

Repercusiones de la gran erupción de hace 4200 años en Cerro Blanco, Andes Centrales

José Luís Fernández Turiel



CSIC



GEO BCN

Conferencia impartida en la
Real Academia Canaria de Ciencias

Gabinete Literario de Las Palmas de Gran Canaria

28 octubre 2023



Gabinete
Literario

Índice

- Introducción
- Metodología
- Resultados
 - Unidades estratigráficas
 - Depósito plineano de caída
 - Caracterización de la ceniza
 - Modelo de dispersión geográfica de la ceniza
- Repercusiones
- Conclusiones
- Referencias
- Agradecimientos

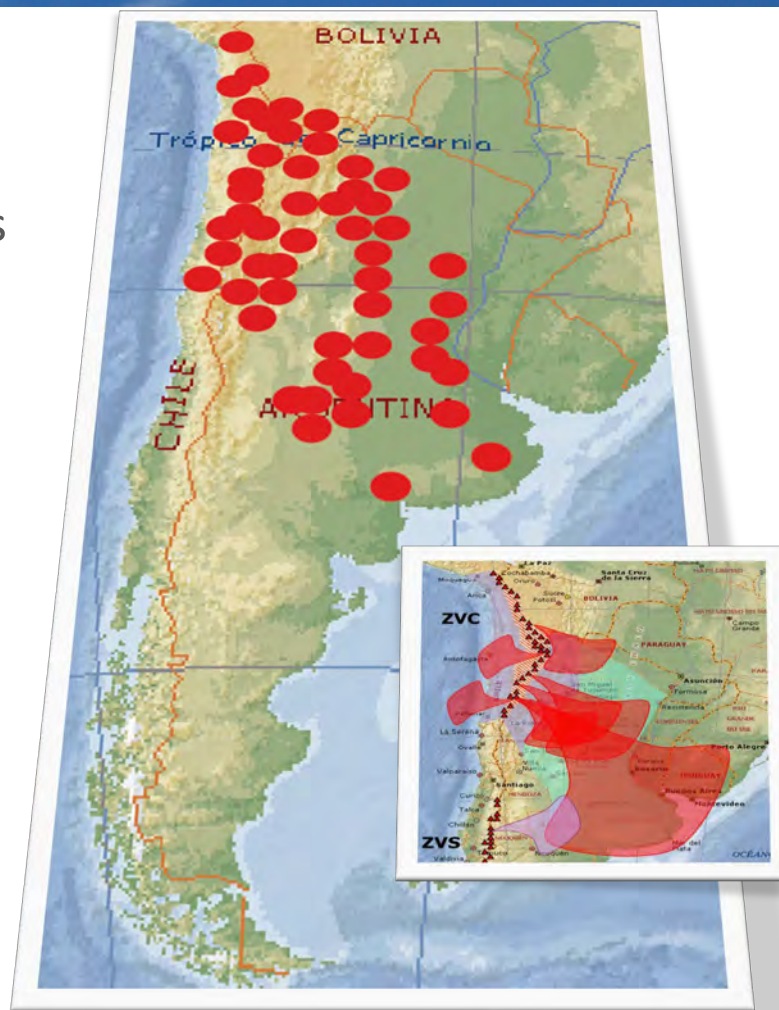
Introducción: de donde veníamos

Contexto global de la problemática del arsénico en las aguas subterráneas



Introducción: de donde veníamos

- ~1,7 millones km² potencialmente afectados
- ~2 millones habitantes potencialmente expuestos
- Grandes áreas >100 µg As/L
- Agua de bebida 10 µg As/L (OMS)
- HACRE: hidroarsenicismo crónico regional endémico
- Hipótesis: relación con ceniza volcánica





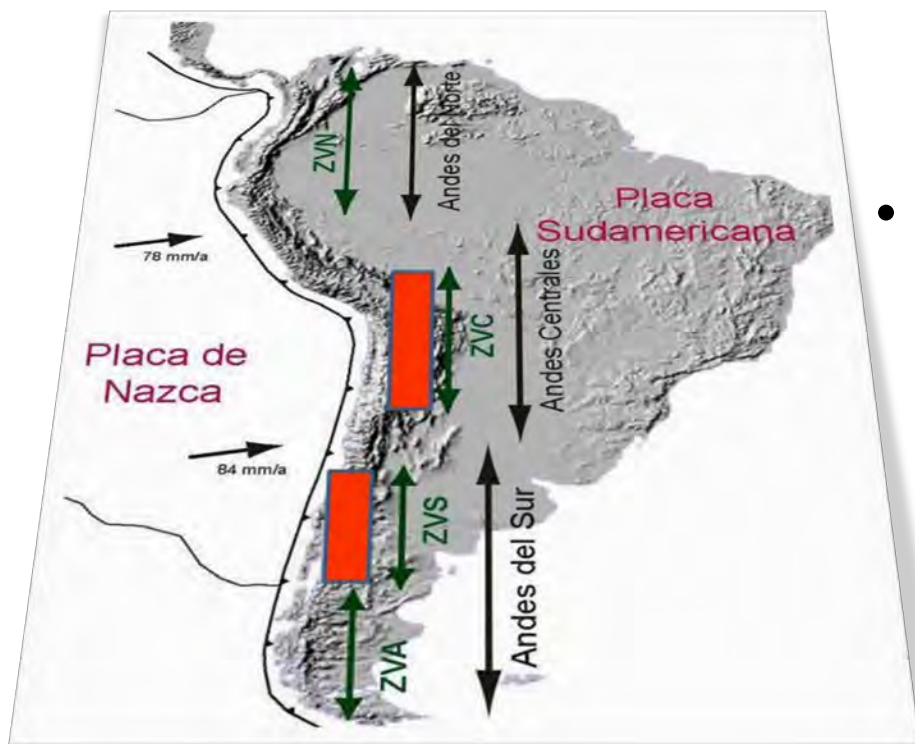
Quizapú, 1932 (ZVS)

Cafayate, Holoceno (ZVC)

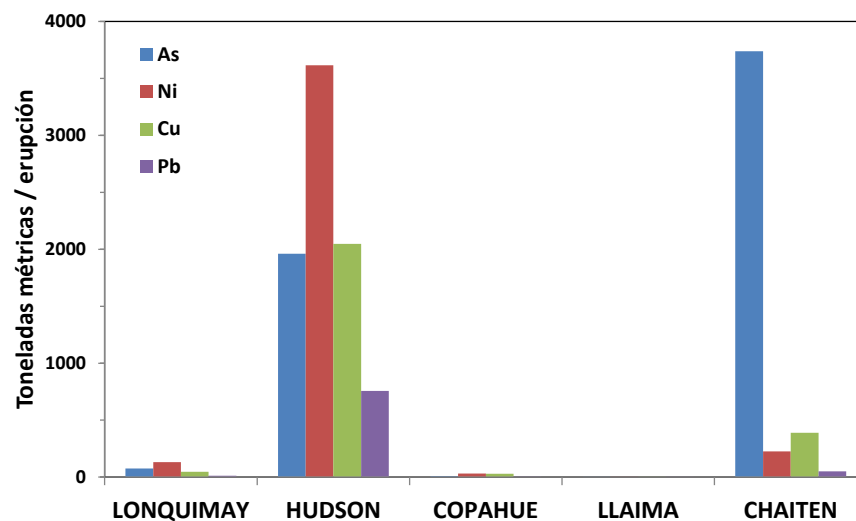
San Martín de los Andes, Holoceno (ZVS)

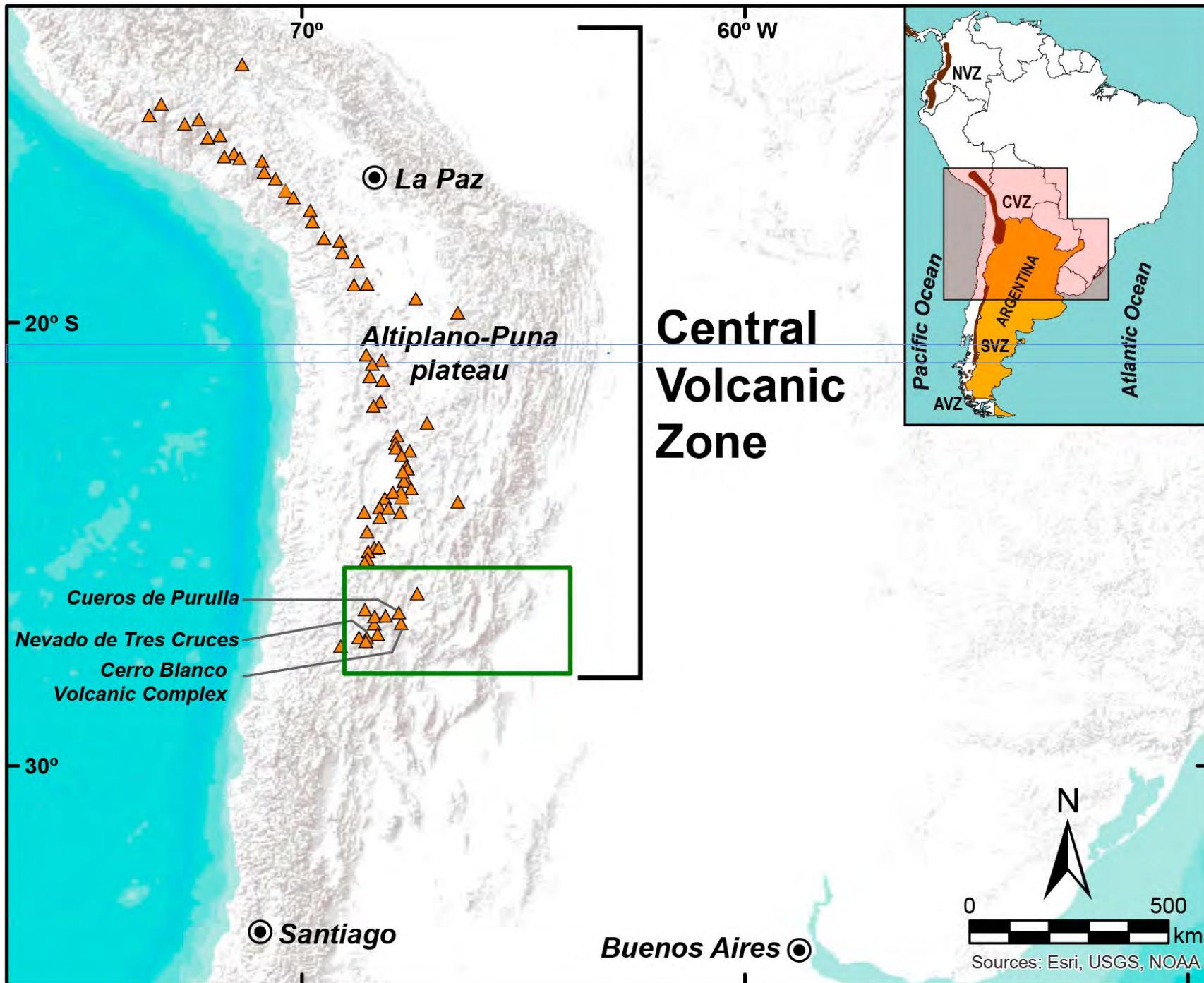


Introducción: de donde veníamos



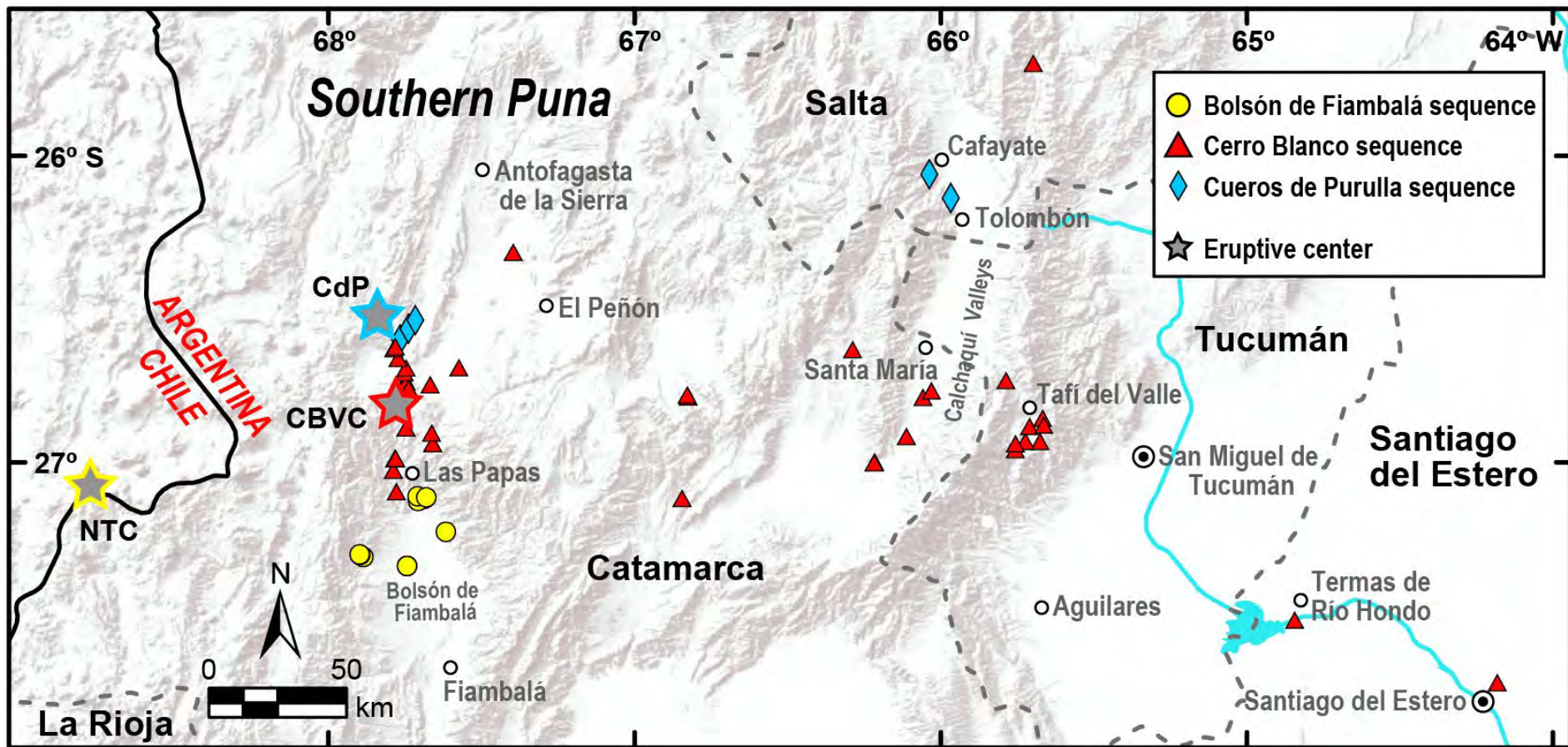
- Escenarios volcánicos holocenos diferentes
 - Transecta N → ZVC, pocas erupciones
 - Transecta S → ZVS, numerosas erupciones
- Confirmada hipótesis volcánica del origen del arsénico



