter félsico (rico en sílice), asociados a lava de alta viscosidad, con composiciones dacíticas y ocasionalmente andesíticas. Son poco comunes, y pueden presentarse en forma de domos «torta», lavas tipo «coulée», domos cónicos o tapones de lava.


Monogenéticos
Poligenéticos
Calderas volcánicas
Agrupamientos volcánicos
Conos de escorias /Spatter
Maares
Conos y anillos de tobas
Tuyas
Coladas y domos de lava
Estratovolcanes
Volcanes de escudo
Fisuras volcánicas y rifts
De explosión
De colapso sectorial
Por migración lateral del magma
Resurgentes
Grupo volcánico
Campo volcánico
Complejo volcánico
Basado en Thouret (1999), de Silva & Lindsay (2015)

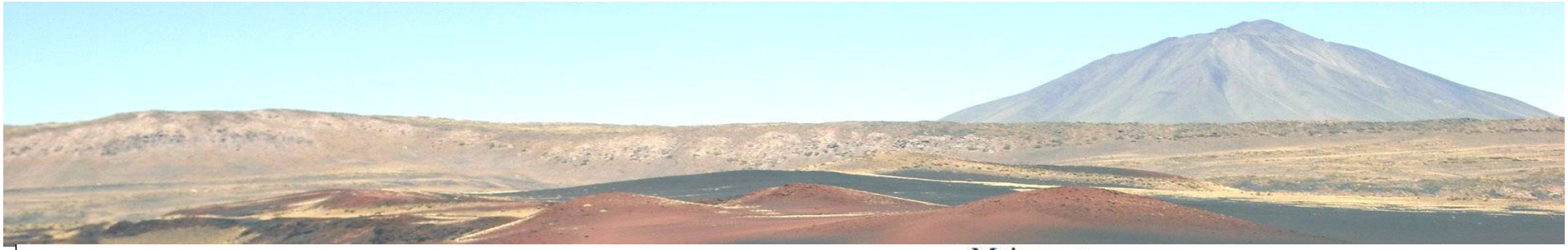
❖ ESTRATOVOLCANES



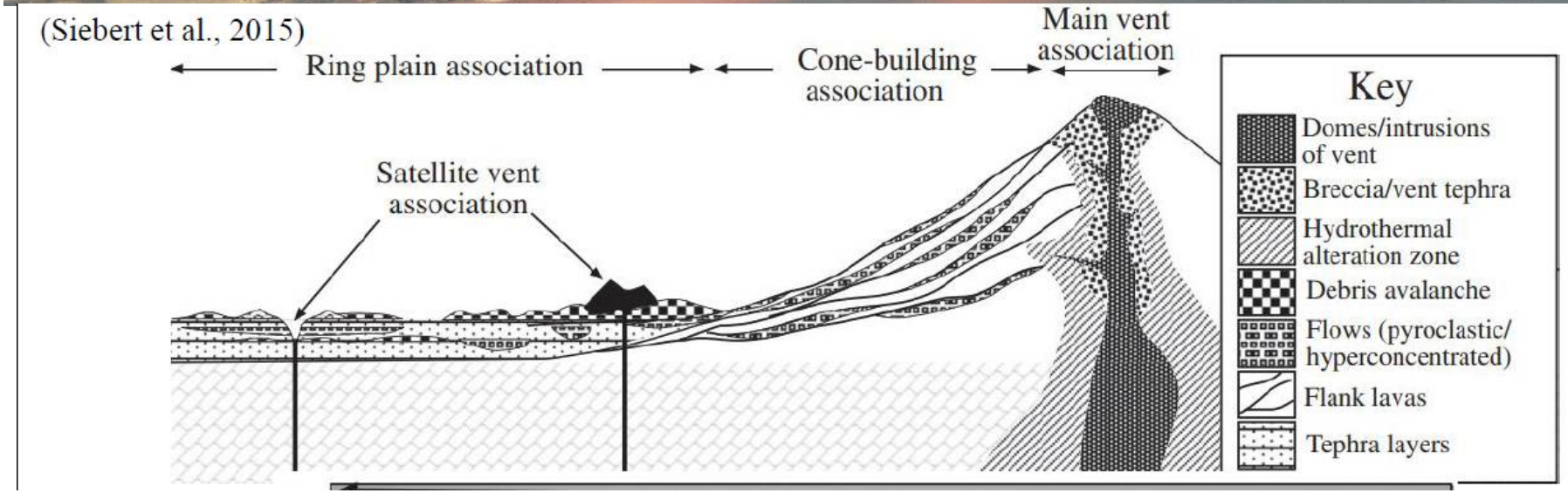
También «compuestos», son edificios volcánicos usualmente cónicos construidos a partir de la superposición de numerosos eventos eruptivos. Poseen composiciones predominantes intermedias a ácidas, y desarrollan una cámara magmática somera. Pueden permanecer activos entre episodios eruptivos separados amplios por amplios espacios de tiempo, incluso por medio millón de años.

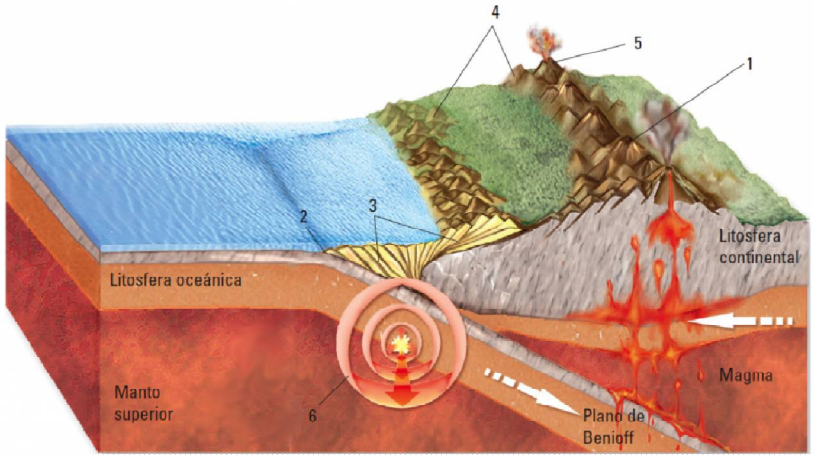


ESTRUCTURA DE UN ESTRATOVOLCÁN

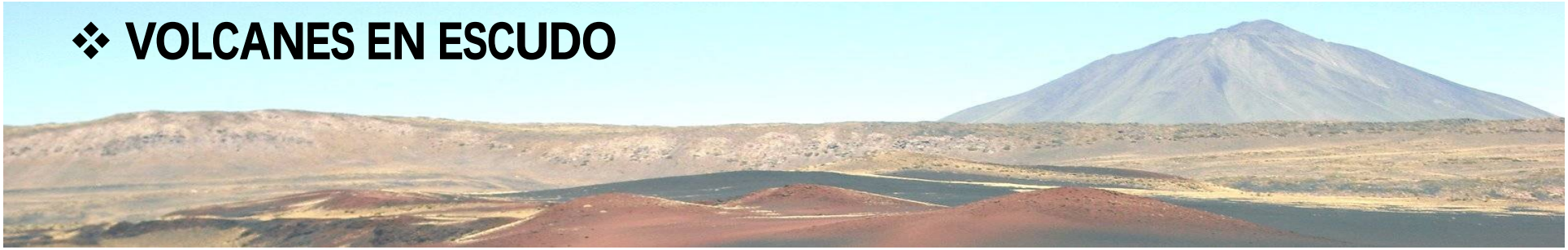


(Siebert et al., 2015)

