

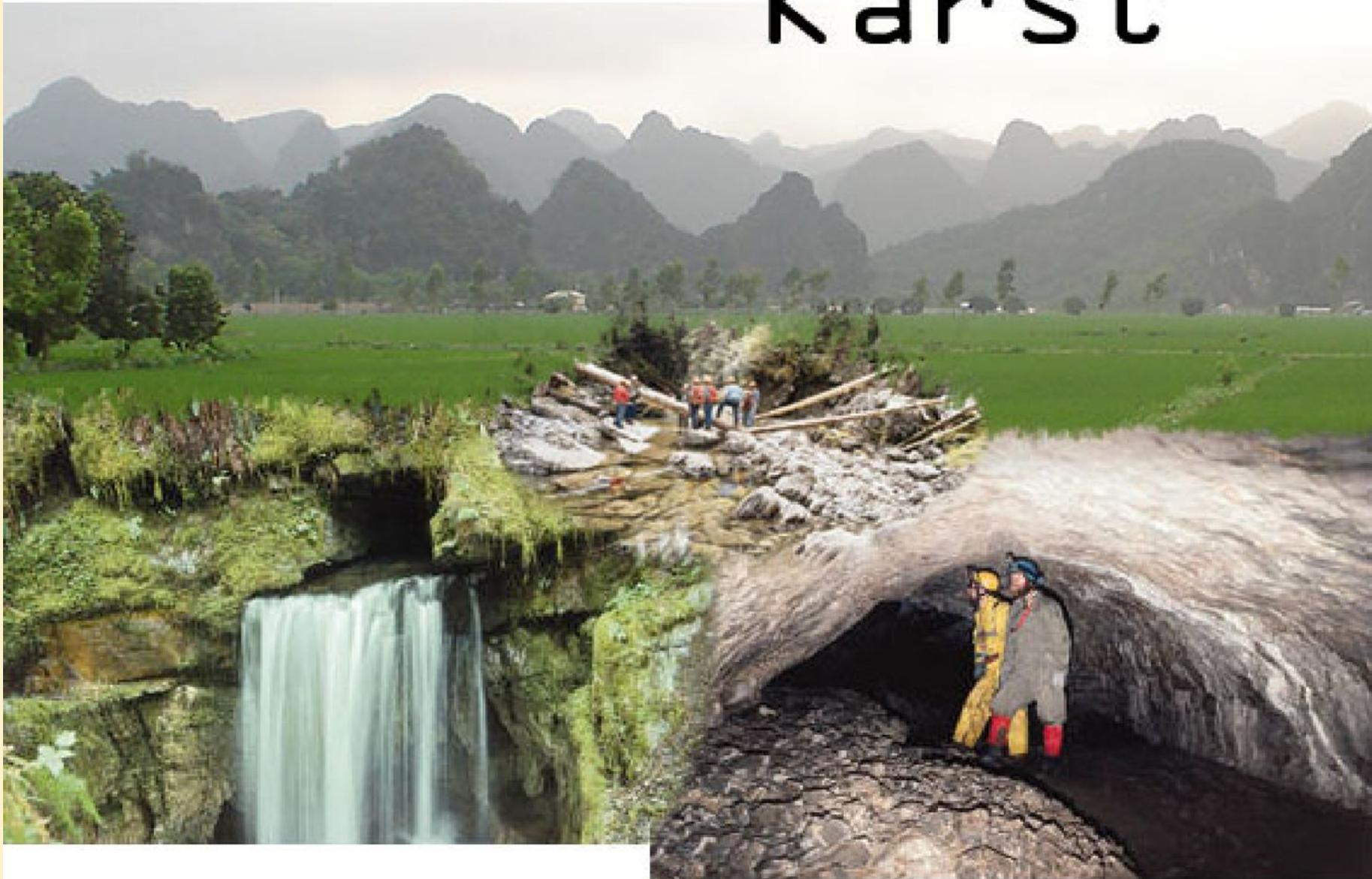
Curso de posgrado

**LA GEOMORFOLOGÍA Y *CAMBIO CLIMATICO***

SEPTIEMBRE 2022

Docentes: ***Gabriella M. Boretto (CICTERRA-CONICET-UNC)***    ***Marcela A. Cioccale (FCEfyN-UNC)***

# Karst



A complex landscape sculptured by water

El término karst proviene de la palabra eslava *kras*, que significa "lugar sin agua", y fue adoptado por la región italo-eslovena donde este tipo de relieve es más característico.

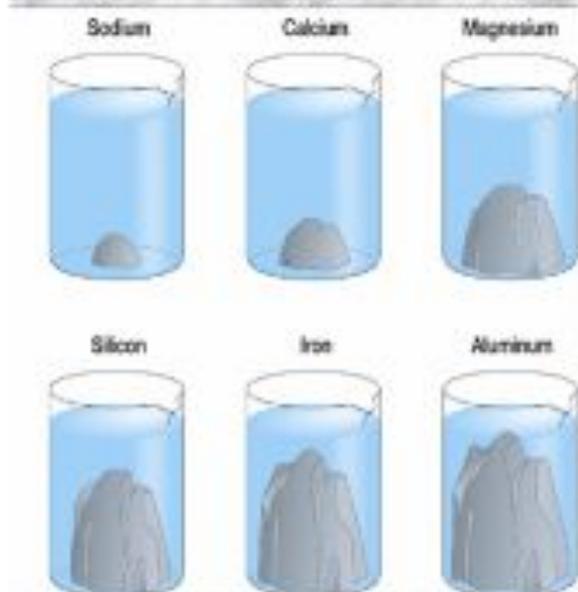
El karst es el resultado de la acción del agua sobre las rocas solubles, en un **lento proceso de disolución** que tarda en desarrollarse miles e incluso millones de años –aproximadamente son unos 5 mm de avance en la roca cada cien años–. El fenómeno es común en **rocas calizas y dolomías**, aunque también se produce en otras rocas menos abundantes, como las **evaporitas** –el yeso y la sal–, **cuarcitas**.

