

- ❖ La información contenida en esta presentación, es de propiedad del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, y no podrá ser reproducida o divulgada, total ni parcialmente, excepto previa autorización por escrito del INGEMMET. Todos los derechos y/o títulos de propiedad intelectual están reservados.
- ❖ Esta información ha sido obtenida de fuentes consideradas confiables y con autorización expresa del INGEMMET dentro del marco de sus funciones; sin embargo; recomendamos contrastar los niveles de precisión de la fuente informativa con el objetivo de su correcta aplicación.
- ❖ The information contained in this presentation is proprietary to the Geological Mining and Metallurgical Institute- INGEMMET, and shall not be reproduced or disclosed in whole or part or used for any purpose, except when such user possesses direct written authorization from INGEMMET. All rights and/or titles to any intellectual property are reserved.
- ❖ This information has been obtained from sources deemed reliable and with the express permission of INGEMMET within the framework of their duties, however, we recommend to contrast the levels of accuracy of the information source for the purpose of its correct application.

Lima – Perú, Setiembre 2018

# “CUANTIFICACIÓN DE LA TASA DE DENUDACIÓN DE LOS ÚLTIMOS 20 ka UTILIZANDO NUCLEÍDOS COSMOGÉNICOS ( $^{10}\text{BE}$ ) EN EL SUROESTE DE LOS ANDES PERUANOS: LAGUNA ARICOTA”

by :

**DELGADO MADERA, Gabino Fabrizio**

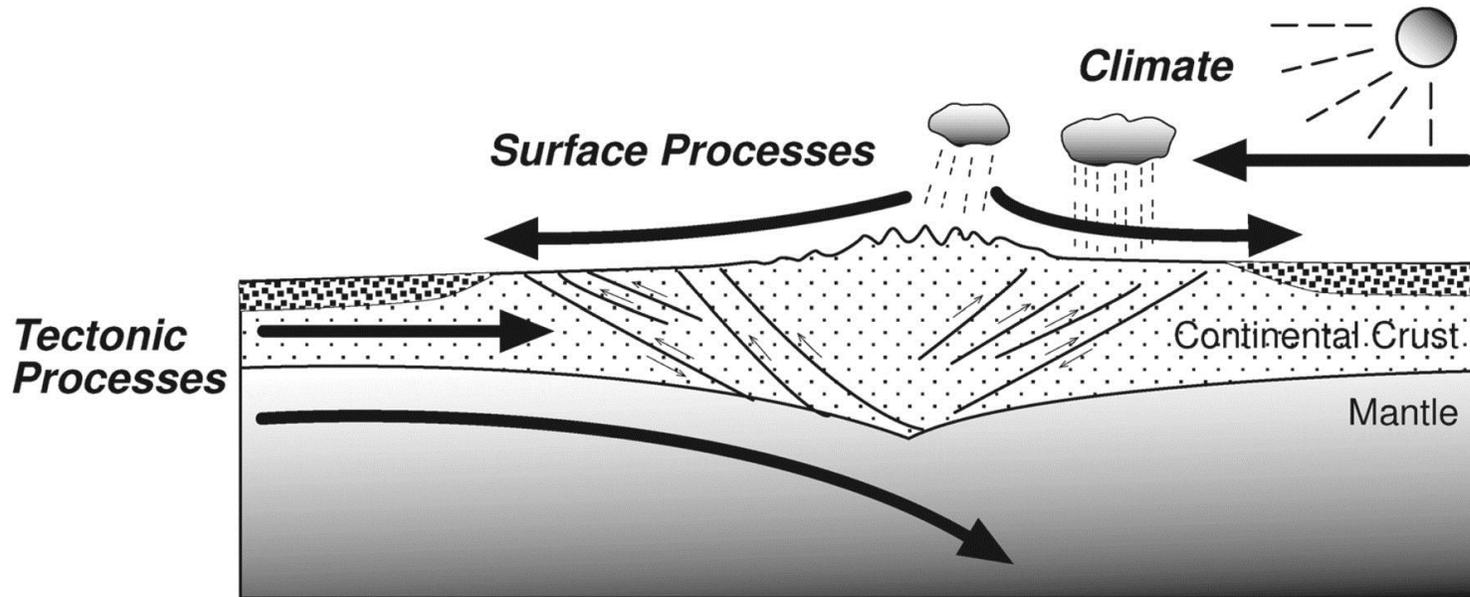
Neotectónica:

Carlos BENAVENTE  
Briant GARCIA  
Enoch AGUIRRE  
Lorena ROSELL  
Anderson PALOMINO

ISterre:

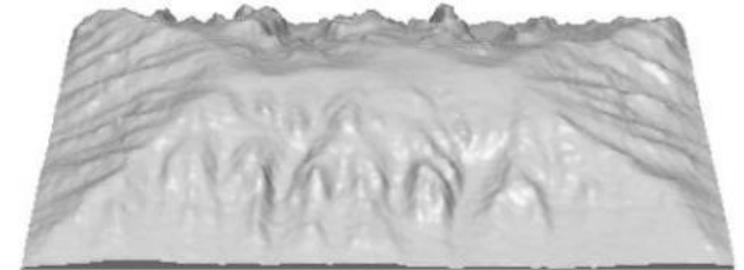
Swann ZERATHE  
Laurence AUDIN  
Camille LITTY  
Xavier ROBERT  
Julien CARCAILLET

Lima - 2018

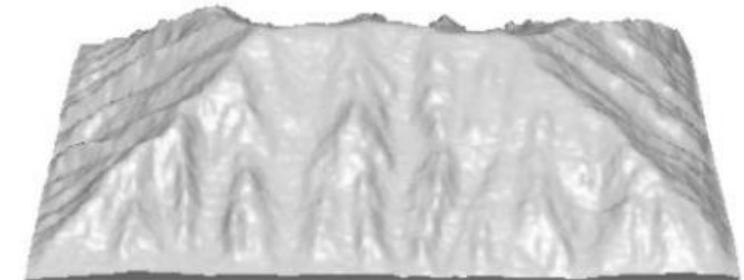


Objetivo principal:  
 Entender la relación e interacción que existe  
 entre “tectónica-erosión-clima”

+ precipitación = + erosión

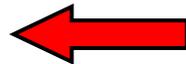


- precipitación = - erosión



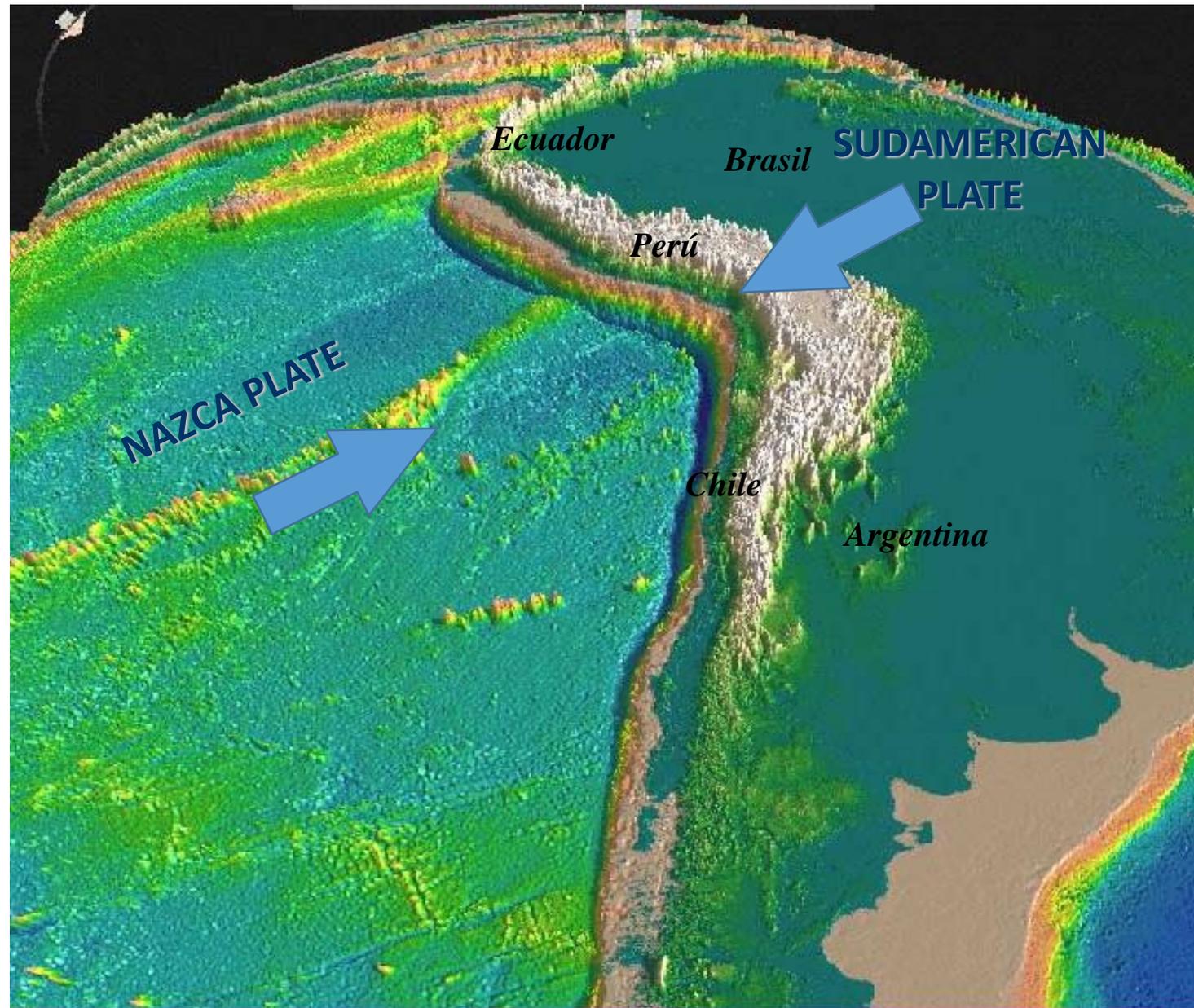
Para entender estos procesos es necesario conocer independientemente:

- Uplift (levantamiento)
- Clima
- Denudación



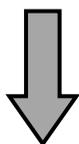
## Los Andes:

- Margen tectónico activo
- Subducción
- ~ 70 Ma
- Diferencia de altitud  
0 m - >6000 m.