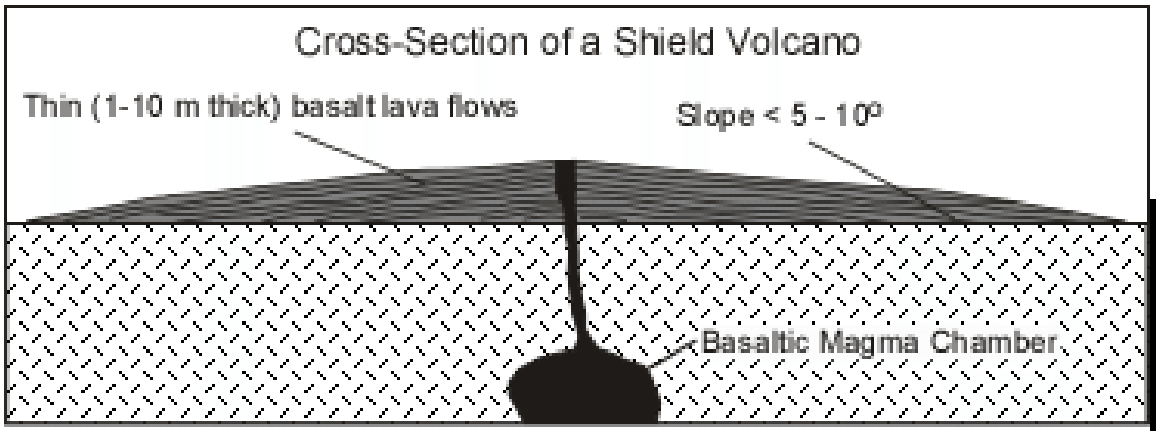


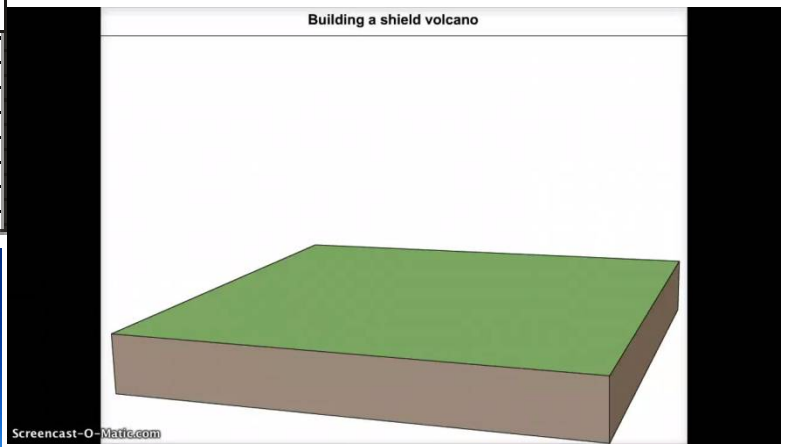


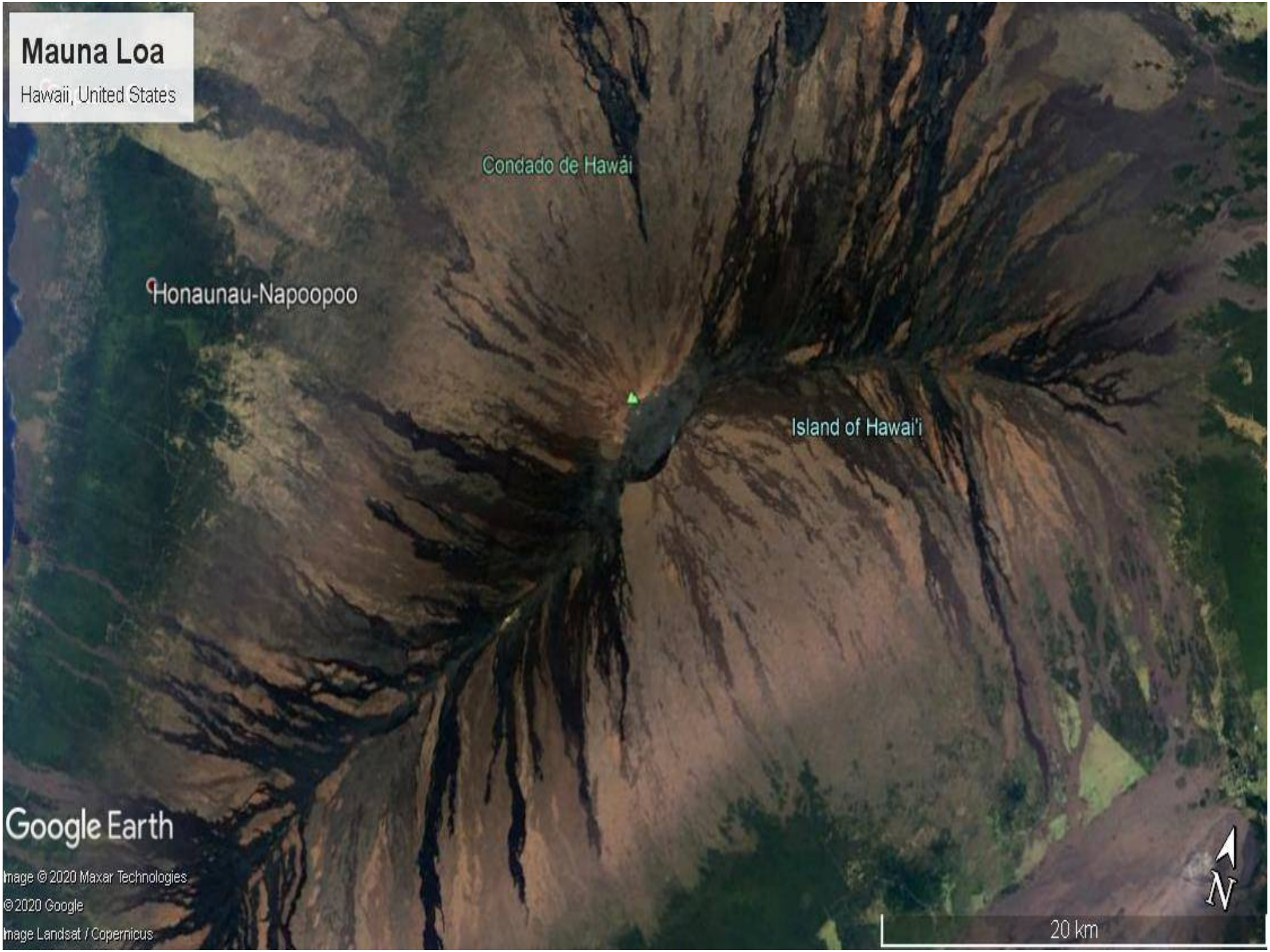
❖ VOLCANES EN ESCUDO



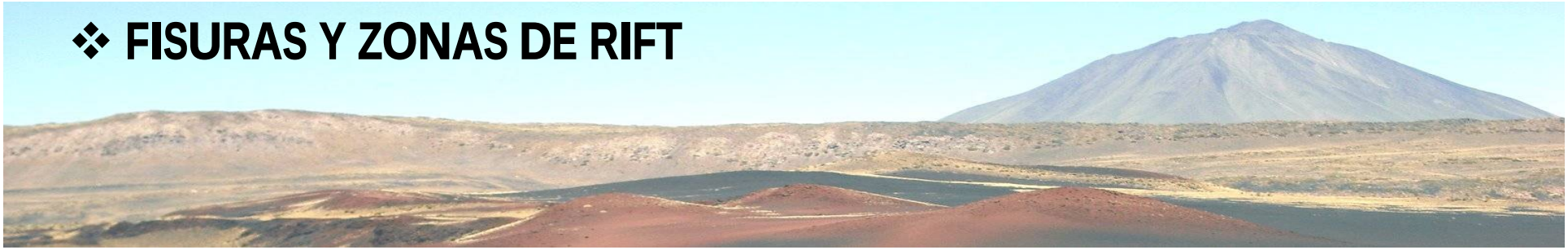
Son edificios volcánicos poligenéticos construidos principalmente por coladas de lavas basálticas emitidas desde un cráter sumital, y por los flancos del volcán. También incluye algunos volcanes compuestos con composiciones más variadas y depósitos piroclásticos.



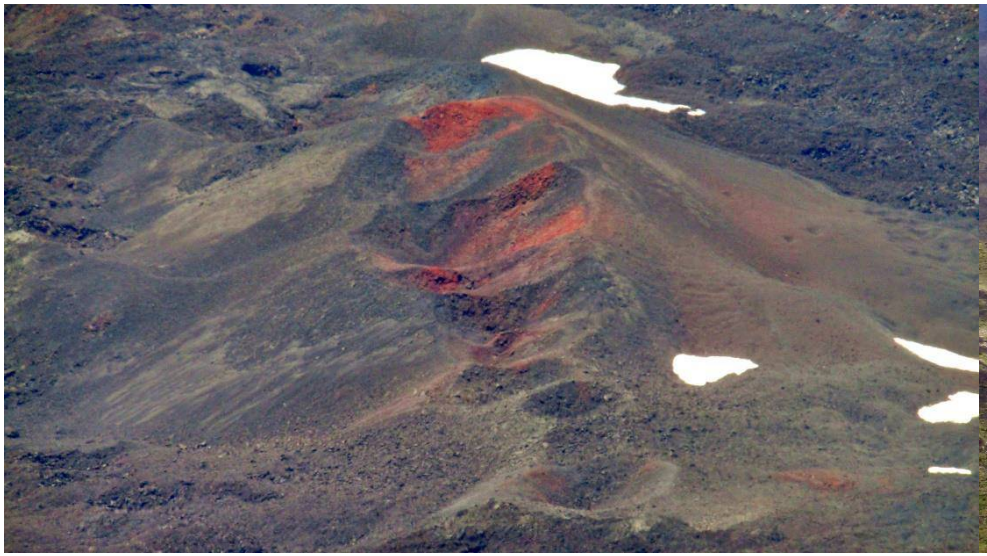


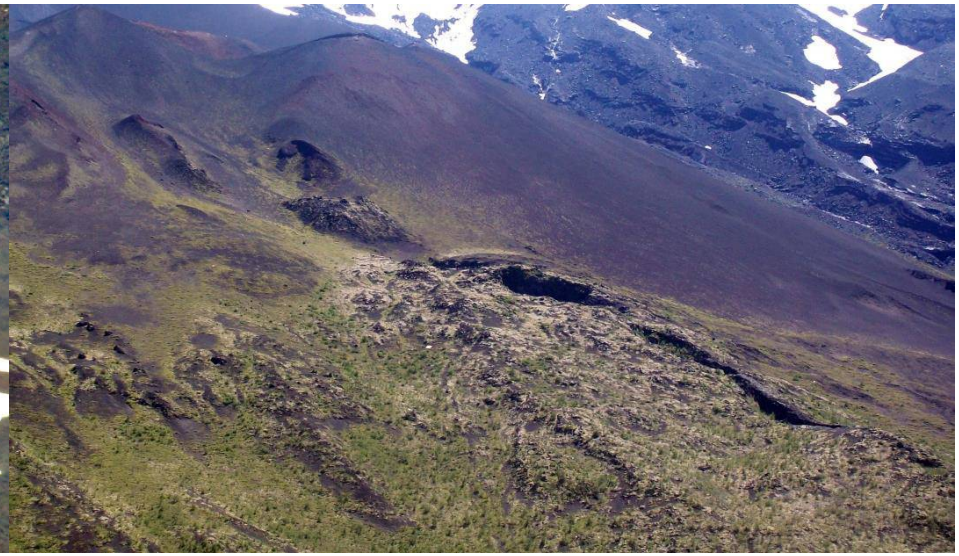

Mauna Loa
Hawaii, United States
Condado de Hawái
Honaunau-Napoopoo
Island of Hawai'i
Google Earth
Image © 2020 Maxar Technologies
© 2020 Google
Image Landsat / Copernicus
N
20 km

❖ FISURAS Y ZONAS DE RIFT

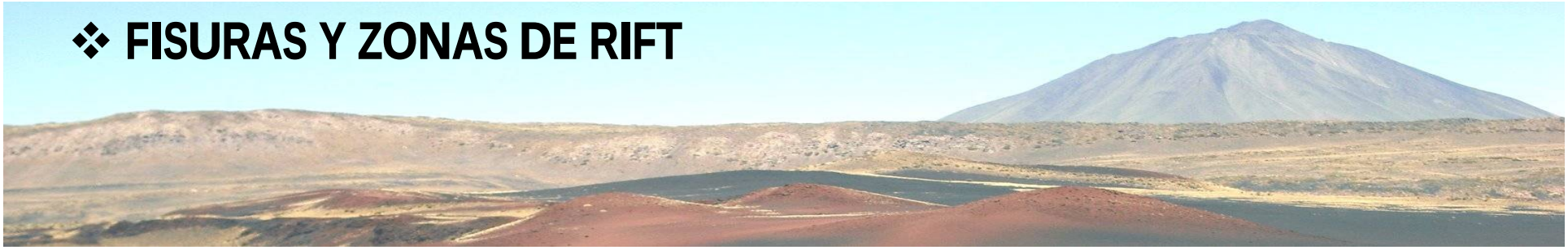


Un dique, al alcanzar la superficie, puede generar una erupción dominada por coladas de lava fluida y fuentes de lava, que a su vez producen edificios volcánicos alargados y que están constituidos principalmente por *spatters*

