

# BALANCE HÍDRICO

Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna



**Dr. Esteban Tálamo**  
*Geólogo*



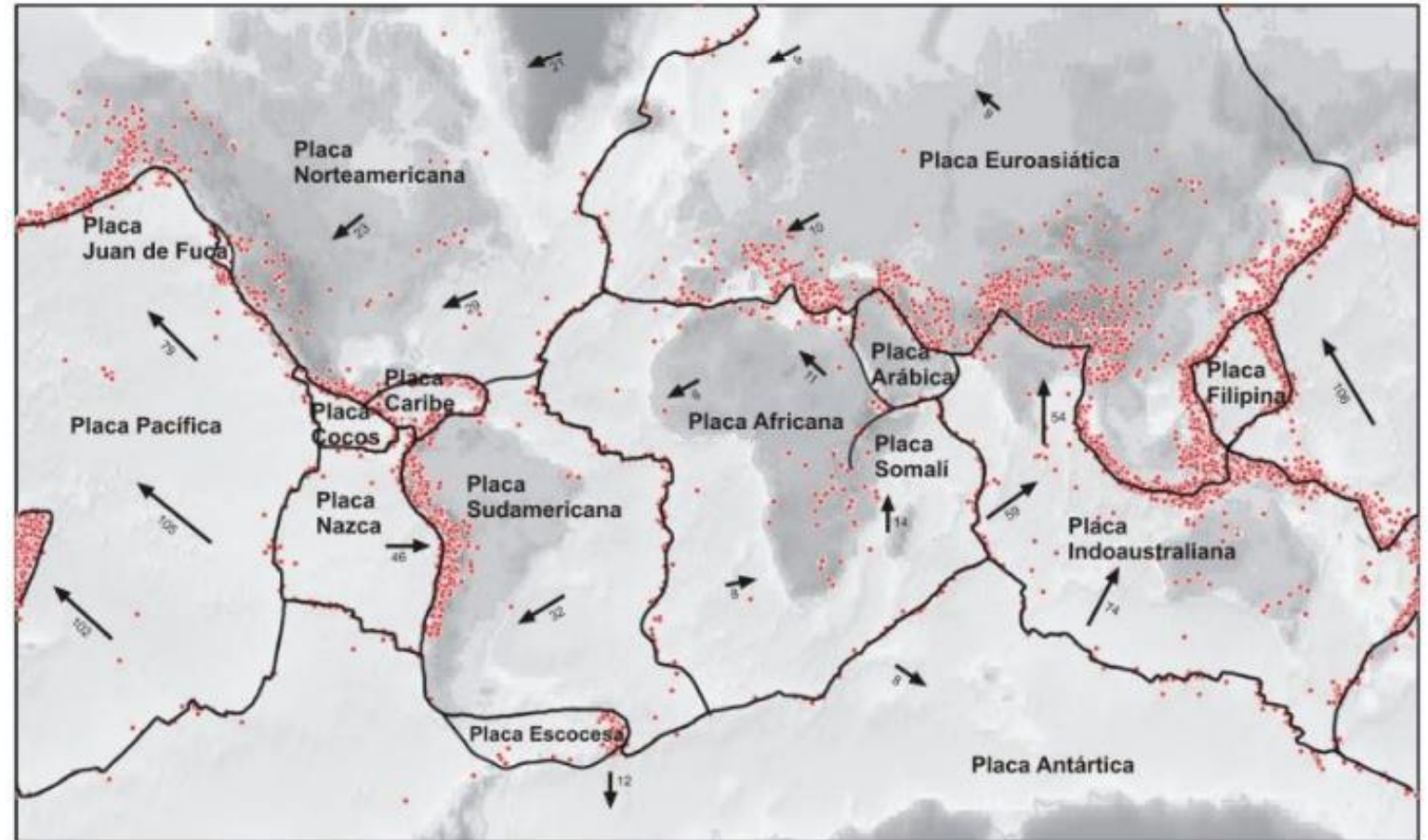
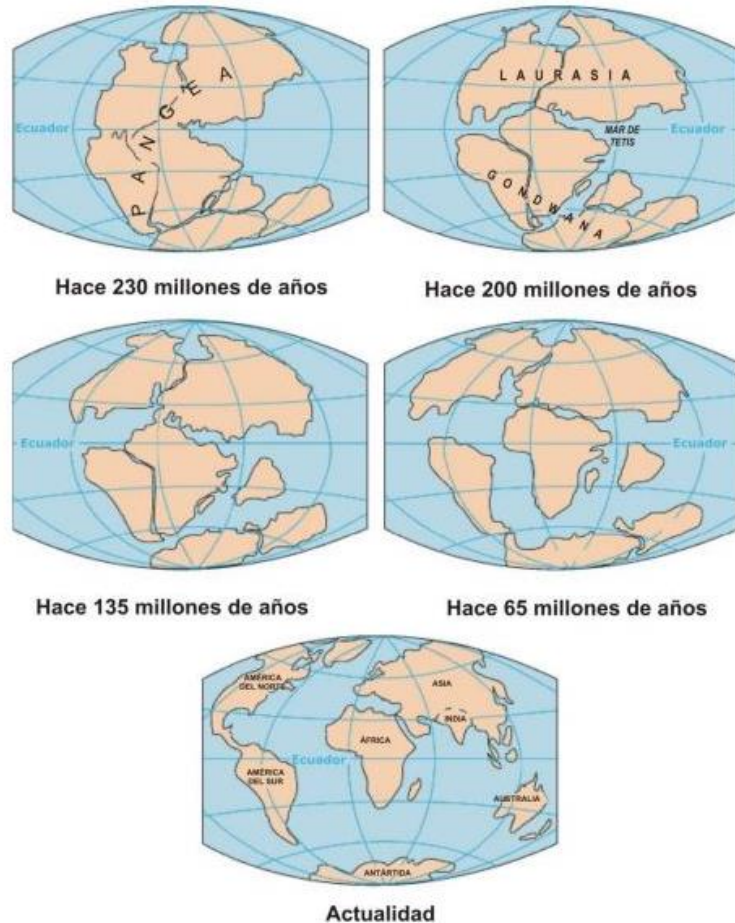
Facultad de Tecnología  
y Ciencias Aplicadas