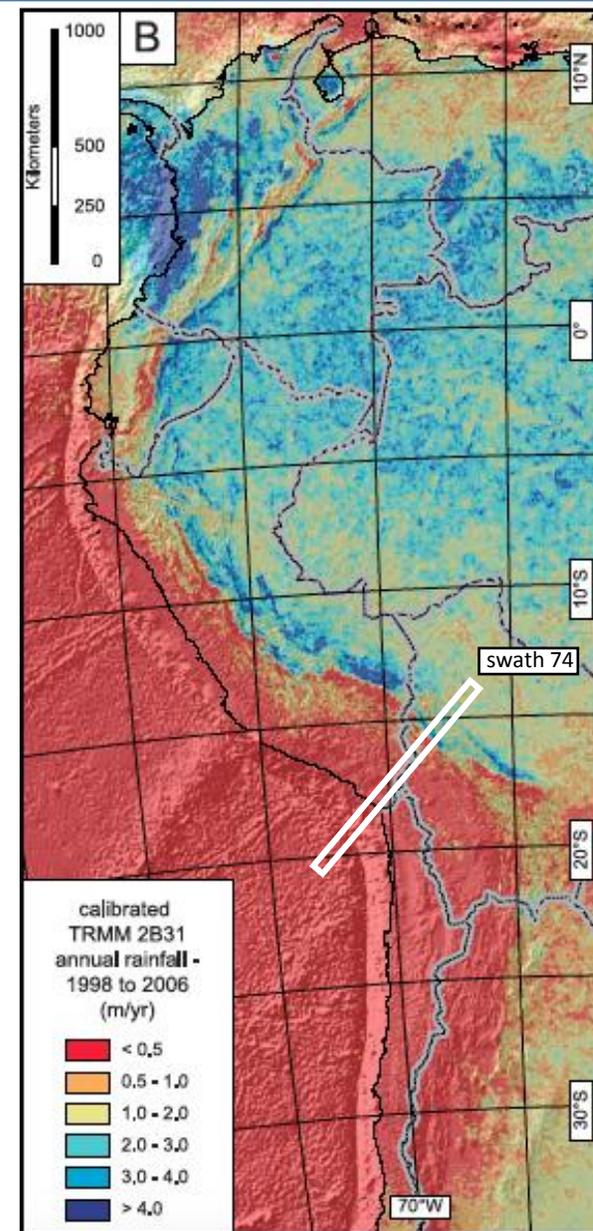
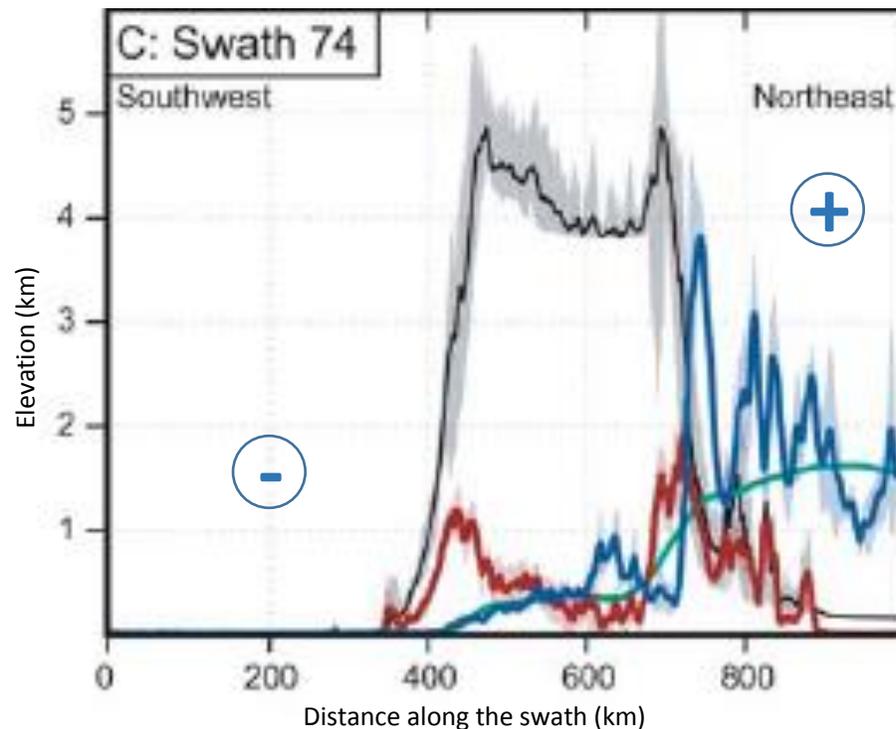


- Los Andes es una barrera orográfica.
- La precipitación es bloqueada por la alta topografía.

Clima del Flanco oeste



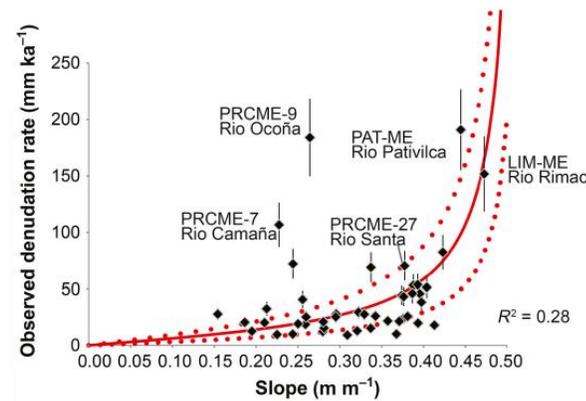
Hiper-arido



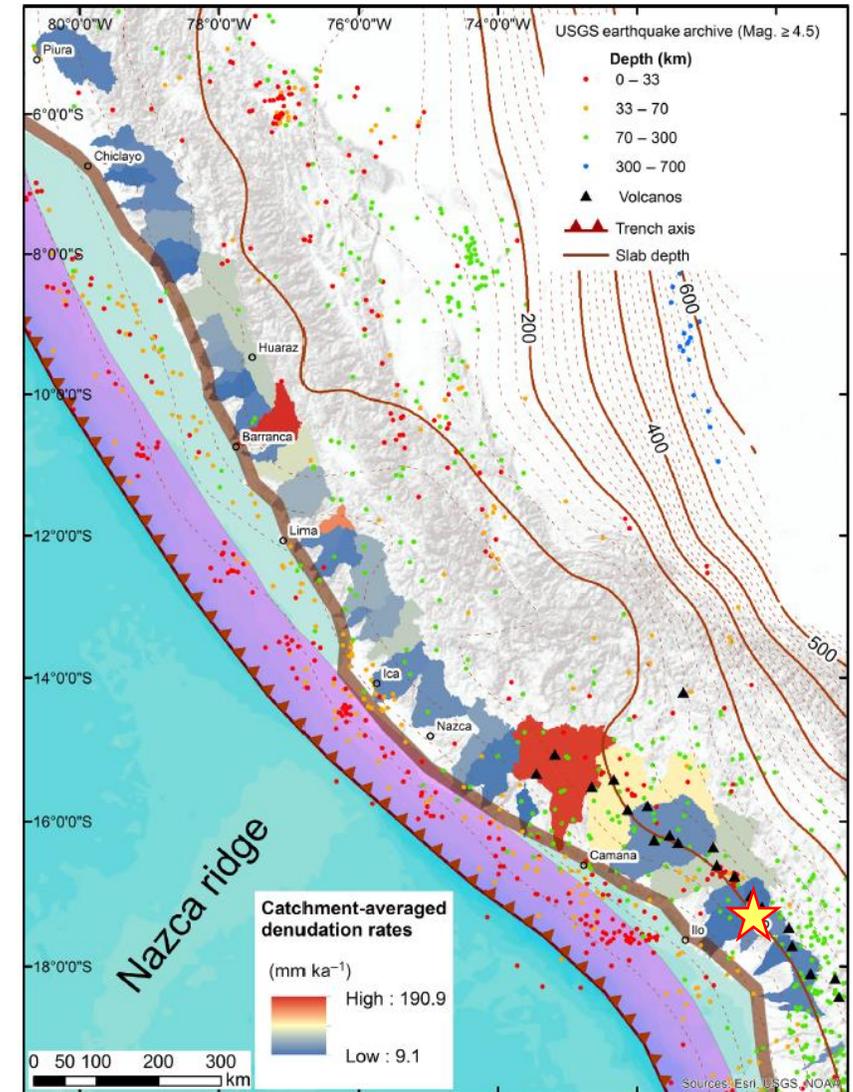
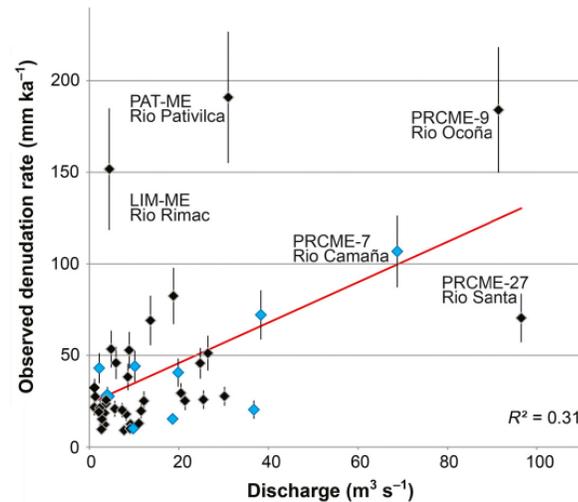
¿Cuál es el efecto del clima en la evolución del relieve?