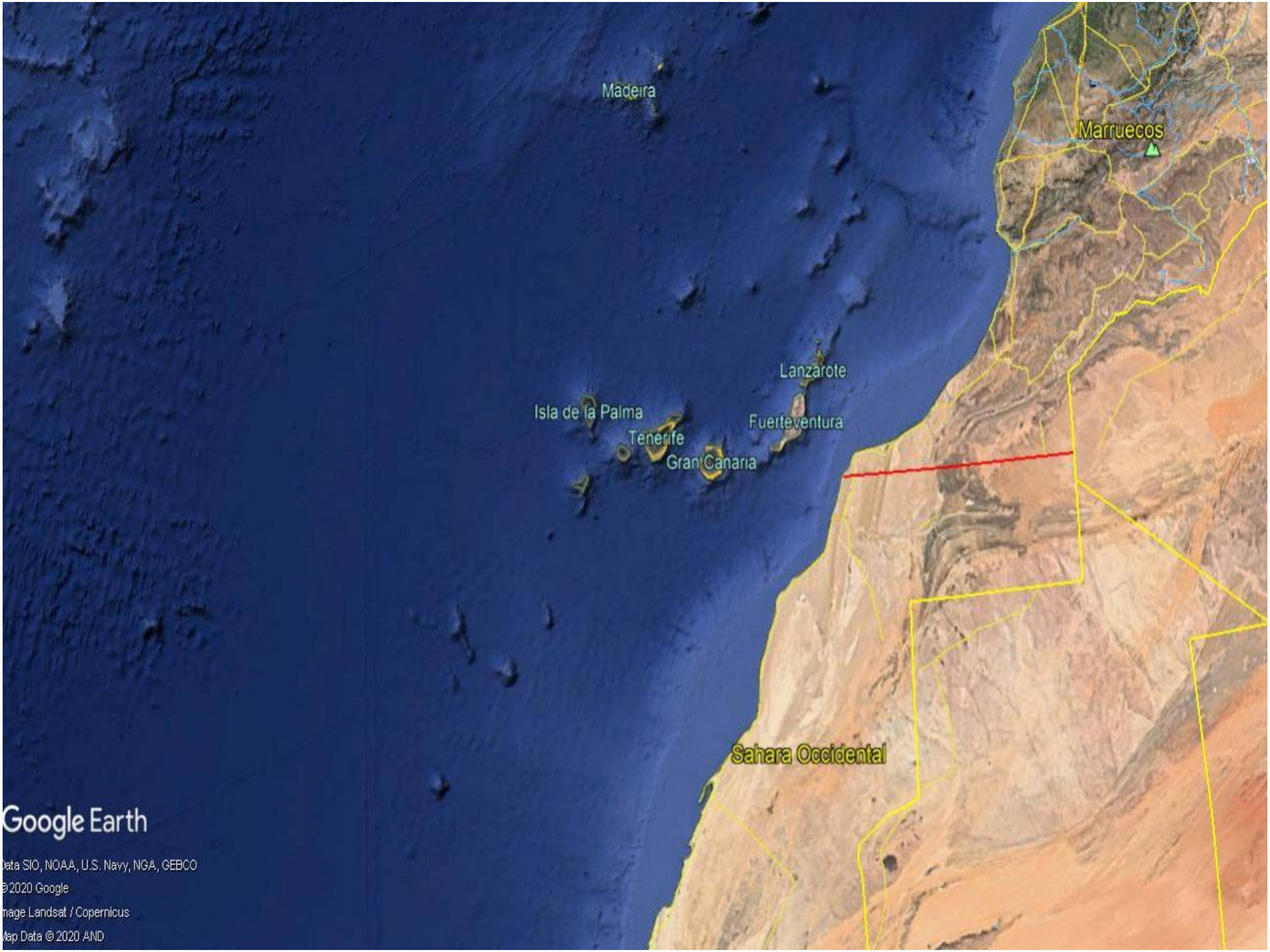




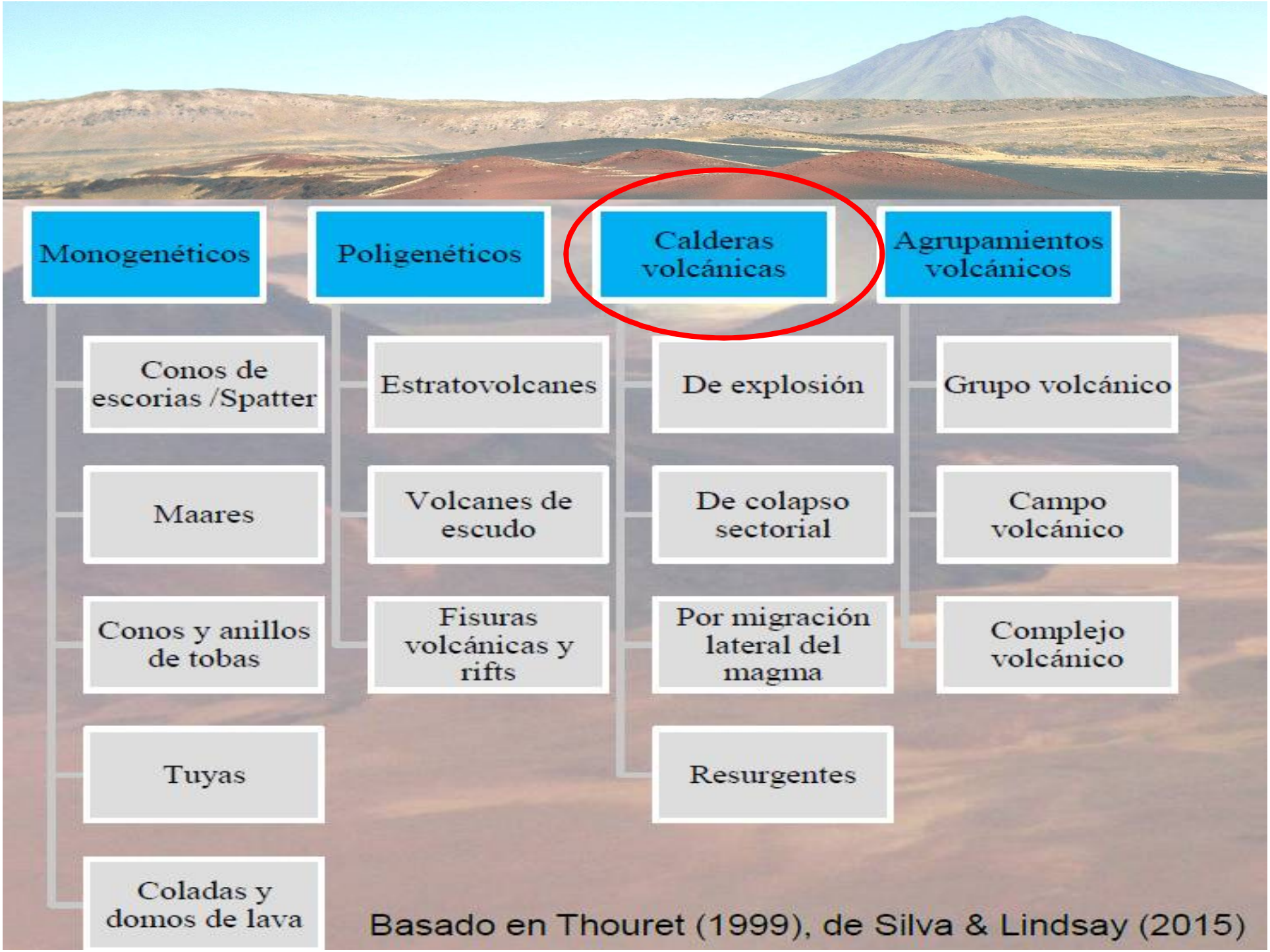
❖ FISURAS Y ZONAS DE RIFT



Un dique, al alcanzar la superficie, puede generar una erupción dominada por coladas de lava fluida y fuentes de lava, que a su vez producen edificios volcánicos alargados y que están constituidos principalmente por *spatters*

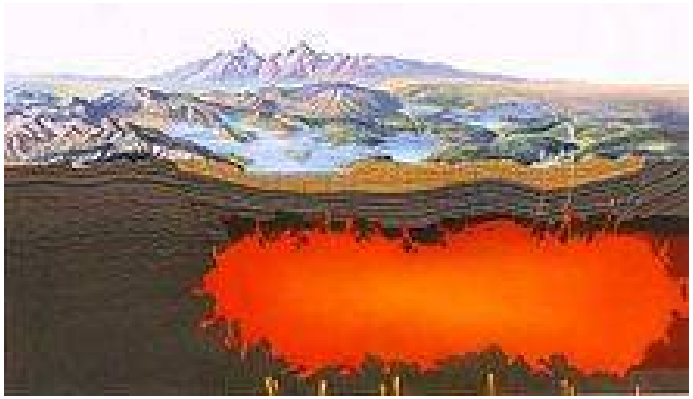

Madeira
Marruecos
Lanzarote
Isla de la Palma
Fuerteventura
Tenerife
Gran Canaria
Sahara Occidental
Google Earth
ata SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
2020 Google
nage Landsat / Copernicus
Map Data © 2020 AND

Cumbre Vieja
Isla de La Palma - España
El Pueblo
Lomo Oscuro
Las Manchas
Jedey
Tigalate
Monte de Luna
El Remo
El Charco
Google Earth
Image © 2020 TerraMetrics
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2020 GRAFCAN
©2020 Google
N
3 km

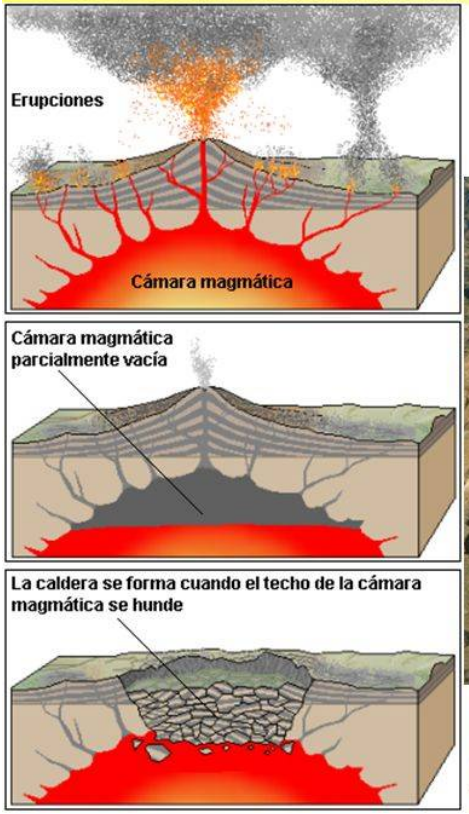

Monogenéticos
Poligenéticos
Calderas volcánicas
Agrupamientos volcánicos
Conos de escorias /Spatter
Maares
Conos y anillos de tobas
Tuyas
Coladas y domos de lava
Estratovolcanes
Volcanes de escudo
Fisuras volcánicas y rifts
De explosión
De colapso sectorial
Por migración lateral del magma
Resurgentes
Grupo volcánico
Campo volcánico
Complejo volcánico
Basado en Thouret (1999), de Silva & Lindsay (2015)

❖ CALDERAS DE EXPLOSIÓN

También llamadas «somma (no usar)», se asocian a grandes erupciones explosivas (Plinianas) que «truncan» las cimas de los volcanes, generando depresiones de menos de 10 km de diámetro.



Formas de las masas volcánicas



Caldera. Es una depresión circular (varios kilómetros de diámetro) que se forma normalmente por hundimiento, colapso, del edificio volcánico.