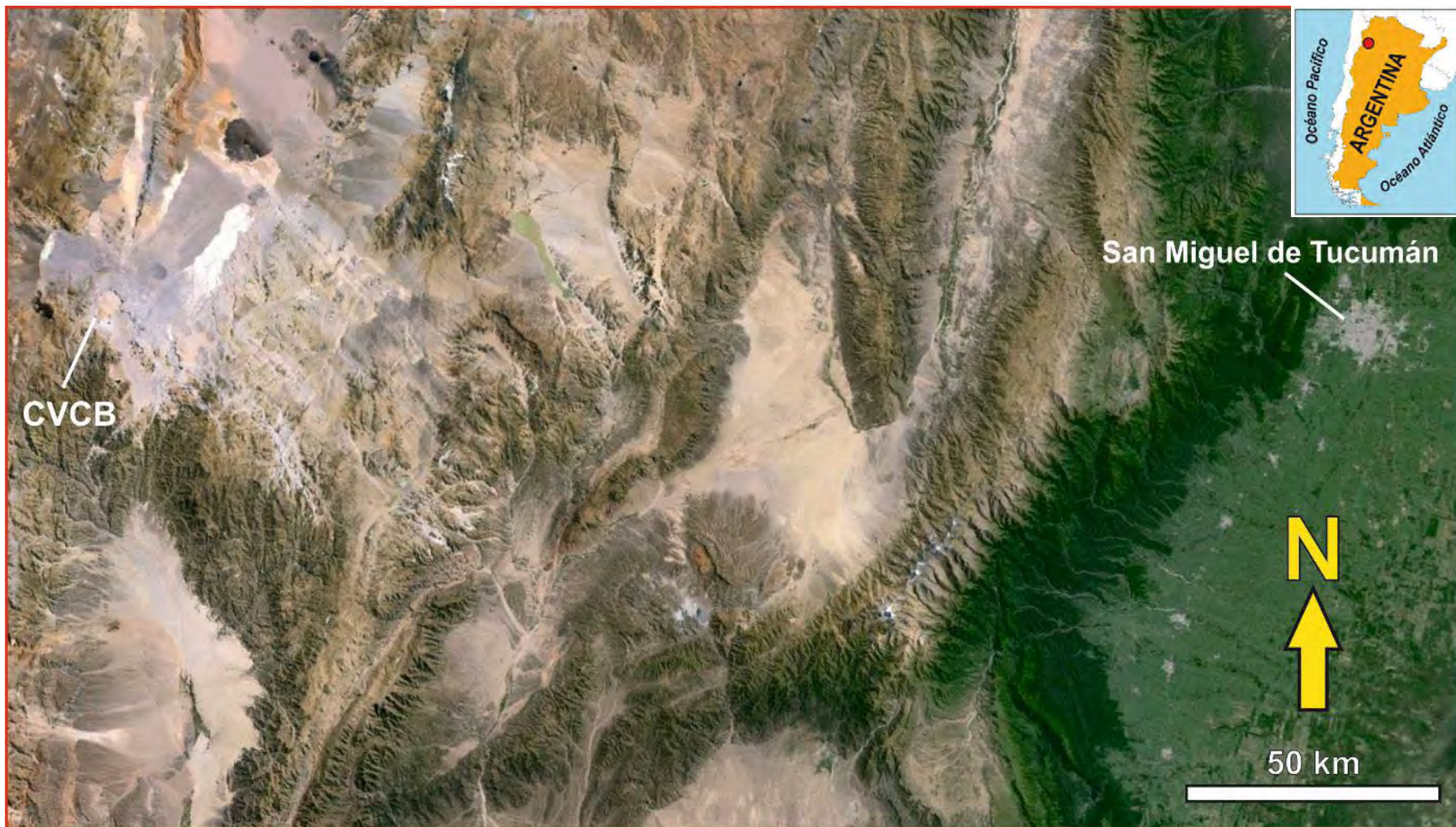


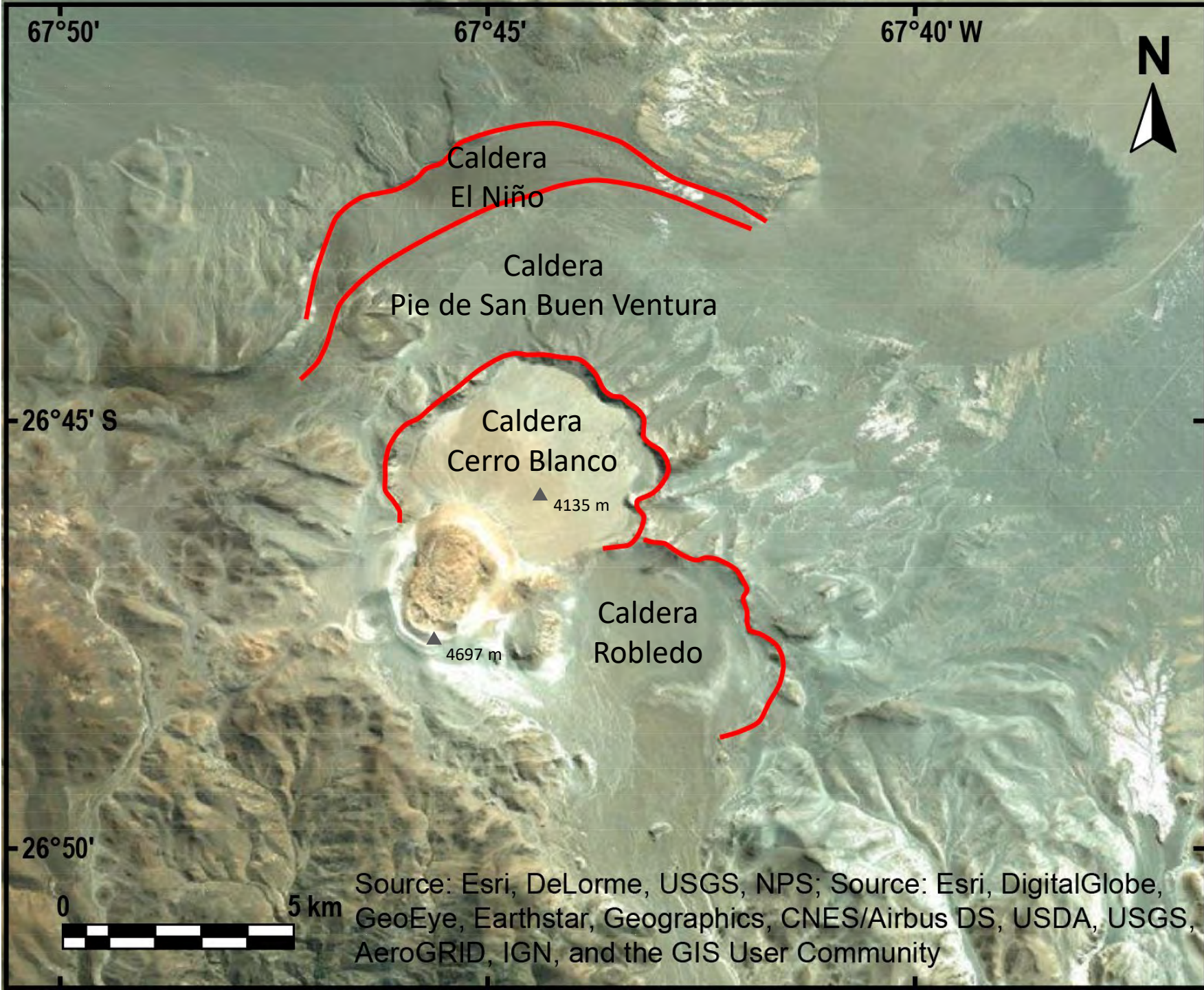
Sources: Esri, USGS, NOAA

Introducción



Introducción



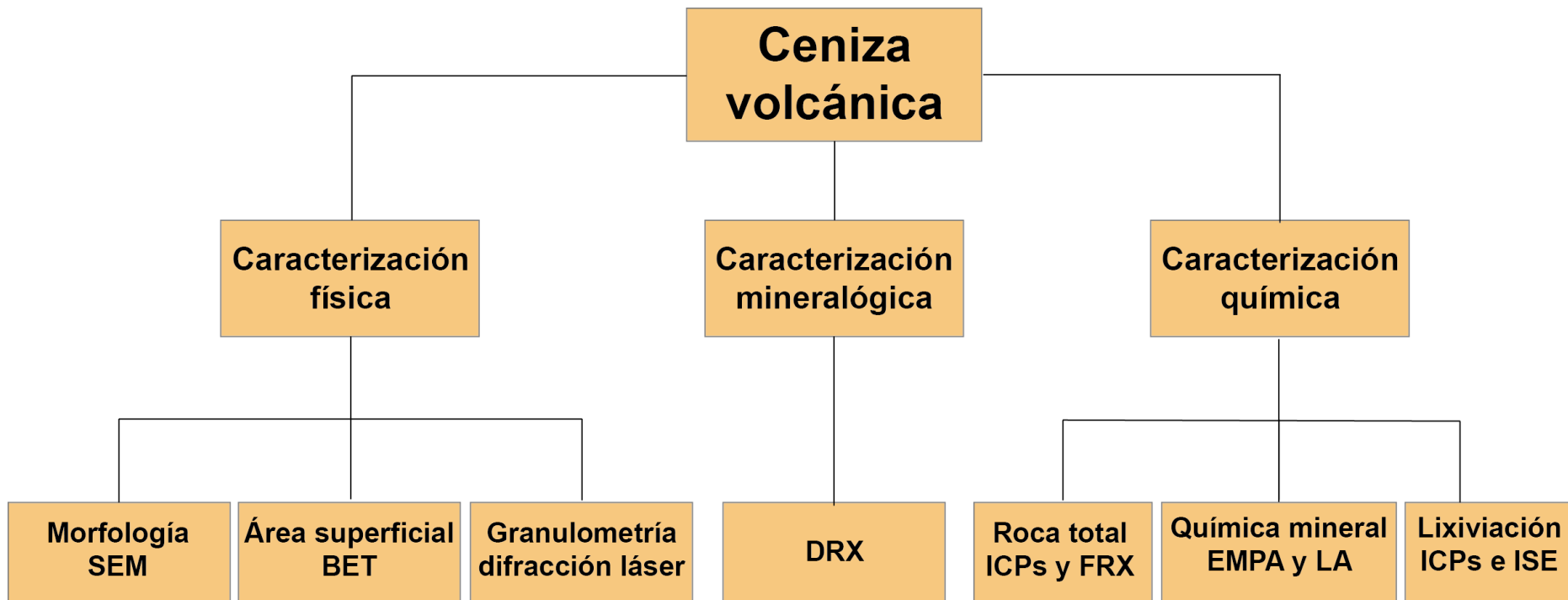


Metodología: campo



- 230 muestras de ceniza en 62 afloramientos
- Materia orgánica para datación por ^{14}C
- Suelos para fitolitos

Metodología: laboratorio



Resultados

- En base a criterios de
 - Estratigrafía
 - Geomorfología
 - Volcanología física
 - Petrografía
 - Geoquímica
 - Dataciones de ^{14}C
 - Distribución geográfica
- Tres secuencias cineríticas en el área estudiada
 - Bolsón de Fiambalá
 - **Cerro Blanco**
 - Cueros de Purulla

CUEROS DE PURULLA
Tolombón
section

CERRO BLANCO

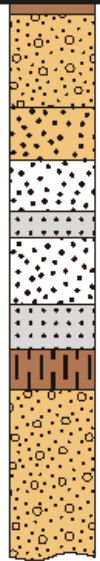
Tafí del Valle
section

BOLSÓN DE FIAMBALÁ
Alto Las Juntas
section

CB42

CB44

CB111



d
c
b
a
ca. 7820 AP



↑
present day
topographic
surface

ca. 4200 a cal AP

ca. 1700 a cal BP
(?)

BdF

CB

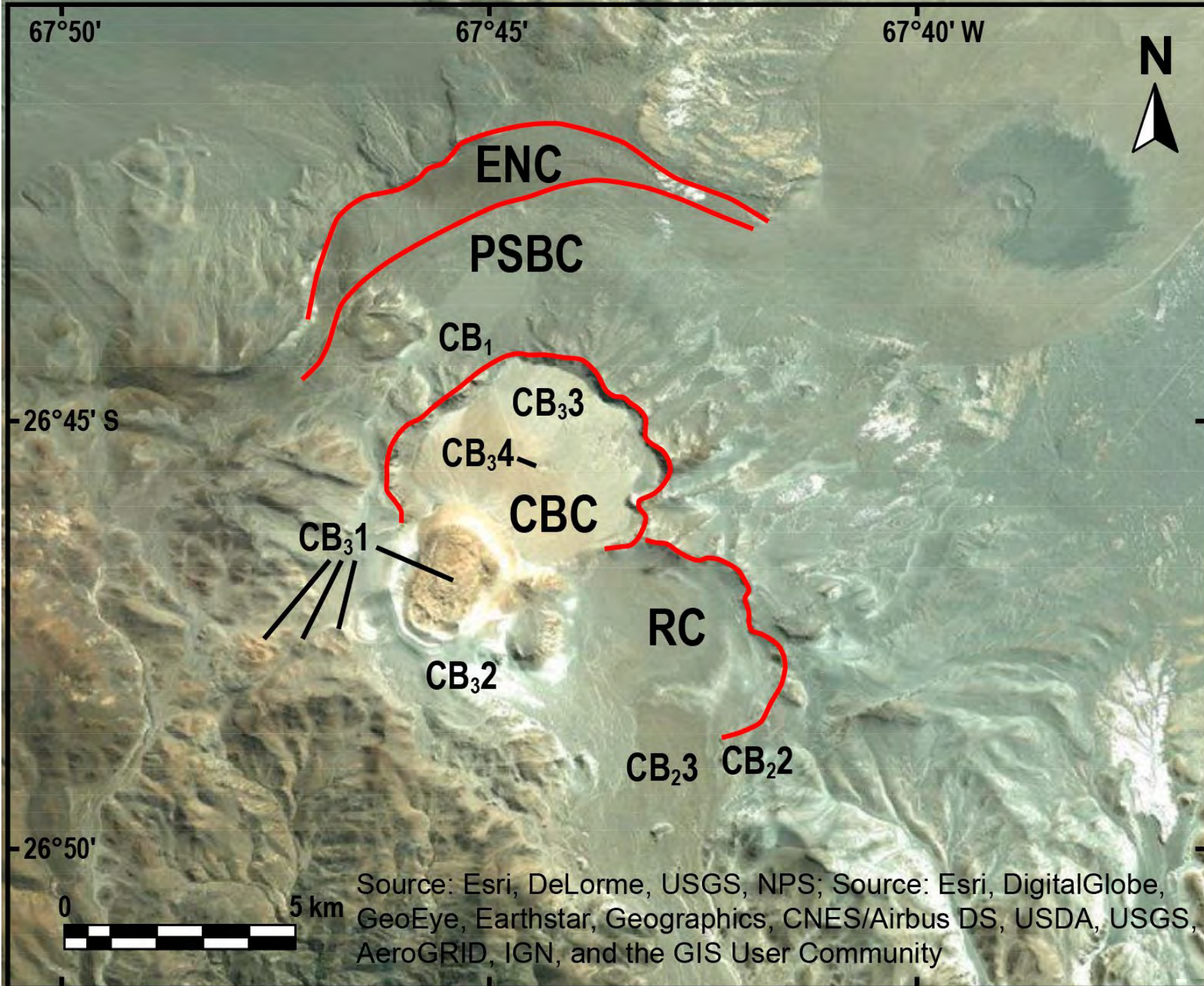
CdP

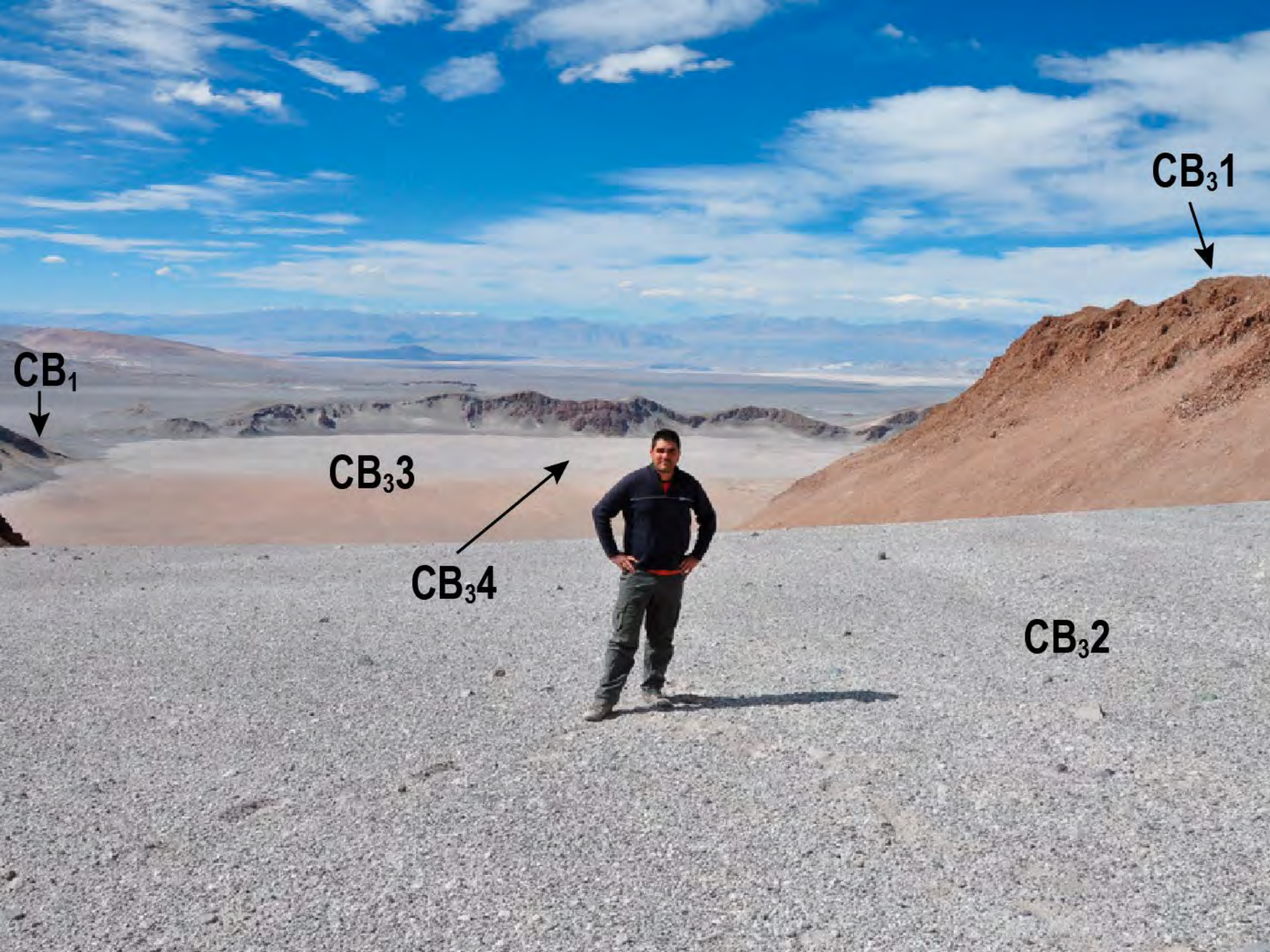
- topsoil
- palaeosol
- colluvial deposit
- alluvial deposit
- reworked ash-fall deposit
- unstratified ash
- alternating layers of lapilli and ash



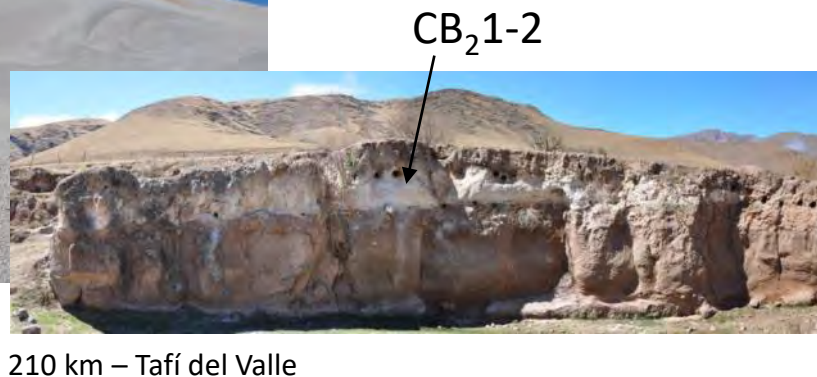
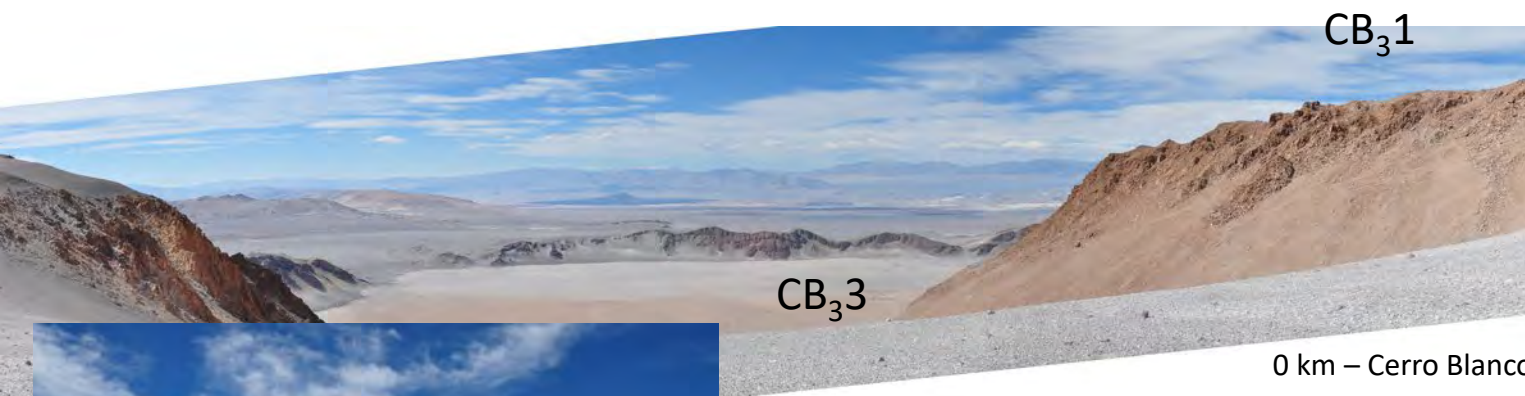
Unidades estratigráficas