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE CATAMARCA

1. Salar de Antofalla, Catamarca, Argentina

# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

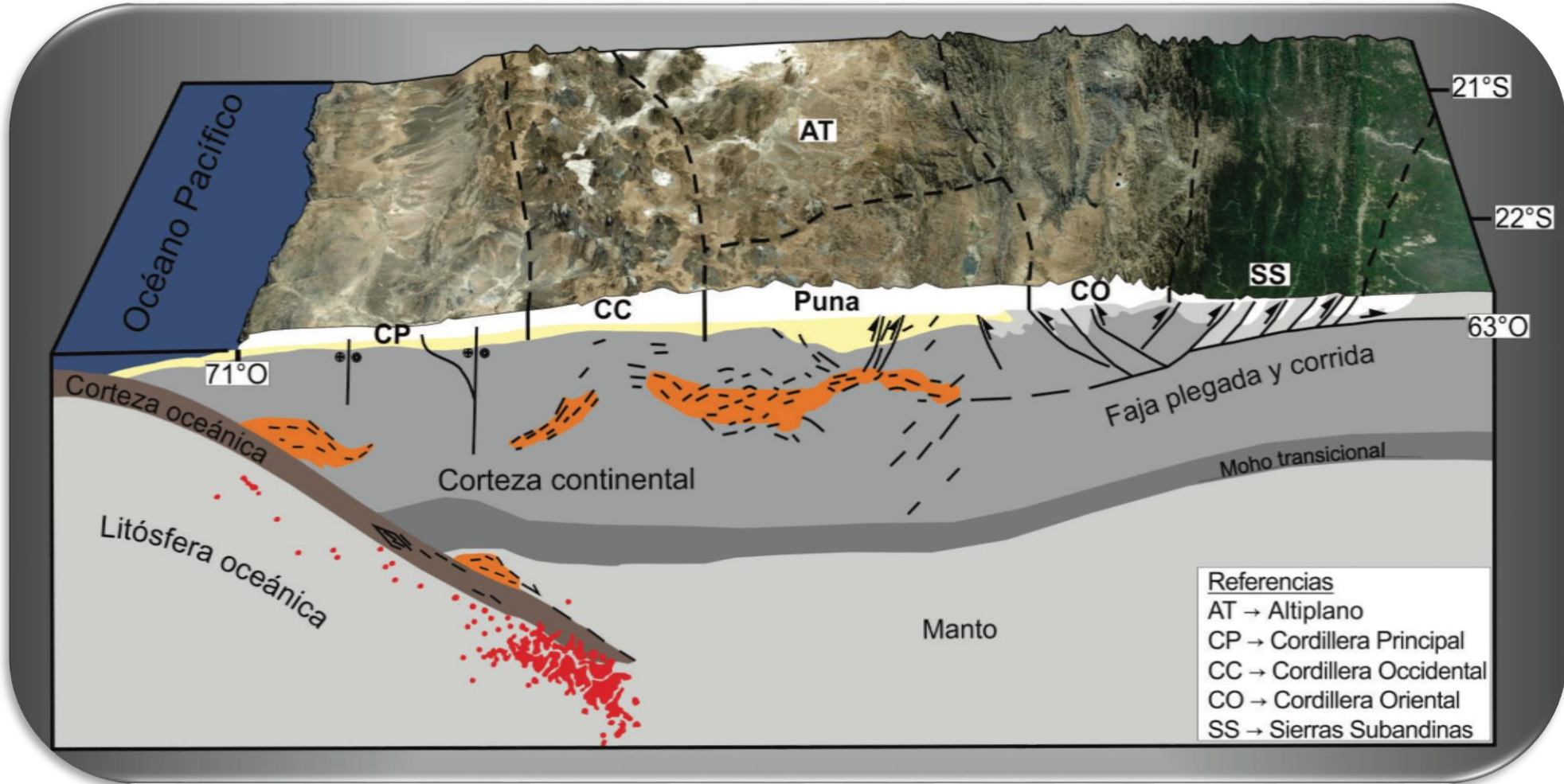
## MARCO TECTÓNICO



**En términos generales el planeta tiene la misma cantidad de agua desde hace 4500 millones de años !!!**

# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

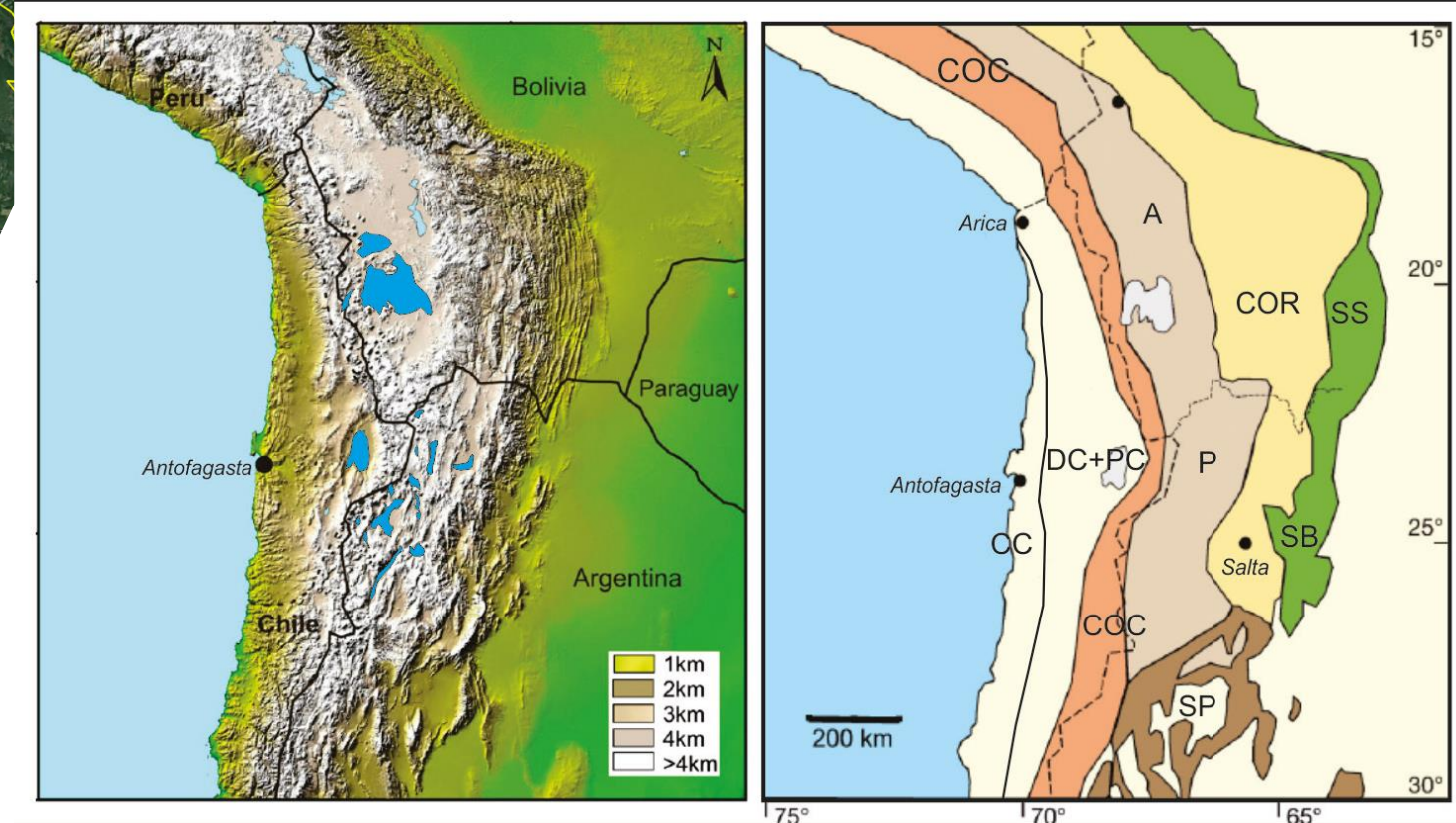
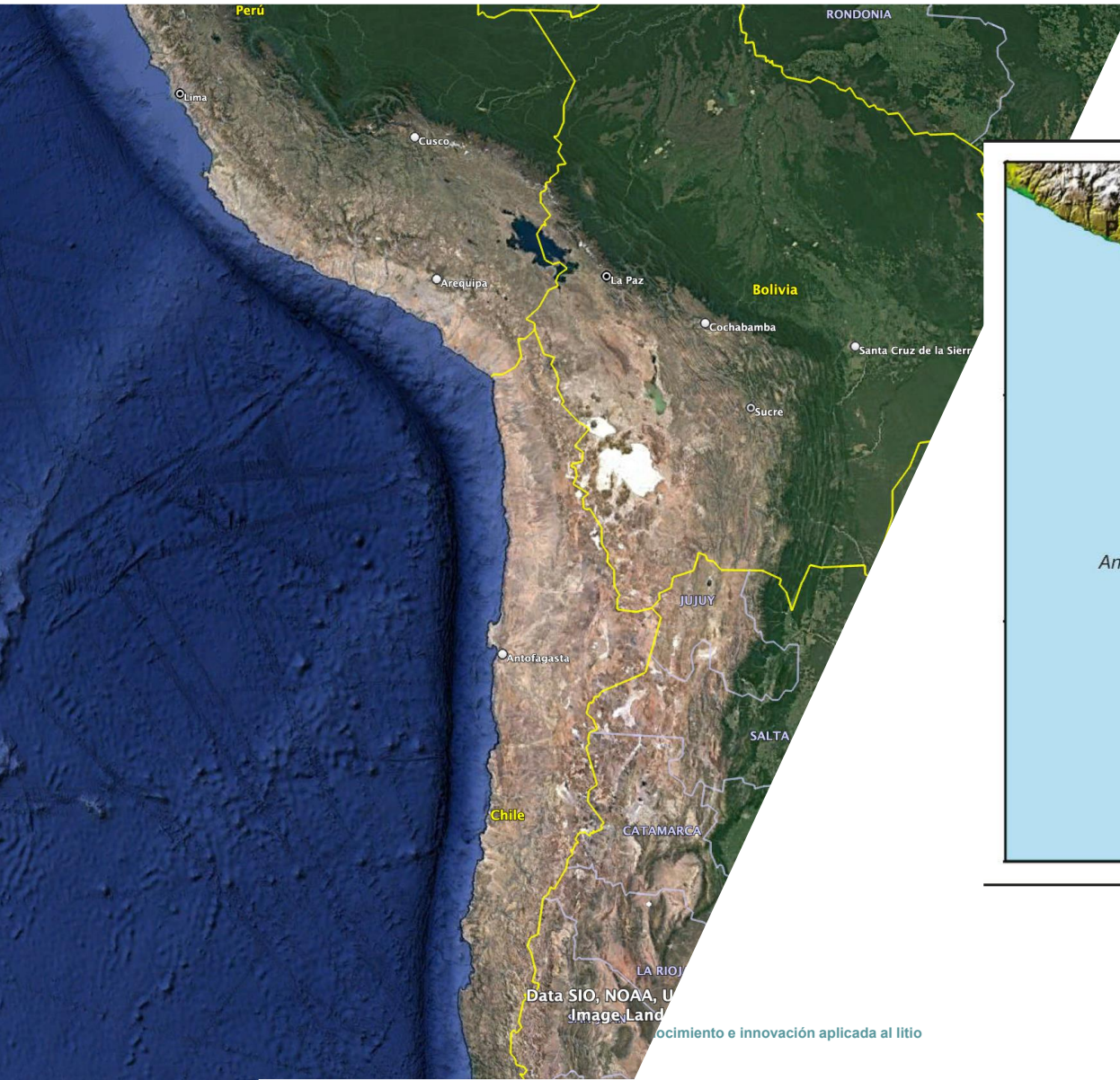
## MARCO TECTÓNICO



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

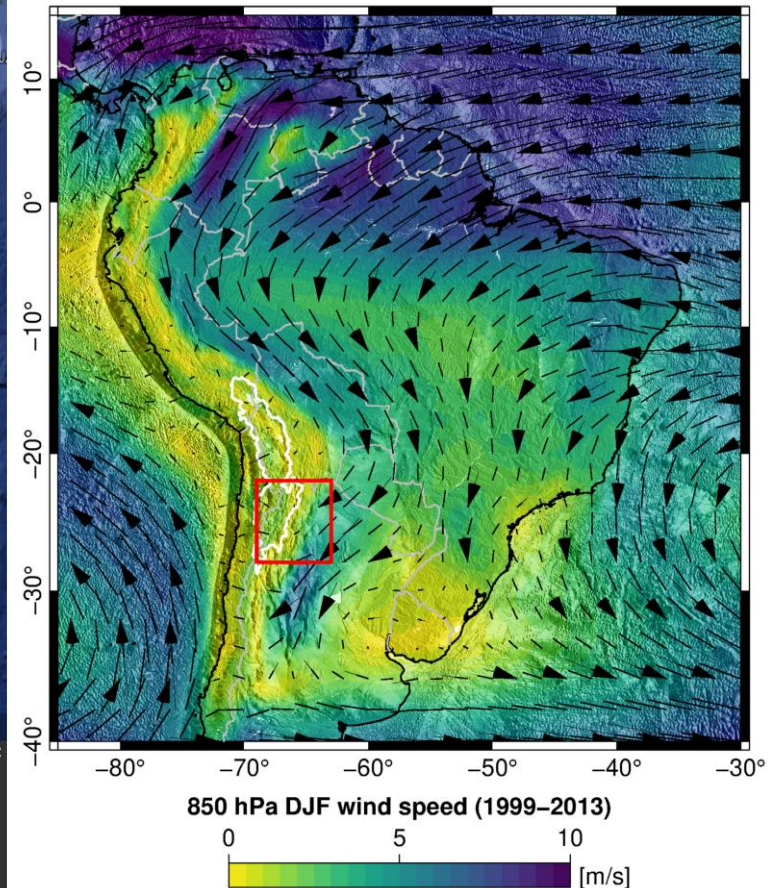
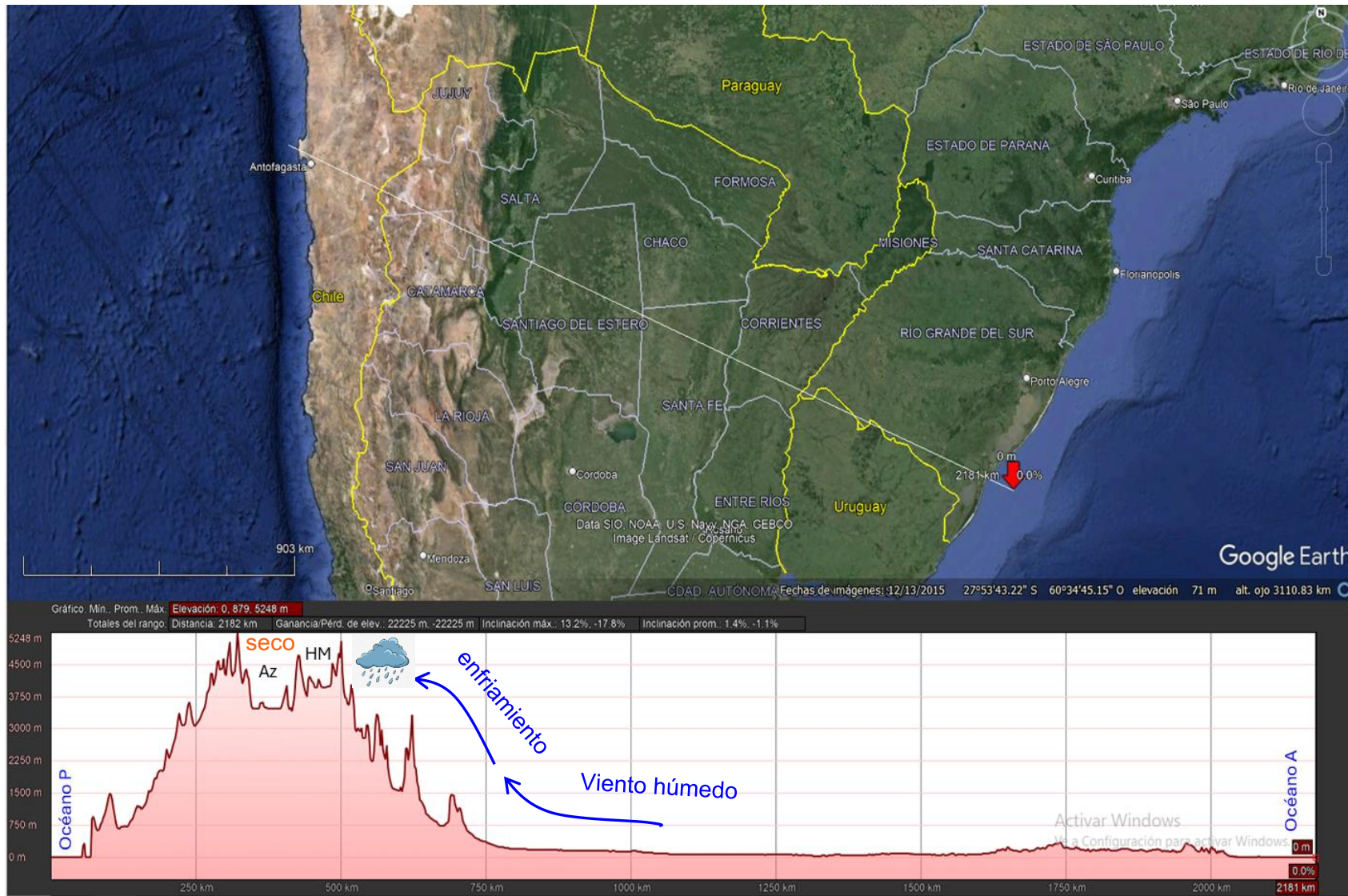
## GEOLOGÍA REGIONAL