También pueden formarse por una fuerte explosión que elimina la cumbre del edificio volcánico Mt Sant helens

Calderas volcánicas

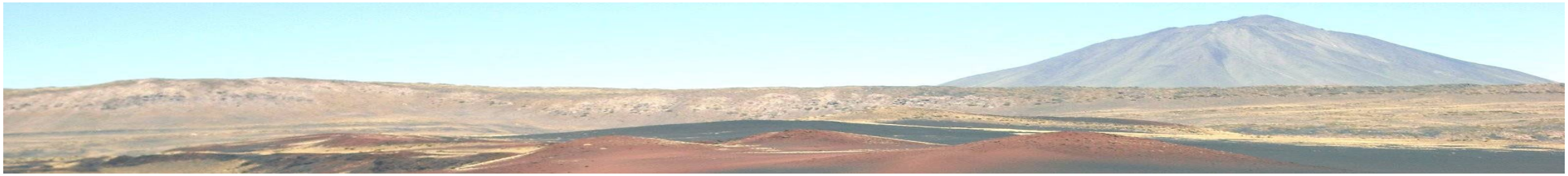
Las calderas volcánicas son depresiones circulares de tamaño muy superior al del cráter, pudiendo alcanzar varios kilómetros. Según su origen pueden ser:

- Caldera de explosión.
- Caldera de erosión.
- Caldera de colapso (ver figura).

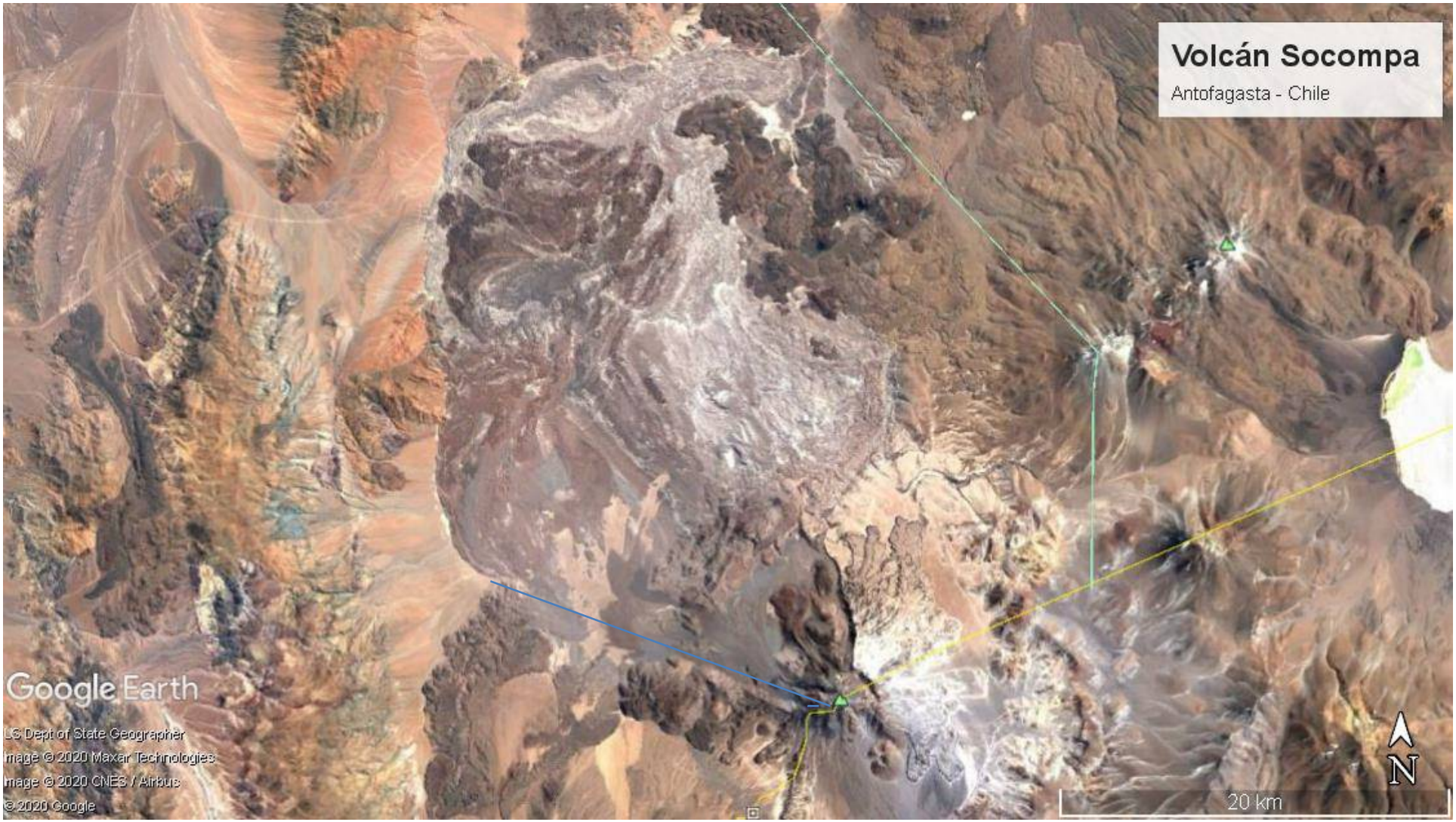
FORMACIÓN DE UNA CALDERA DE COLAPSO. En la primera viñeta, a medida que avanza la erupción, la cámara magmática –poco profunda- se vacía progresivamente. En la segunda, se produce el hundimiento de la cúpula de la cámara magmática por su propio peso y por estar fuertemente agrietada. Finalmente se produce una gran depresión, en cuyo interior puede formarse un lago.

❖ CALDERAS DE COLAPSO SECTORIAL

Producidas por el deslizamiento de una ladera inestable de un volcán. Tienen característica forma de herradura, abierta hacia la dirección del deslizamiento. Están asociadas frecuentemente a un depósito de avalancha de detritos volcánicos, aunque si el deslizamiento es lento esta característica puede no existir



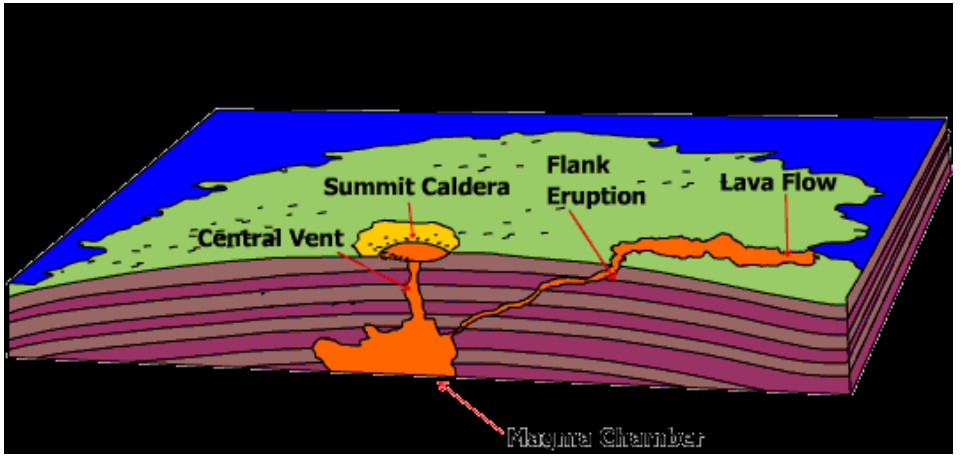
https://www.youtube.com/watch?v=xDL-8f8URM8&feature=youtu.be

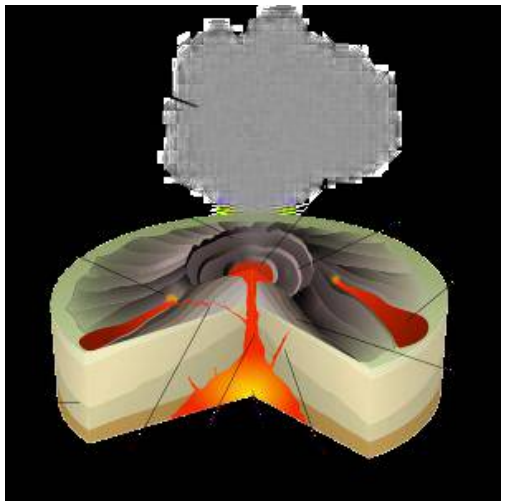

Volcán Socompa
Antofagasta - Chile
Google Earth
LS Dept of State Geographer
Image © 2020 Maxar Technologies
Image © 2020 CNES / Airbus
© 2020 Google
20 km
N

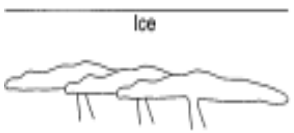
Isla de la Palma
Canarias - España
Puntallana
Puntagorda
Santa Cruz de la Palma
Breña Baja
Tijarafe
Isla de la Palma
Fátima
La Punta
Los Llanos
El Pueblo
Puerto de Naos
Las Indias
Google Earth
Image © 2020 TerraMetrics
Data SIO, NOAA, U.S. Navy, NGA, GEBCO
Image © 2020 GRAFCAN
©2020 Google
N
10 km

❖ POR MIGRACIÓN LATERAL DEL MAGMA

Un movimiento lateral del magma, desde la cámara magmática hacia afuera (intrusiones laterales de magma), que inducen su vaciamiento y el desarrollo de un hundimiento del edificio volcánico sin actividad explosiva. Ocurren principalmente en volcanes de escudo (p. ej. Fernandina en Galápagos) pero también en volcanes de Islandia e incluso en volcanes de arco.



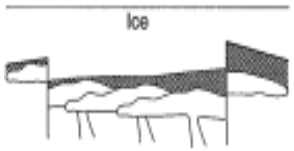




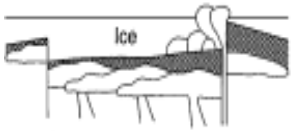
a SHARKFIN UNIT
Eruption of subglacial and/or subaqueous pillow lavas and breccias.

b SHARKFIN UNIT
Evolution of subglacial to subaerial (cinder cone) eruptions. Eruption of Northwest Unit on northern slope.

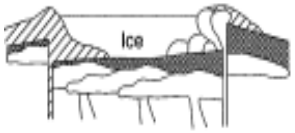
c SHARKFIN UNIT
Caldera collapse.



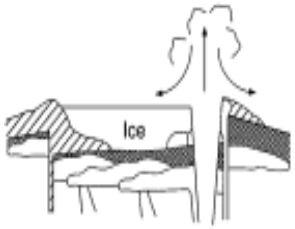
d Accumulation of ice.



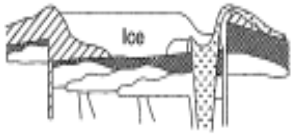
e SOUTH UNIT
Eruption of lava domes along caldera wall.