Sequence	Unit	Sub-unit	Lithofacies and interpretation	Mineralogy
Bolsón de Fiambalá	BdF ₁		Alternating layers of moderate-poorly sorted, dacitic pumice lapilli and ash. Plinian fall deposit.	glass >> plagioclase, biotite, amphiboles, quartz >> magnetite, ilmenite, apatite, titanite
Cerro Blanco	CB ₃ (postcaldera)	4	Alternating layers, 3-30 cm thick, of siliceous sinter. Deposits of hot springs.	amorphous silica
		3	Poorly defined decimetric-scale stratified deposits, poorly to very poorly sorted, with decimetric angular rhyolitic blocks in rhyolitic lapilli and coarse ash matrix deposits. Block-and-ash deposits.	glass >> feldspars, quartz, biotite, magnetite, ilmenite >> apatite, allanite-epidote, zircon
		2	Poorly to well-defined layers, 3-30 cm thick, white, rhyolitic lapilli and ash deposits. Fallout and phreatomagmatic deposits.	
		1	Crystal poor, very vesicular, rhyolite lava domes.	
	CB ₂ (syncaldera)	3	Unstratified, matrix-supported, moderate to poorly sorted rhyolitic ignimbrite with clasts dominated by coarse pumice lapilli. Pyroclastic density current (PDC) deposits.	glass >> feldspars, quartz, biotite, magnetite, ilmenite > clinopyroxene, orthopyroxene, amphiboles > allanite-epidote, muscovite, titanite, zircon
		2	Unstratified rhyolitic ash. Plinian fall deposit.	
		1	Alternating layers, 1-3 cm thick, some of lapilli and some of ash. Rhyolitic Plinian fall deposit.	
	CB ₁ (precaldera)		Poorly stratified lithic-rich breccia. Block-and-ash deposit.	glass >> feldspars, quartz, biotite, magnetite, ilmenite
Cueros de Purulla	CdP ₂	1,2	Unstratified, matrix-supported, moderate to poorly sorted ignimbrite with clasts dominated by coarse pumice lapilli in CdP ₂ 1 and lithic-rich CdP ₂ 2. Pyroclastic density current (PDC) deposits.	glass >> feldspars, quartz, biotite, magnetite, ilmenite > apatite, allanite-epidote, muscovite, titanite, zircon
			Alternating layers, 1-10 cm thick, some of lapilli and some of ash. Rhyolitic Plinian fall deposit.	glass >> feldspars, quartz, biotite, magnetite, ilmenite > amphiboles, clinopyroxene > apatite, allanite-epidote, muscovite, titanite, zircon



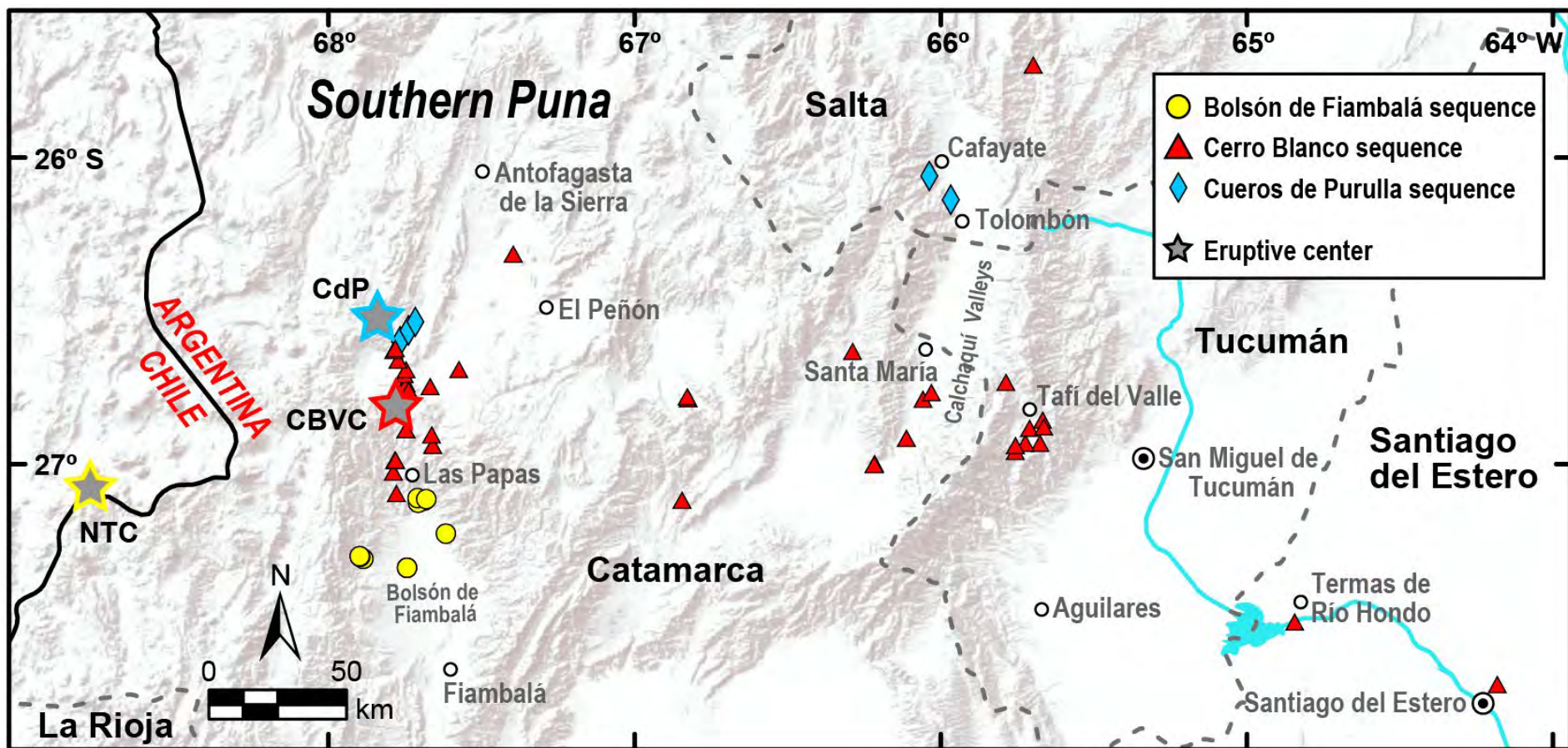


Unidades estratigráficas



Caída de ceniza alcanzó >400 km

Unidades estratigráficas

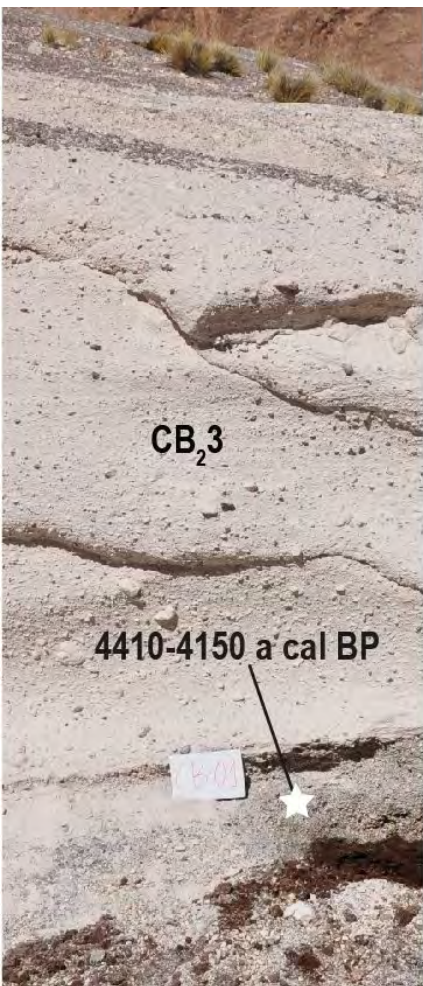


Unidades estratigráficas

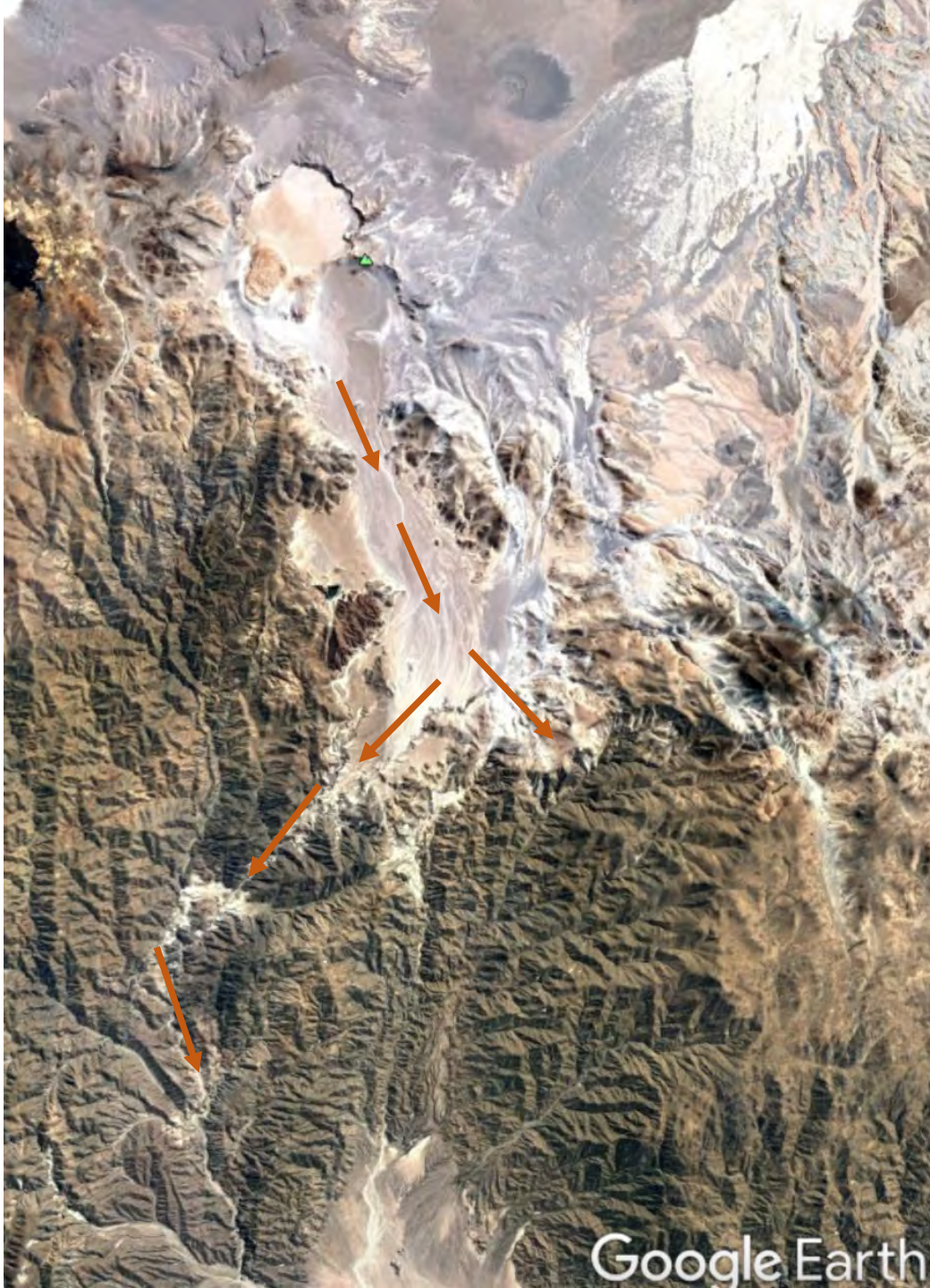


Ignimbritas (CB₂₃), alcanzaron ~ 35 km

Unidades estratigráficas

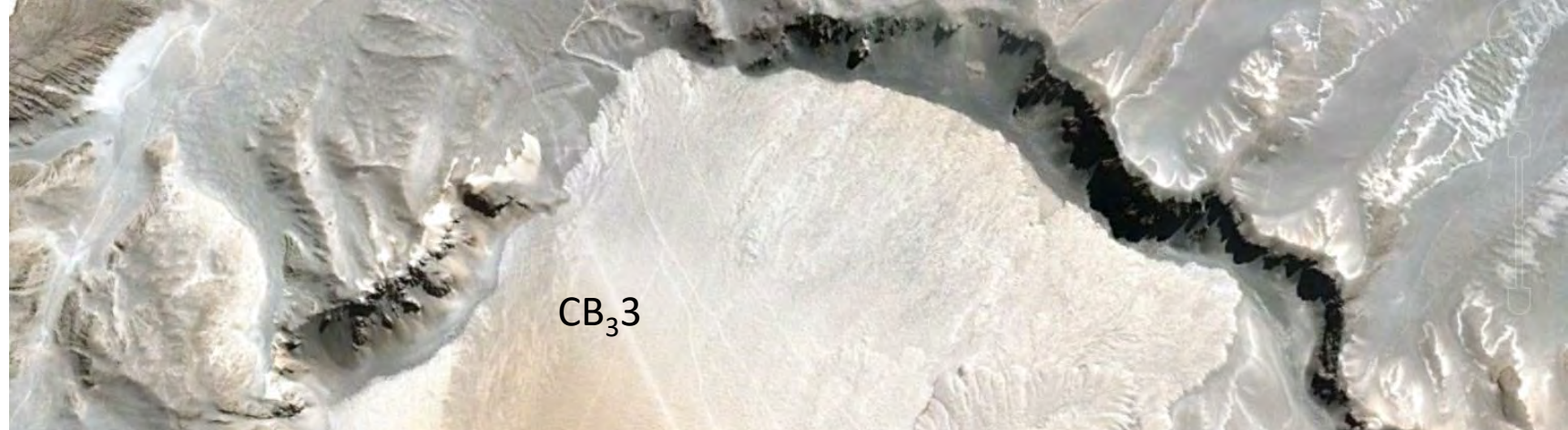


Ignimbritas (CB₂3), alcanzaron ~ 35 km



Ignimbritas (CB₂3)
alcanzaron ~ 35 km

15 km³



CB₃



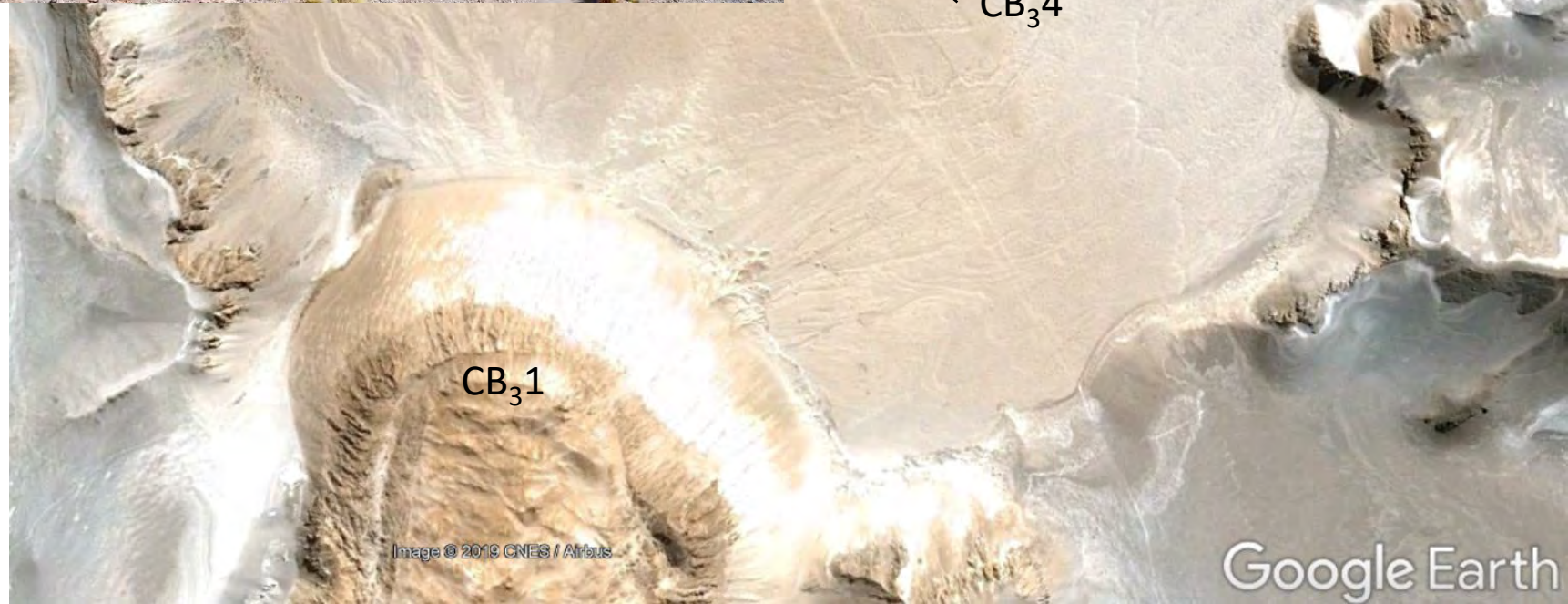
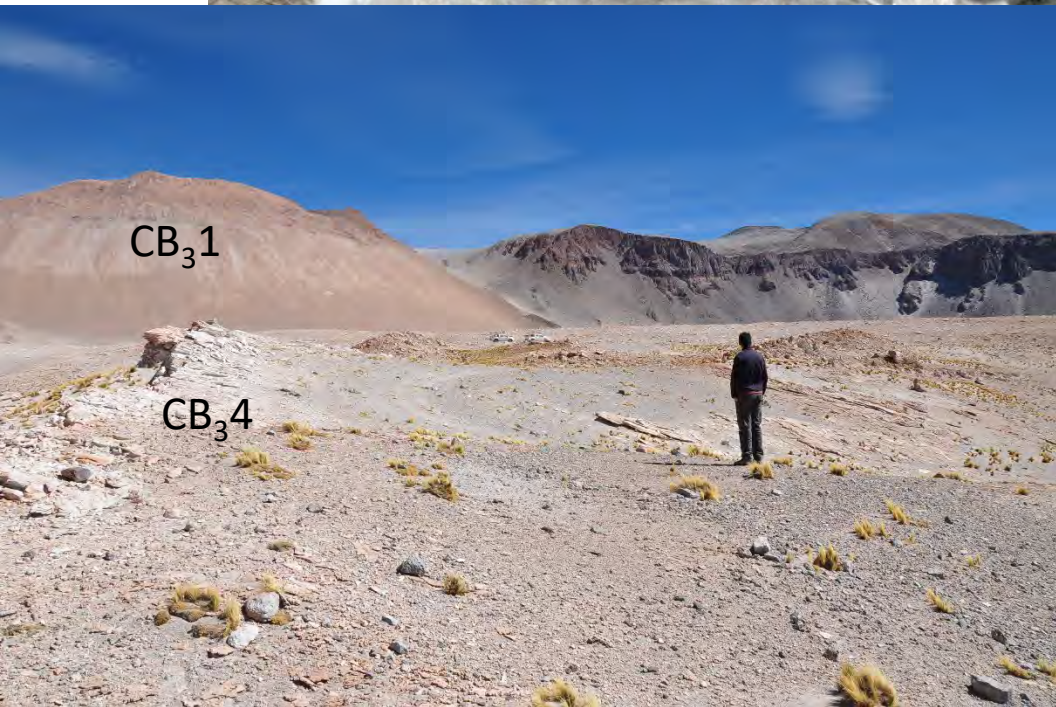
CB₃