(Zappettini, 2017).



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## LA PUNA, SU RELIEVE Y SU CLIMA



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## LA PUNA Y SU CLIMA



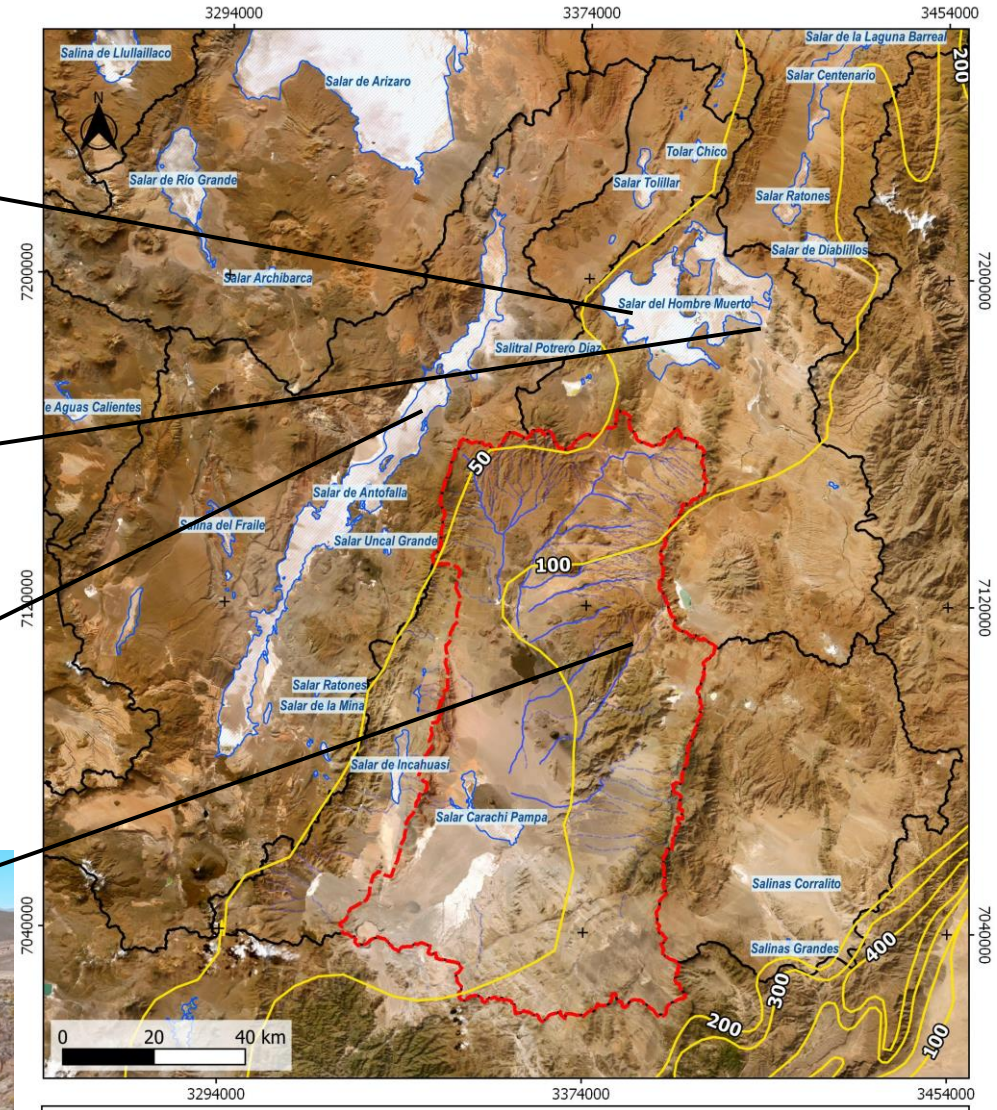
El clima de la Puna corresponde a la categoría de **Desierto** (climas áridos o hiperáridos), según el Índice de Martonne (1926).

- Se caracteriza por la marcada aridez, una notable amplitud térmica diaria, la diafanidad del cielo y las constantes ráfagas de viento.
- la temperatura media anual es de 5,3 °C y la humedad relativa, extremadamente baja.
- La cantidad y distribución de precipitaciones líquidas disminuyen notablemente de norte a sur y de este a oeste, determinando láminas de 50 a 150 mm/año.
- El proceso atmosférico más importante que ocurre en el ambiente de la Puna Argentina, es la evaporación, con valores que varían entre 2.000 y 2.500 mm/año.

## DÉFICIT HÍDRICO

# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

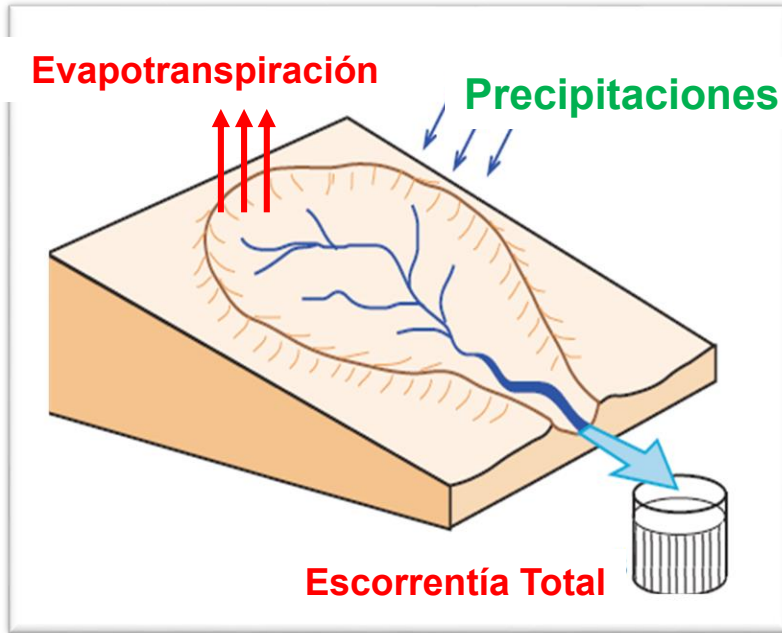
## LA PUNA, SU CLIMA Y SU OFERTA HÍDRICA



Mapa de Isohietas media anual (modificado de Bianchi, 2006)  
 en Conhidro 2023

# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## INGRESOS Y EGRESOS DE AGUA EN UNA CUENCA



$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Cambio de Almacenamiento}$$

$$P - R - E - T - G = \Delta S$$

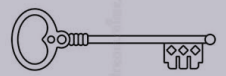
P: Precipitaciones  
R: Escurrimiento sup.  
E: Evaporación

T: Transpiración  
G: Escurrimiento Subterráneo  
S: Almacenamiento

El **Almacenamiento ( $\Delta S$ )** considera el volumen de agua almacenada (en acuíferos, nieve, embalses, etc.). en el momento inicial del período considerado (año hidrológico).