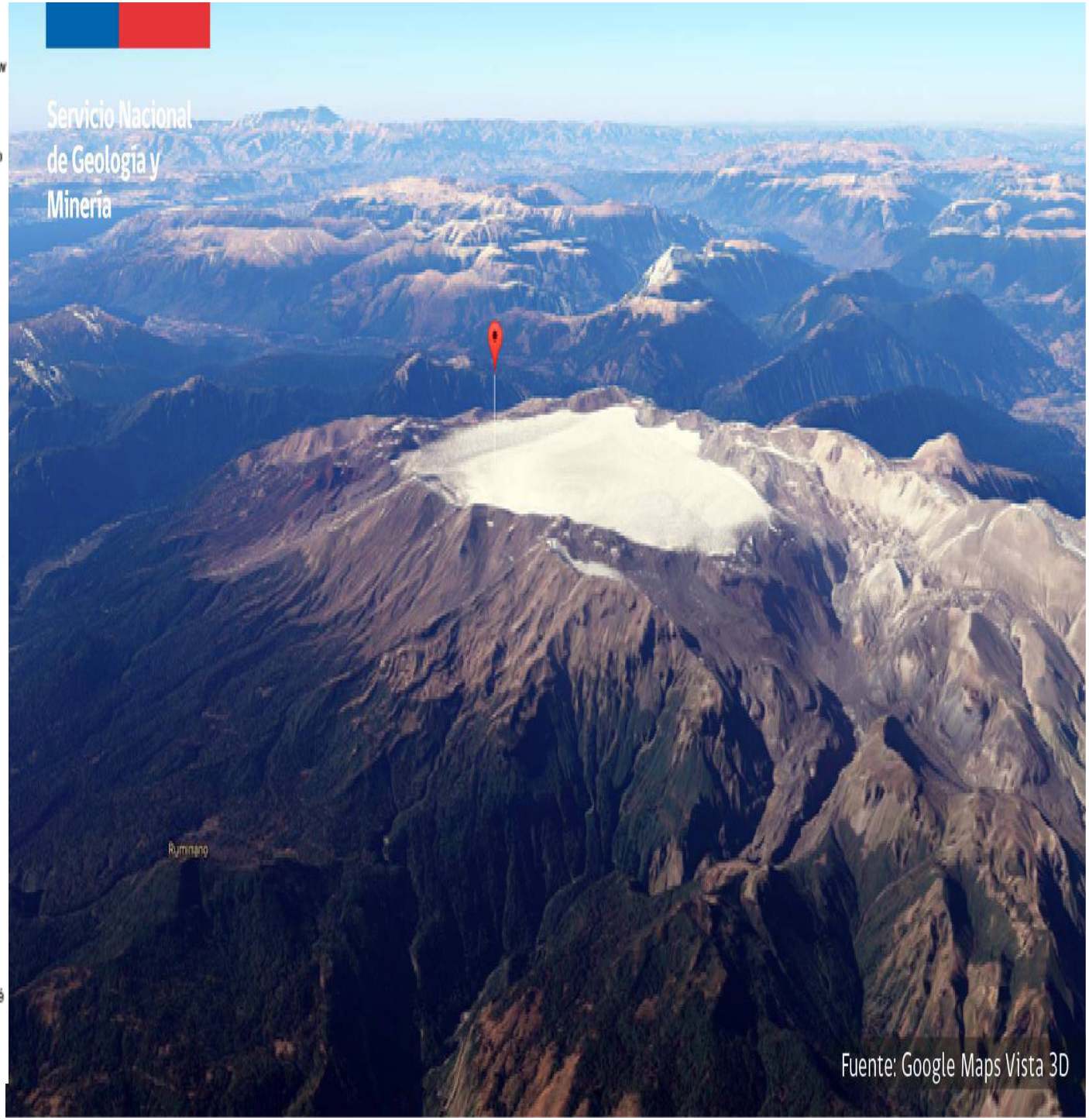
f PEAK UNIT
Lavas erupted subglacially and subaerially along caldera margin.



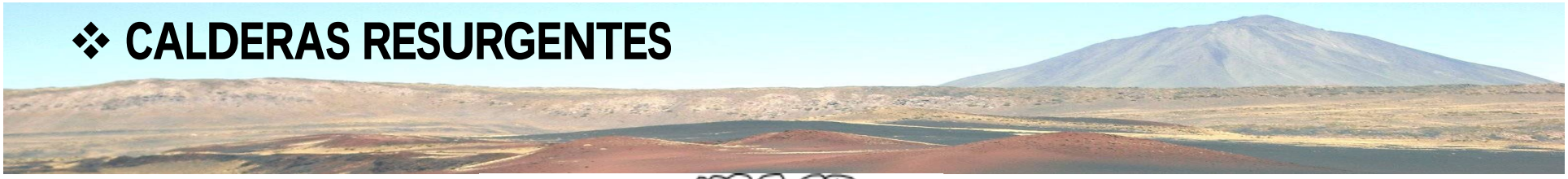
g ALPEHUE UNIT
Pyroclastic eruption at caldera margin.



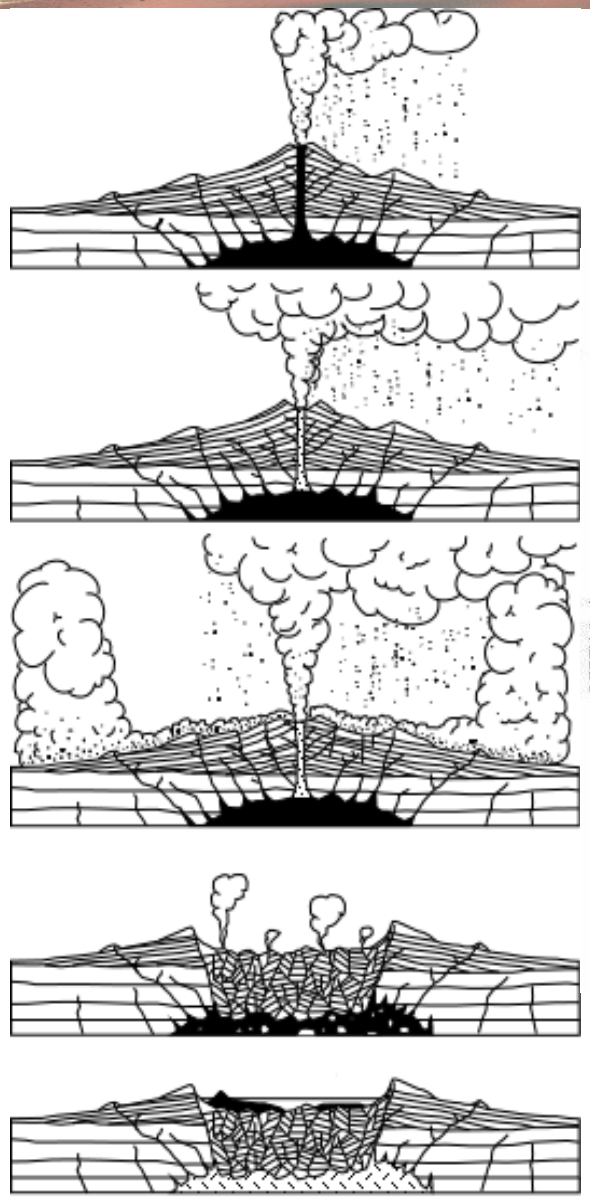
h Flow of ice to fill Alpehué crater. (Eruption of Chufquén cinder cone on northern flank; deposits not shown).