### Patrones de denudación utilizando nucleídos cosmogénicos

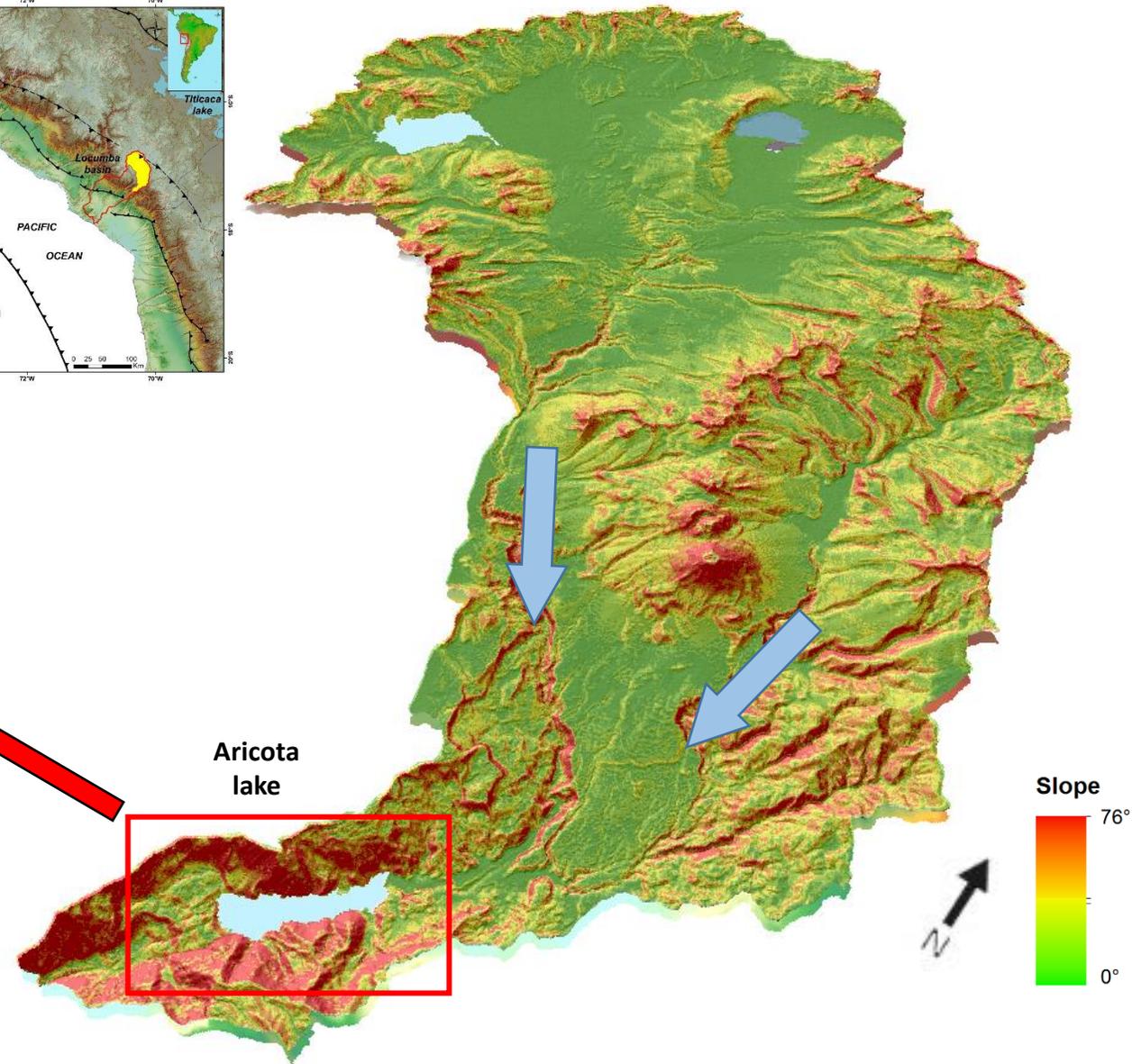
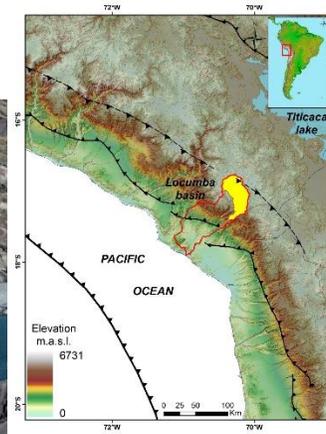
Tasa de denudación vs pendiente



Tasa de denudación vs descarga



La tasa de denudación con  $^{10}\text{Be}$  no fue comparada con una acumulación de sedimentos real



1. Calcular la edad del deslizamiento y determinar el detonante.
2. Comparar la tasa de erosión a partir de los sedimentos atrapados con la tasa de denudación a partir de  $^{10}\text{Be}$





**Objetivos:**

1. La edad del deslizamiento ( $^{10}\text{Be}$ ) utilizando nucleídos cosmogénicos.
2. Calcular el volumen de sedimentos acumulados y estimar la tasa de erosión.
3. Calcular la tasa de denudación a partir de  $^{10}\text{Be}$



**Desarrollo del proyecto:**

Dos campañas: 2014 (14 muestras). 2015 (4 muestras)

DEM Tandem-X (12 m/pixel), Pleiades (2 m/pixel)  
Batimetría de la laguna (Hydroelectric company)

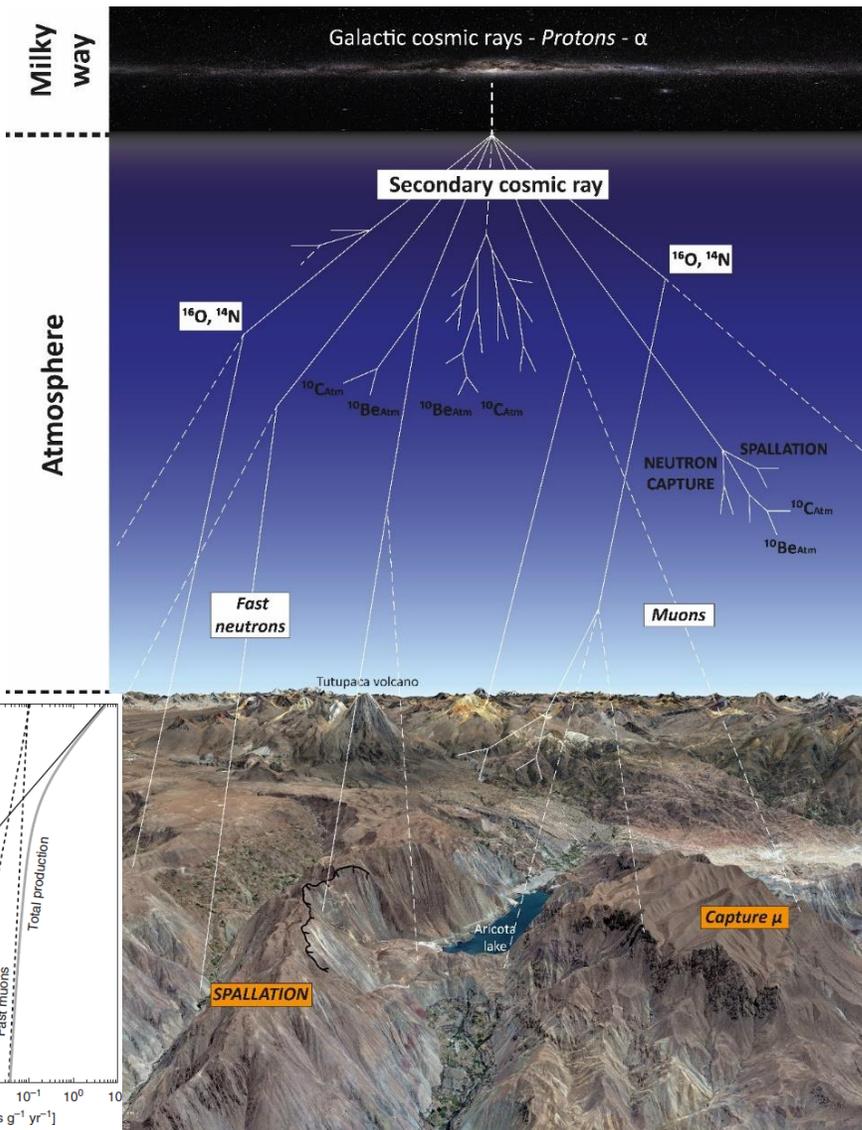
Preparación de las muestras

Calcular las edades usando la calculadora online CRONUS.

Calcular la tasa de denudación utilizando el programa LSDtopotools.

Nucleídos cosmogénicos

Permite cuantificar diferentes tipos de procesos superficiales



Concentración de TCNS en minerales (ej:  $^{10}\text{Be}_{\text{Qtz}}$ )

Tasa de production ( $P$ )

Decaimiento Radioactivo ( $\lambda$ )

Tiempo de exposición ( $t$ )

Tasa de denudación ( $\epsilon$ )

$$N(Z, t) = \sum_i \frac{P_i * e^{-\frac{Z}{\Lambda_i}}}{\lambda + \frac{\epsilon}{\Lambda_i}} * (1 - e^{-t * (\lambda + \frac{\epsilon}{\Lambda_i})})$$

# Concentración $^{10}\text{Be}$

## Tiempo de exposición

## Tasa de Denudación

COSMIC-RAY PRODUCED NUCLIDE SYSTEMATICS ON EARTH PROJECT

### CRONUS WEB CALCULATORS

[CALCULATORS HOME](#) | [GEOCHRON DATABASE](#) | [DOCUMENTATION](#) | [ABOUT](#) | [HELP](#)

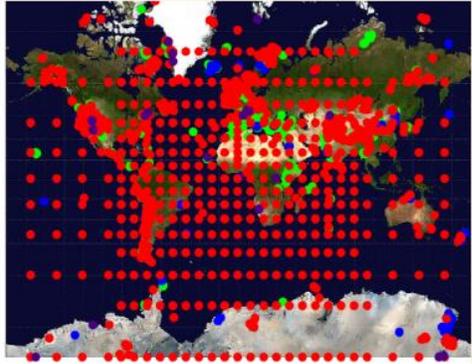
**Welcome to the CRONUS Earth Web Calculators**

This is version 2.0 of the calculator. Version 1.0 can be found [here](#)  
See the [FAQ](#) for details

- Surface Calculators:
  - [\$^{36}\text{Cl}\$  Surface Calculator](#)
  - [\$^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}\$  Surface Calculator](#)
  - [\$^3\text{He}\$  Surface Calculator](#)
  - [\$^{14}\text{C}\$  Surface Calculator](#)
  - [\$^{21}\text{Ne}\$  Surface Calculator](#) - Coming Eventually!
- Other Calculators:
  - [Topographic Shielding Calculator](#)

Check out the new CRONUScalc paper in the CRONUS-Earth Special Volume of Quaternary Geochronology!