CB₃

Image © 2019 CNES / Airbus


Google Earth






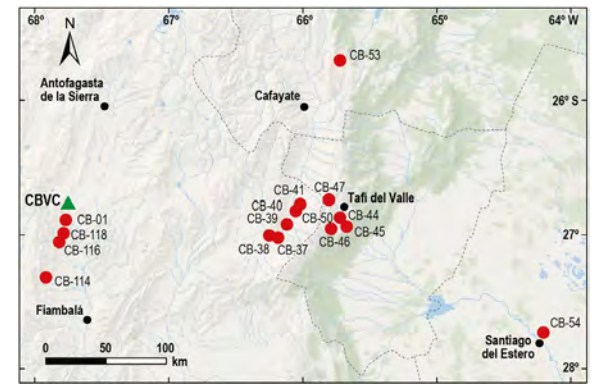
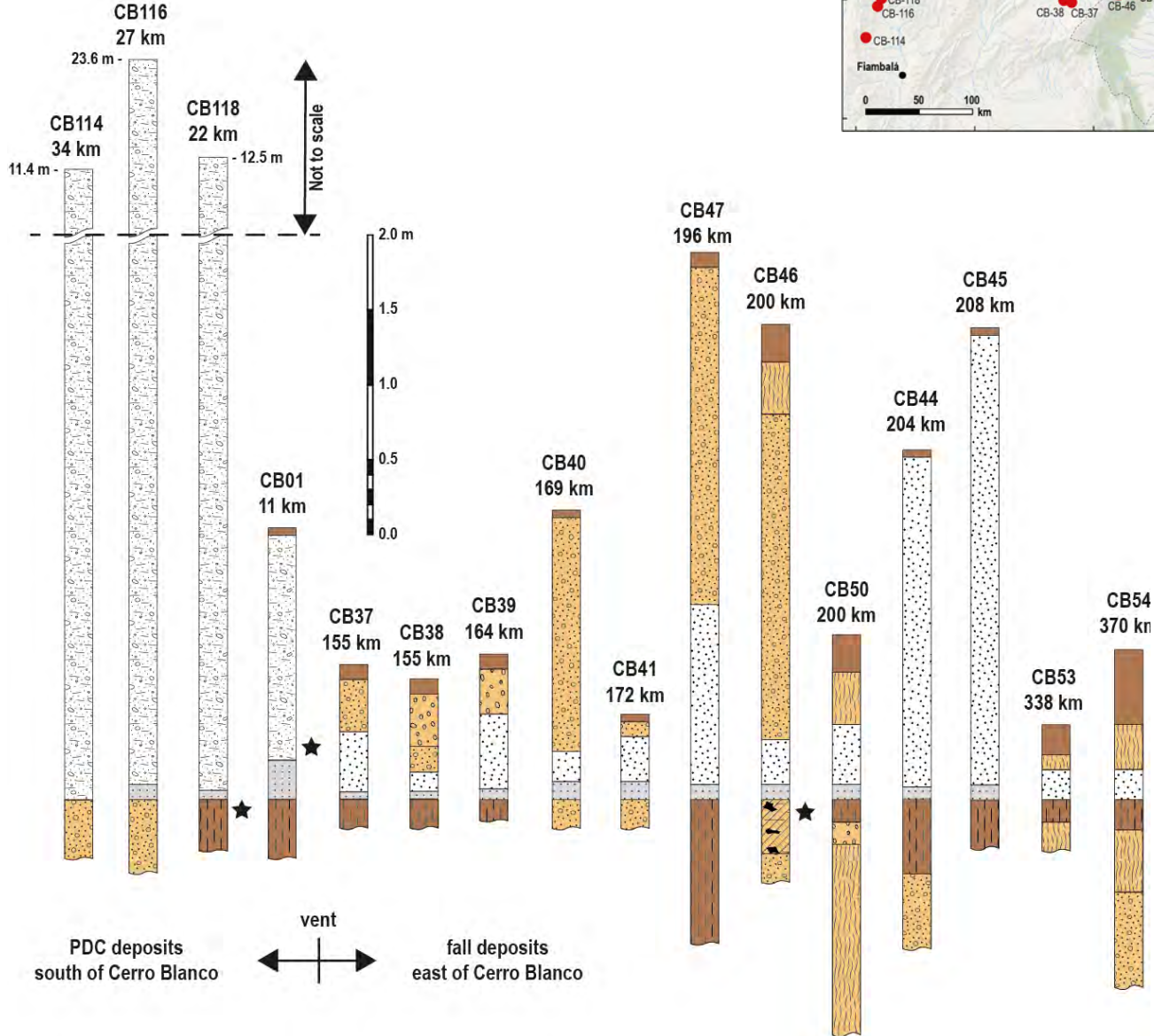
Depósito plineano de caída

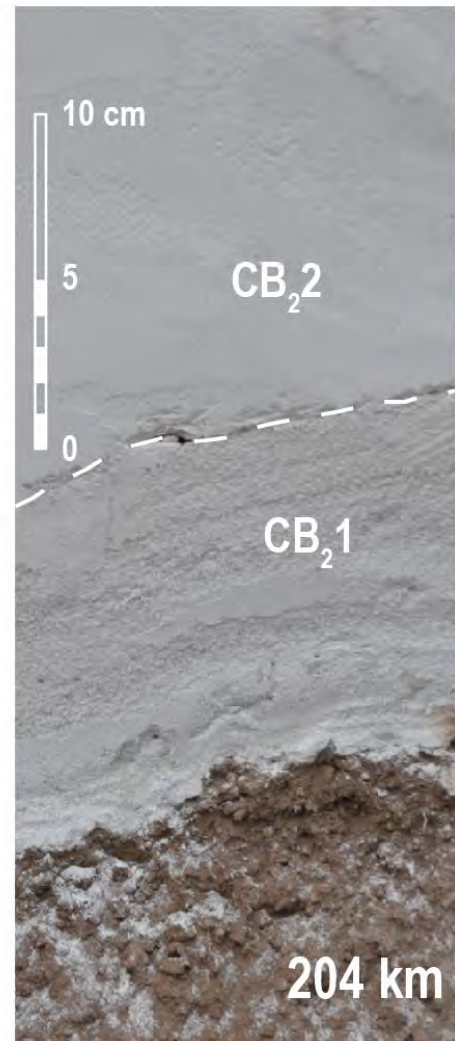


Depósito plineano de caída distal ~200 km from Cerro Blanco

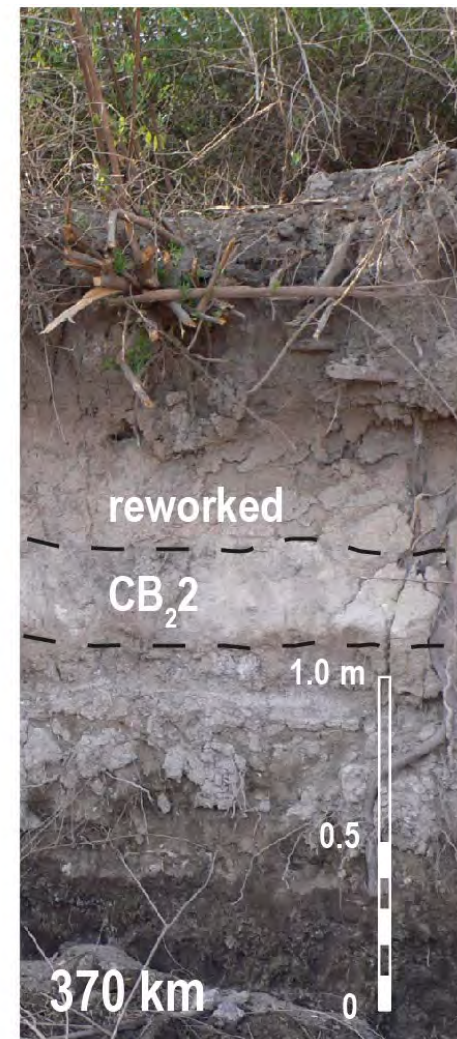
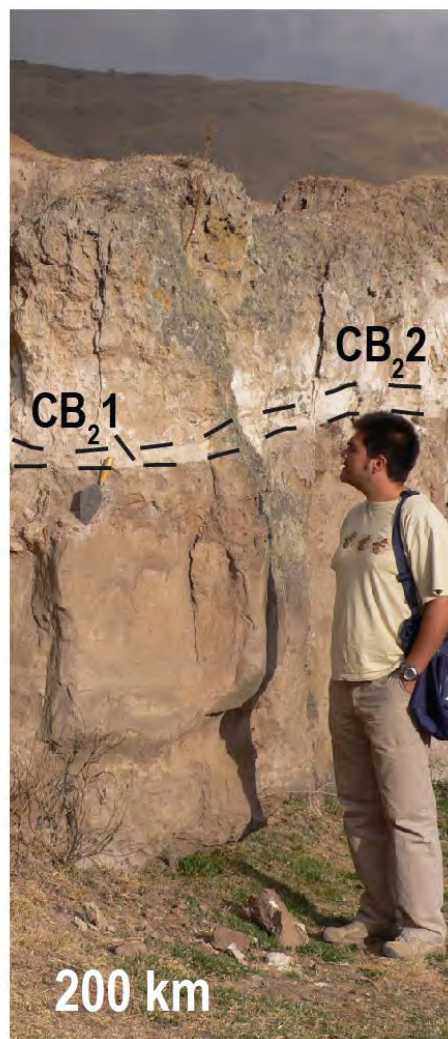
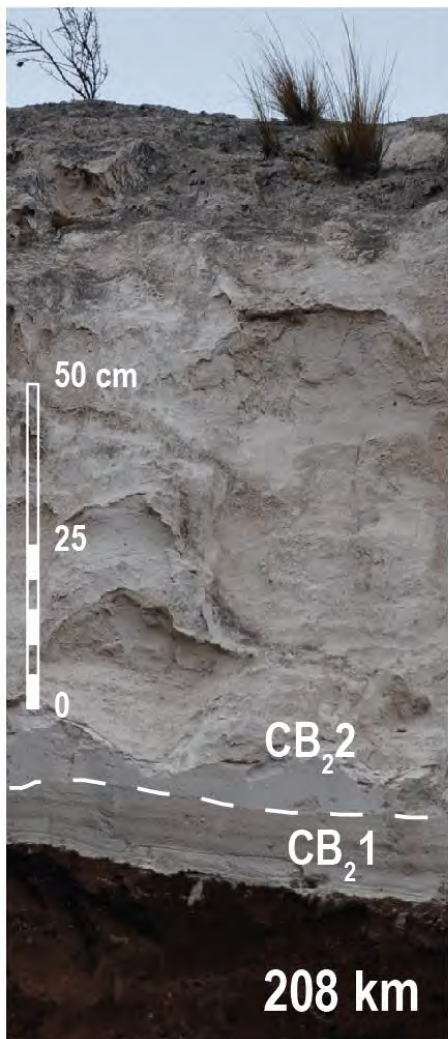
-  topsoil - light brown silt to sand, or stony
-  palaeosol
-  loess deposits
-  colluvial deposits
-  alluvial deposits
-  peat and silt lacustrine deposits

- ★ dating sample
- CB54
370 km section number and distance to vent
-  CB_{2,3} ignimbrite
-  CB₂ unstratified ash
-  CB₁ alternating layers of lapilli and ash

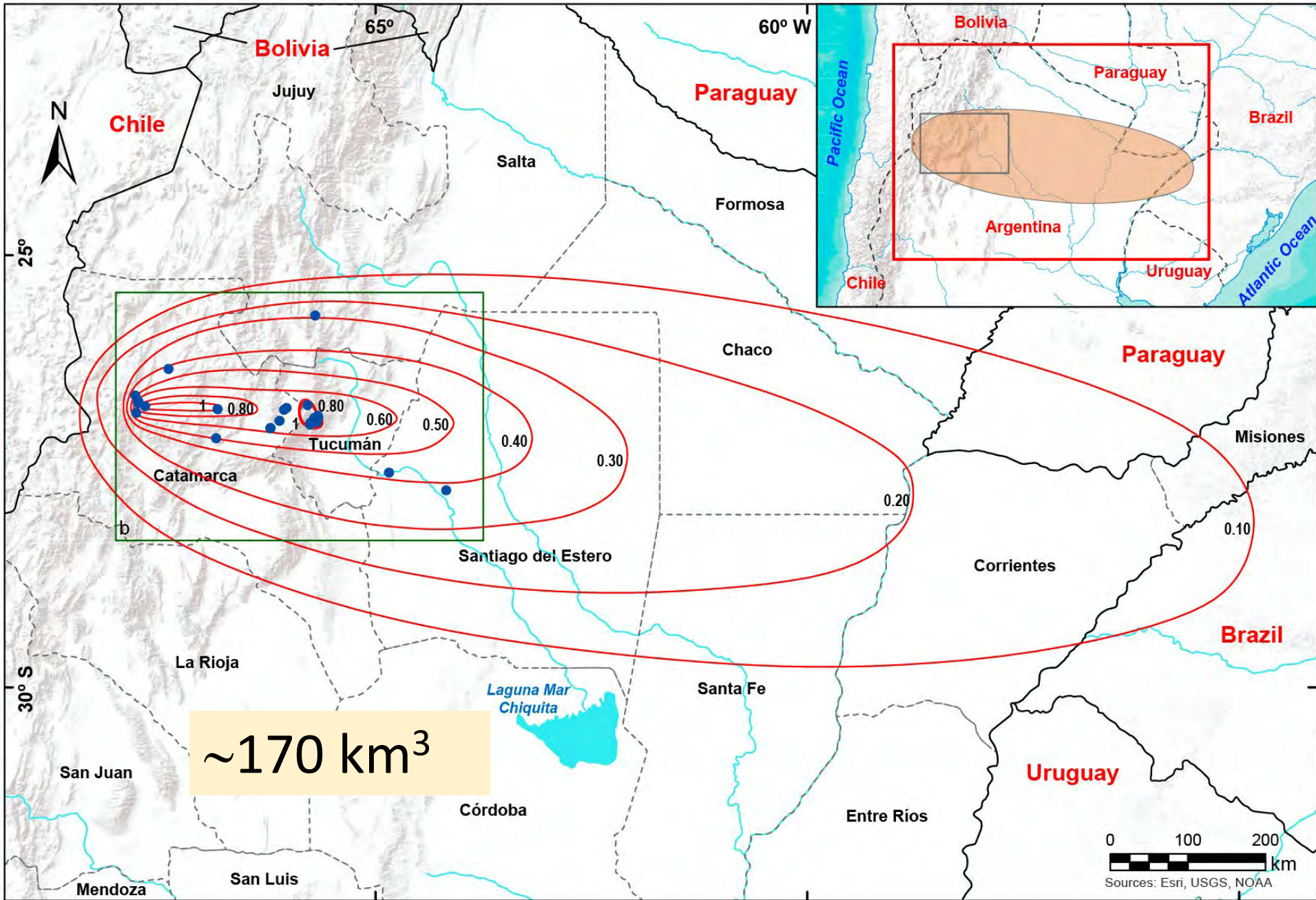


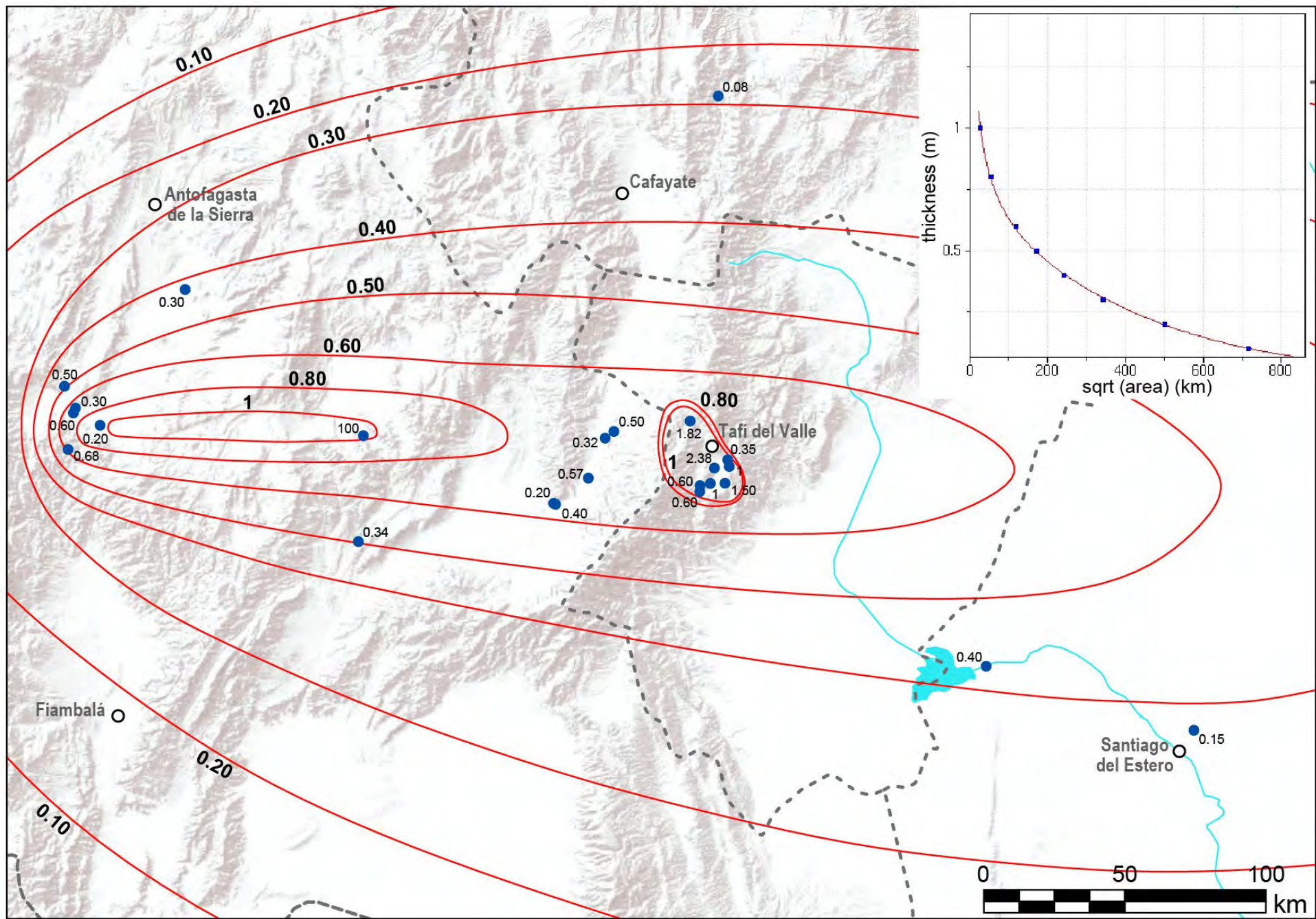


Depósito plineano de caída (CB₂1 – CB₂2)