***El karst es el resultado de la conectividad entre el flujo de agua “externo” y el flujo de agua “interno”***

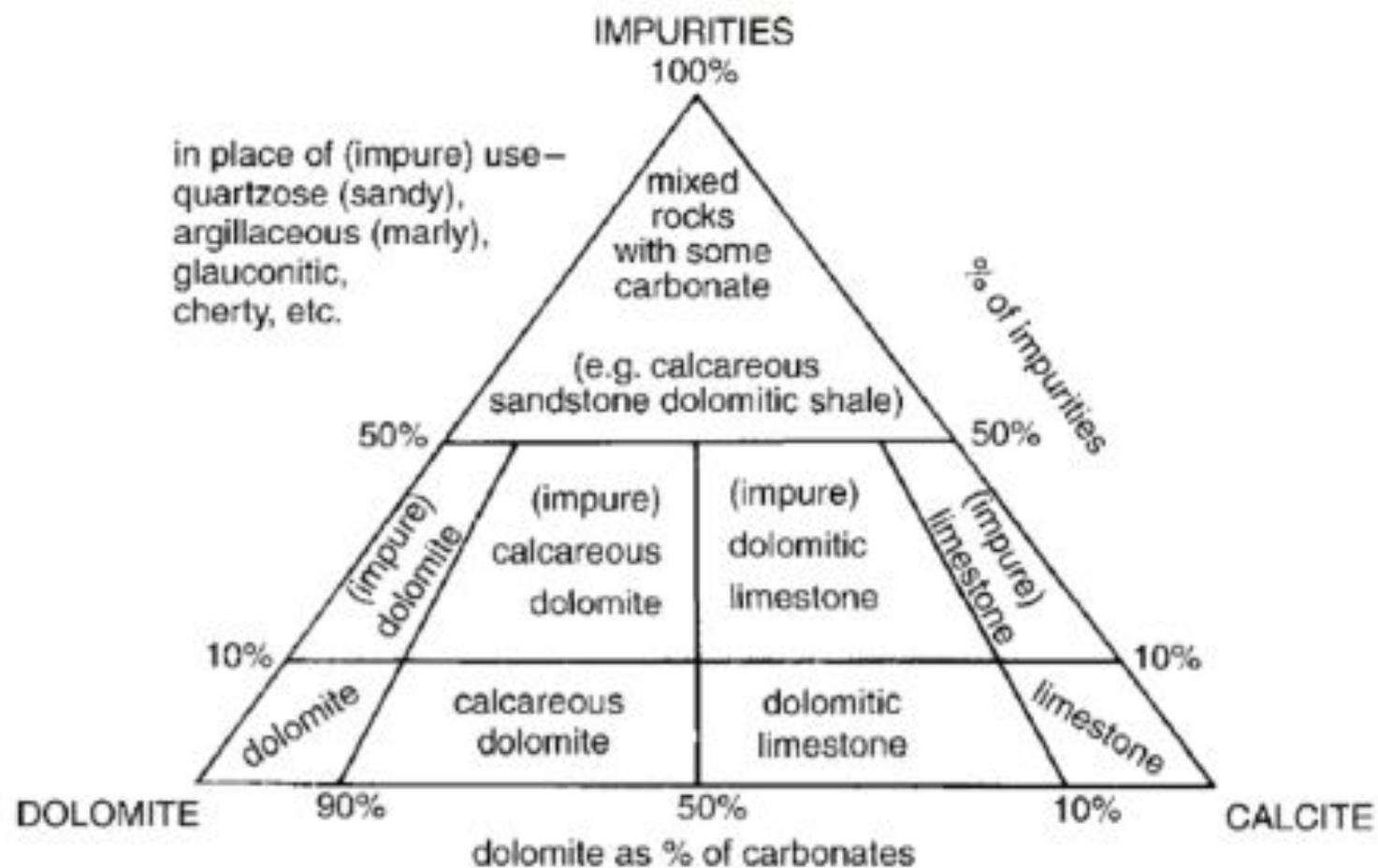
***Sus principales riesgos derivan de una perdida de “masa” por disolución en profundidad, ocasionando depresiones y subsidencias***