- [Available on Quaternary Geochronology](#)
- [Open access manuscript](#)
- [Function description supplement](#)

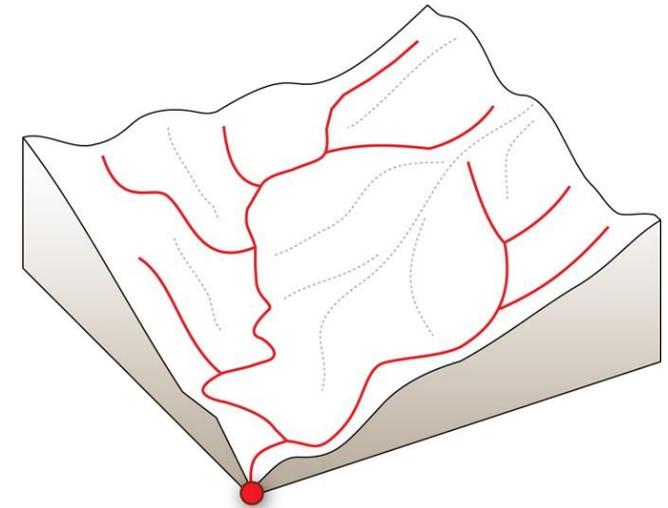


If you experience any problems, please report them in the [Issue Tracker](#)

Marerro et al., 2016

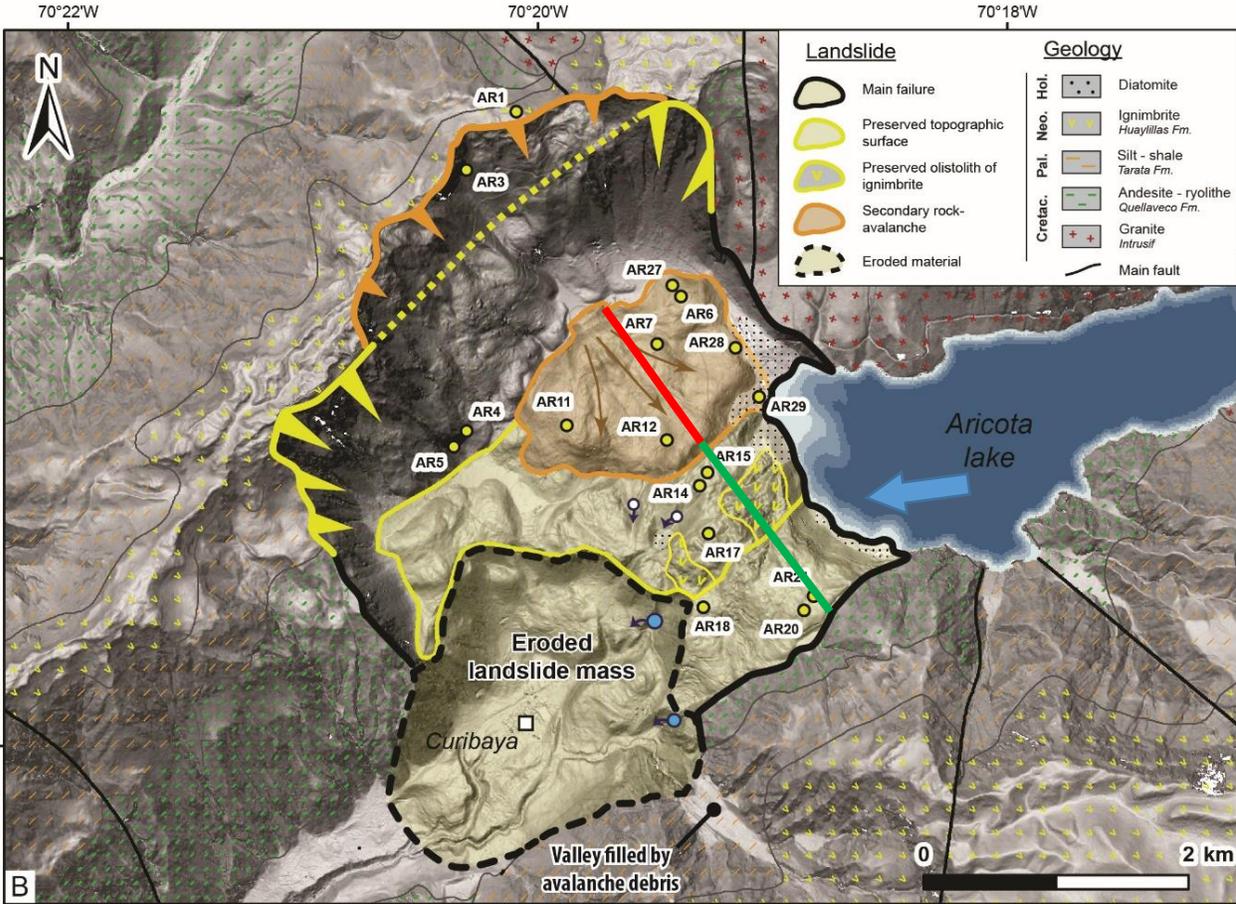


Mudd et al., 2016



**Los resultados serán presentados en dos capítulos:**

1. Exposición a rayos cósmicos y datación del deslizamiento Aricota.
2. Comparación de la tasa de erosión y denudación de la cuenca a partir de (a) sedimentos acumulados y (b) nucleídos cosmogénicos  $^{10}\text{Be}$ .

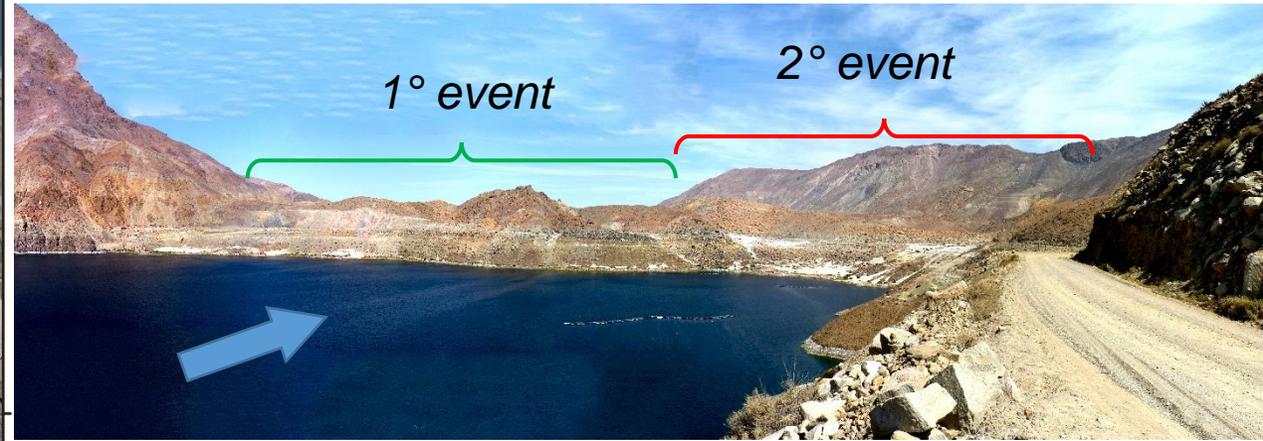


**Cartografiado**

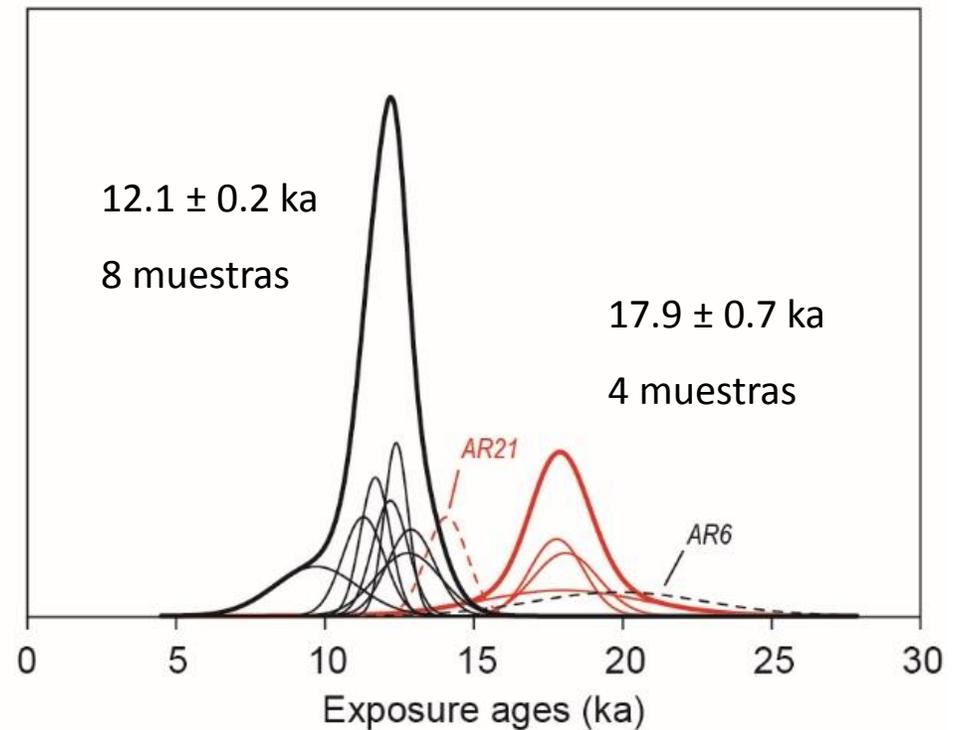
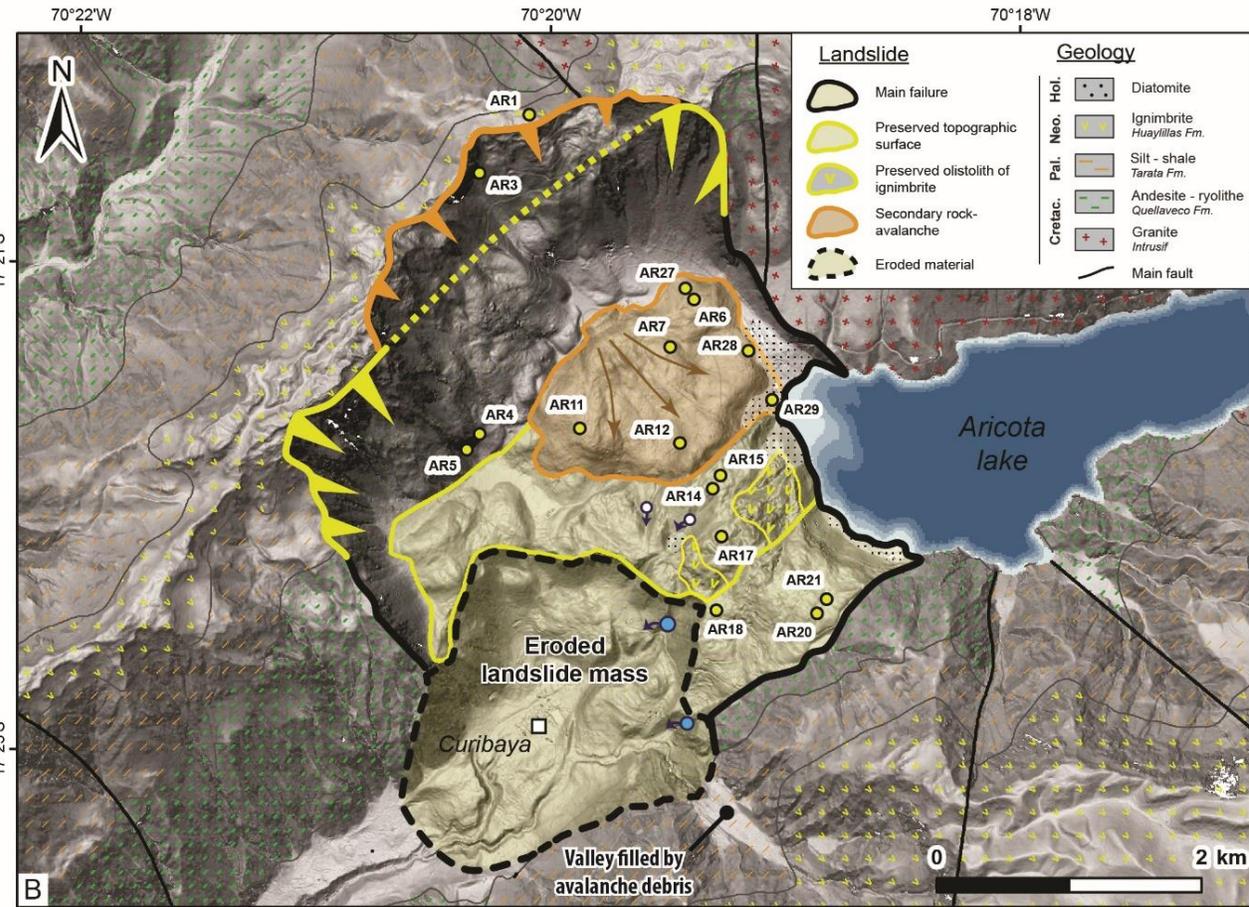
- DEM 2 m de resolución
- Imágenes satelitales
- Trabajos de campo