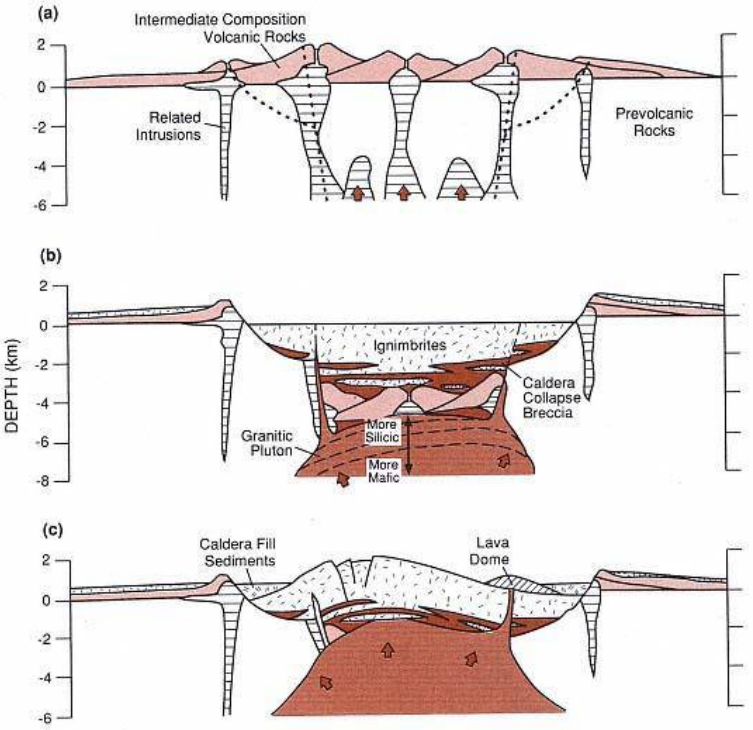
❖ CALDERAS RESURGENTES

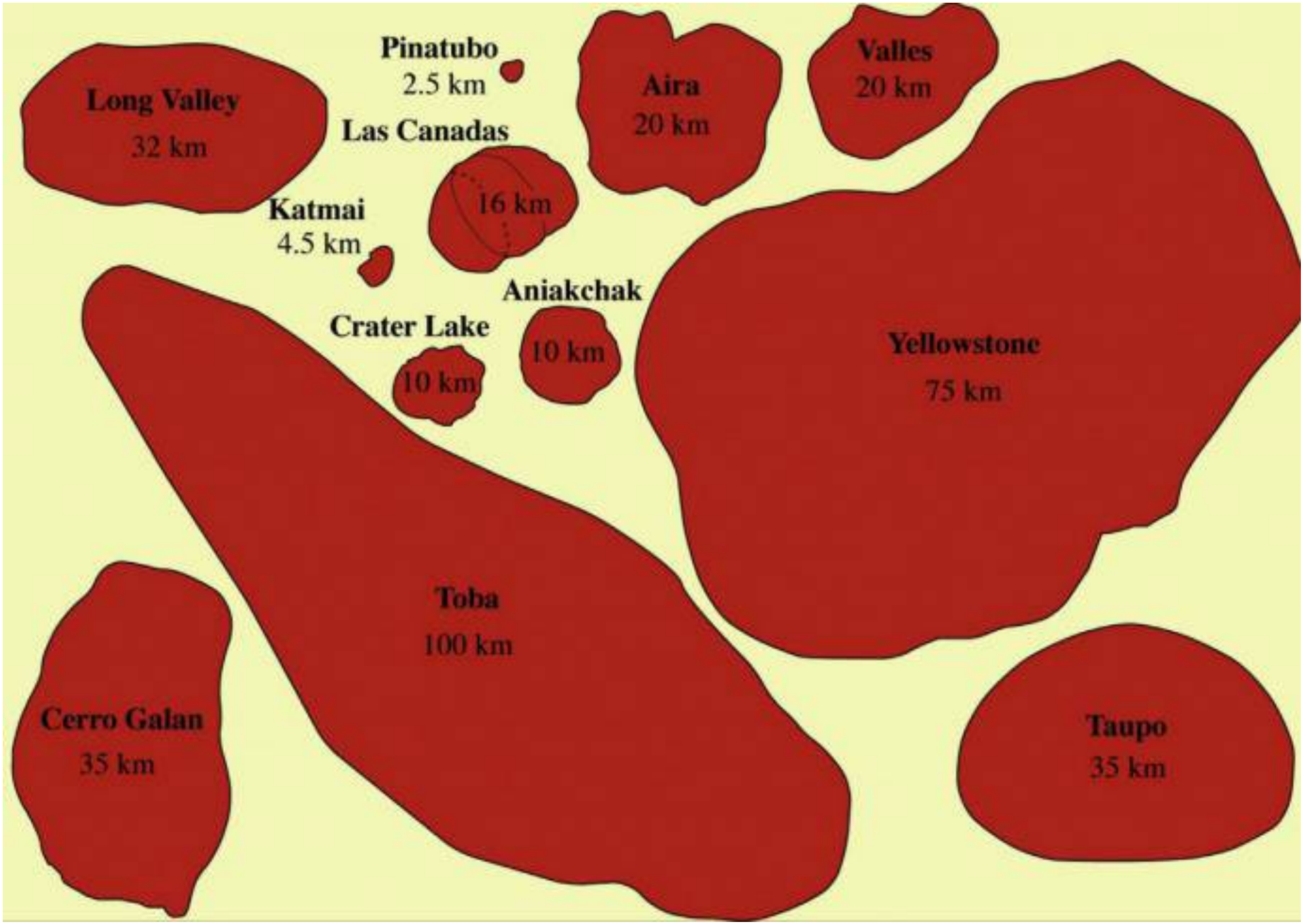


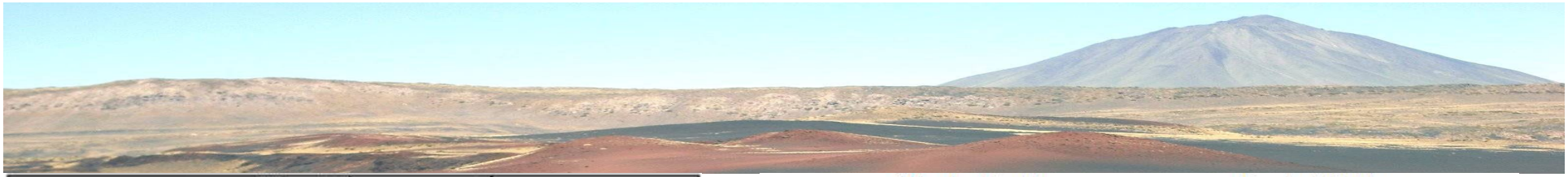
Se forman a partir de la subsidencia de gran parte del edificio volcánico (zonas de hasta 80 km de largo), producida por un vaciamiento rápido de parte de la cámara magmática, durante erupciones violentas (10-1000 km3). Estas calderas se rellenan posteriormente con ignimbritas, y eventualmente depósitos lacustres. En etapas post-colapso, es usual que se construyan domos, conos de escoria e incluso estratovolcanes, que determinan una fase resurgente del volcanismo.



After H. Williams, 1951




Pinatubo
2.5 km
Long Valley
32 km
Las Canadas
16 km
Aira
20 km
Valles
20 km
Katmai
4.5 km
Aniakchak
10 km
Crater Lake
10 km
Yellowstone
75 km
Toba
100 km
Cerro Galan
35 km
Taupo
35 km



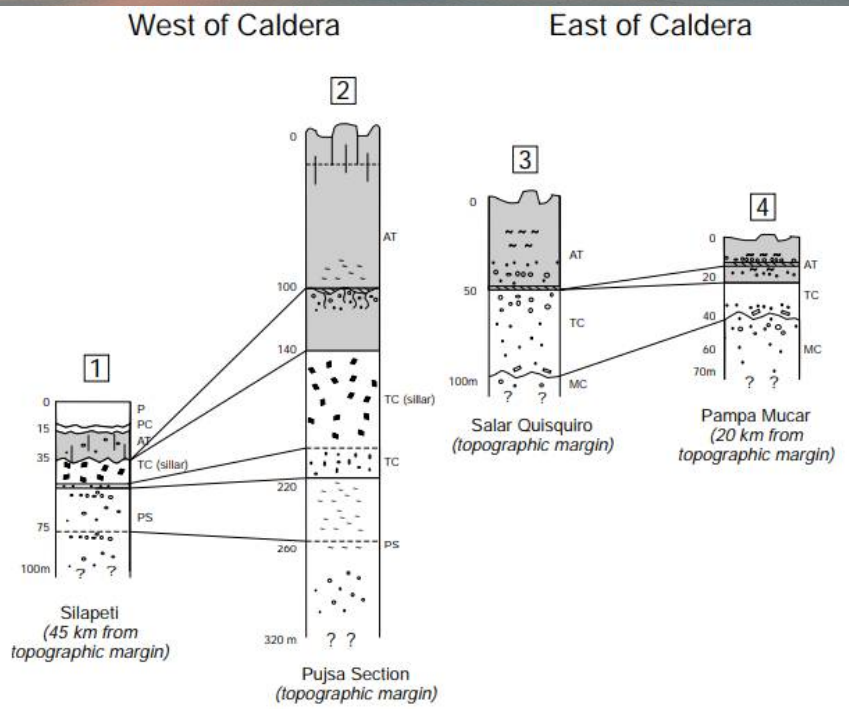
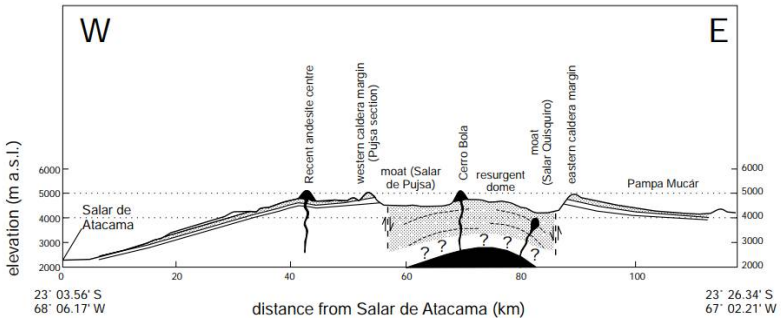
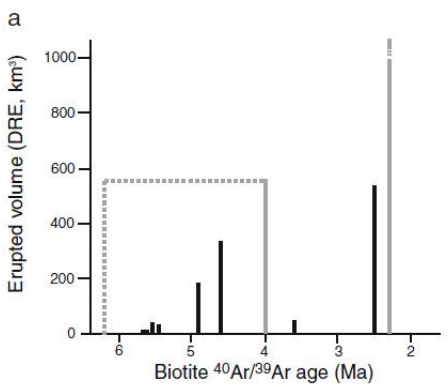


Fig. 9. Proximal and distal sections showing the Atana and Toconao ignimbrites thickening towards La Pacana caldera. P = Purico ignimbrite, PC = Pampa Chamaca ignimbrite, AT = Atana ignimbrite, TC = Toconao ignimbrite, PS = Pujsa ignimbrite, MC = Ignimbrita Antigua Múcar. See Fig. 11 for locations of profiles, and Fig. 10 for a photograph of section 3.





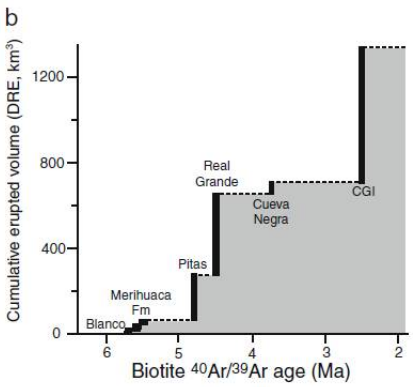
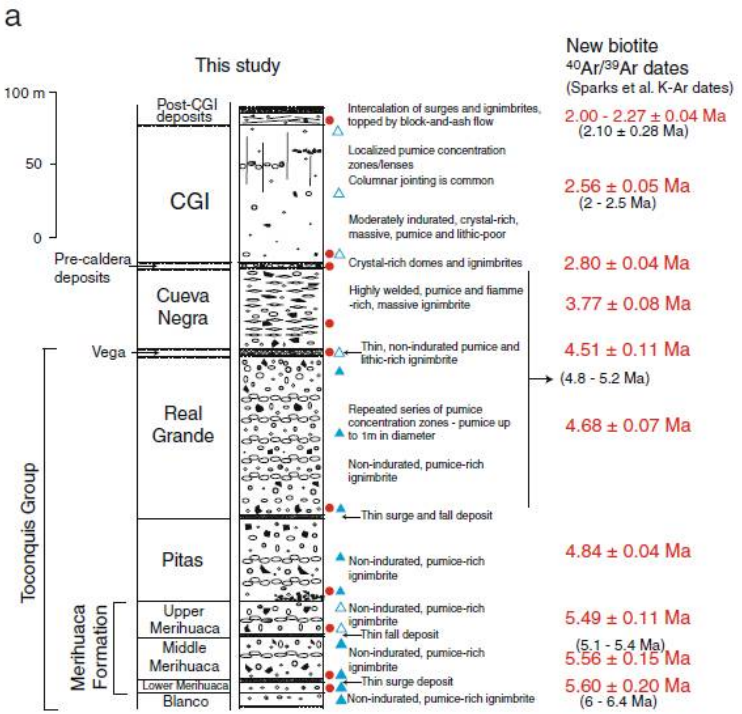
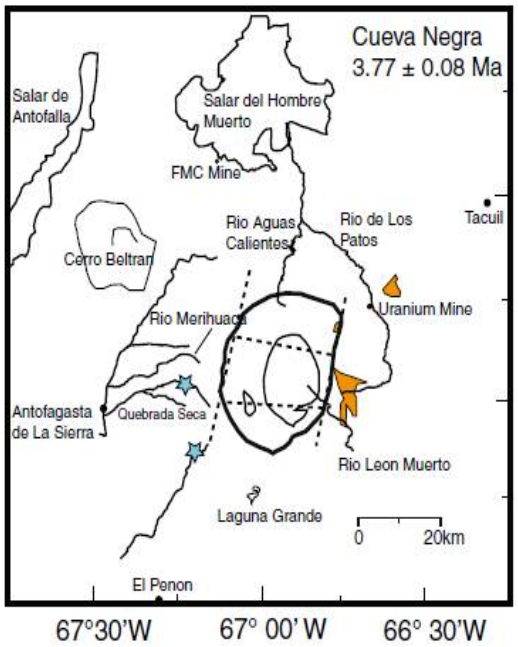
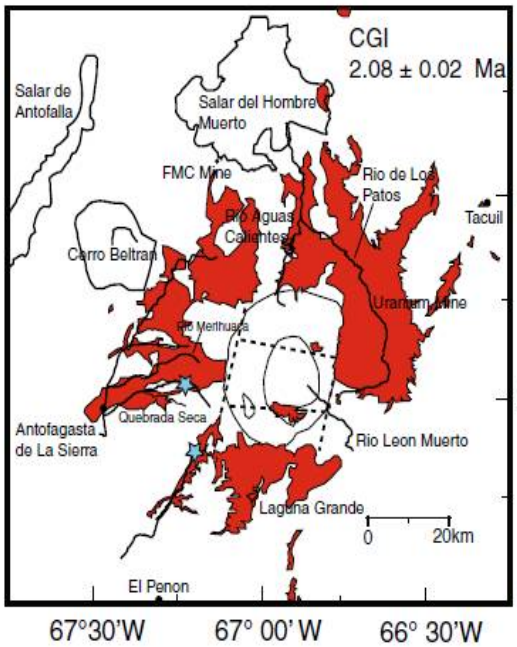