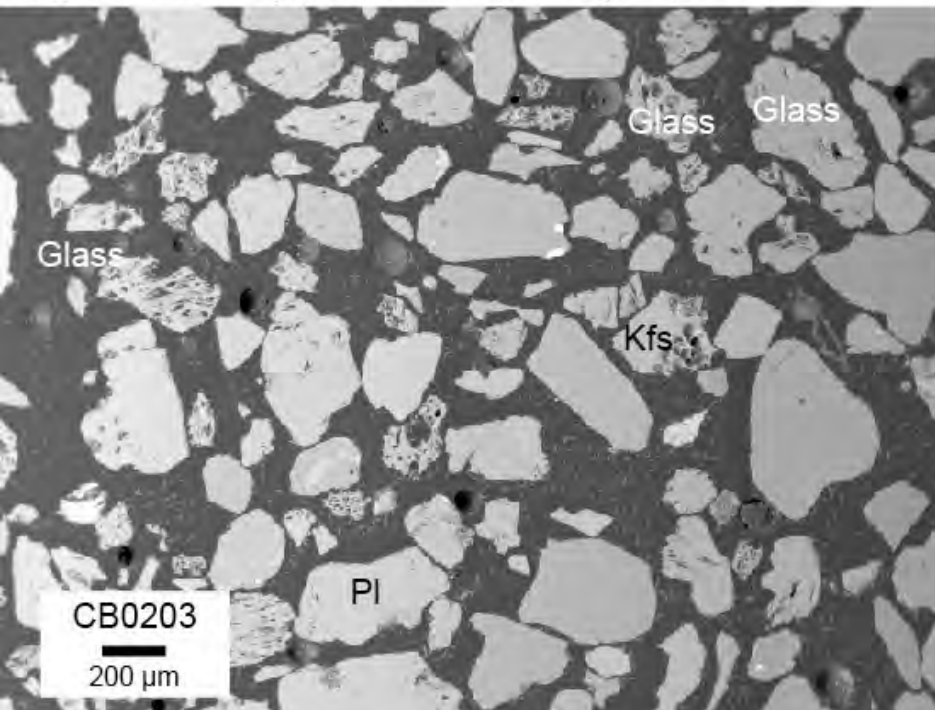
Depósito plineano de caída (CB₂1 – CB₂2)



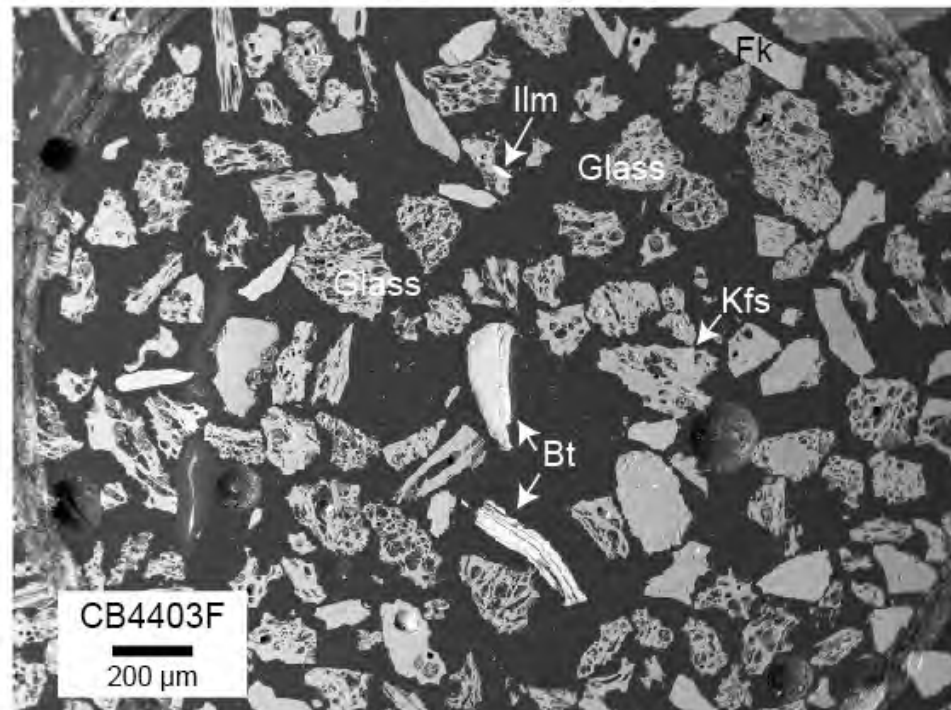


Caracterización de la ceniza

CB₂2 sub-unit - proximal ash fall deposits

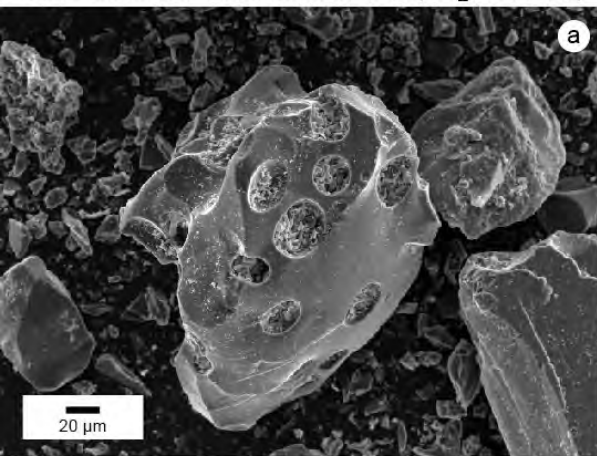


CB₂2 sub-unit - distal ash fall deposits

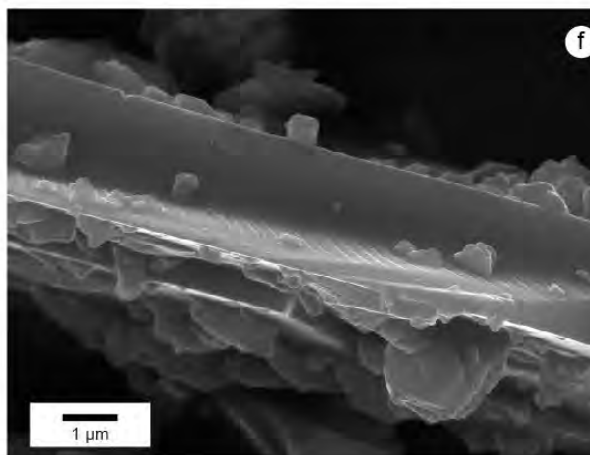
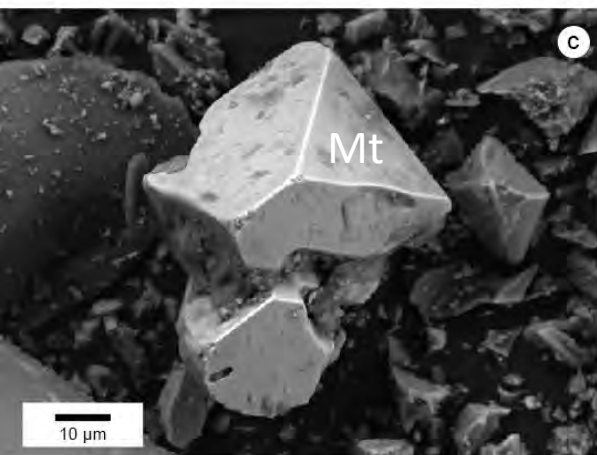
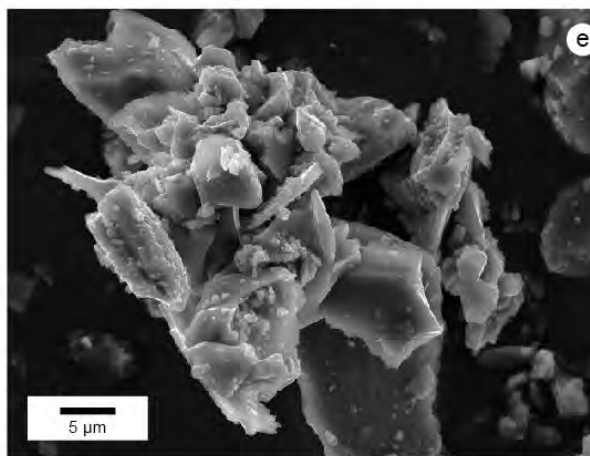
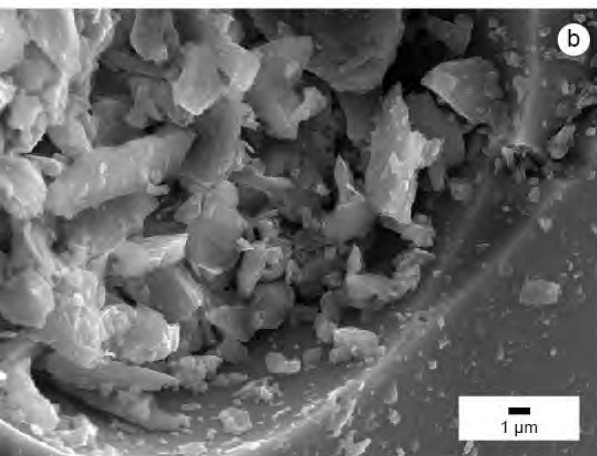
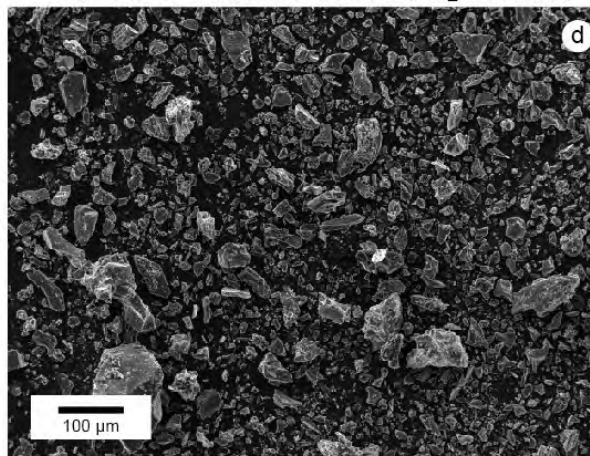


Microfotografías SEM de ceniza
Depósito plineano de caída (unidad CB₂2)

Cerro Blanco distal thin-bedded ash (CB₂1 sub-unit)

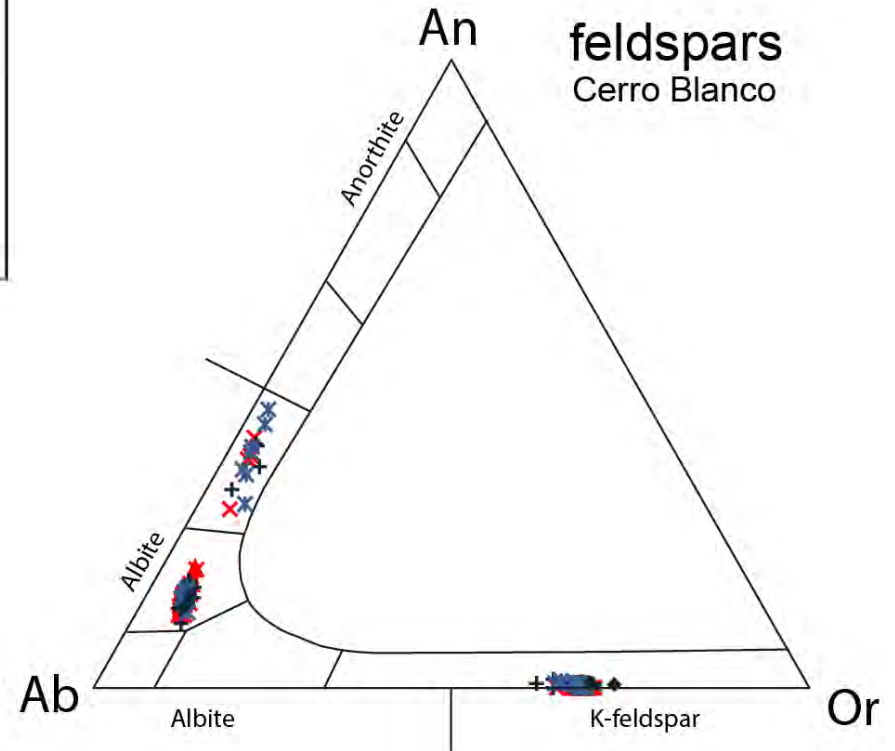
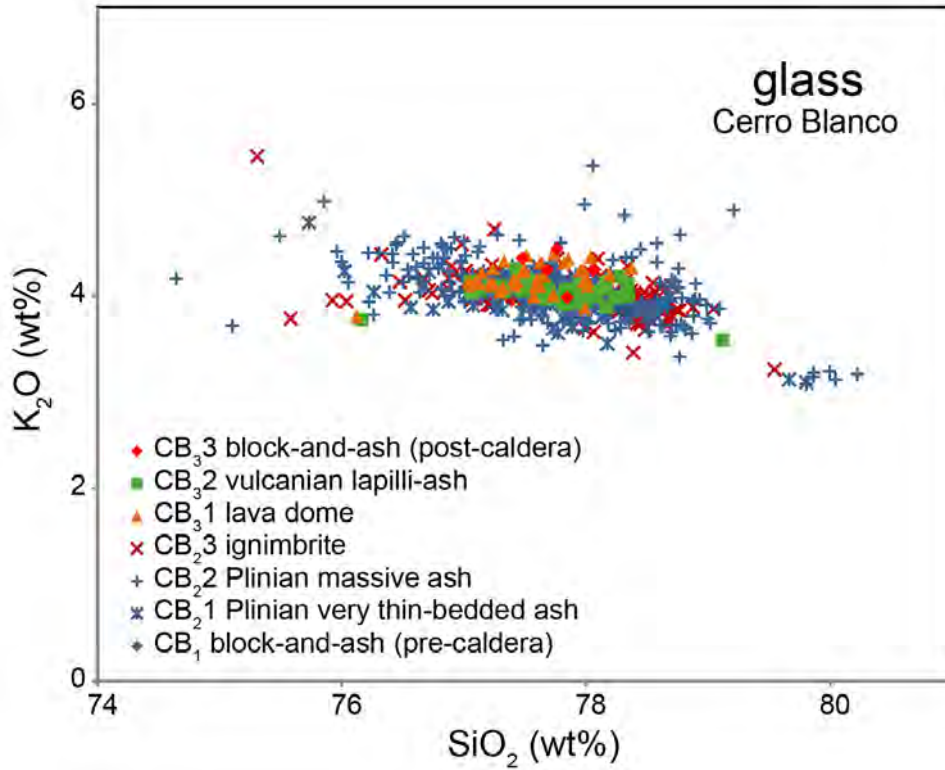


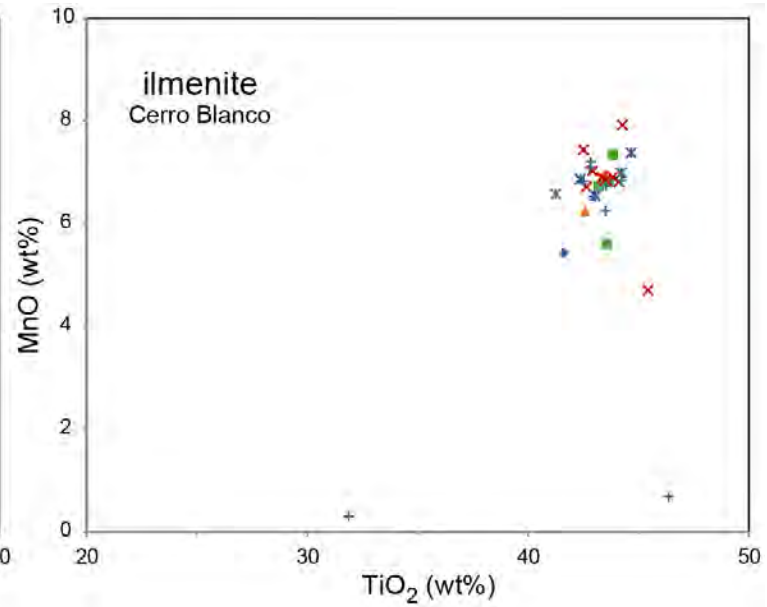
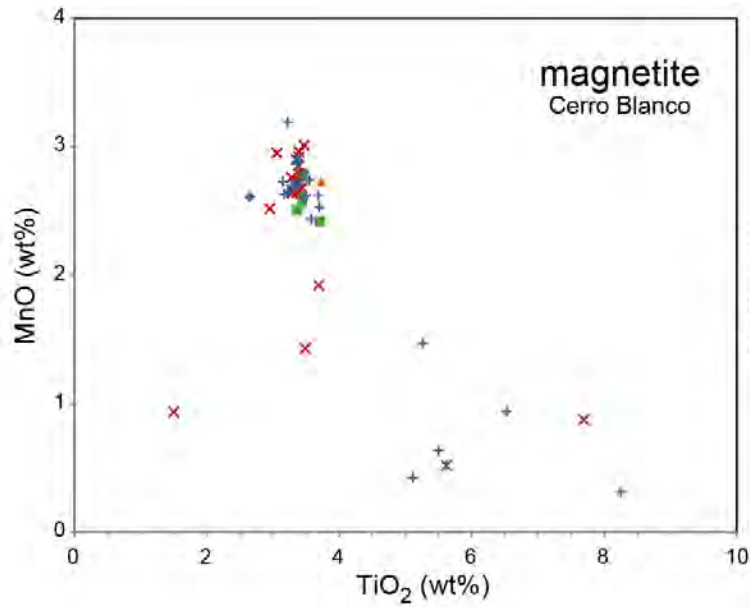
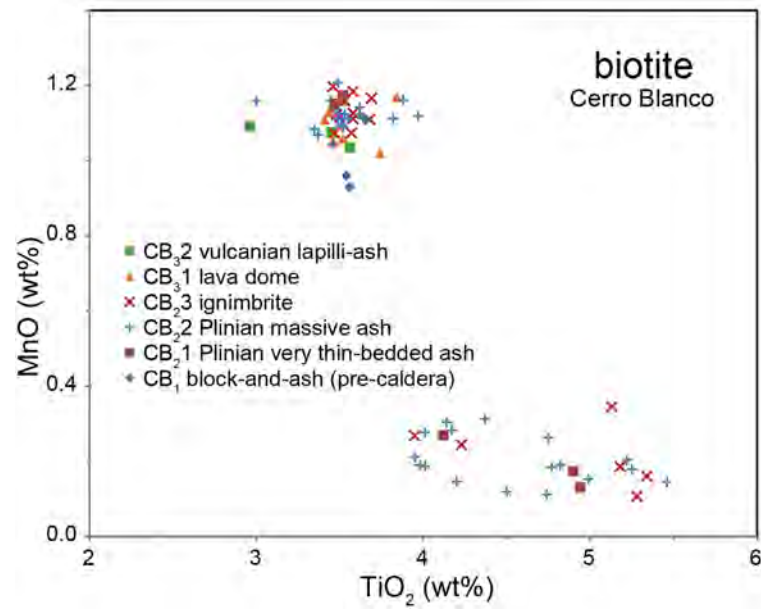
Cerro Blanco distal massive ash (CB₂2 sub-unit)