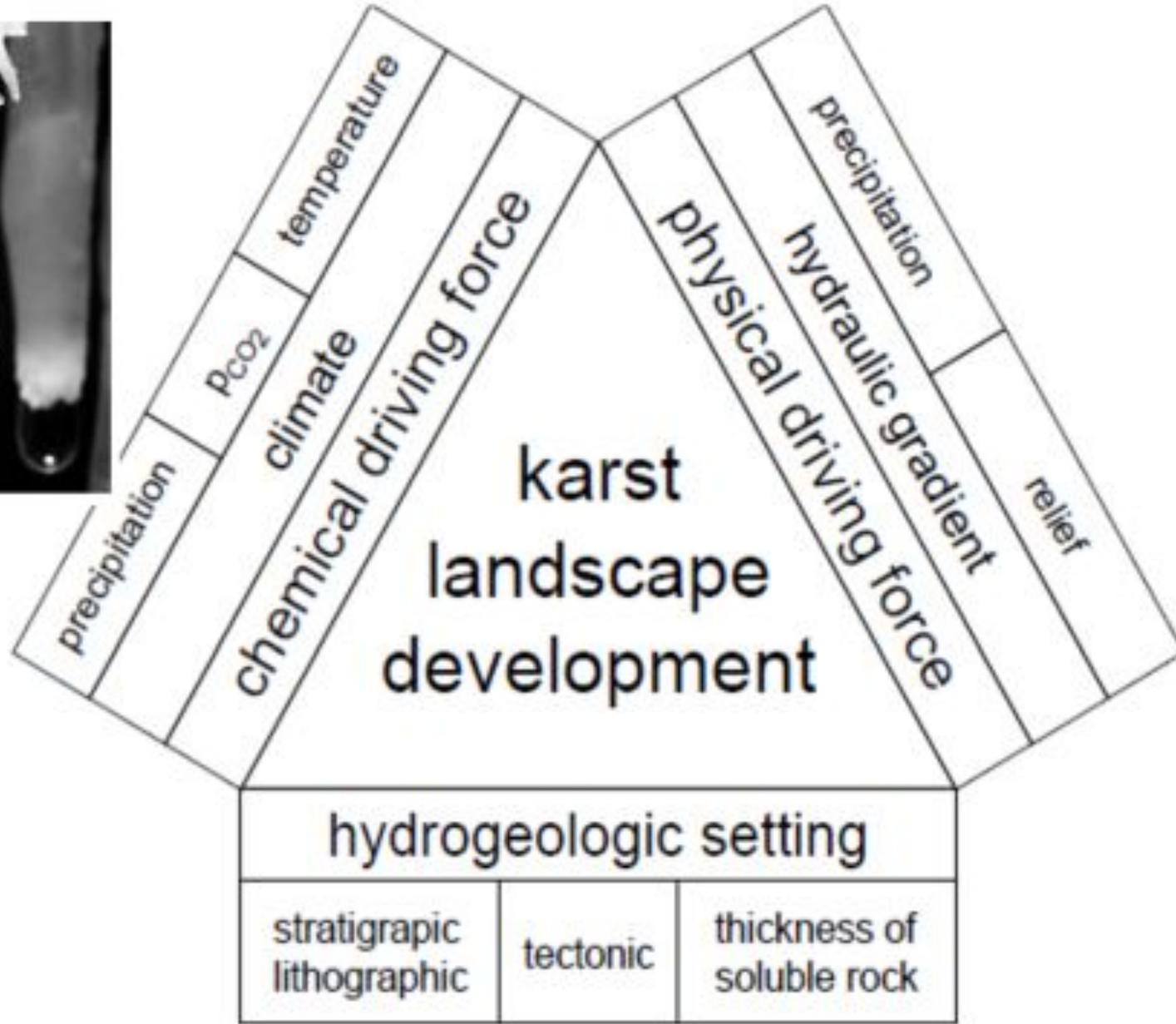


## Solubilidad de las rocas









# Geomorfología kárstica

- En el desarrollo de las formas kársticas el proceso de disolución de las rocas es fenómeno más importante
- Se produce en rocas muy solubles y con importante permeabilidad secundaria



# Formas y Condiciones

## Karst

---

### Rasgos

- ❑ Flujo de agua hacia sumideros
- ❑ Cuevas
- ❑ Depresiones cerradas
- ❑ Afloramientos con formas de disolución
- ❑ Manantiales

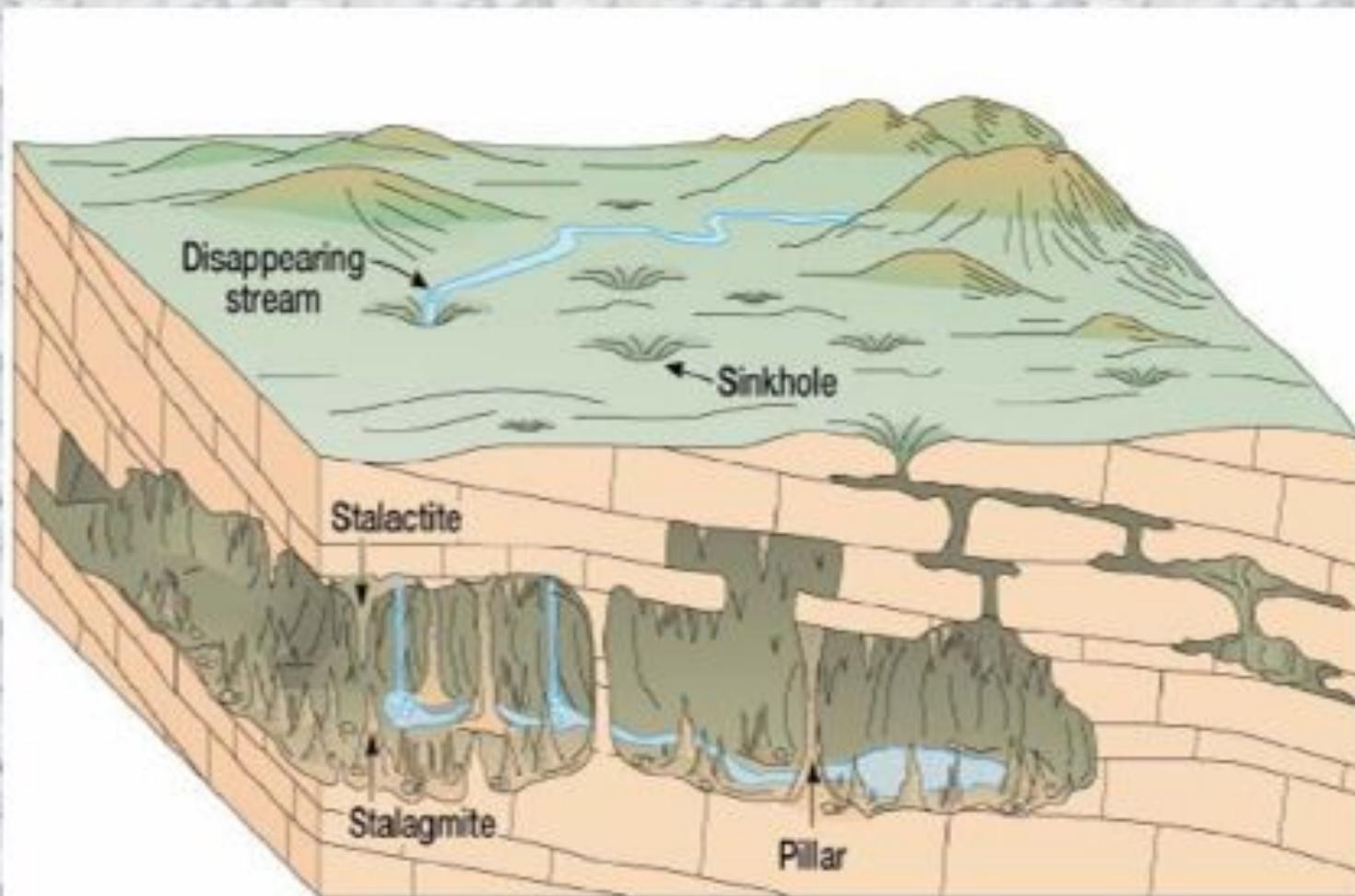
### Condiciones

- ❑ Roca solubles masivas
- ❑ Baja porosidad primaria
- ❑ Red de fracturas (porosidad secundaria)