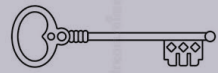
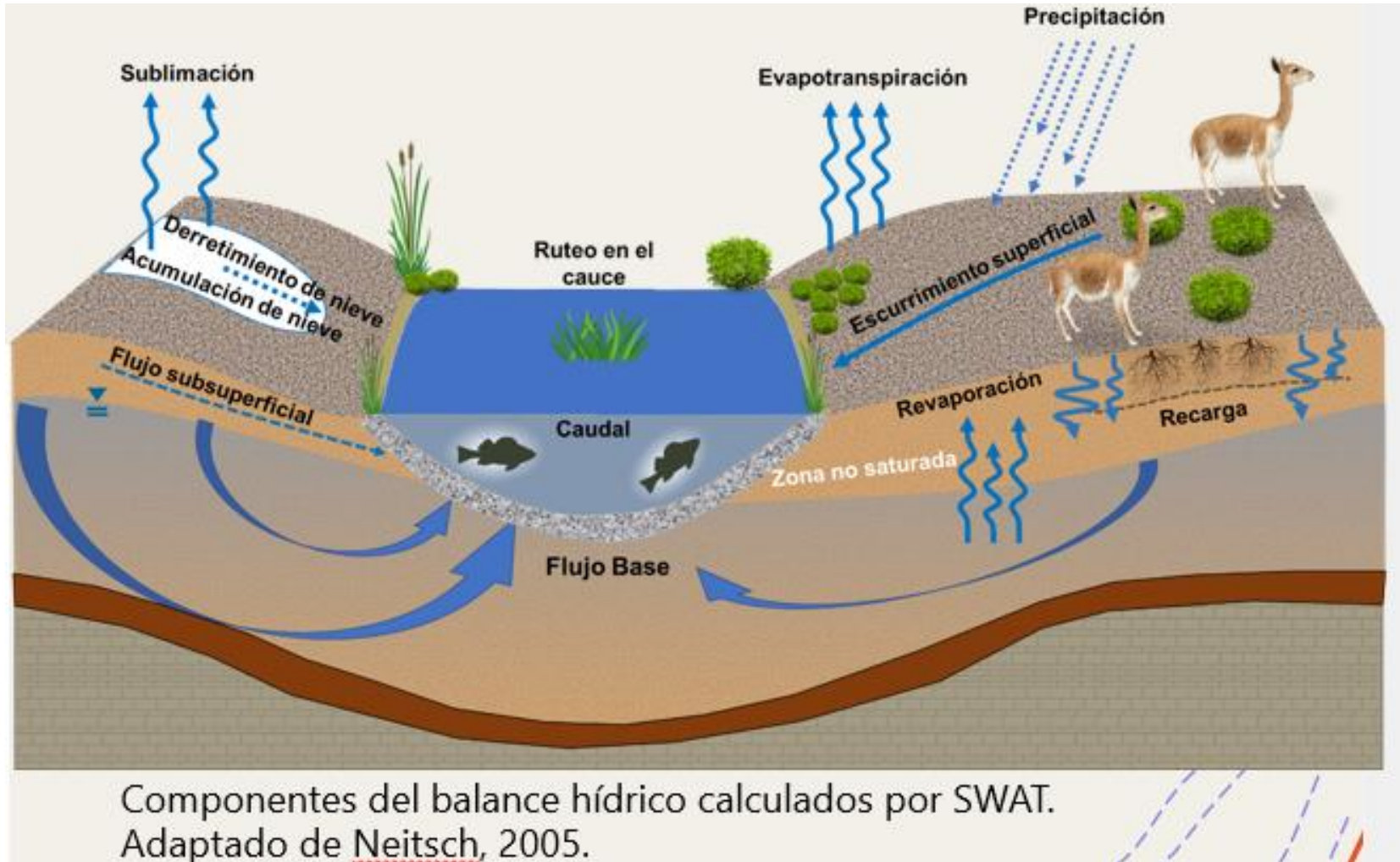
Ahora, si se considera un balance en un períodos de tiempo mayor (20 años) la ecuación del balance global puede simplificarse de la siguiente forma:

$$\text{Precipitaciones} = \text{Evapotranspiración} + \text{Escorrentía Total}$$



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

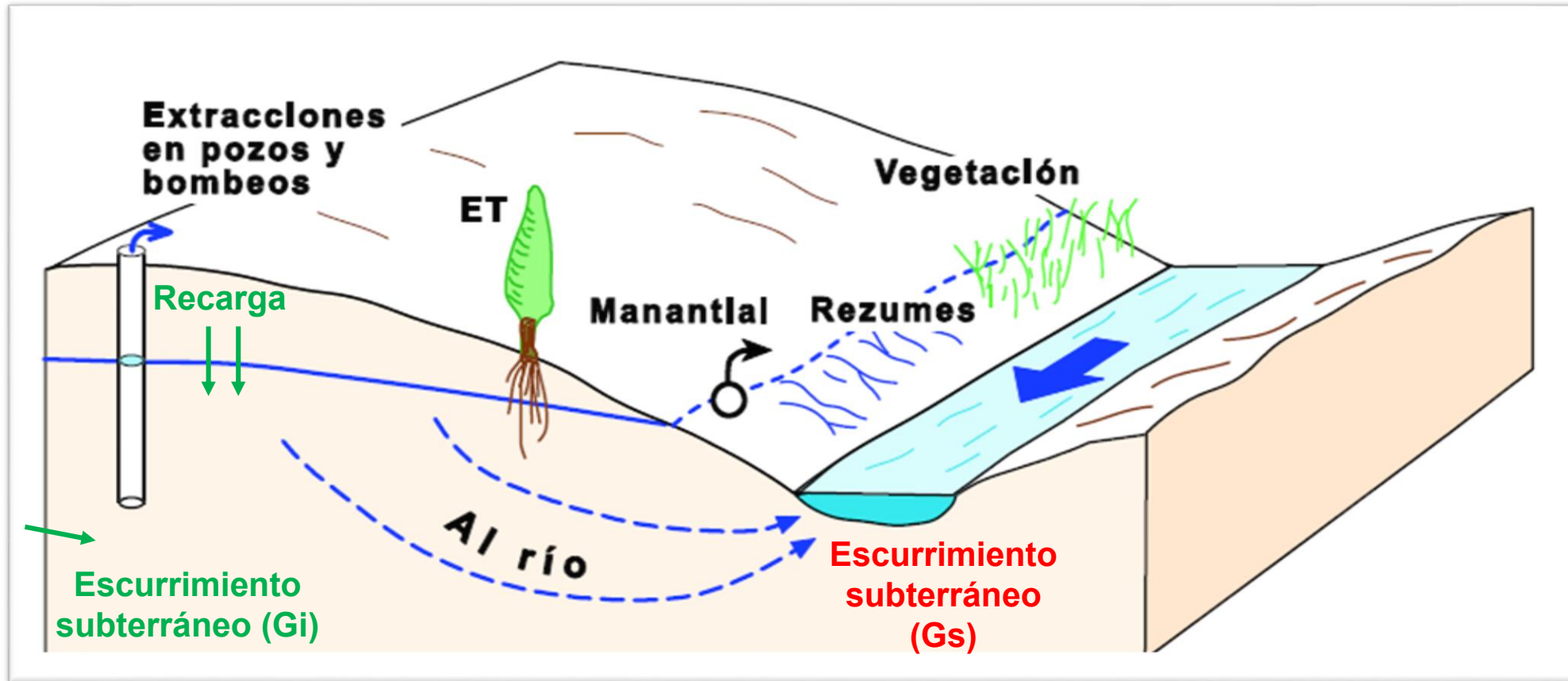
## BALANCE DE UN SISTEMA HIDROLÓGICO



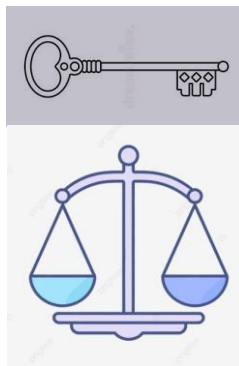
# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## BALANCE DE UN ACUÍFERO

$$\text{Recarga} + G_i = \text{Man.} + \text{ET} + \text{Bomb.} + G_s$$

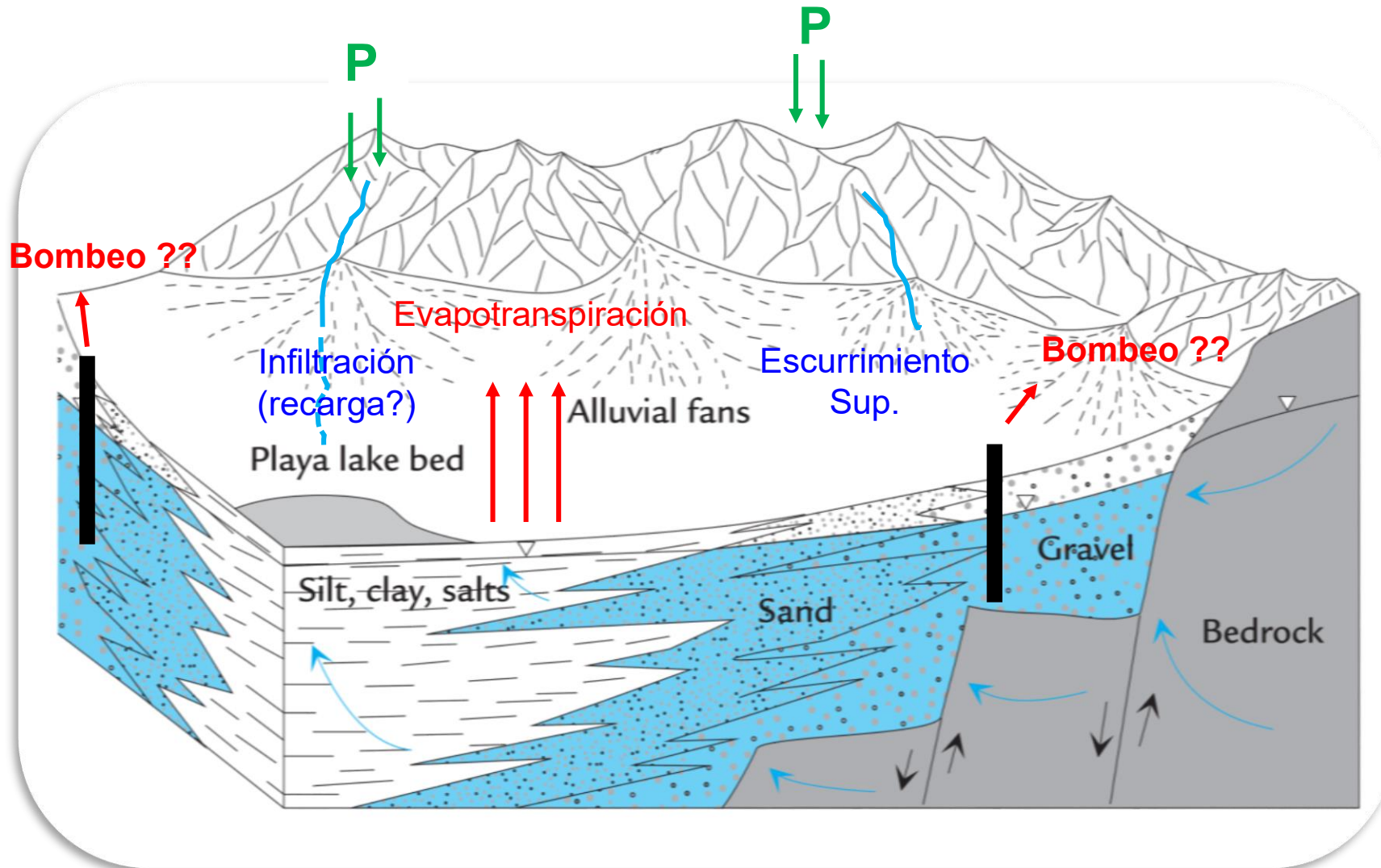


Modificado de Javier Sánchez San Román – Univ. de Salamanca (España)

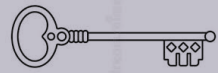


# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## BALANCE DE UN SISTEMA ACUÍFERO (SALAR)