Microfotografías SEM de ceniza Depósito plineano de caída (CB₂1 y CB₂2)

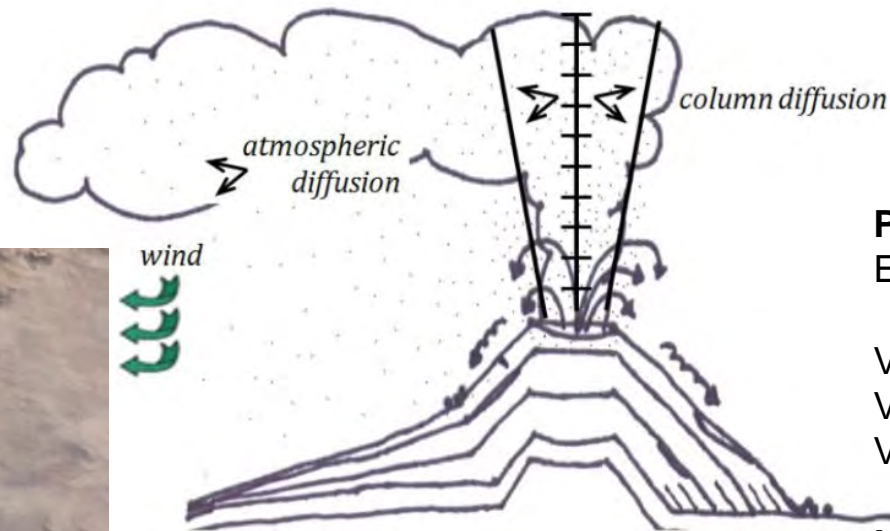
	%
Vidrio	90
Feldespatos	5
Cuarzo	3
Biotita, Mgt, Ilm, otros	2





Modelo de dispersión geográfica del depósito de caída

- Modelado de distribución y acumulación de tefra con TEPHRA2 (Bonadonna et al., 2005)
- Basado en principios de advección-difusión
- Se aportan parámetros de altura de columna, descarga, distribución granulométrica, etc. acorde con lo observado en el campo y erupciones históricas



PLUME_HEIGHT: 27000 m
ERUPTION_MASS: $2 \cdot 10^{14}$ kg

VENT_EASTING 623200 m
VENT_NORTHING 7036355 m
VENT_ELEVATION 4300 m

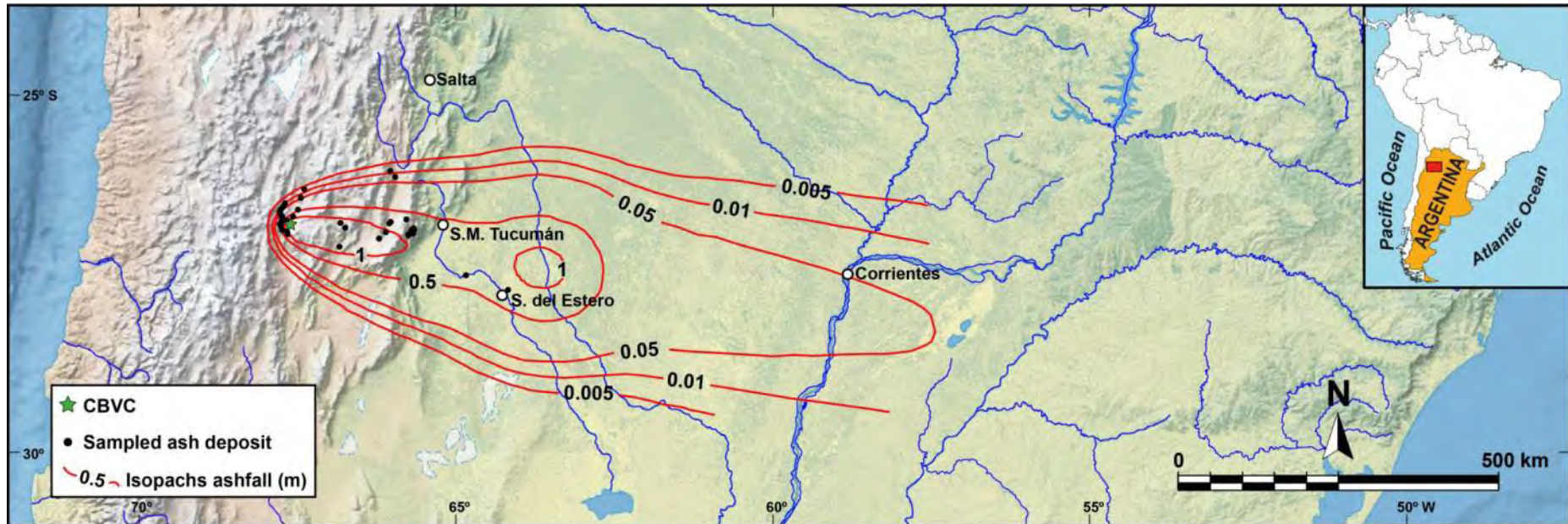
MAX_GRAINSIZE: - 6.0 Φ
MIN_GRAINSIZE: 6.0 Φ
MEDIAN_GRAINSIZE: 2.0 Φ
STD_GRAINSIZE : 2.0 Φ



Columna 13-17 km estratosfera
Tropopausa 11 km

Distribución geográfica: coherente con modelo dispersión tefra

Mapa de Isopacas (m)



Inverse modelling was applied using thickness field data and likely daily stratified wind information based on NCEP/NCAR Reanalysis 1 Wind Data.

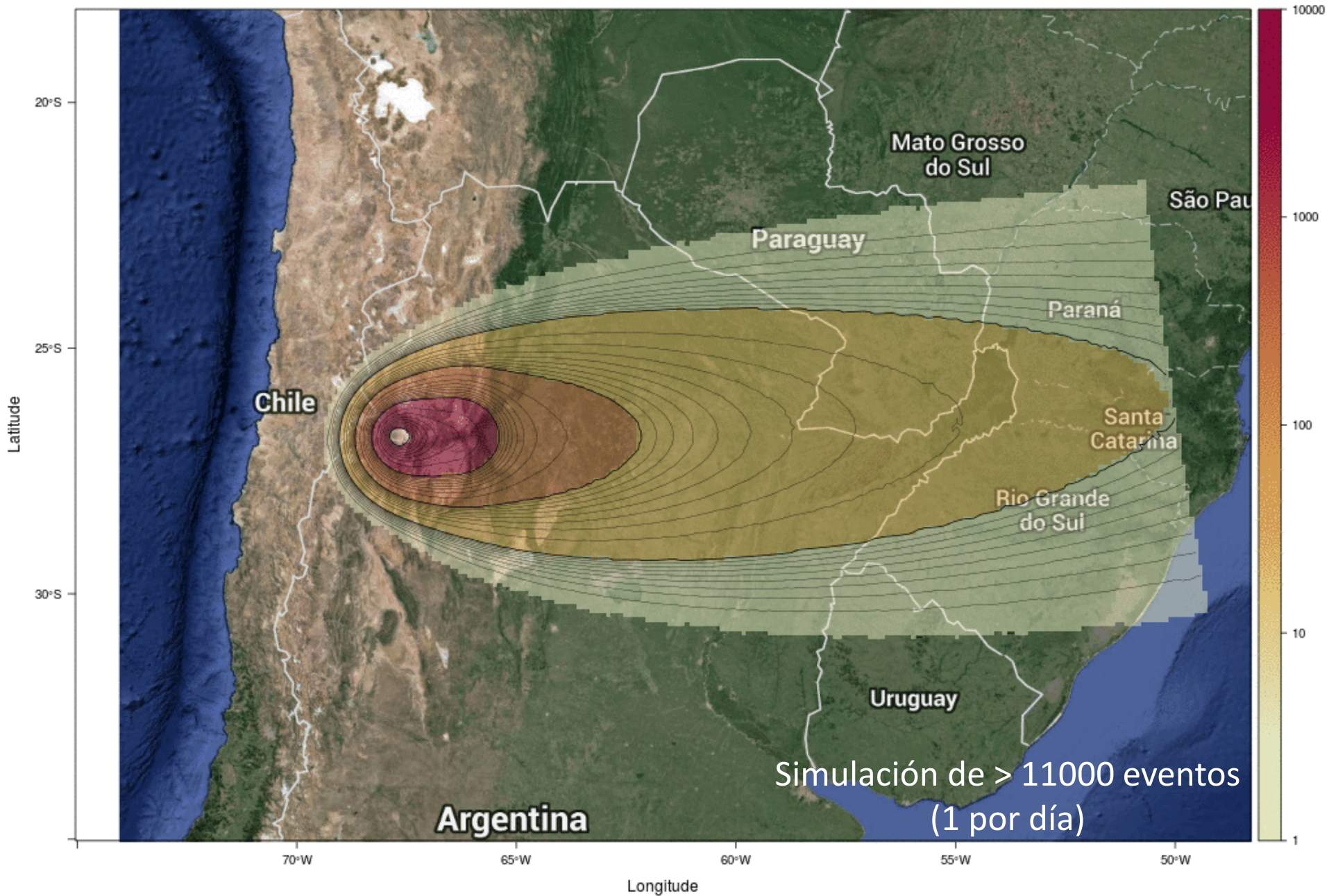
Limitaciones

- Simulación de 1 evento (1 día)
- ¿La distribución de los vientos era la misma que en la actualidad?
- El modelo asume
 - Campo de vientos uniforme
 - Atmósfera estratificada pero regionalmente uniforme

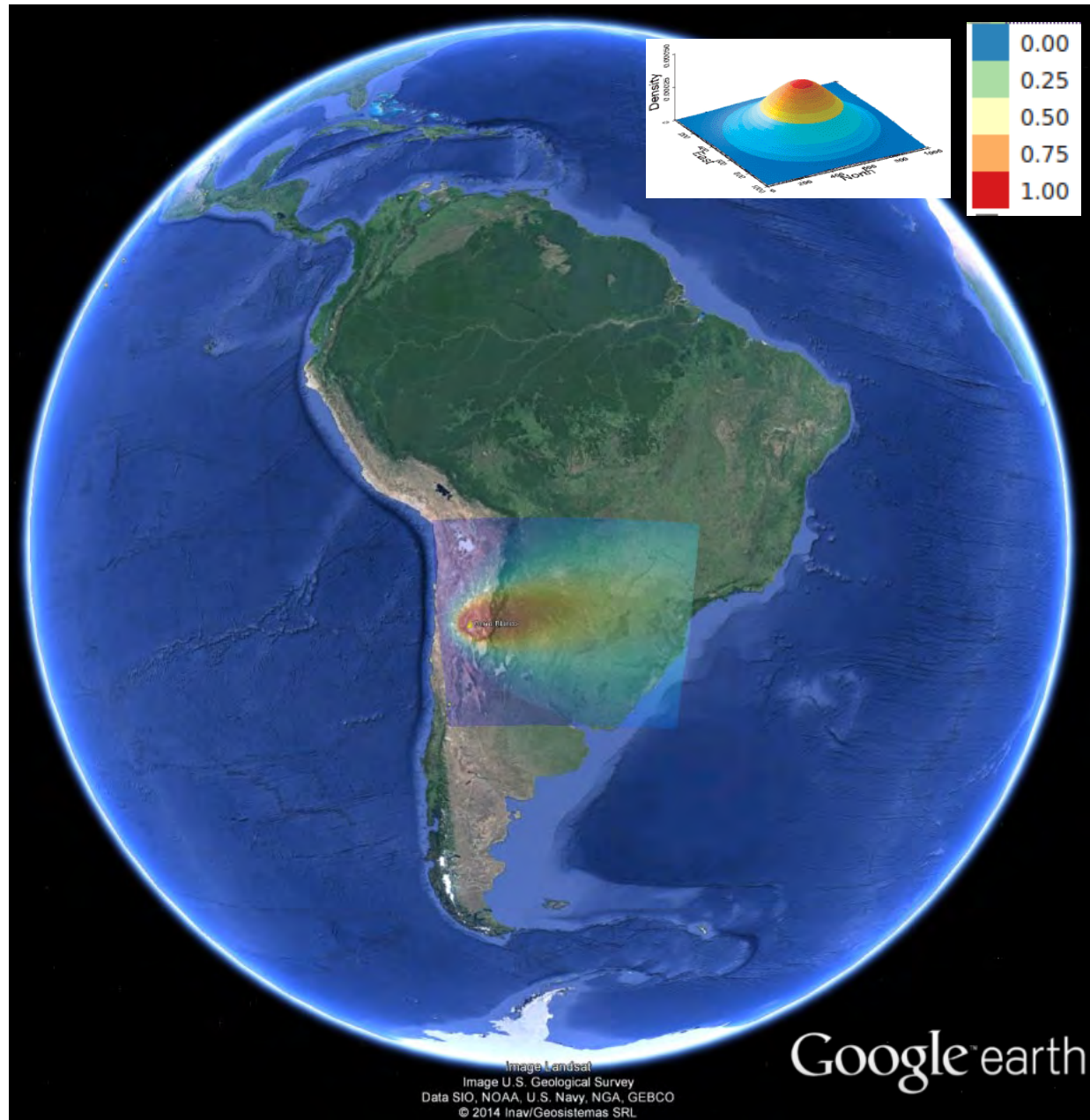
Generalización del modelo

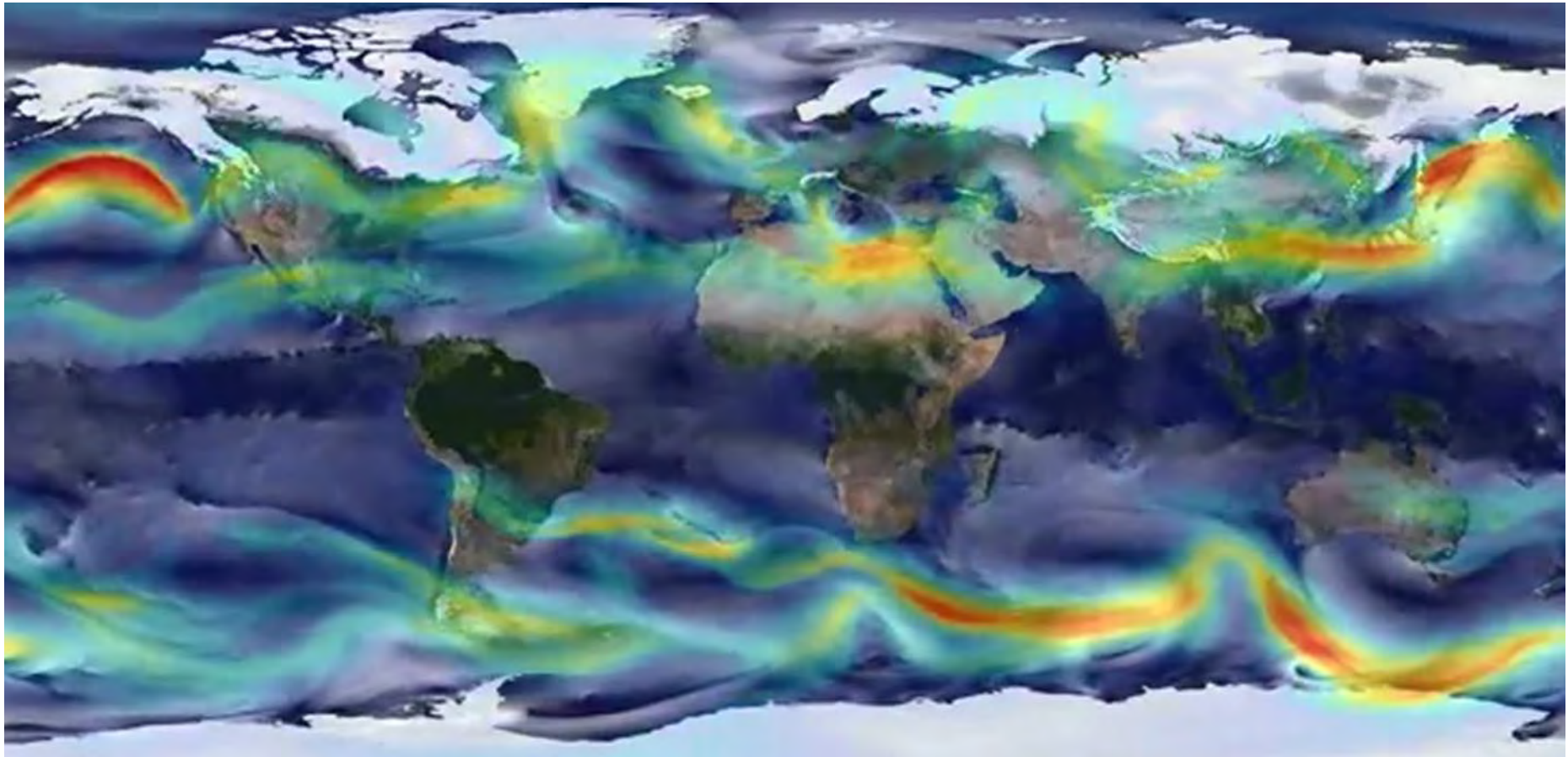
- Simulando para días con datos de distribución de vientos a diferentes alturas (1980-2012, > 11000 días)
- Visualización de la distribución geográfica a partir de animaciones
- Definición de «área afectada» aquella en la que el depósito de ceniza supera 1 kg/m^2 y cálculo, para cada celda, de la probabilidad de verse afectada en caso de una erupción explosiva de similares características