**Resultado**

- 2 eventos cartografiados



Planeamiento de muestreo (17 muestras)



Campo 2014: 14 muestras  
 Campo 2015: 3 muestras

**DISCUSIÓN**

Dos eventos

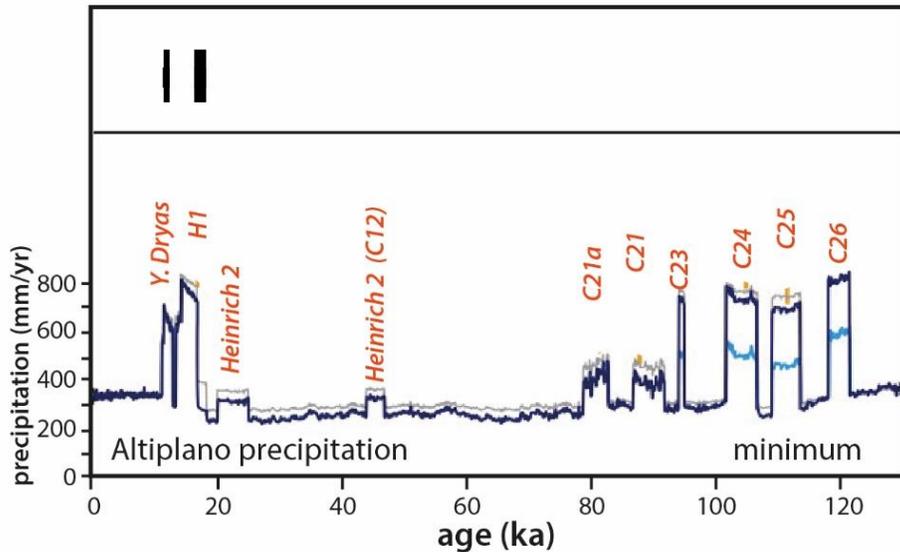
Estudio Paleoclimático -Altiplano  
 Placzek et al., 2013

Deslizamiento **17.9 ± 0.7 ka**

Heinrich 1 (14 - 18 ka)

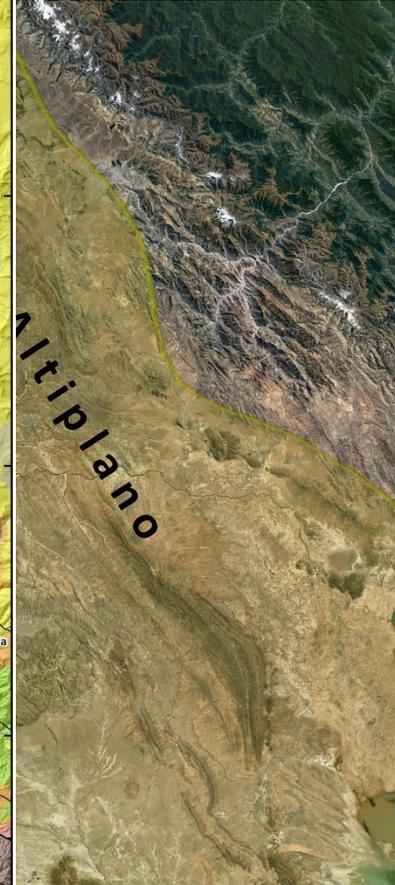
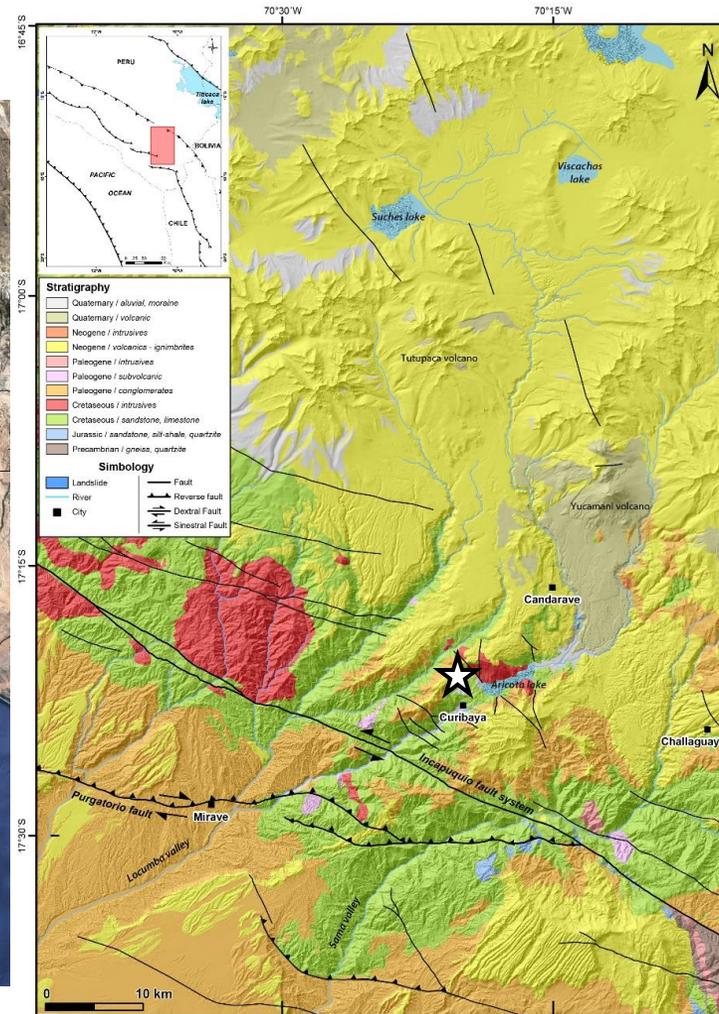
Aricota **12.1 ± 0.2 ka**

Younger Dryas (11 - 13 ka)



Present study

Placzek et al. (2013)



Pero, no podemos descartar un posible detonante sísmico o un evento acoplado sismo/clima.

Área de la cuenca : 1600 km<sup>2</sup>

Pendiente media : 13°

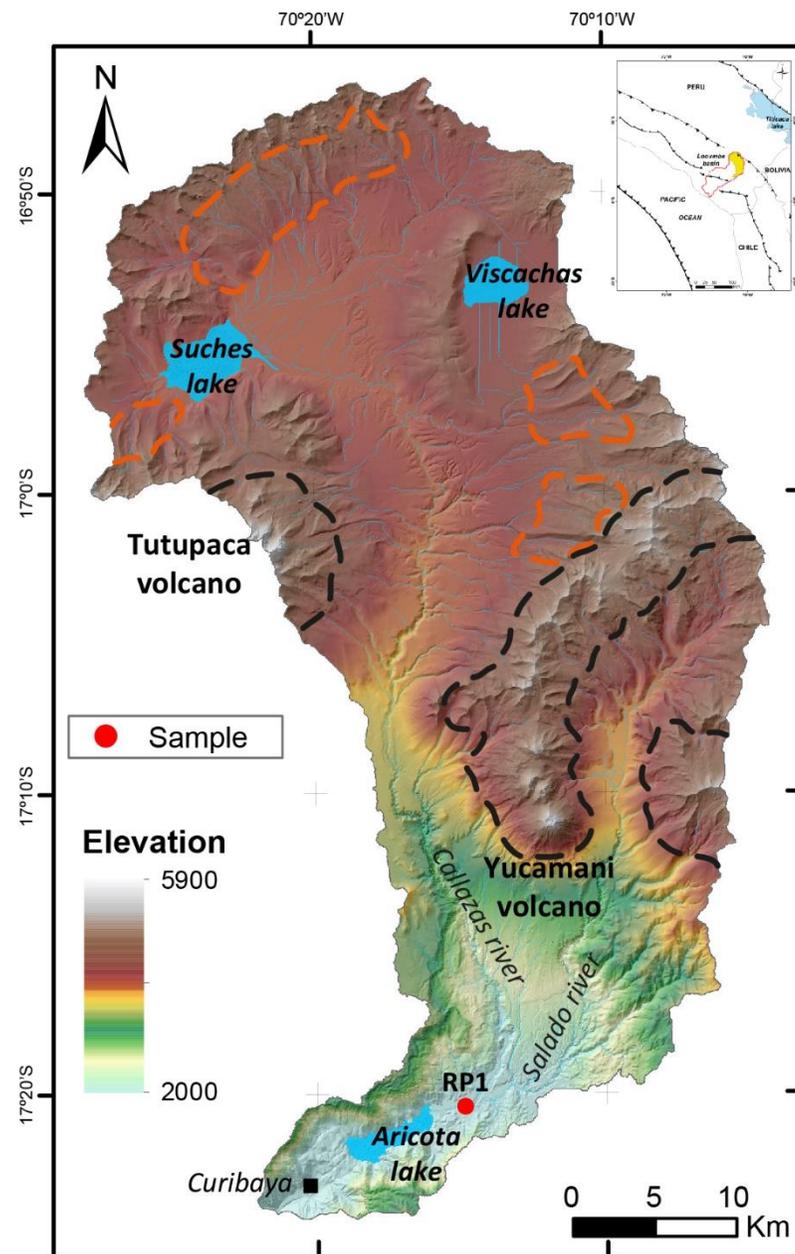
Especificaciones morfológicas : Volcanes holocenos y herencia glacial (morrenas), un gran deslizamiento.