Las formas características de las regiones kársticas son:

- Depresiones cerradas de tamaño variable de  $\text{cm}^2$  a  $\text{km}^2$
- Drenaje superficial desorganizado
- Desarrollo de cuevas y sistemas de drenaje subterráneo

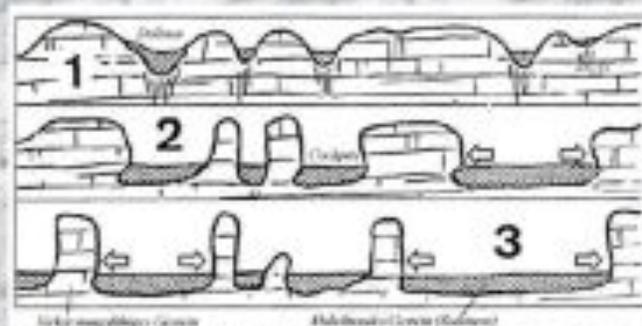
# *El sistema kárstico*



## Zonas del aparato kárstico

- Zona de absorción: zona superficial por donde penetra el agua;
- Zona vadosa: el agua circula verticalmente;
- Zona freática: zona profunda donde circula permanentemente el agua;
- Zona epifreática: situada entre la vadosa y la freática, sufre inundaciones periódicas.

# Evolución del Paisaje Kárstico

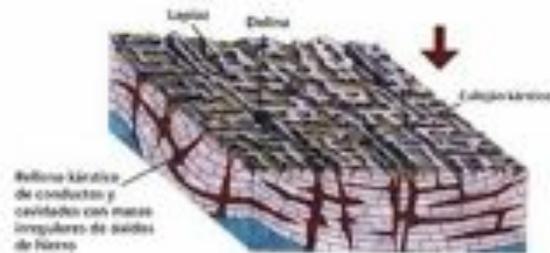
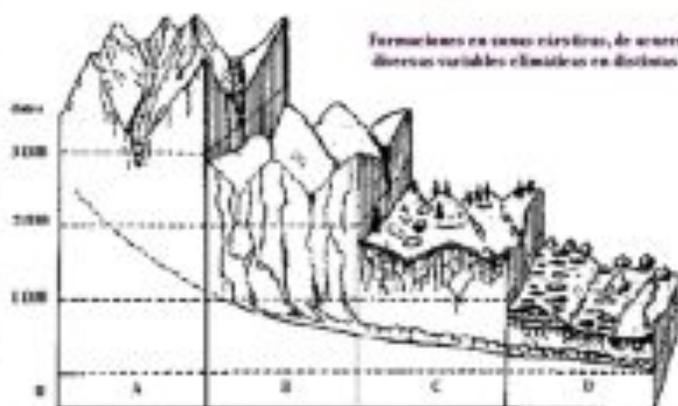


Versinnlichte Darstellung der Entwicklung einer typischen Zinn- und Kalkkarrstlandschaft. Die nach unten hin erfolgende Abkühlung mit Rückstandstauern (Stadium 2 u. 3) führt zur Bildung von Karstebenen mit durchhängeschalteten Flüssen oder Koppeln.

Aut: H. Zivler (1999)

## Diagrama

Formaciones en zonas cársticas, de acuerdo a las diversas variables climáticas en distintos raras.



# Principales geofomas kársticas

## **Exokarst:**

- **Lapiaz (karren)**
- **Dolinas (sinkhole)**
- **Uvalas**
- **Poljes**
- **Valles**
- **Fuentes**

## **Endokarst:**

**Cuevas**

**Sima**

**Espeleotemas:**

**Estactitas**

**Estalagmitas**

**Columns**

**Depósitos de flujo**

**Brecha**

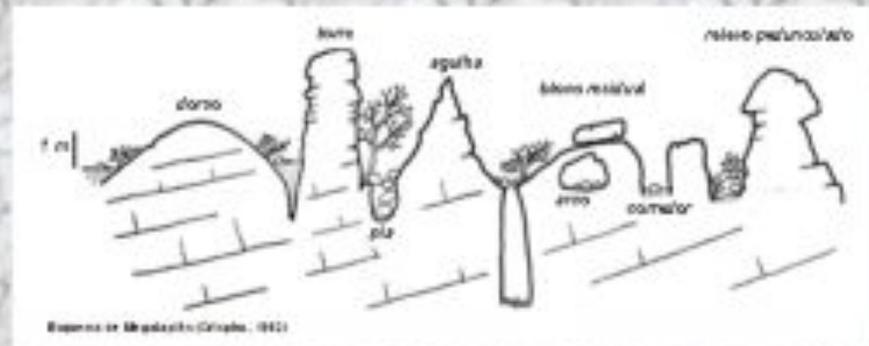
**Cortinas**

# Exokarst



# Lapiaz o karren

- Superficie rocosa constituida por calizas aflorantes cincelada por pequeños surcos o agujeros de formas **variadas**