19800101



$p(\text{deposición} > 1 \text{ kg/m}^2)$
11000 eventos
eruptivos/simulaciones diarias
(~30 años datos vientos)
Modelado con Tephra2

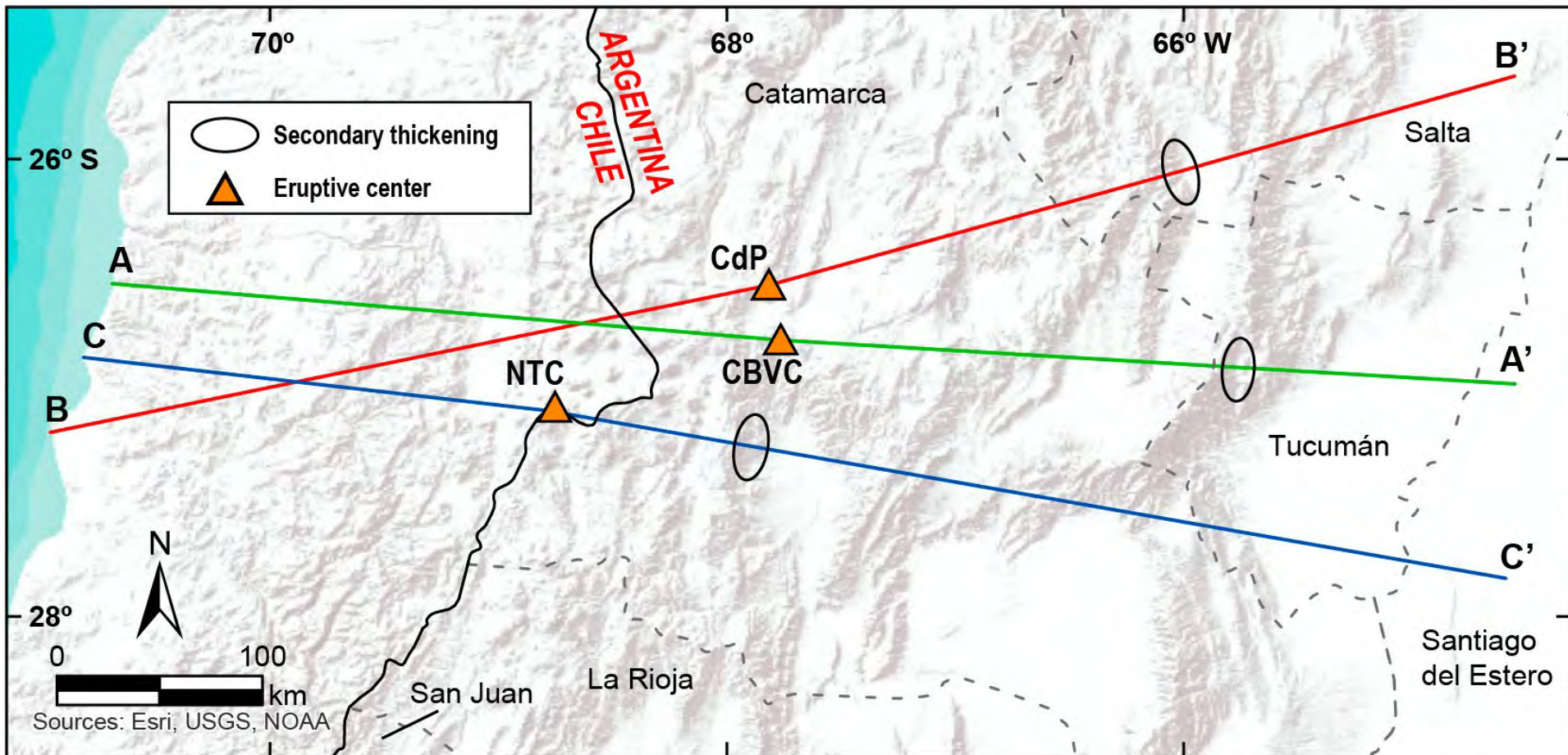


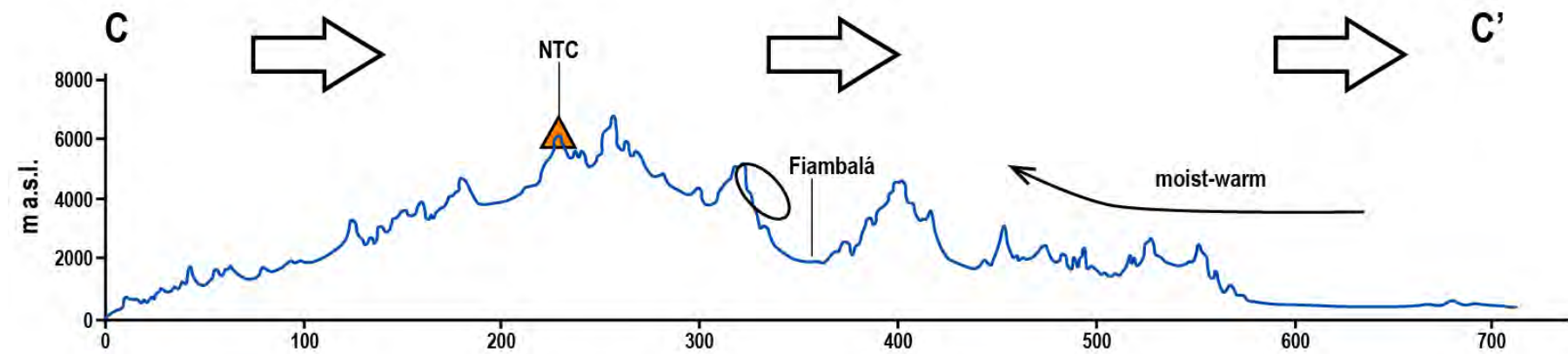
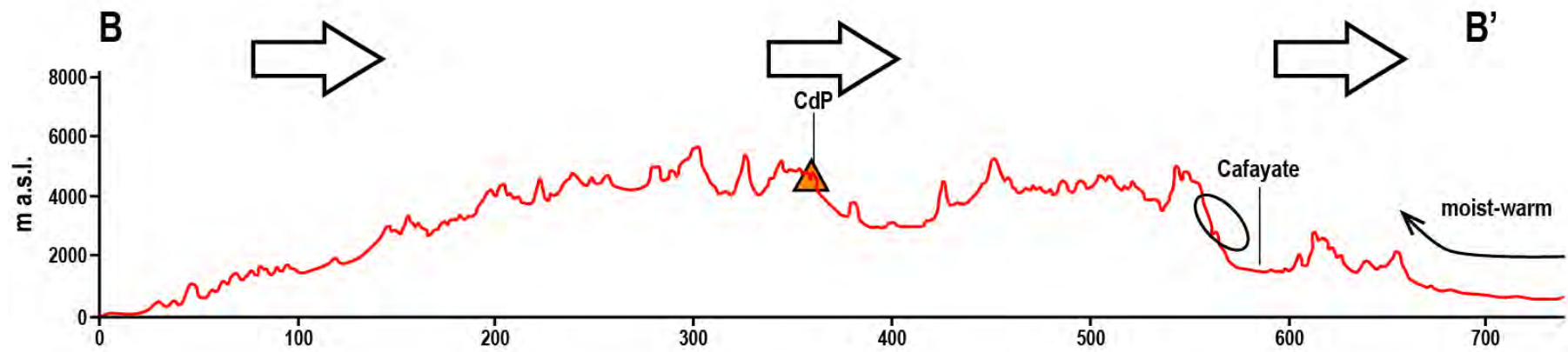
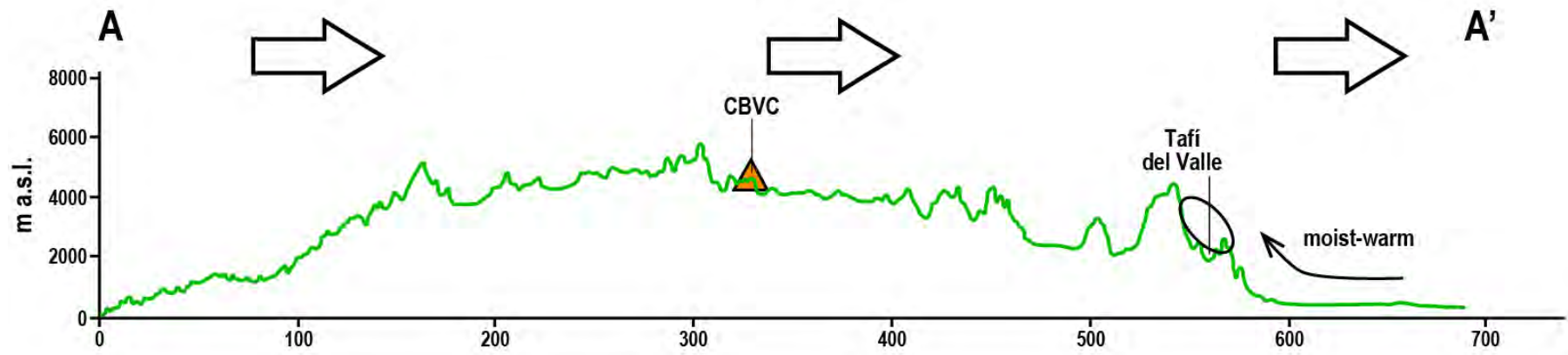


Surface winds (white 0-40 meters/second) and upper-level (250 hPa) winds (colors 0-175 meters/second; red=faster)
10-kilometer global mesoscale simulation (Nature Run) using the NASA Goddard Earth Observing System Model (GEOS-5)

Fuente: <http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/a030000/a030000/a030017/index.html>

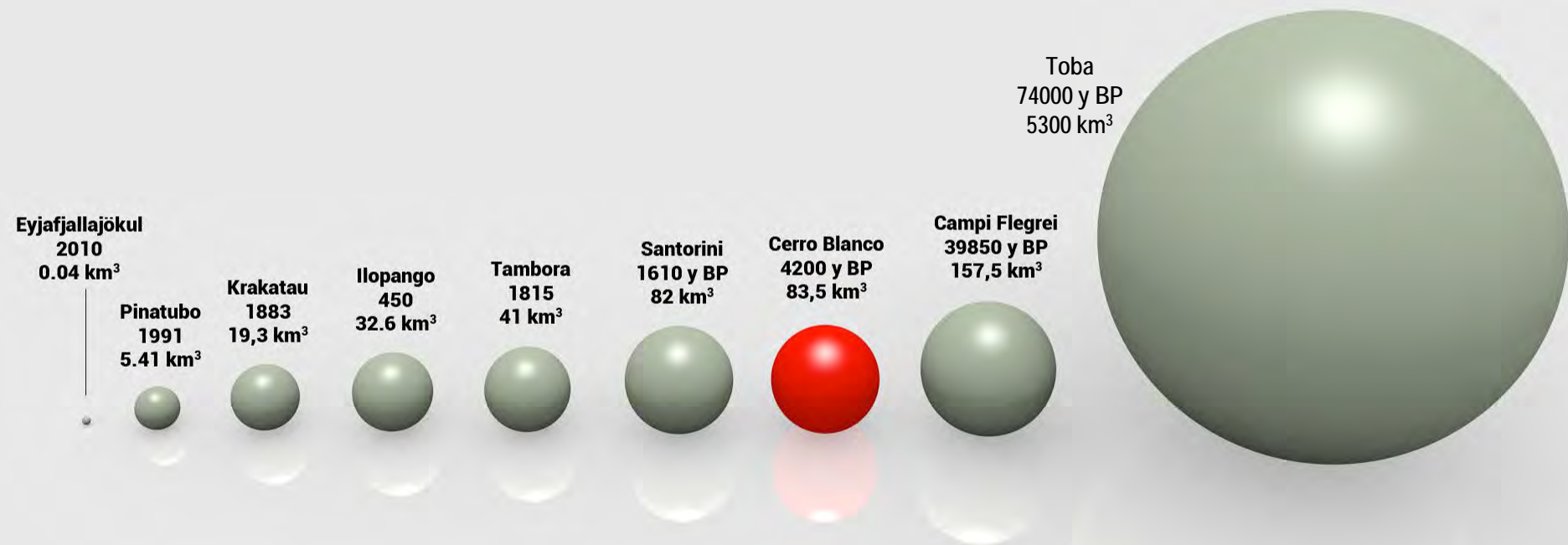
Control topográfico del espesamiento del depósito plineano de caída





Distance (km)

Resultados

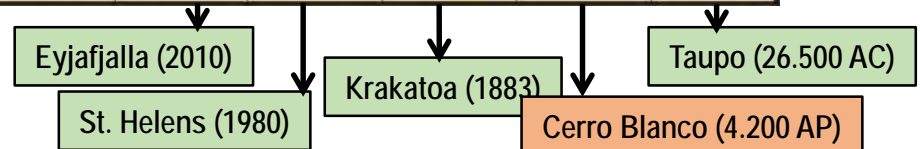


	Depósito de caída (km ³)	Ignimbritas (km ³)	Total (km ³)
Volumen total	172	15	
Volumen DRE	75	8,5	83,5

Resultados

Gran evento eruptivo $\sim 170 \text{ km}^3$ sobre $\sim 500.000 \text{ km}^2$ hace ~ 4200 años

ÍNDICE DE EXPLOSIVIDAD VOLCÁNICA (IEV)	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
Descripción general	No explosiva	Baja	Moderada	Moderada a grande	Grande	Muy grande					
Descripción cualitativa	Efusiva		Explosiva		Cataclísmica Paroxísmica						
Tipo de erupción	Hawaiana		Estromboliana		Vulcaniana		Pliniana			Ultrapliniana	
Duración (horas de erupción continua)	< 1		1 - 6		6 - 12		> 12				
Volumen de tefra (m^3)	10^4	10^5	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}	10^{12}			
Altura de la columna eruptiva (km)	< 0,1	0,1 - 1	1 - 5	3 - 15	10 - 25	> 25					
Inyección en la troposfera	Nula	Escasa	Moderada	Importante							
Inyección en la estratosfera	No	No	No	Posible	Segura	Significativa					
Número de erupciones (en el Holoceno)	699	845	3477	869	278	84	39	4	0		



Repercusiones en cascada

- Corto plazo (semanas-meses)
 - Superficie cubierta por un espeso depósito de ceniza
 - Ecosistemas gravemente estresados
 - Deterioro de la calidad del agua
 - Vegetación dañada (desaparición temporal por enterramiento)
 - Reducción de la población animal (por ejemplo, camélidos)
 - Afectación a las comunidades cazadoras-recolectoras
 - Salud (dificultades respiratorias)
 - Dificultades de aprovisionamiento de alimentos
- Largo plazo (años)
 - Retrabajamiento de depósitos de cenizas por agua y viento
 - Cambios geomorfológicos en los sistemas de drenaje
 - Cambio climático (de más húmedo a más seco)
 - Recuperación de ecosistemas

Consecuencias disruptivas para las comunidades locales

Sitio arqueológico *Abrigo Abra del Toro*



Crédito: P. Carbonelli



Quizapú, 1932

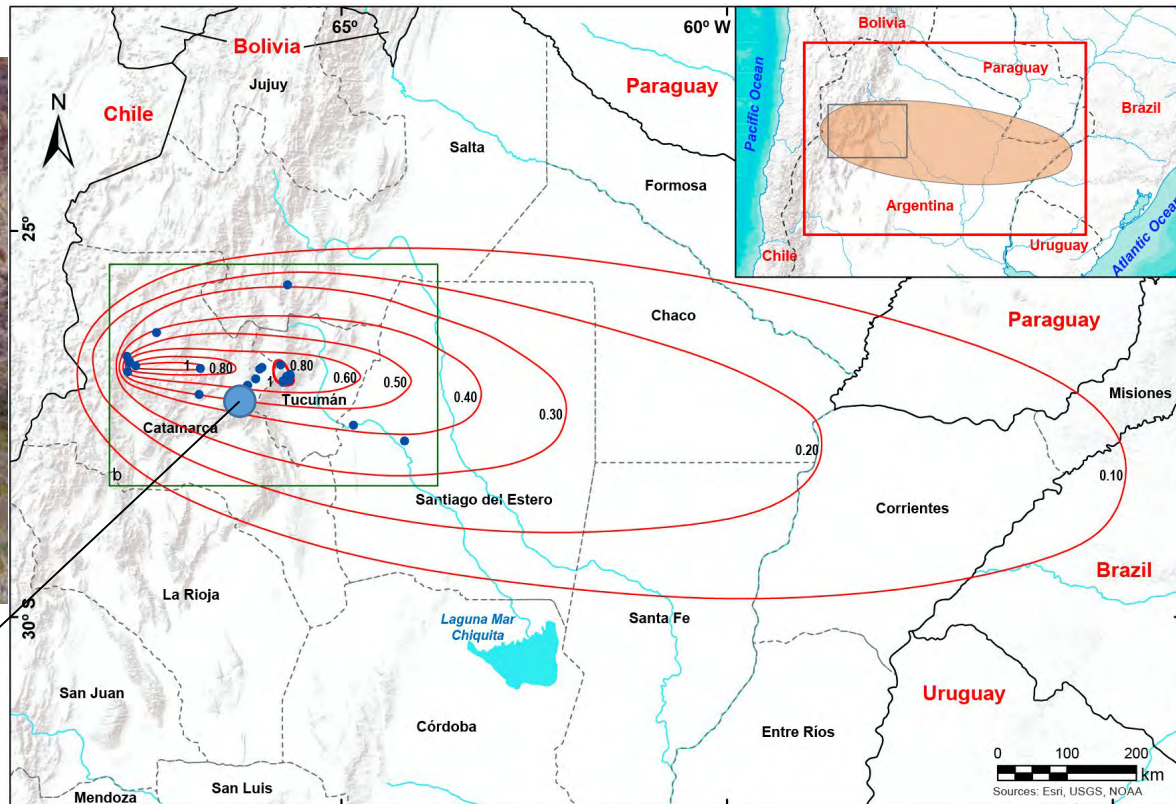
Fuente: Ceniza Volcánica en La Pampa – General Pico 1932. Colección Filippini.
<https://fototecabernardograff.wordpress.com/2011/06/07/ceniza-volcanica-en-la-pampa-general-pico-1932-coleccion-filippini/>

Repercusiones: Abra del Toro



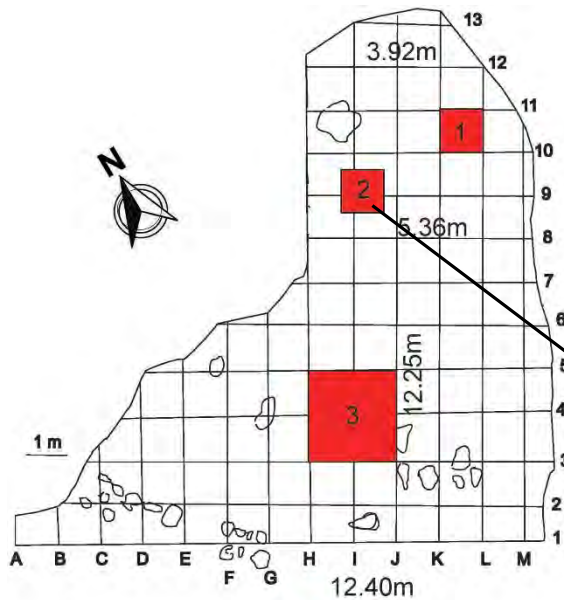
Crédito: P. Carbonelli

Abrigo de Abra del Toro

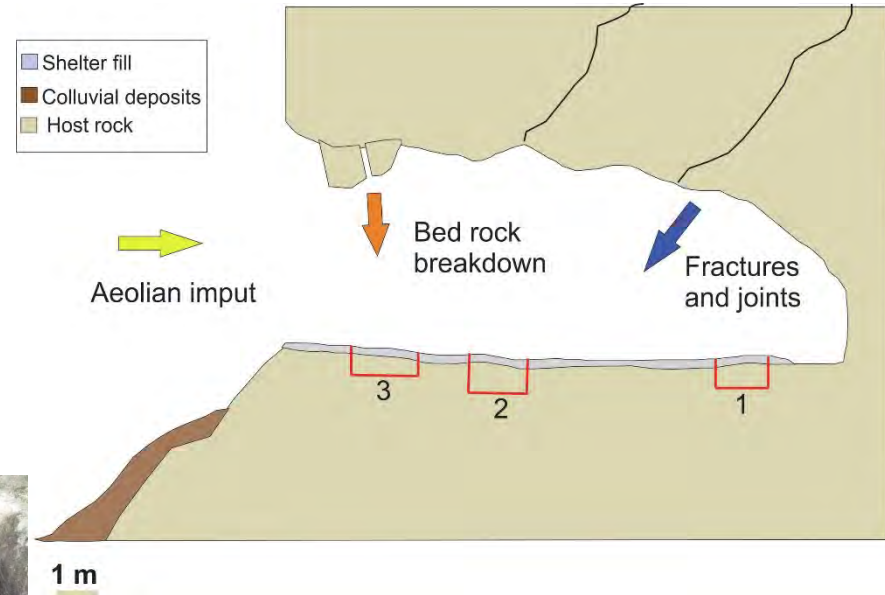


Repercusiones: Abra del Toro

La excavación



Entrance of the shelter



Fuente: Carbonelli et al., 2022, J. Archaeol. Sc. Rep., 45, 103629.