Fig. 12 a. New volume estimates for the Galán Ignimbrites (black bars). Previous volume estimates by Sparks et al. (1985) are shown as grey bars. Note: the previous estimates grouped the entire Toconquis Group Ignimbrites into a single volume. b A cumulative volume-graph of the Galán Ignimbrites



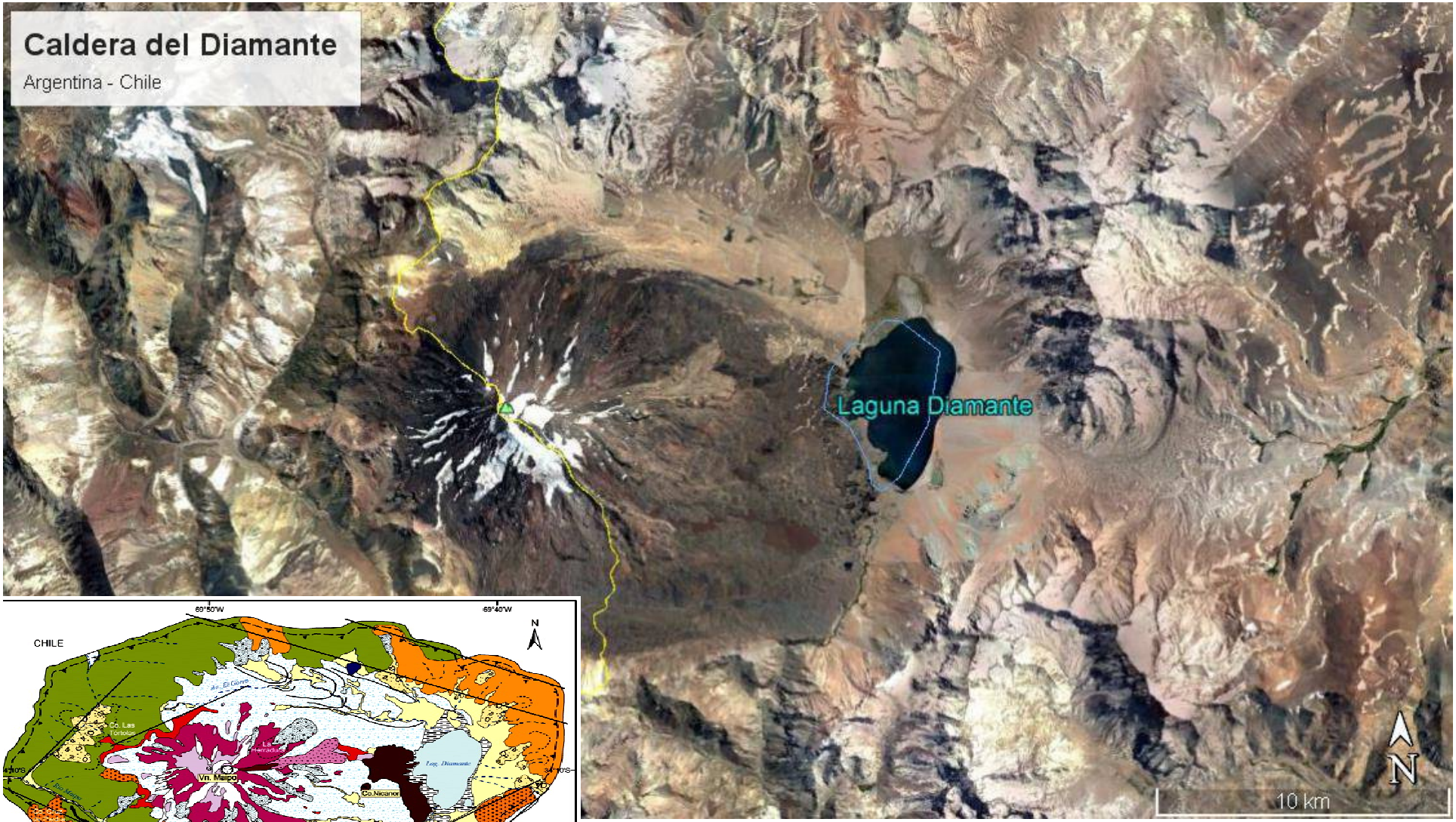


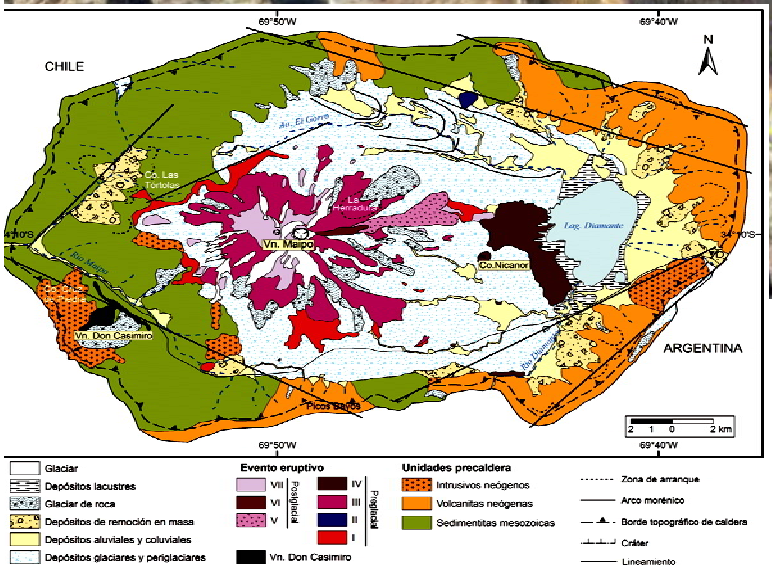


Caldera Cerro Galán (Argentina)
Folkes et al. (2011)
~1000 km3 (total acumulado)