Litología : Rocas volcánicas e ignimbritas.  
 Bajo porcentaje de cuarzo (1-2%).

### Objetivos:

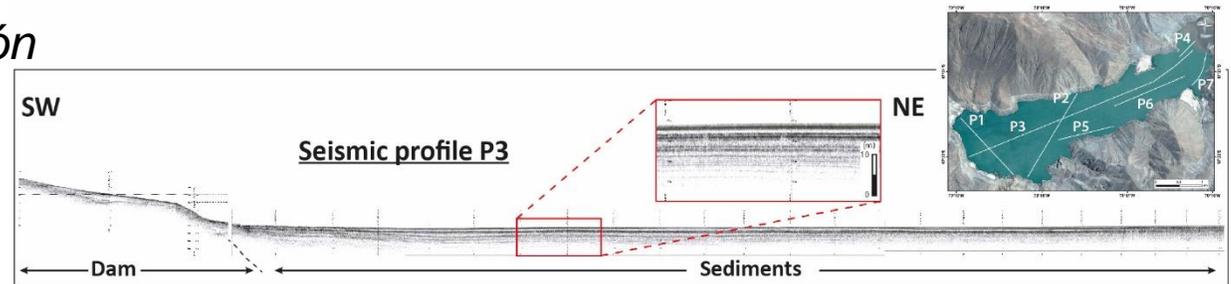
El principal objetivo es comparar los resultados de tasa de erosión obtenidos por dos métodos diferentes, for this we will have to:

- (1) Calcular el volumen de sedimentos acumulados, y calcular la tasa de erosión a partir de sedimentos acumulados.
- (2) Calcular la tasa de denudación a partir de isotopos cosmogénicos <sup>10</sup>Be.



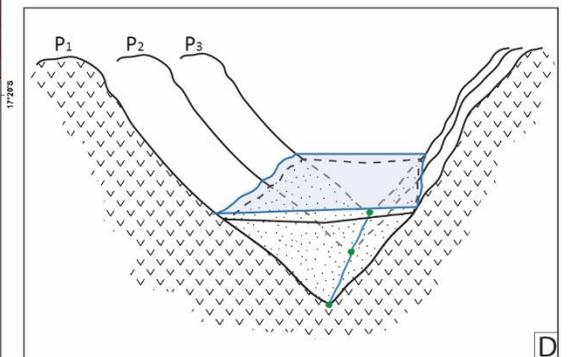
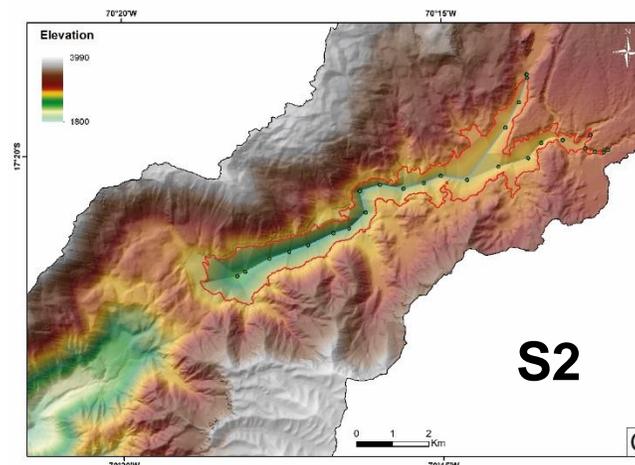
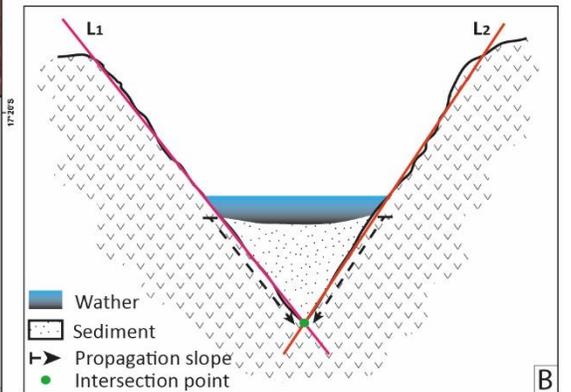
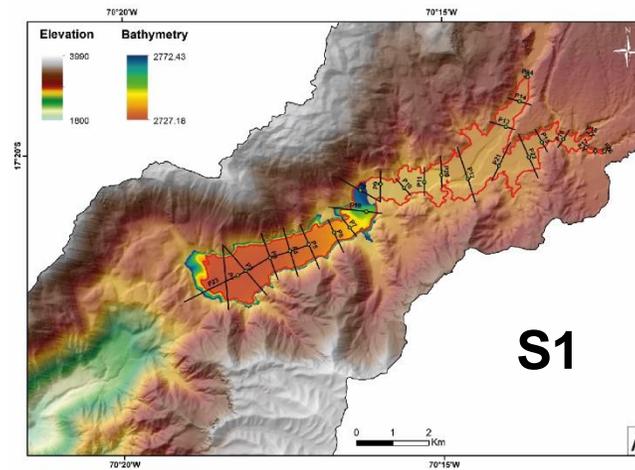
## Estimación del volumen y calculo de tasa de erosión

- 7 perfiles sísmicos (Georadar)



## Cálculo del volumen de sedimentos

- **Superficie S1 (DEM + Batimetria).**
- Cartografía de sedimentos (terrazas + lago).
- Perfiles topográficos.
- Propagación de pendientes e intersección.
- Interpolación de todos los perfiles.
- Extraer el área de sedimentos acumulados y realizar la interpolación.
- **Reconstrucción del paleo-vals S2.**



### Volumen total

$$V_{\text{total}} = S1 - S2$$

**Corrección de Porosidad** Arena fina y arena limosa = 10 - 30%  
 Sanders (1998)

$$V_{\text{poros}} = 1.58 \pm 0.2 \times 10^8 \text{ m}^3$$

### Volumen de sedimentos

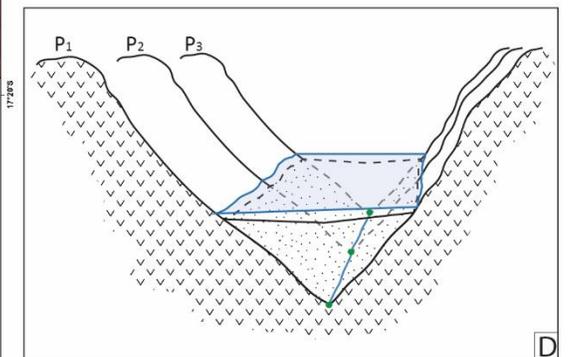
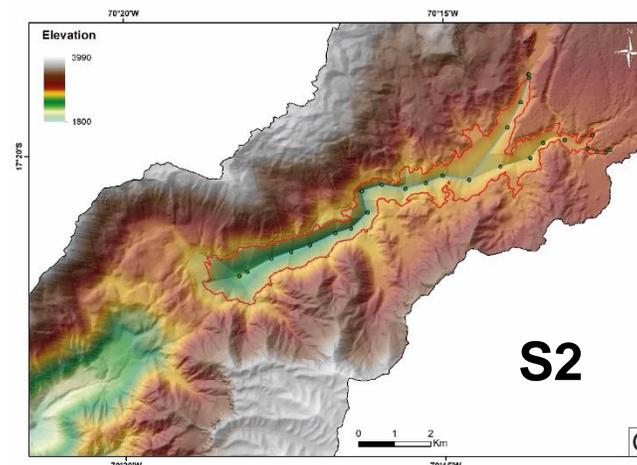
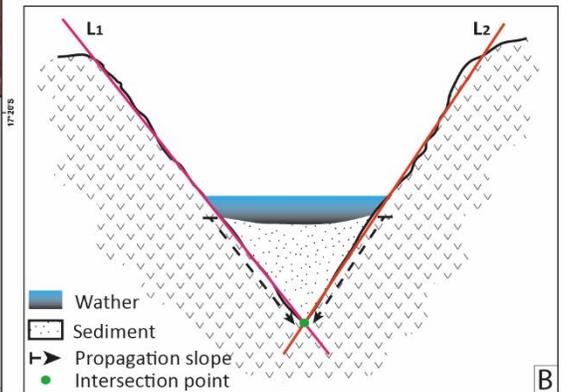
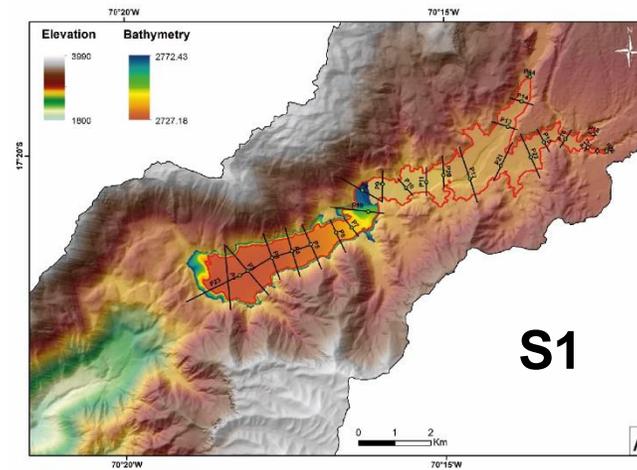
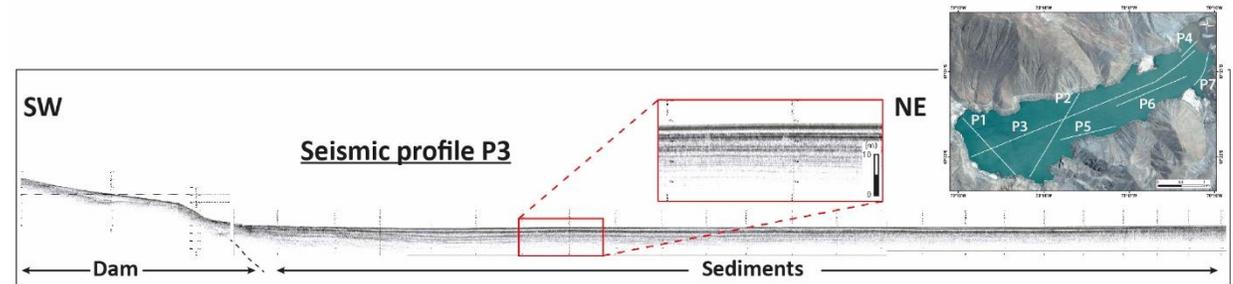
$$V_{\text{sed}} = 0.7 \pm 0.1 \text{ km}^3$$