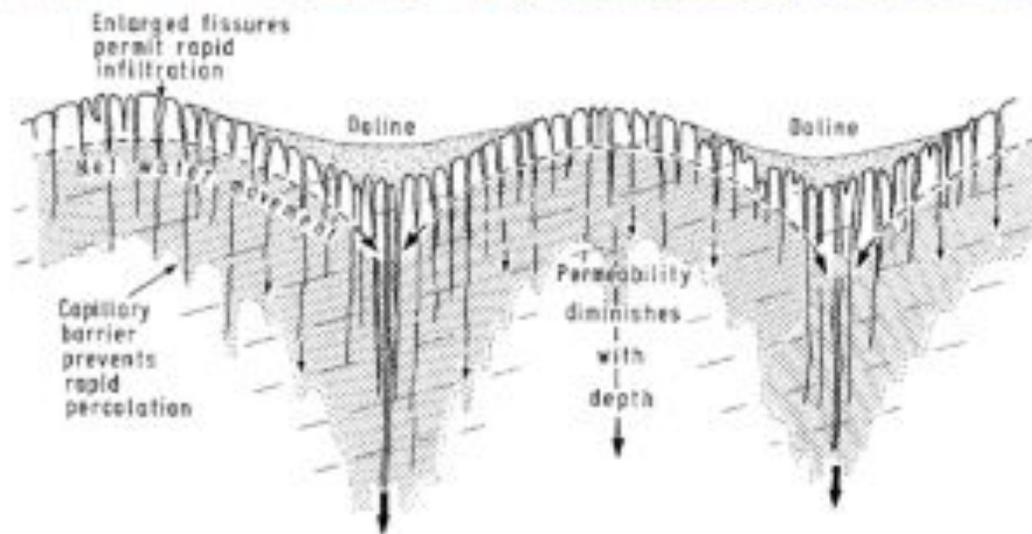




Los **lapiaces** se forman por la disolución superficial de la caliza afectada por agua de escorrentía o almacenada superficialmente en puntos donde la microtopografía permite una mejor retención o canalización del agua o la humedad.



# Dolinas (sinkholes)



***Depresiones cerradas de forma Circular u ovalada de pocos metros a varios kilómetros***



Una dolina (palabra de origen esloveno que significa valle o depresión) es un sumidero que alude a un tipo particular de depresión geológica característica de los relieves kársticos.

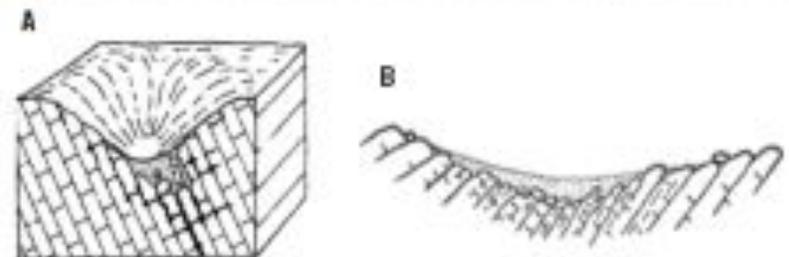
Inicialmente todas las dolinas son absorbentes (pierden agua por infiltración), luego sucede que donde la escorrentía transporta arcilla, el fondo del sumidero se asienta e impermeabiliza, transformándose en un estanque que se llena después de las lluvias y se seca lentamente hasta que por evaporación del agua.

Las **dolinas de disolución** son la consecuencia de una lenta pérdida de materia del terreno, disuelta por el agua de lluvia que se acumula y luego se infiltra en ellos.

Las **dolinas de colapso** se forman cuando el terreno se hunde en una cavidad kárstica, debido al colapso de su techo.

Si tienen un fondo plano y poco profundo, se dice que es una **cubeta**, que tiene una **terra rossa** en el fondo, lo que impide que continúen los procesos de karstificación. Sin embargo, cuando el proceso continúa, el sumidero adquiere un aspecto de embudo, **dolina de pozo**. Cuando la dolina de pozo puede comunicar con una **simá**: cavidad de paredes subverticales que comunica con la superficie. Cuando se unen muchas dolinas, se puede formar una **uvala** y, en mayor escala, un **polje**.





Esquemas de dolinas de dissolução (A - modificado de Sumnerfeld, 1991, B - adaptado de Crispin, 1982)

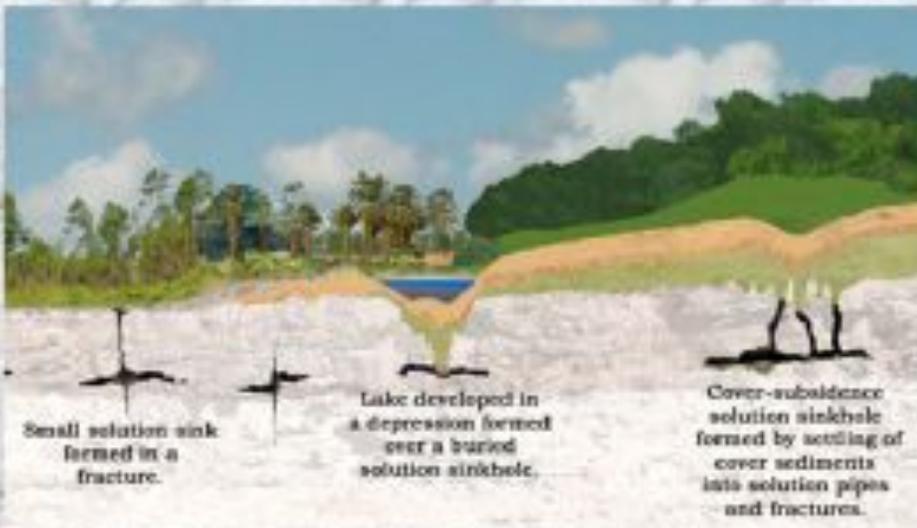
A solution sinkhole, connected to a conduit, and forming a submarine spring.

A solution sinkhole plugged at its base and forming a saltmarsh pond.

A solution sinkhole connected to an underlying cave, forming a freshwater lake.