**Debemos establecer qué vamos a balancear !!!!!**

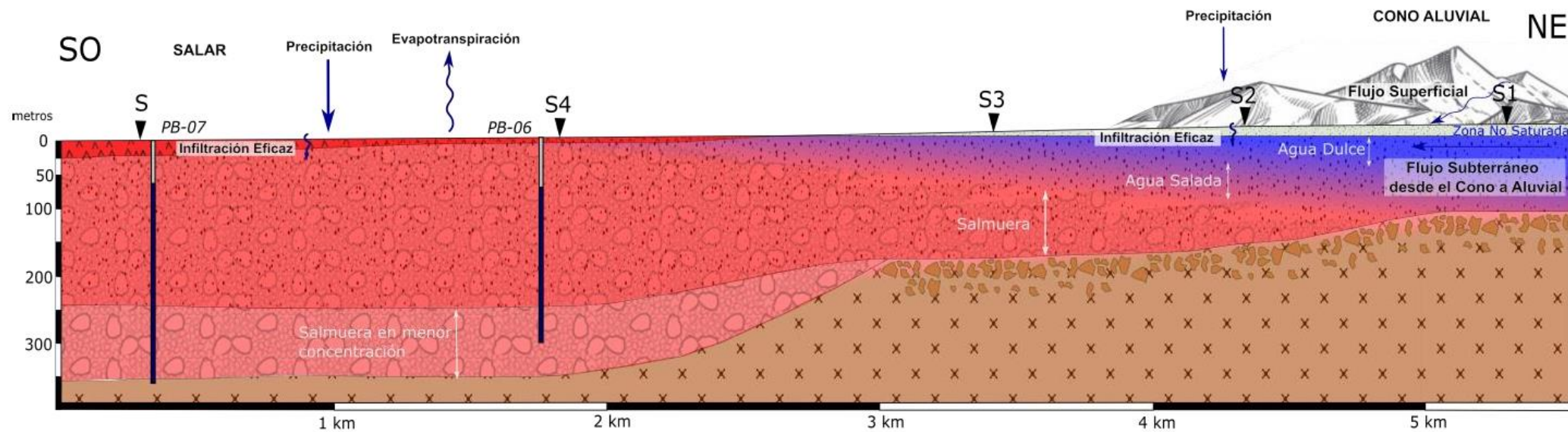


# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

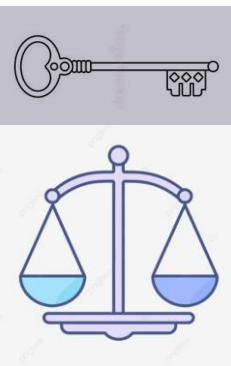
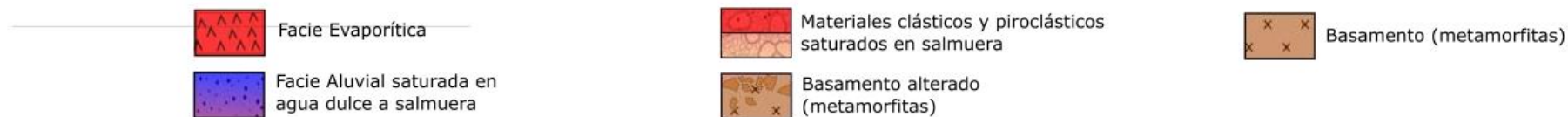
## BALANCE DE UN SISTEMA ACUÍFERO (SALAR)

Debemos establecer qué vamos a balancear !!!!!

Debemos elaborar un MODELO CONCEPTUAL



### REFERENCIAS



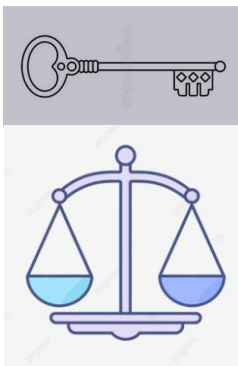
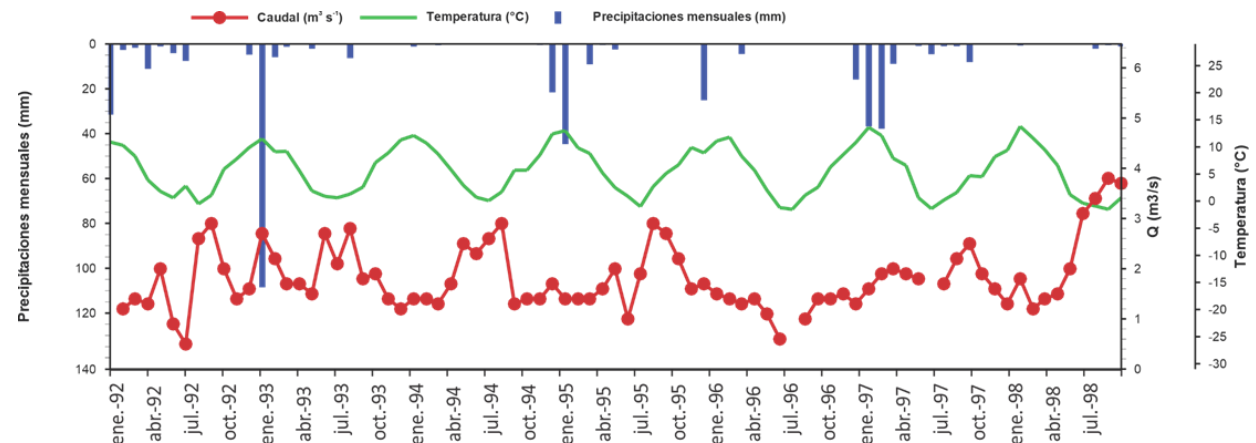
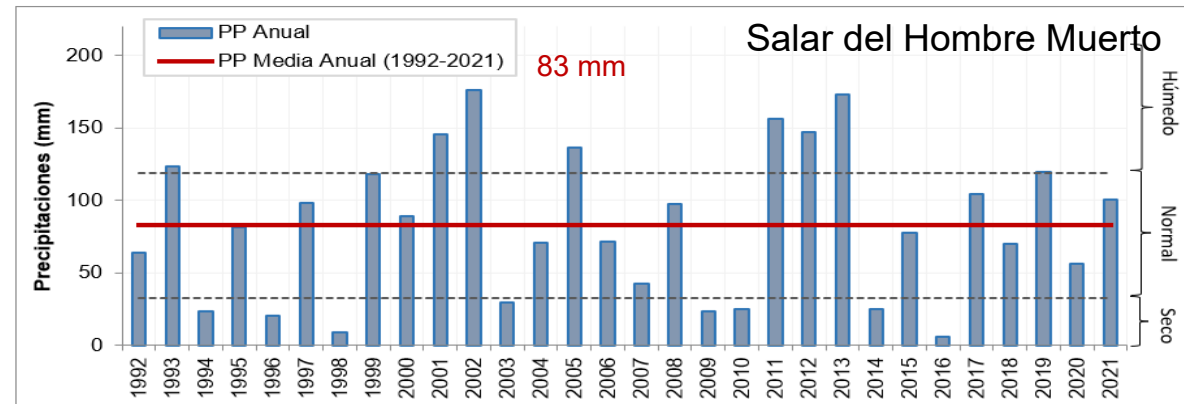
# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## VARIABILIDAD DE LOS PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA ECUACIÓN DEL BALANCE

Debemos asumir los cambios en los procesos que intervienen en el balance global (temperatura - precipitaciones – escurrimientos superficiales -evapotranspiración – recarga – etc.) -

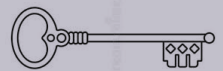
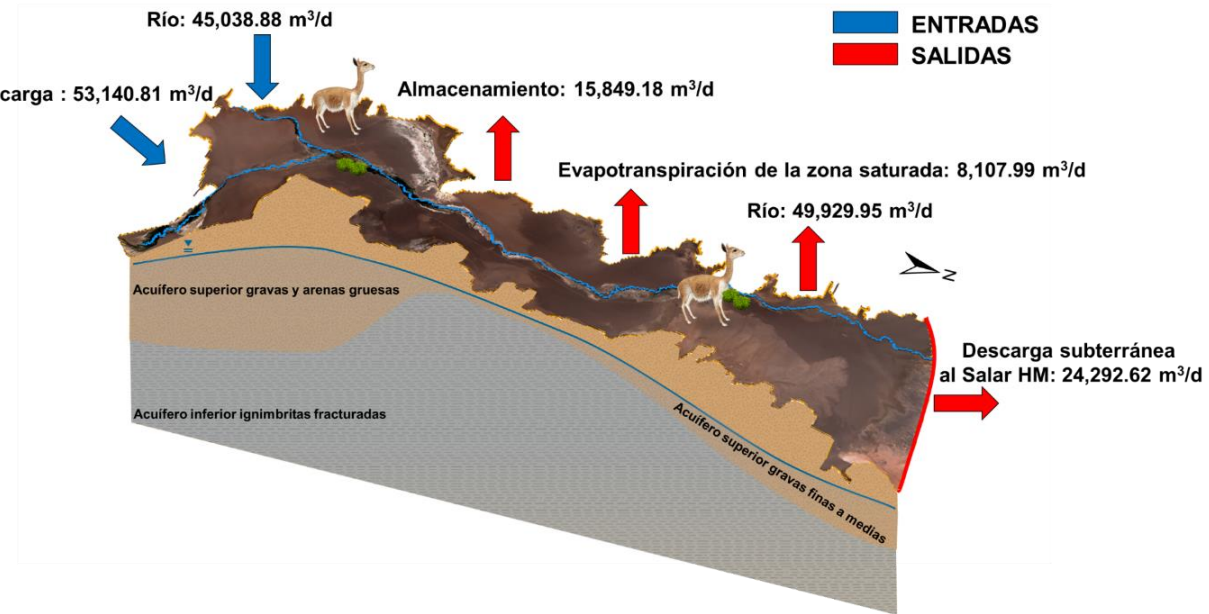
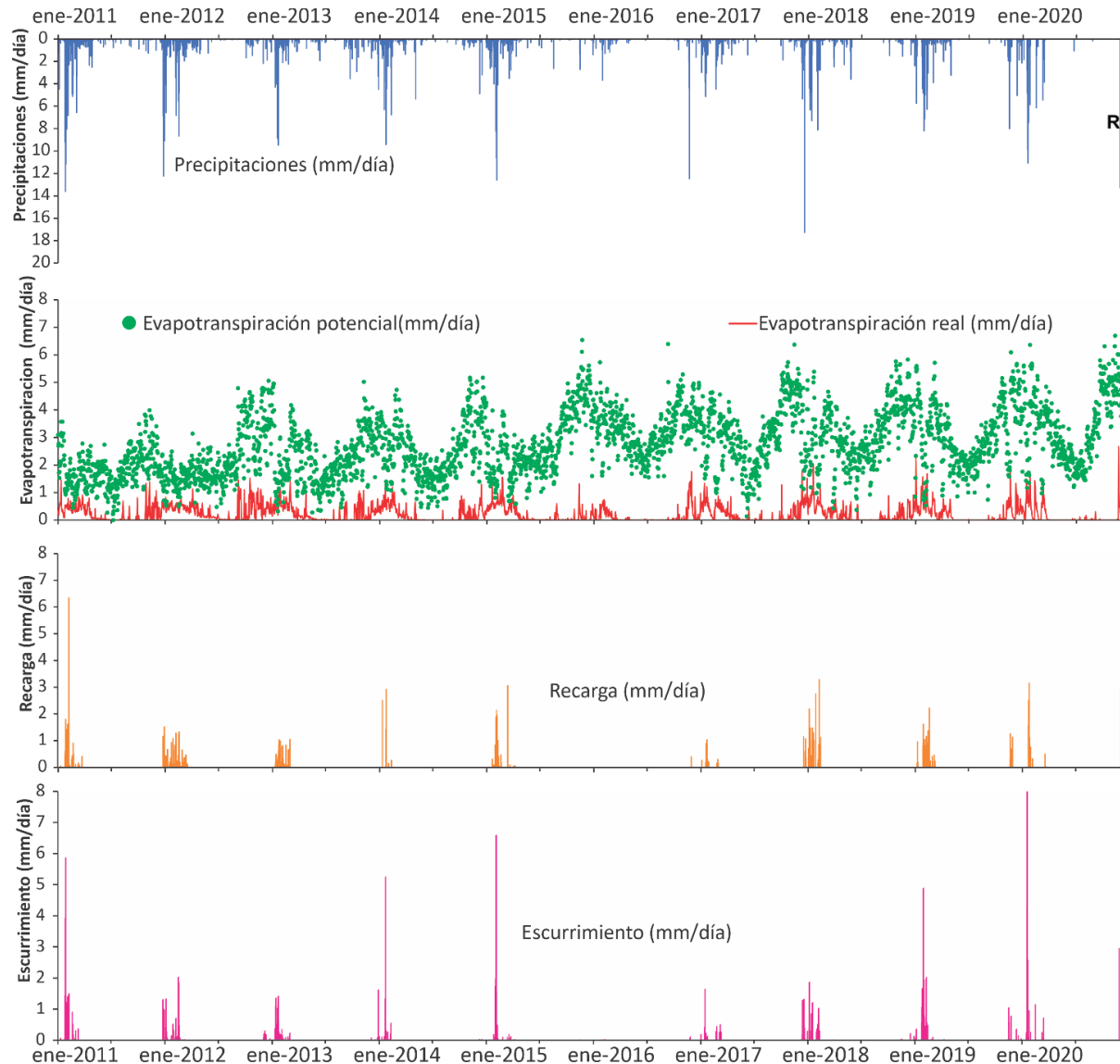
Estos cambios podrán ser tanto de origen natural, como de influencia antrópica:

(Fenómeno del Niño y la Niña, Cambio climático, Calentamiento Global, etc.)



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## VARIABILIDAD DE LOS PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA ECUACIÓN DEL BALANCE

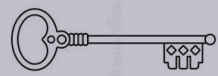
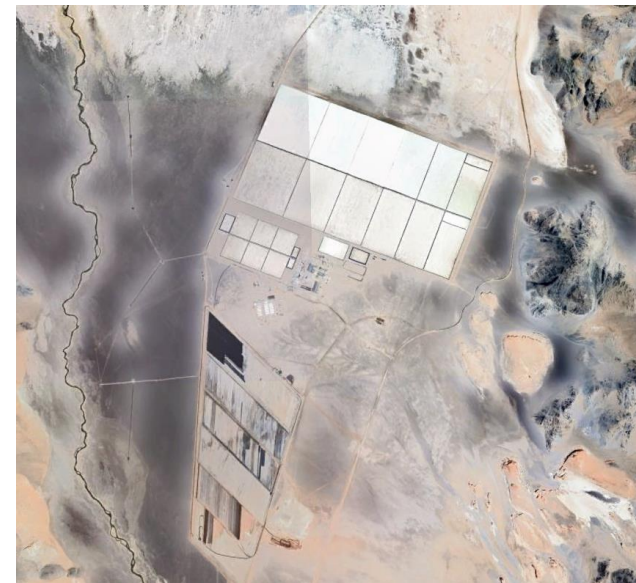


# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## VARIABILIDAD DE LOS PROCESOS QUE INTERVIENEN EN LA ECUACIÓN DEL BALANCE

**Debemos incluir los cambios generados por el hombre:**

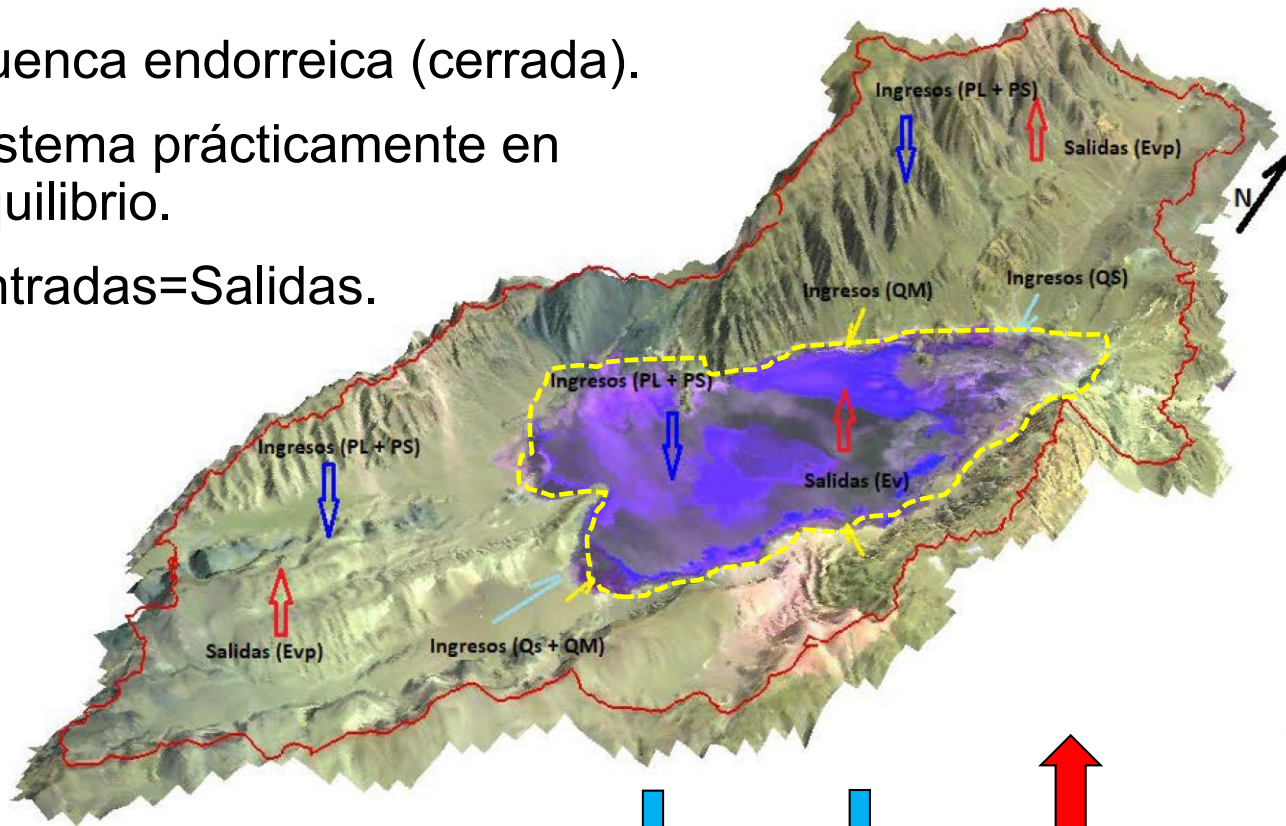
- Bombeo de agua dulce
- Bombeo de salmueras
- Modificación de la superficie de evaporación
- Represamiento de cursos fluviales, etc.



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## BALANCE DE UN SALAR EN CONDICIONES NATURALES

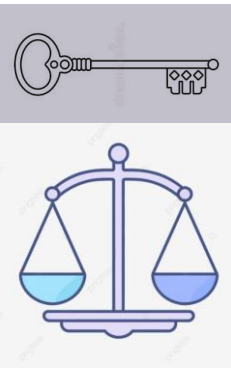
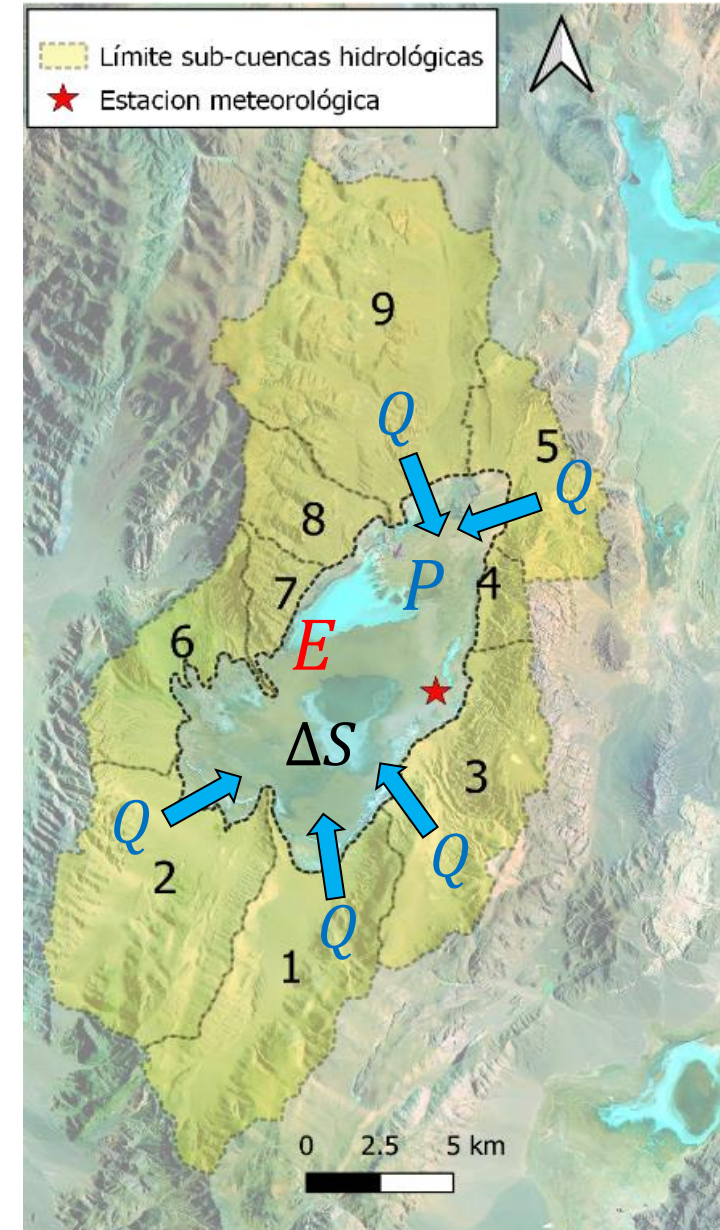
- Cuenca endorreica (cerrada).
- Sistema prácticamente en equilibrio.
- Entradas=Salidas.



$$\Delta S = P + Q - E$$

almacenamiento agua  $\Delta S$  = lluvia  $P$  + Escorrentía total  $Q$  - evaporación  $E$