### Tasa de Erosión integrada

$$\epsilon_{\text{sed}} = (V_{\text{sed}}) / (T_D \times A)$$

$$\epsilon_{\text{sed}} = 26 \pm 4 \text{ mm.Ka}^{-1}$$

$T_D$  : Edad del dique (landslide)  
 $A$  : Area de la cuenca



## Estimación de la tasa de denudación por nucleídos cosmogénicos

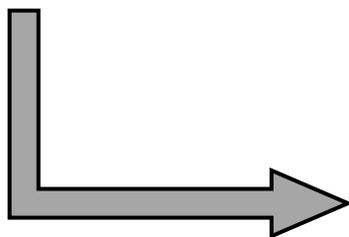
### Muestreo

1 muestra (RP1)

Delta actual de la Laguna Aricota

Canal principal del río

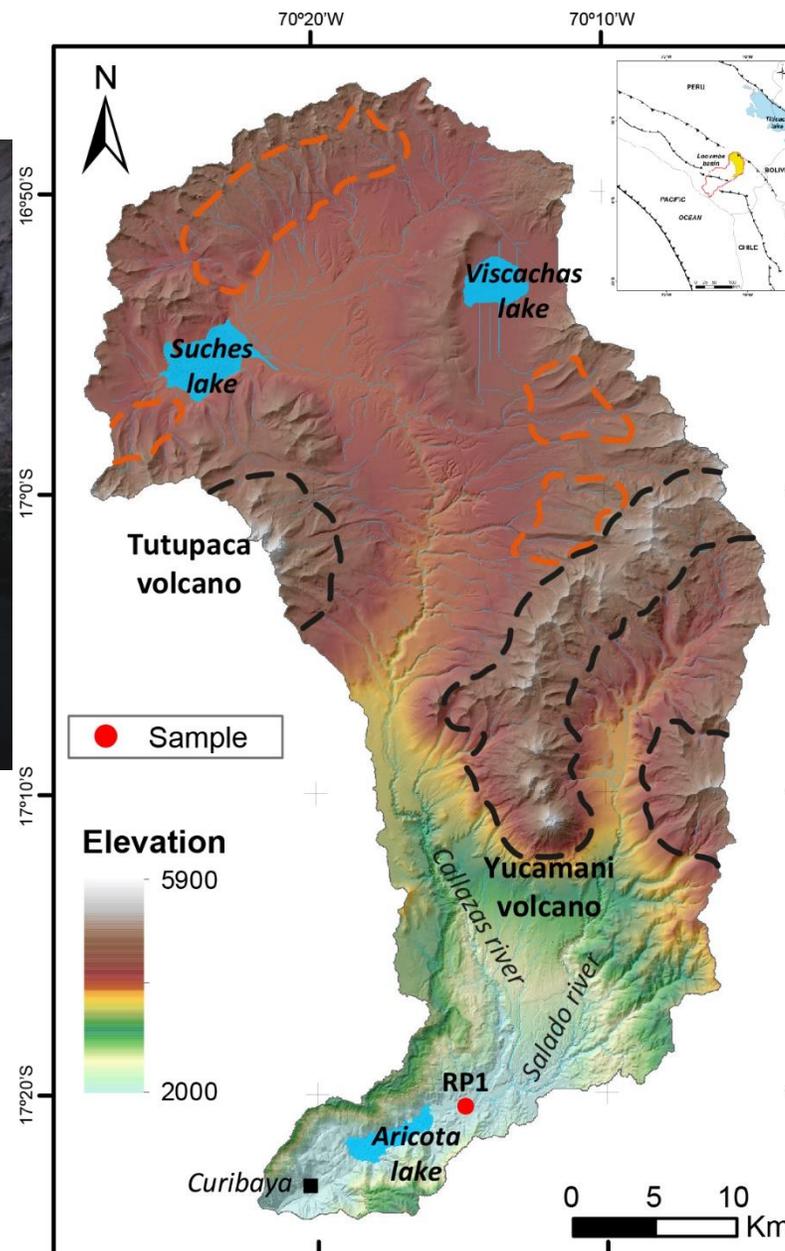
~3 kg de arena colectada



### Preparación de la muestra

(Extracción mecánica – Qz /  
Extracción química del isotopo  $^{10}\text{Be}$  )

Calcular la concentración de  $^{10}\text{Be}$

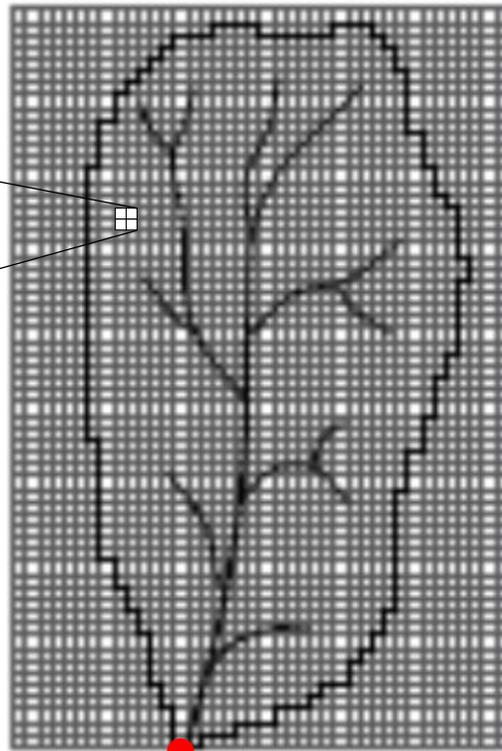
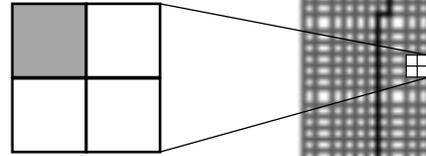


## Estimación de la tasa de denudación usando el método CAIRN

(Mudd et al., 2016)

Cálculo por cada pixel:

- Sheilding topográfico
- Tasa de producción local



Muestra



Parámetros promedios de la cuenca

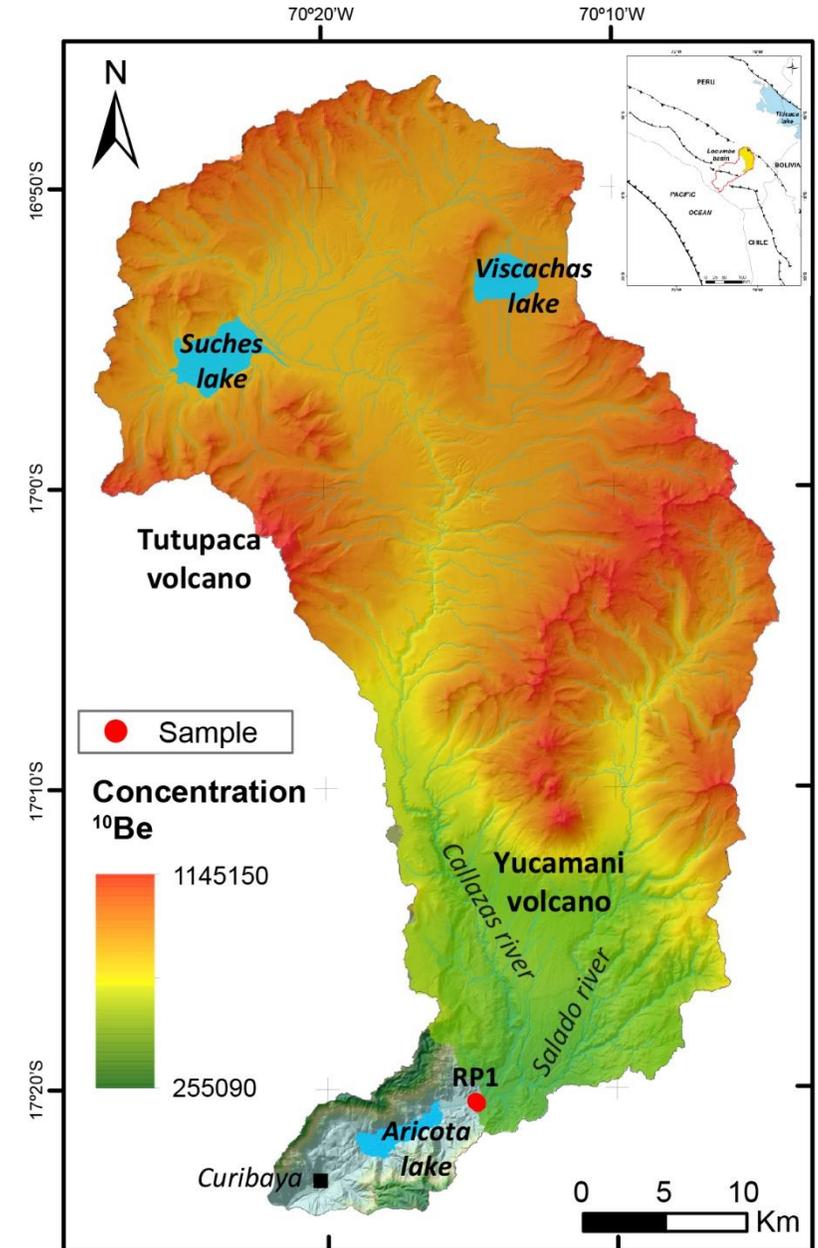
+

“Exposición de tiempo infinito”