## Tipos de dolinas:

- De disolución
- De Colapso
- poligenéticas

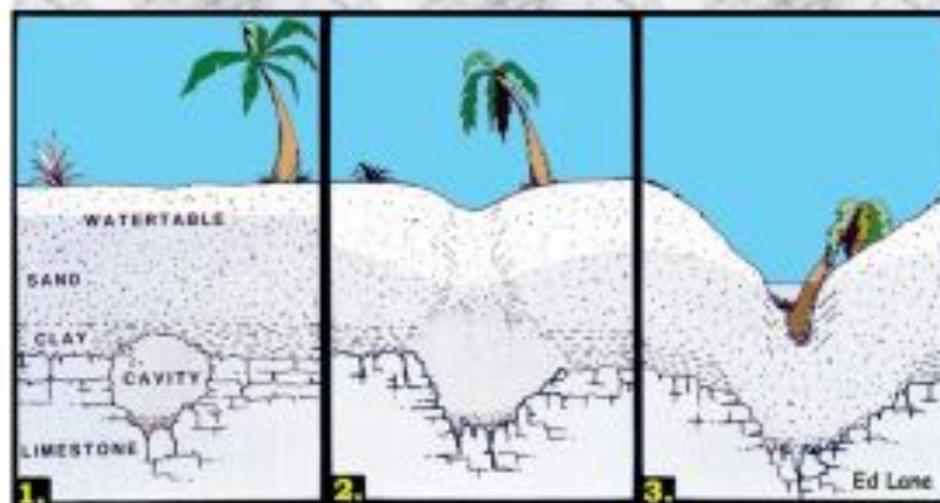


Small solution sink formed in a fracture.

Lake developed in a depression formed over a buried solution sinkhole.

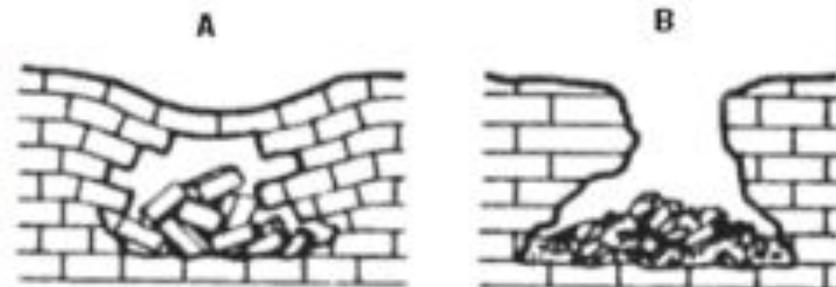
Cover-collapse solution sinkhole formed by settling of cover sediments into solution pipes and fractures.

# Dolinas de colapso

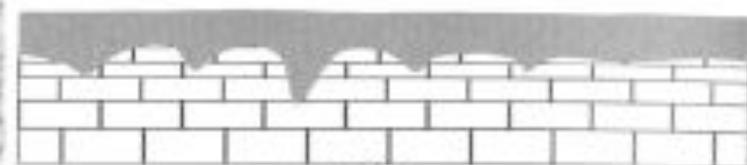


Dry sinkhole formed by slumping of cover into an ancient buried solution sink.

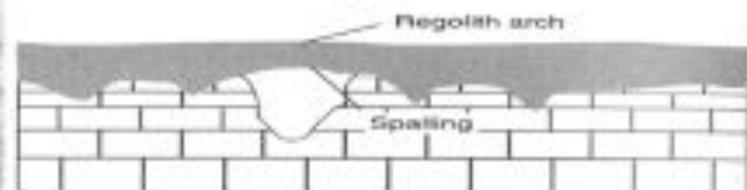
Cover-collapse sinkhole formed by collapse of cover sediments into a large cavern in the bedrock.



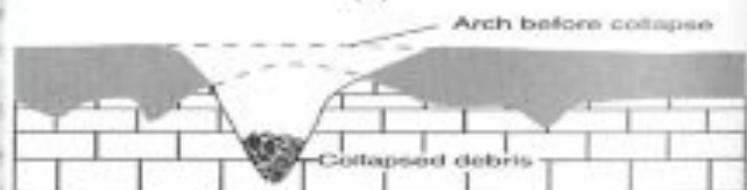
Esquemas de dolinas de abatimento - A e B (modificado de Cunha e Guerra, 1994)



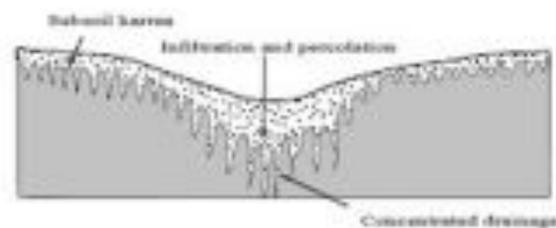
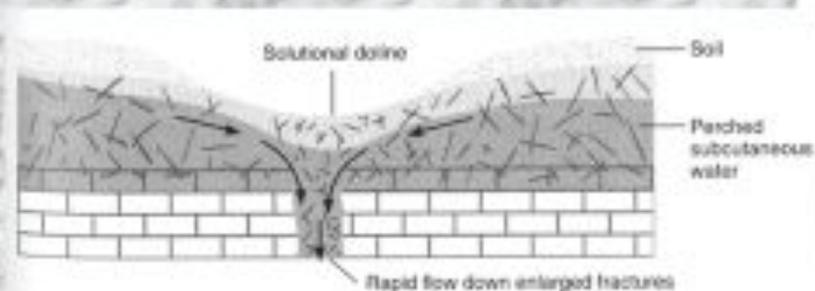
(A)



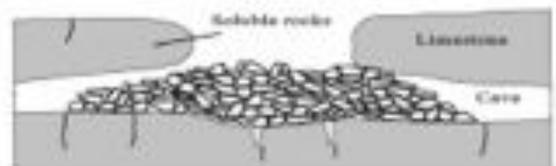
(B)



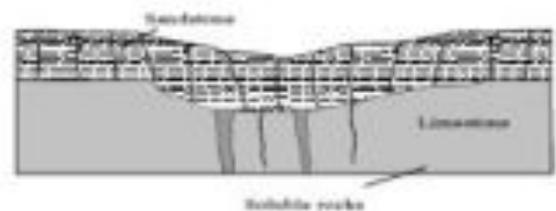
(C)