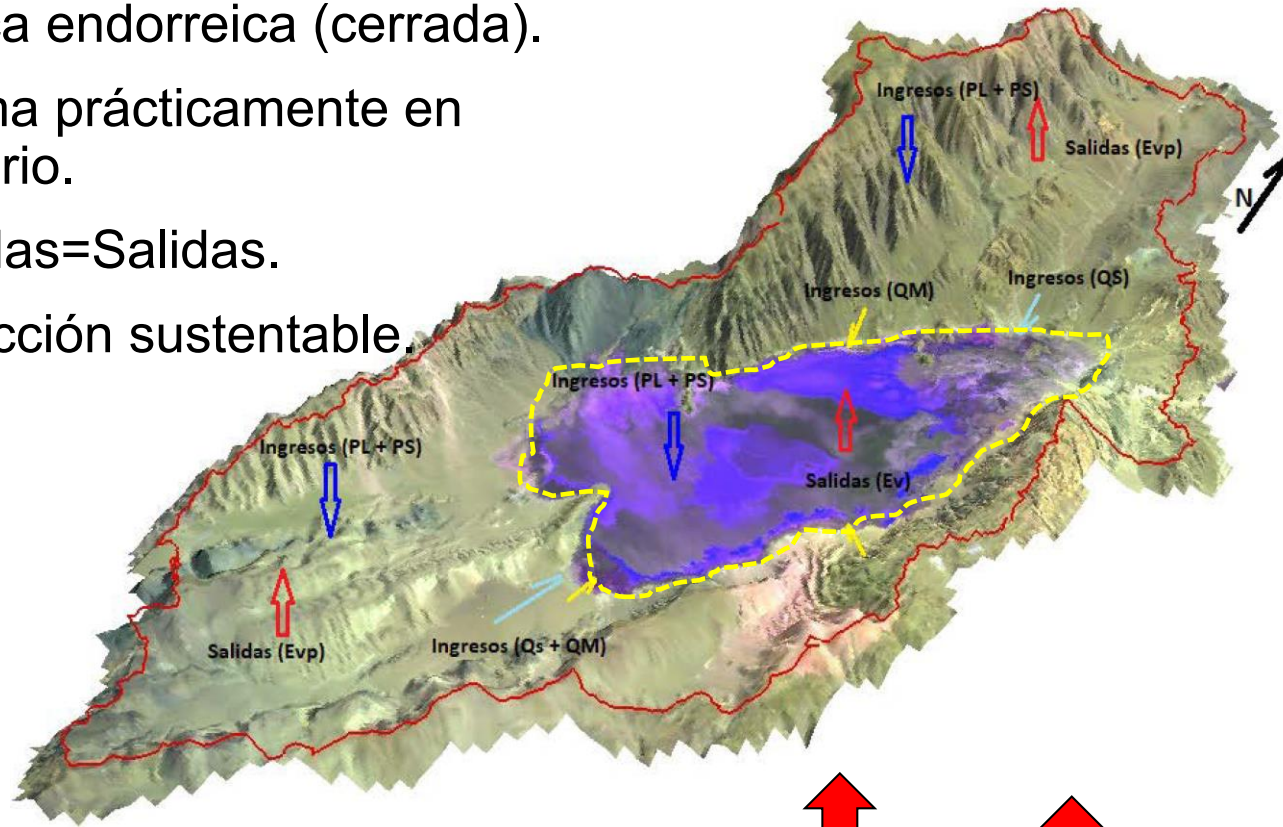
Dr. Sergio A. Bea



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

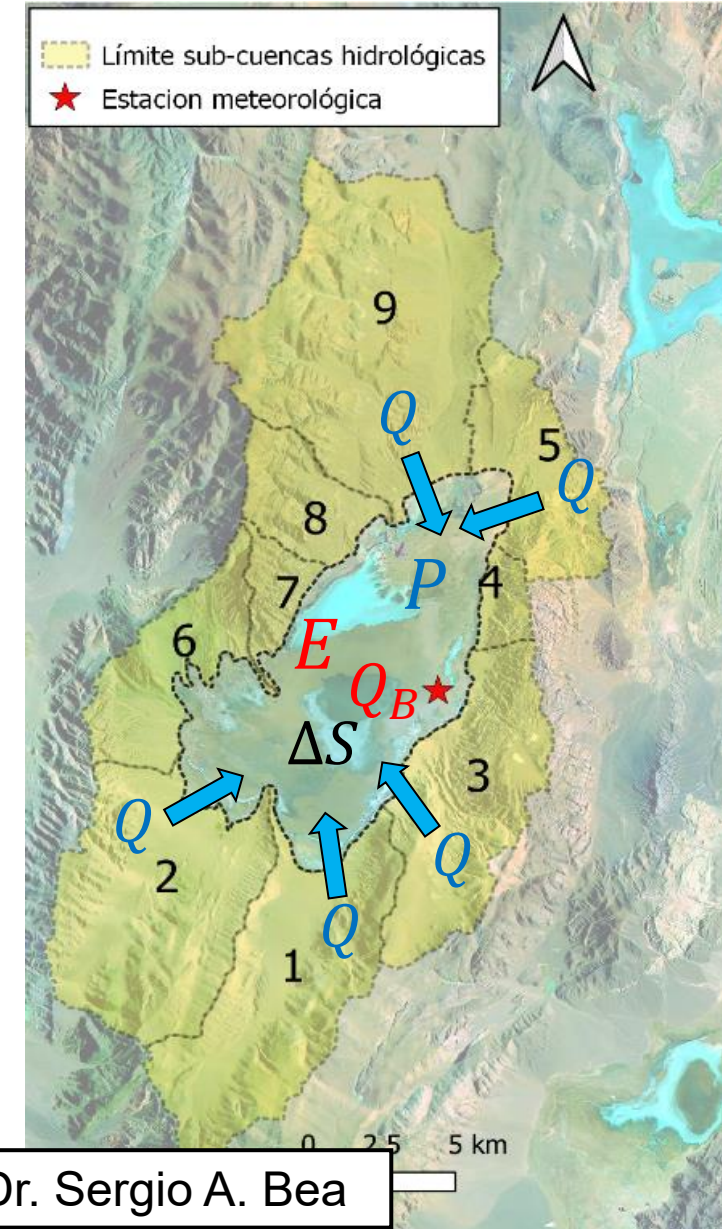
## BALANCE DE UN SALAR EN PRODUCCIÓN

- Cuenca endorreica (cerrada).
- Sistema prácticamente en equilibrio.
- Entradas=Salidas.
- Producción sustentable.

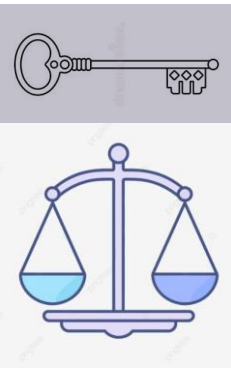


$$\Delta S = P + Q - E - Q_B$$

almacenamiento agua    lluvia    arroyos    evaporación    bombeo



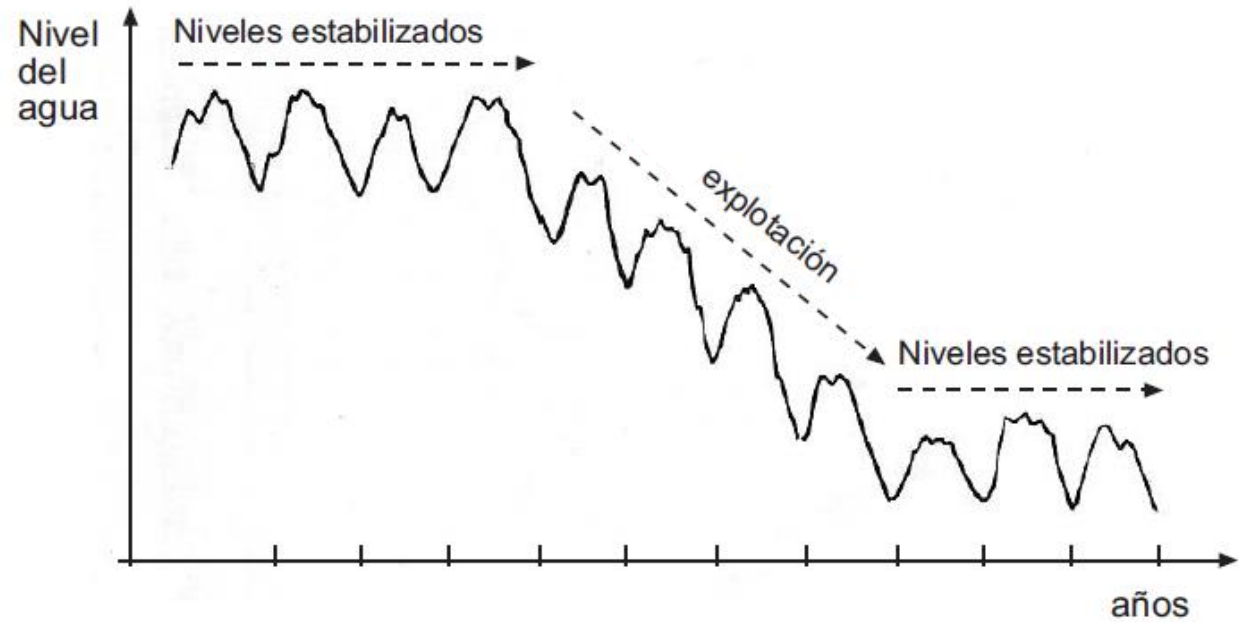
Dr. Sergio A. Bea



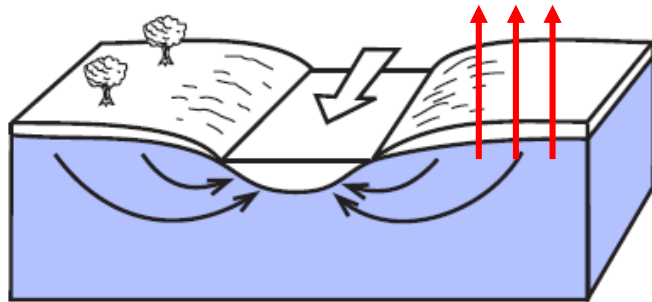
# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## BALANCE DE UN SISTEMA HÍDRICO EN PRODUCCIÓN

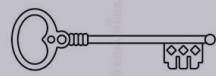
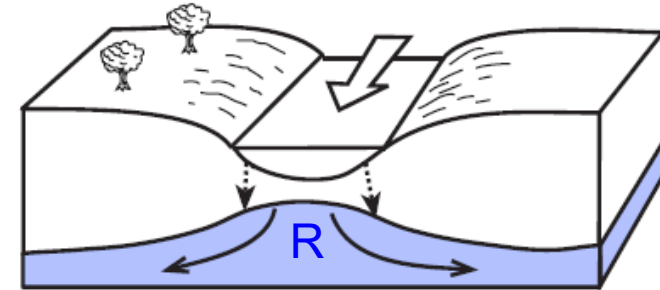
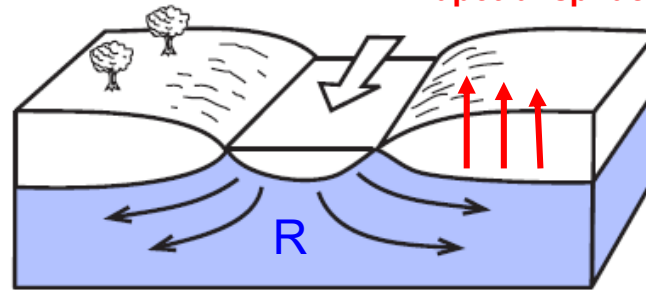
Una explotación intensiva inicial puede provocar un **equilibrio diferente**, ya que se puede disminuir la EvTP, incrementar la infiltración y generar recarga ( $R$ ) de acuíferos desde cursos fluviales o cuerpos superficiales.