+

Concentración  $^{10}\text{Be}$

Denudación promedio =  $39 \pm 7 \text{ mm.Ka}^{-1}$



## DISCUSIÓN

Tasa de Erosión

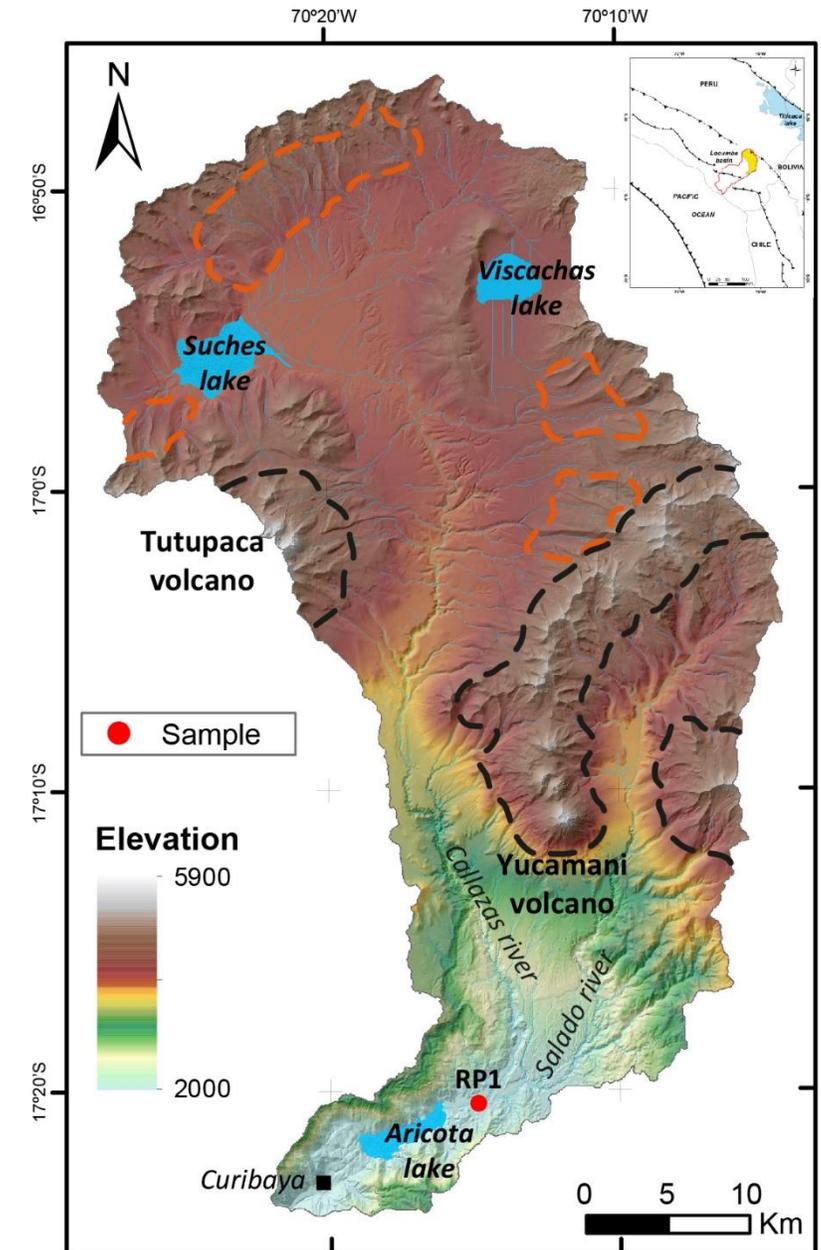
$26 \pm 4 \text{ mm.Ka}^{-1}$

Tasa de Denudación

$39 \pm 7 \text{ mm.Ka}^{-1}$

Los resultados muestran una **correspondencia** considerando 2 sigma de incertidumbre, lo que sugiere que hubo una **influencia mínima** o nula de aporte de sedimentos relacionados con erupciones volcánicas o depósitos asociados a herencia glacial (morrenas).

La tasa de erosión obtenida a partir del volumen de sedimentos acumulados corresponde a la erosión mecánica, y la tasa de denudación deducida de  $^{10}\text{Be}$  integra la erosión mecánica y la disolución química.



## DISCUSIÓN

Los diques no reconocidos pueden tener un impacto significativo en la transferencia de sedimentos.

Reber et al., 2017

Tasa de denudación  
Cuenca Locumba

**$12.5 \pm 3.2 \text{ mm.Ka}^{-1}$**

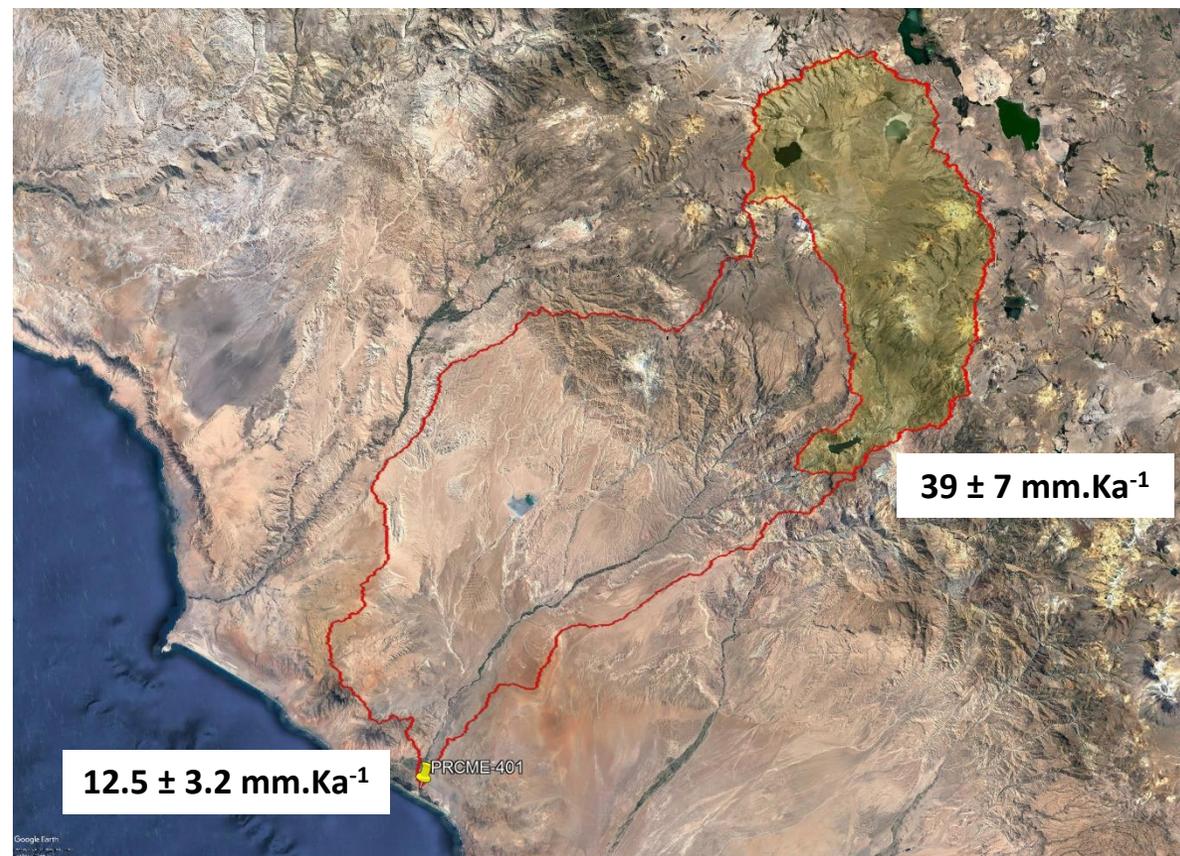
Este estudio.

Tasa de Denudación  
Cuenca Aricota

**$39 \pm 7 \text{ mm.Ka}^{-1}$**

No tomaron en cuenta la presencia del deslizamiento Aricota

Es necesario recalcular el resultado considerando la presencia del dique y el lago.



**Deslizamiento**

Dos eventos

Estudio Paleoclimático en el Altiplano  
 Placzek et al., 2013

Deslizamiento Aricota  
**17.9 ± 0.7 ka**  
**12.1 ± 0.2 ka**

correspondencia

Heinrich 1 (14 - 18 ka)  
 Younger Dryas (11 - 13 ka)

Pero, no podemos descartar un posible detonante sísmico o un evento acoplado **sismo/clima**. Futuras investigaciones dedicadas a descifrar la actividad sísmica local nos ayudaran a aclarar esta incógnita.

**Tasas de Erosión y Denudación**

Sedimentos acumulados Tasa de Erosión

**26 ± 4 mm.Ka<sup>-1</sup>**



Erosión mecánica

<sup>10</sup>Be

Tasa de Denudación

**39 ± 7 mm.Ka<sup>-1</sup>**



Erosión mecánica  
 y  
 Disolución química

## Perspectivas:

- Mejorar el cálculo de la porosidad del sedimento acumulado mediante mediciones in situ.
- Extraer un testigo de la laguna para determinar la variación del ingreso de sedimentos desde 18 ka.
- Evaluar la influencia de la disminución del nivel del lago en los últimos 50 años (debido al bombeo de la planta hidroeléctrica) en la evolución del paisaje (por ejemplo, incisión del delta y removilización de los sedimentos).

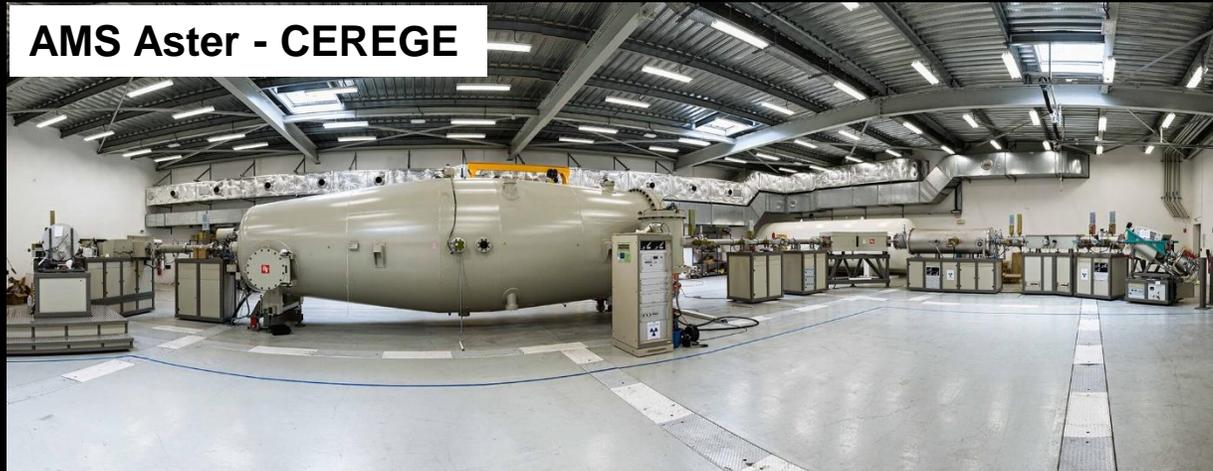
1956 - - - ▶ Hidroeléctrica



**ISTerre**



**AMS Aster - CEREGE**



**Gracias ...**