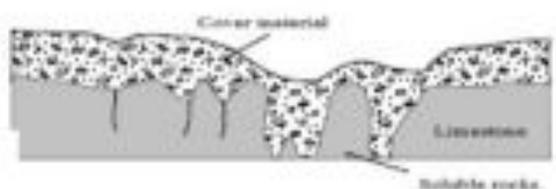
ACCELERATED  
SOLUTION  
DOLINE



COLLAPSE  
DOLINE



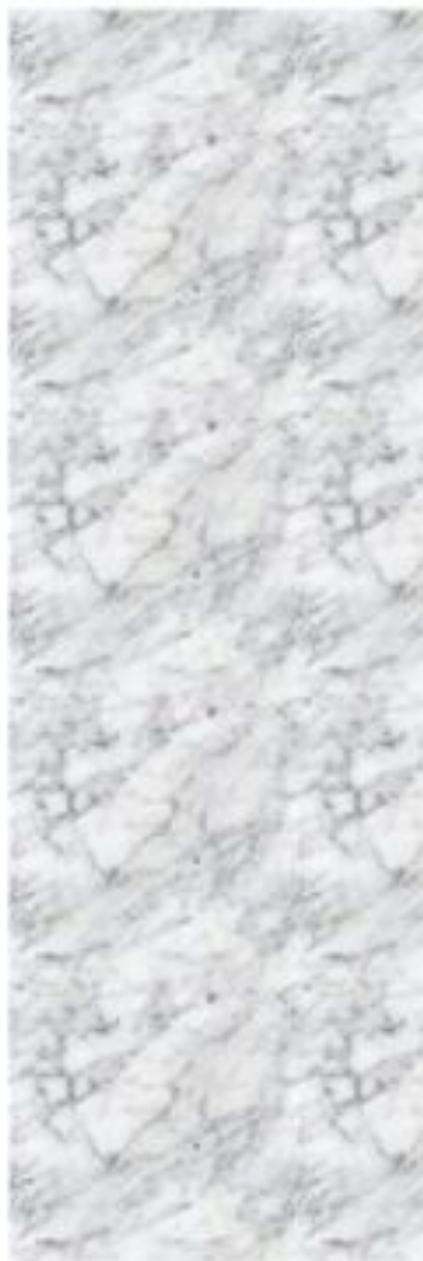
SUBSIDENCE  
DOLINE



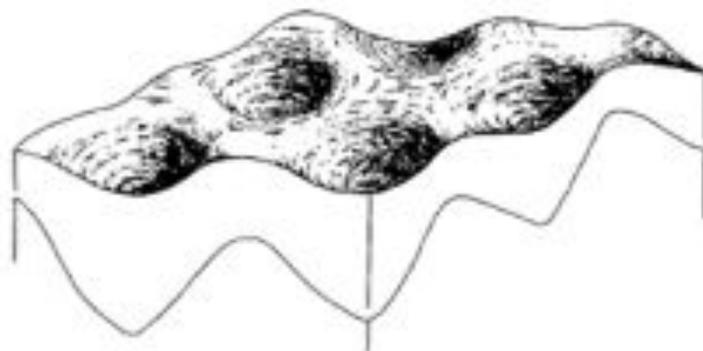
COVER  
DOLINE



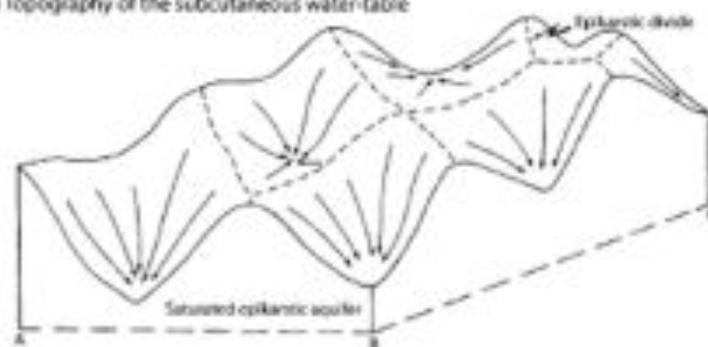
INTERSECTION  
DOLINE



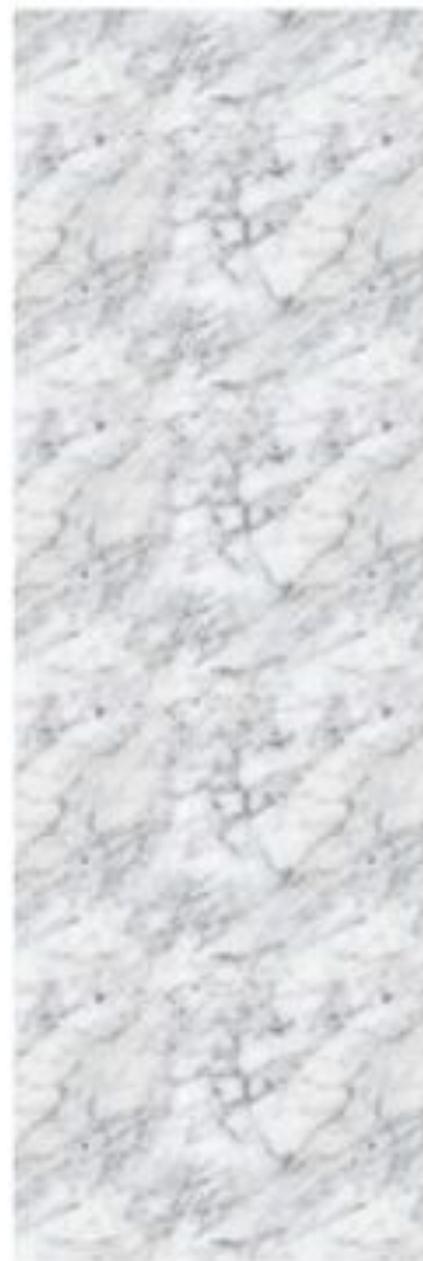
(a) Surface doline topography



(b) Topography of the subcutaneous water-table



(c) Vertical hydraulic conductivity (m/day)