Repercusiones: Abra del Toro



b)
Período agro-alfarero

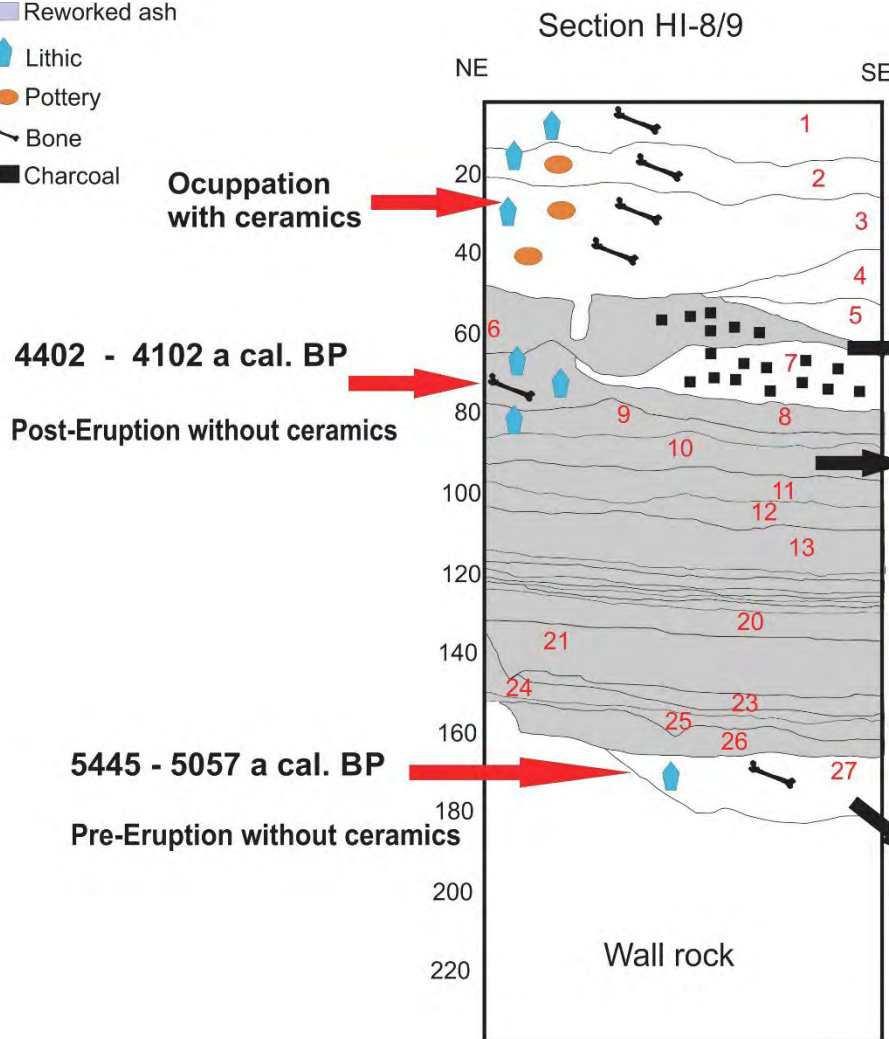


Cazadores -recolectores
Escápula fechada en nivel 8



Cazadores-recolectores
Tecnología lítica

- Reworked ash
- ◆ Lithic
- Pottery
- Bone
- Charcoal



Occupation with ceramics

4402 - 4102 a cal. BP

Post-Eruption without ceramics

5445 - 5057 a cal. BP

Pre-Eruption without ceramics

Ceniza re trabajada por el viento

Bottom soil

Repercusiones: Abra del Toro

Abrigo de Abra del Toro

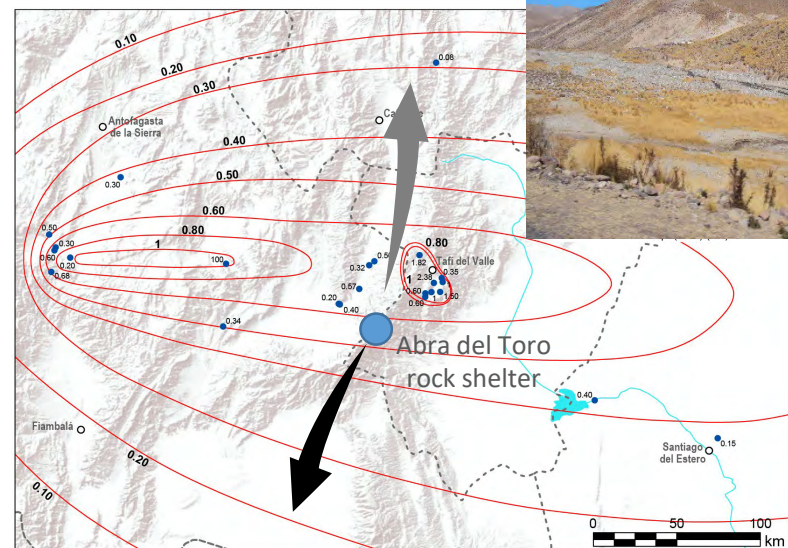


Créditos: P. Carbonelli

Depósitos de caída de ceniza de la erupción de hace 4.2 ka en Cerro Blanco alrededor del sitio arqueológico

Repercusiones: Abra del Toro

- Hipótesis
 - Abandono del territorio (control orográfico)
 - Re-ocupación de parajes significativos

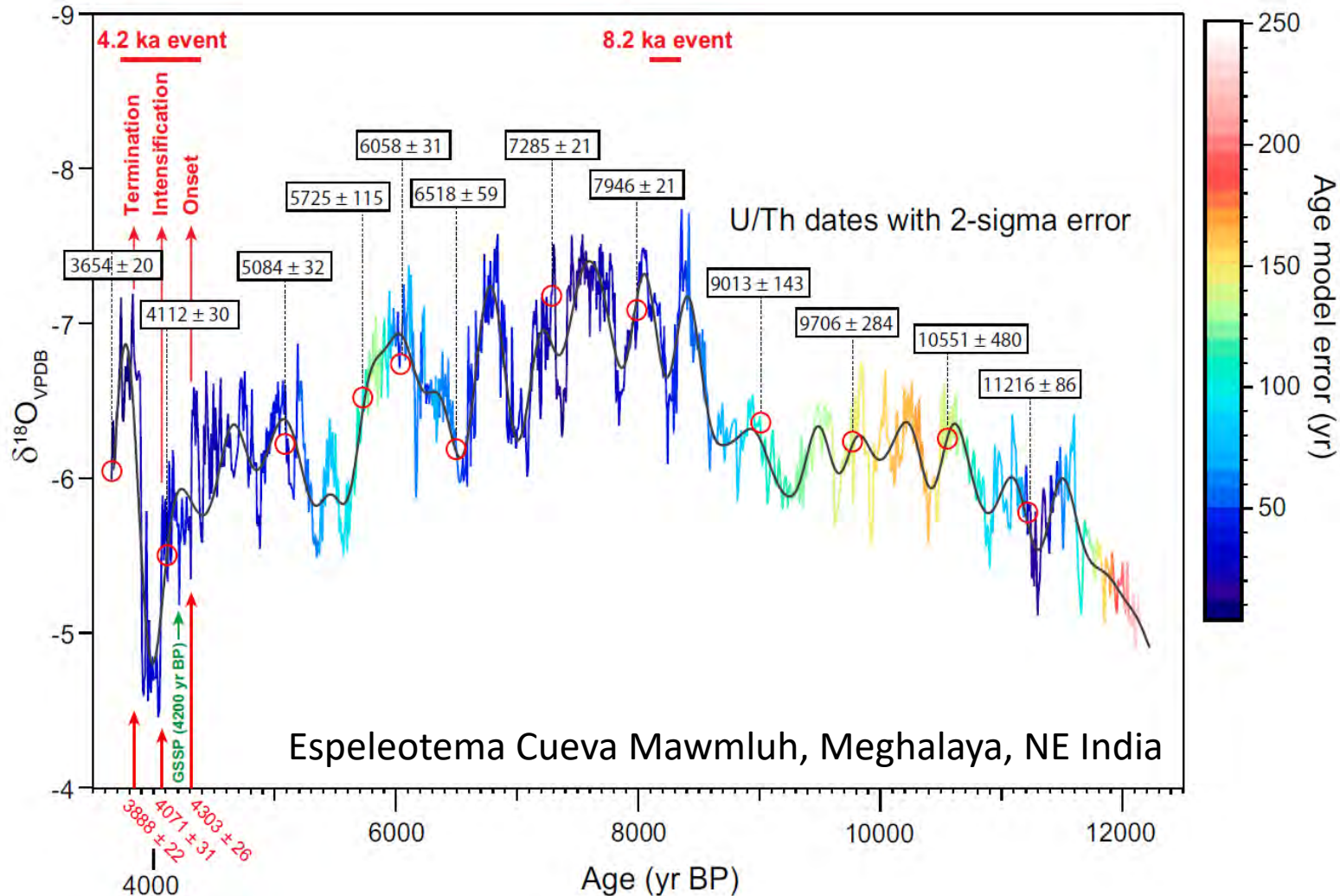


Repercusiones: largo plazo

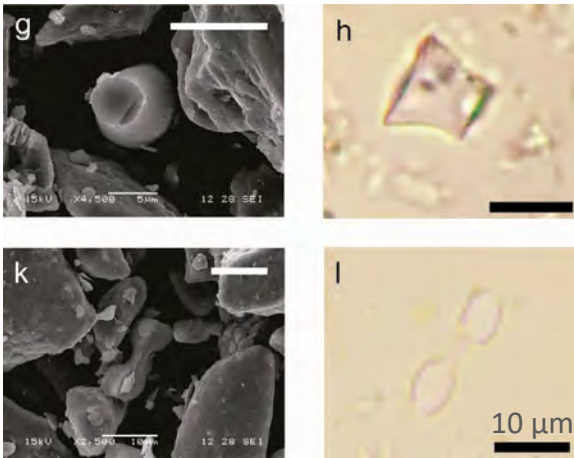
Eonothem & Eon	Erathem & Era	System & Period	Series & Epoch	Subseries & Subepoch	Stage & Age	GSSP
Phanerozoic (pars)	Cenozoic (pars)	Quaternary	Holocene	Upper & Late	Meghalayan	present
				Middle	Northgrippian	4250 years b2k
				Lower & Early	Greenlandian	8236 years b2k
			Pleistocene	Upper & Late	Unnamed	11,700 years b2k
				Middle	Unnamed	~126 ka
				Lower & Early	Calabrian	~0.773 Ma
		Gelasian	1.80 Ma			

Fuente: Subcommission on Quaternary Stratigraphy <http://quaternary.stratigraphy.org/major-divisions/>

Repercusiones: largo plazo

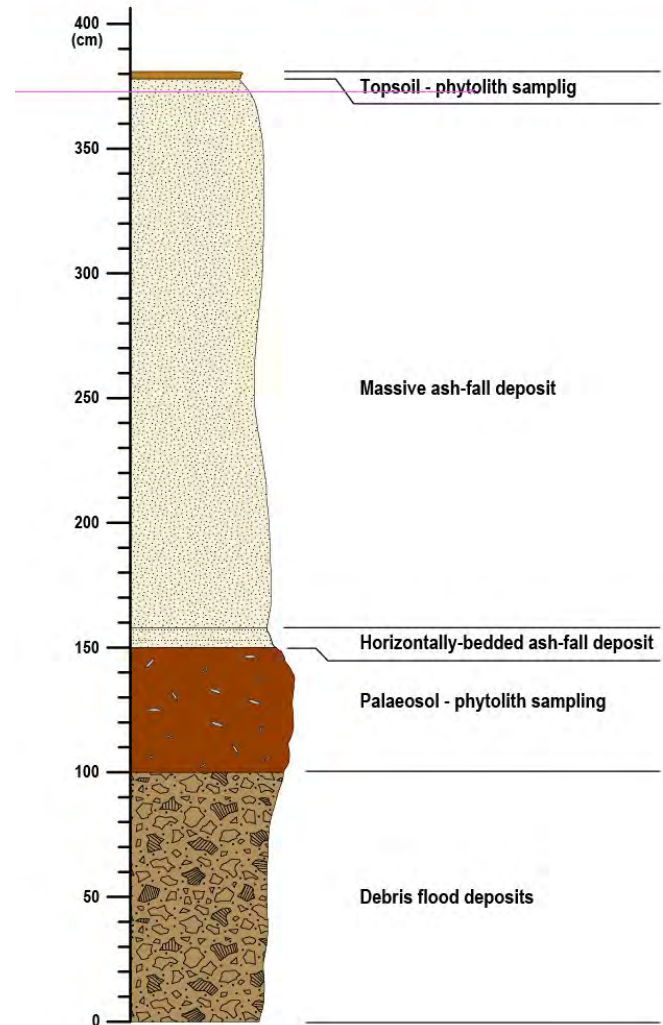


Excelente marcador cronoestratigráfico



Fitolitos como proxy paleoambiental

Tafí del Valle tenía un clima más húmedo que el actual hace 4200 años



Conclusiones

- Erupción de Cerro Blanco de VEI 7 hace 4,200 años
- Cambio en el paradigma volcánico de la Zona Volcánica Central de los Andes: implicaciones en la peligrosidad volcánica
- Marcador cronoestratigráfico del Holoceno medio

- Cuestiones abiertas
 - Reconocimiento distal (Cono Sur, Atlántico Sur, Antártida)
 - Impacto en las comunidades cazadoras-recolectoras
 - Impacto en el balance geoquímico regional (agua, sedimentos,...)
 - Impacto en el balance de nutrientes del Atlántico Sur
 - Impacto en el clima

Referencias

- Fernandez–Turiel J. L., Perez–Torrado F. J., Rodriguez–Gonzalez A., Saavedra J., Carracedo J. C., Rejas M., Lobo A., Osterrieth M., Carrizo J. I., Esteban G., Gallardo J., Ratto N., 2019. The large eruption 4.2 ka cal BP in Cerro Blanco, Central Volcanic Zone, Andes: Insights to the Holocene eruptive deposits in the southern Puna and adjacent regions. *Estudios Geológicos*, 2019, 75 (1): e088, 31 pp.
<http://estudiosgeol.revistas.csic.es/index.php/estudiosgeol/article/view/982/1200>
- Osterrieth M., Alvarez M. F., Gallardo J. F., Saavedra J., Fernandez-Turiel J. L., Rodriguez-gonzalez A., Perez-torrado F. J., Rejas M., Palaeoenvironmental use of silicophytoliths in soils and palaeosols associated with Holocene volcanic ash deposits in north-western Argentina. *Quaternary International*, 2019, 522, 103-112.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618219303118>
- Carbonelli J. P., Fernandez-Turiel J.-L., Belotti López De Medina C., 2022. The Abra del Toro rock shelter, northwestern Argentina, a space occupied by hunter-gatherers that was hit by the large 4.2 ka Cerro Blanco eruption. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2022, 45, 103629. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103629>

Agradecimientos

Al equipo de trabajo



A los Servicios labGEOTOP y DRX (infraestructuras cofinanciadas por FEDER-UE, Refs. CSIC08-4E-001 y CSIC10-4E-141) y DRX del GEO3BCN-CSIC (J. Ibáñez, J. Elvira y S. Álvarez) y el CCIT-UB en el trabajo analítico. La financiación fue proporcionada por los Proyectos ASH y QUECA (MINECO, España, CGL2008-00099 y CGL2011-23307).

A F. Ruggieri, G. Galindo, L. D. Martínez, R. A. Gil, A. Storniolo, G. Alias y D. Rodríguez por su colaboración en diferentes aspectos geológicos y geoquímicos de este trabajo.

A P. Carbonelli en los temas arqueológicos, financiados en Argentina por Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (beca PIP 112-201301-00178), la Universidad de Buenos Aires (beca UBACyt 20020170100318BA) (Universidad de Buenos Aires), la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico e Innovación (subvención 2019-01229).

Agradecimientos



Real Academia Canaria de Ciencias



**Gobierno
de Canarias**