Caldera del Diamante

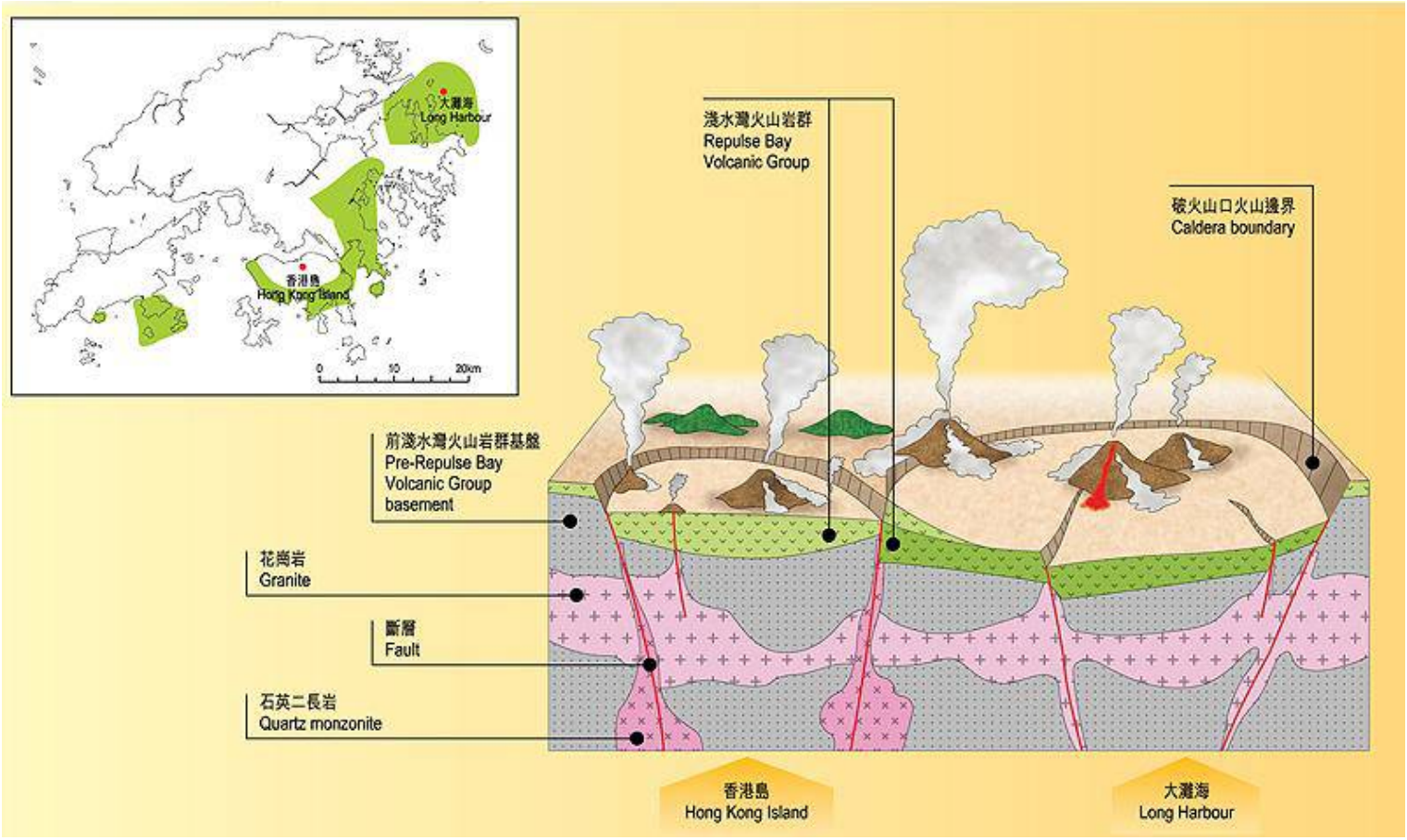
Argentina - Chile

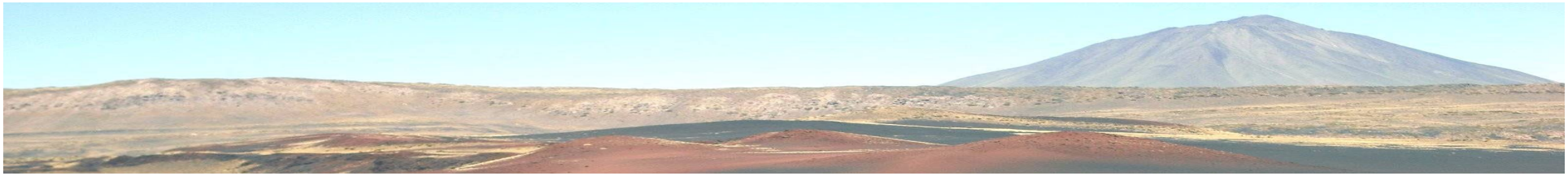


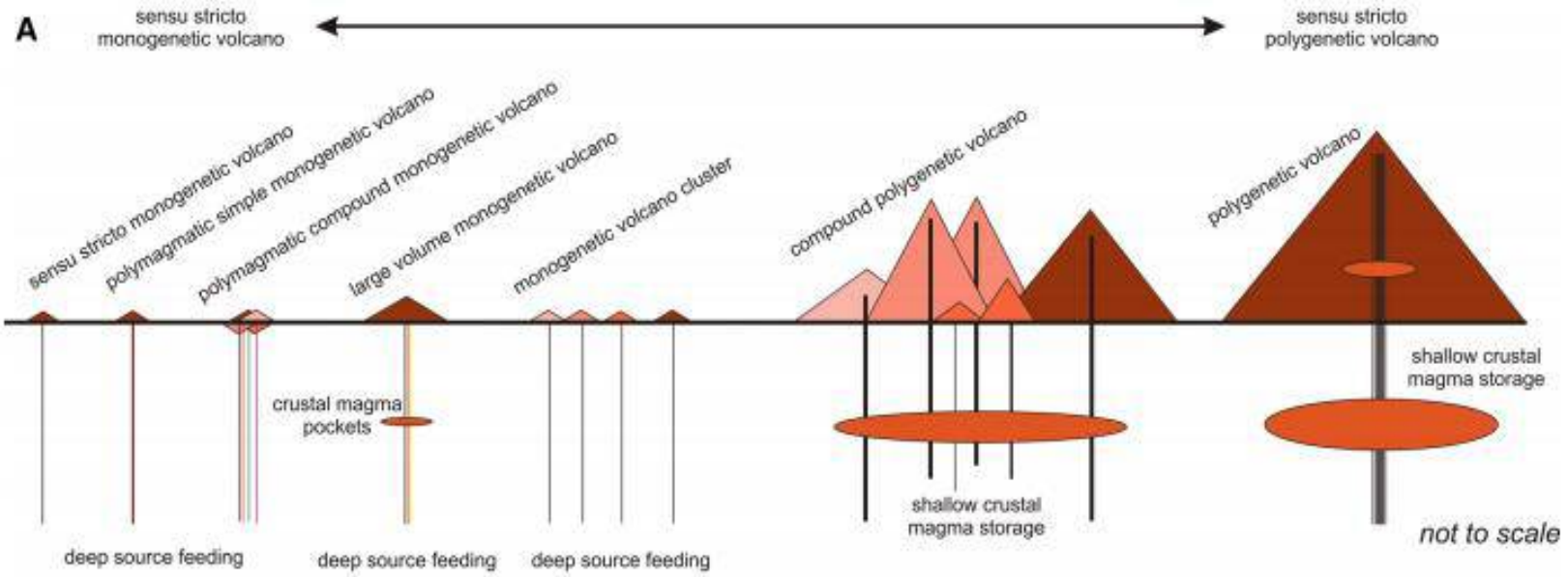


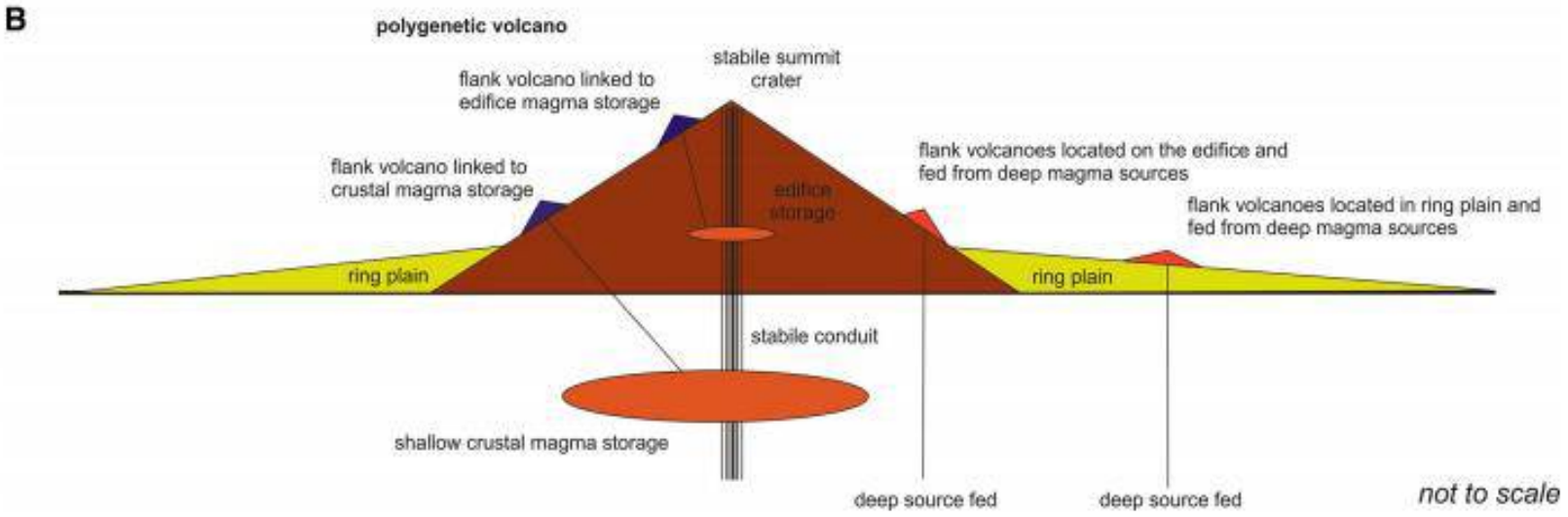
❖ AGRUPAMIENTOS VOLCÁNICOS

Grupo o Complejo volcánico: Conjunto de centros de emisión formados por diferentes estructuras y productos volcánicos yuxtapuestos, que en algunos casos comparten un sistema alimentador y pueden estar genéticamente relacionados (Sernageomin).
Campo volcánico: Sector de la corteza en donde el volcanismo está excepcionalmente concentrado. Puede agrupar a volcanes monogenéticos y/o volcanes poligenéticos.

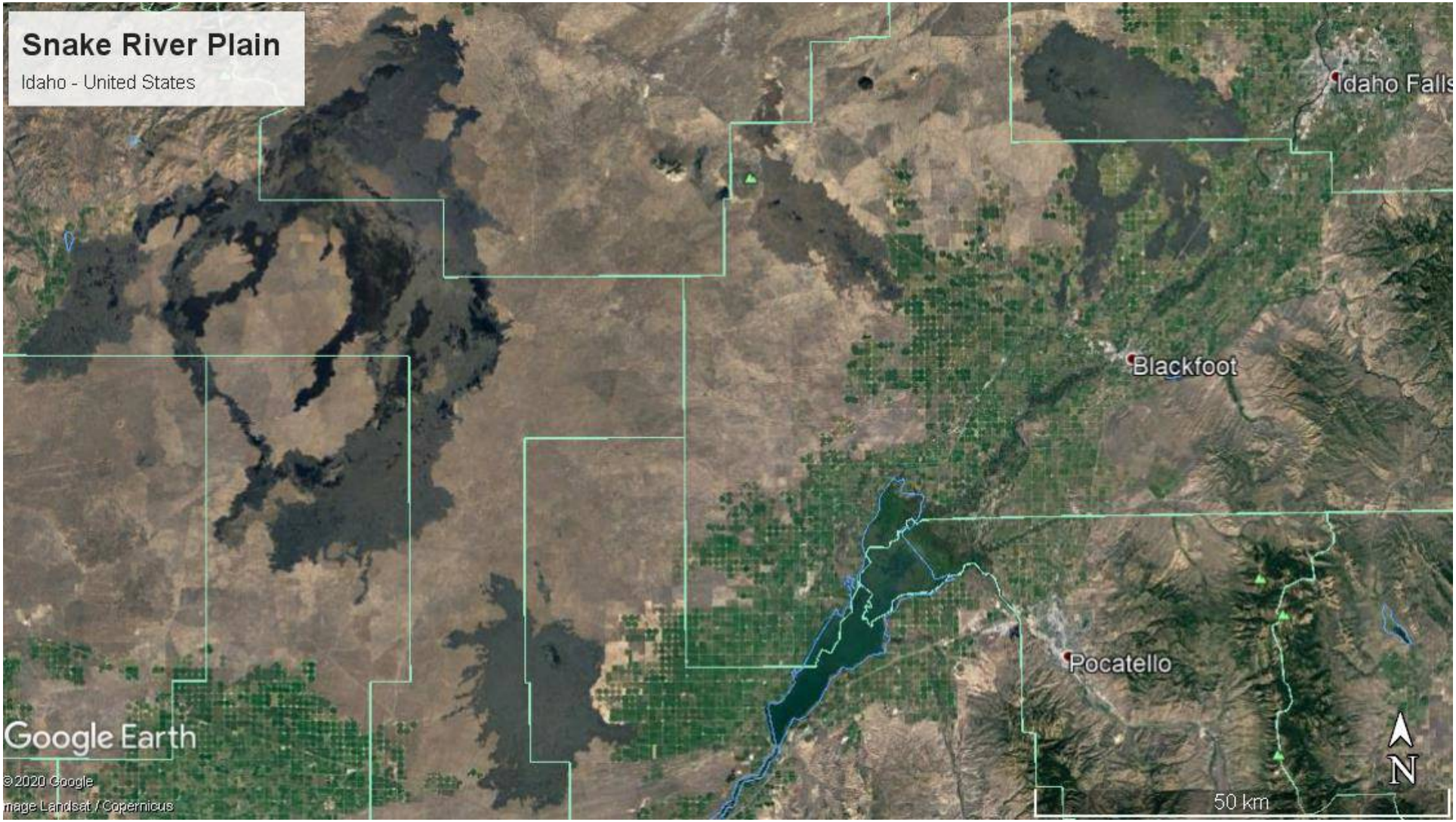





A
sensu stricto monogenetic volcano
sensu stricto polygenetic volcano
sensu stricto monogenetic volcano
polymagmatic simple monogenetic volcano
polymagmatic compound monogenetic volcano
large volume monogenetic volcano
monogenetic volcano cluster
compound polygenetic volcano
polygenetic volcano
crustal magma pockets
shallow crustal magma storage
shallow crustal magma storage
deep source feeding
deep source feeding
deep source feeding
not to scale


B
polygenetic volcano
stabile summit crater
flank volcano linked to edifice magma storage
flank volcano linked to crustal magma storage
flank volcanoes located on the edifice and fed from deep magma sources
edifice storage
flank volcanoes located in ring plain and fed from deep magma sources
ring plain
ring plain
stabile conduit
shallow crustal magma storage
deep source fed
deep source fed
not to scale

Puyehue-Cordón Caulle
Los Ríos - Chile
Google Earth
©2020 Google
Image © 2020 CNES / Airbus
US Dept of State Geographer
N
10 km


Snake River Plain
Idaho - United States
Idaho Falls
Blackfoot
Pocatello
Google Earth
© 2020 Google
mage Landsat / Copernicus
N
50 km

La Payunia
Malargüe - Argentina
Reserva La Payunia
Google Earth
Image Landsat / Copernicus
© 2020 Google
N
30 km

MUCHAS GRACIAS !!!!!