Evapotranspiración



Evapotranspiración



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## BALANCE HÍDRICO Y AMBIENTE

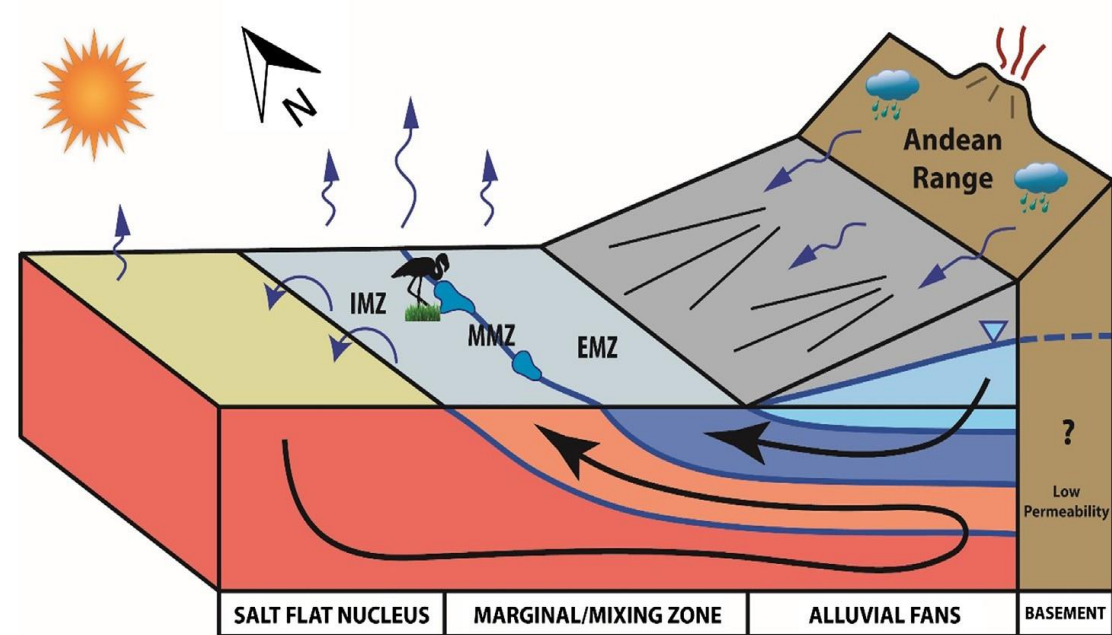
## Cambios por acciones antrópicas

La industria del Litio extrae la salmuera portadora del metal **y requiere de agua dulce para sus procesos industriales.**

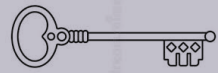
¿Dónde analizo el impacto del uso de recursos hídricos?..... ¿En la periferia o en el propio salar?

¿Estoy evaluando el agua dulce, el agua salada o la salmuera?

¿qué ecosistemas tengo asociado en cada caso?

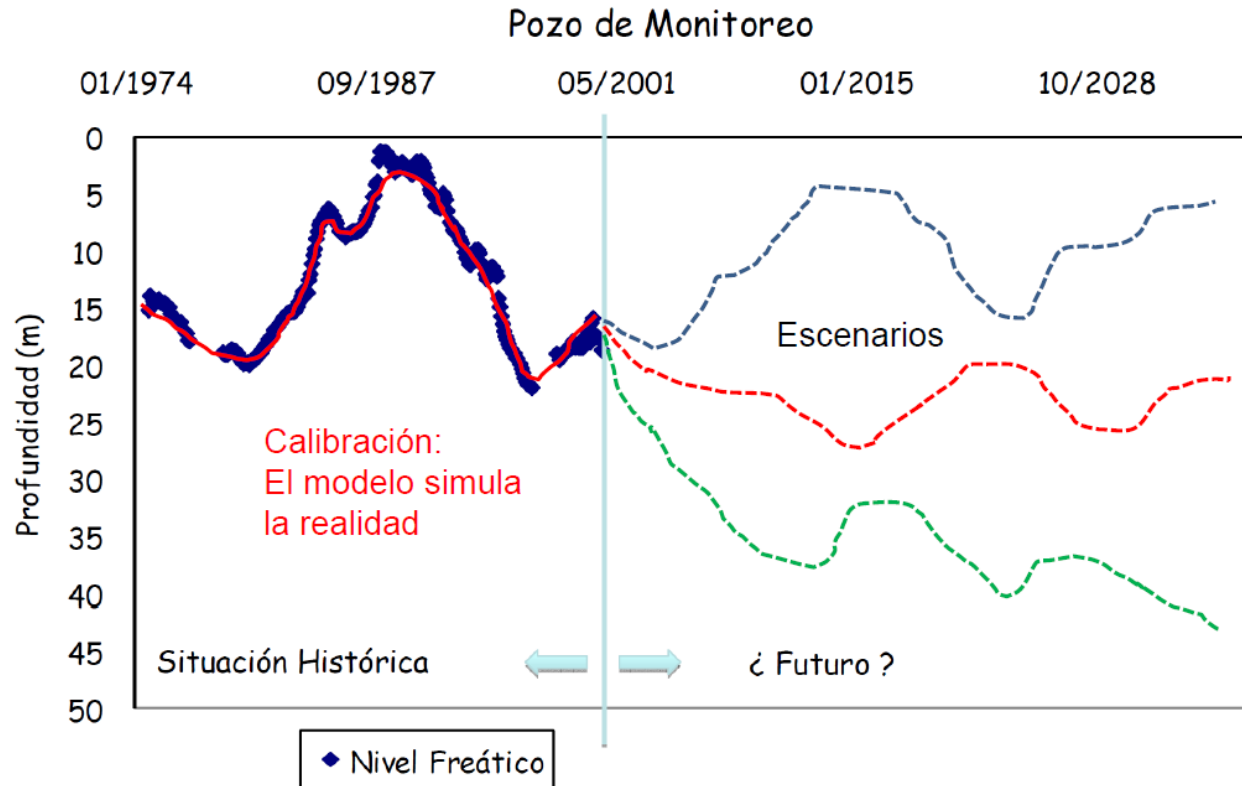


M.A. Marazuela<sup>un,b,c,\*</sup>, E. Vázquez-Suñé<sup>un</sup>, E. Custodia<sup>b,d</sup>, T. Palma<sup>un,b,c</sup>, A. García-Gil<sup>e</sup>, C. Ayora<sup>un</sup>

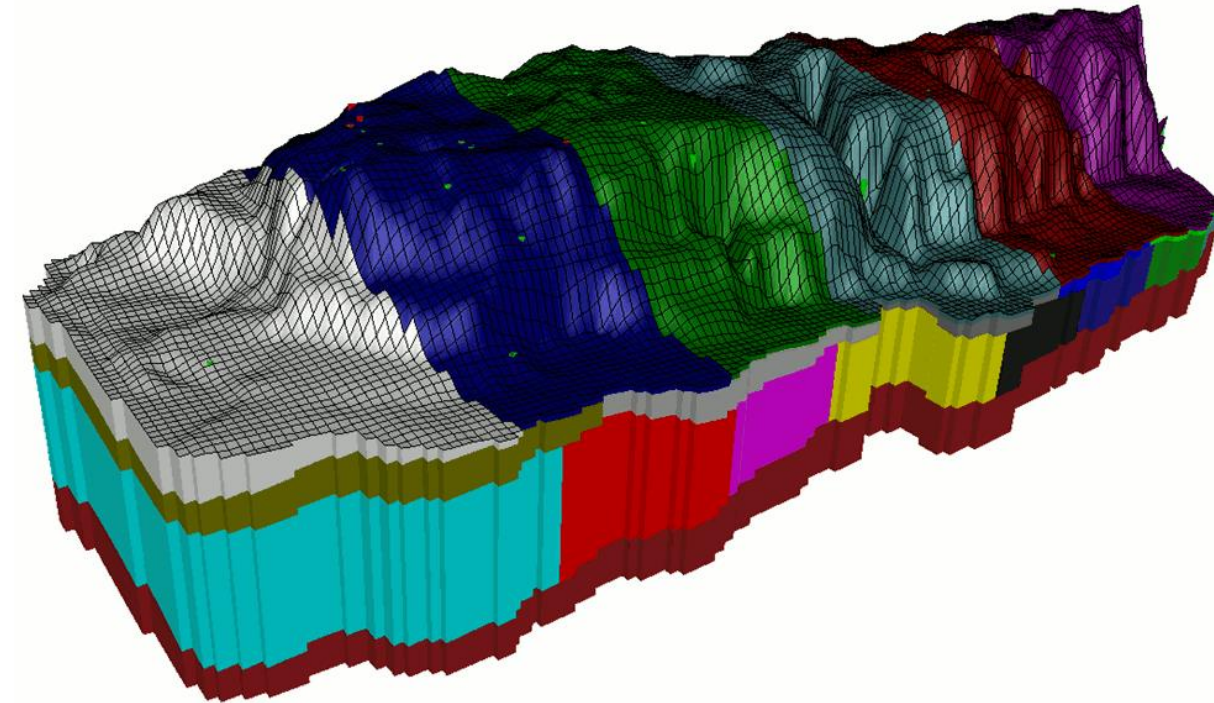


# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## MODELOS NUMÉRICOS DE FLUJO



Un modelo calibrado puede representar la realidad.



Un modelo es una potente herramienta predictiva.



# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## BALANCE HÍDRICO Y AMBIENTE

### VALORES DE LA PUNA



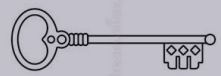
# BALANCE HÍDRICO (Su relación con la oferta de agua en salares de la Puna)

## BALANCE HÍDRICO Y AMBIENTE

La **HUELLA HÍDRICA** es un indicador multidimensional que permite realizar una evaluación global del consumo de agua de una determinada región, país o de un determinado producto (Hoekstra et al., 2011).

| PRODUCTO             | CONSUMO DE AGUA<br>(m <sup>3</sup> /kg) |
|----------------------|-----------------------------------------|
| 1 kg de Carne        | 16                                      |
| 1 kg de soja         | 2.5                                     |
| 1 kg Carbonato de Li | 0.6*                                    |

**NO SOLO HAY QUE VER LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA UN PRODUCTO, SINO EL CONTEXTO AMBIENTAL DONDE SE LA EXTRAE**



MUCHAS GRACIAS !!!

PANORAMA  
MINERO