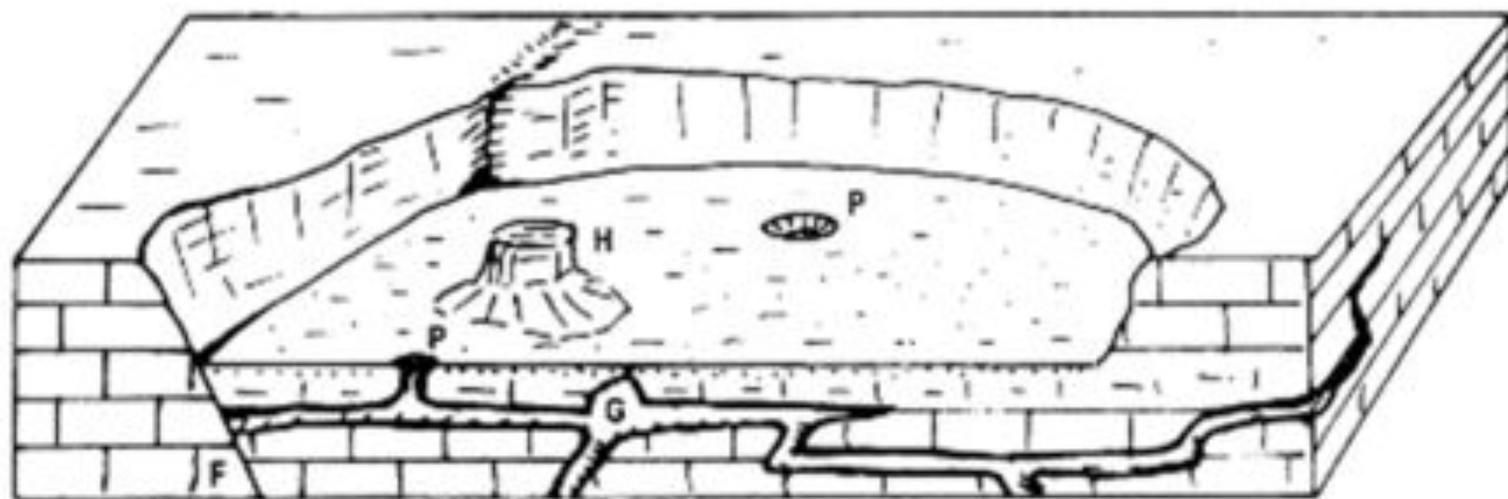
# Uvalas

- Unión de dos o más dolinas



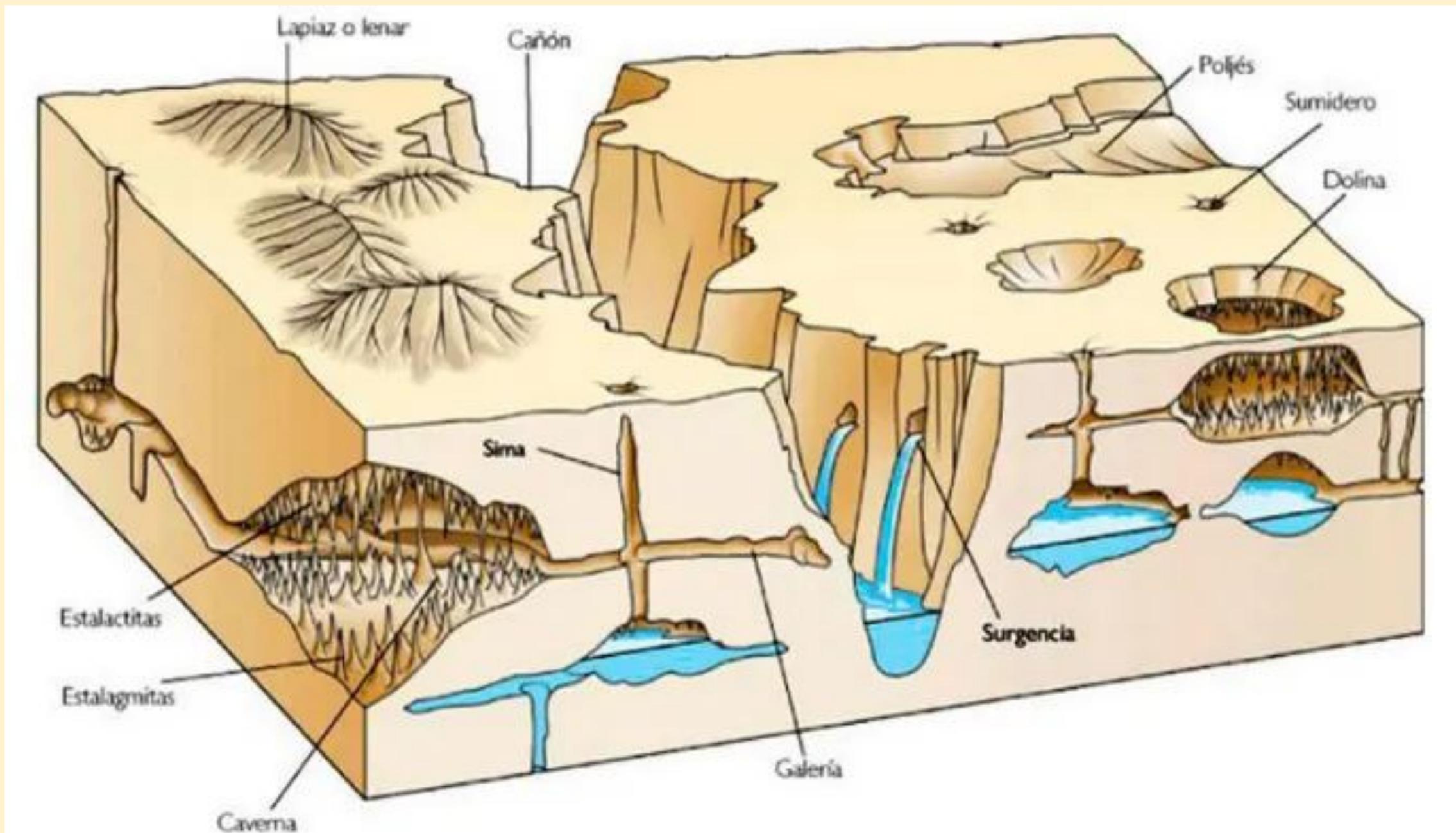
# Poljes

- Grandes depresiones cerradas de origen tectónico y kástico



Representação esquemática de um polje: F – falha; G – rede de galerias; H – humo; P – ponor (adaptado de Galopim de Carvalho, 1996)



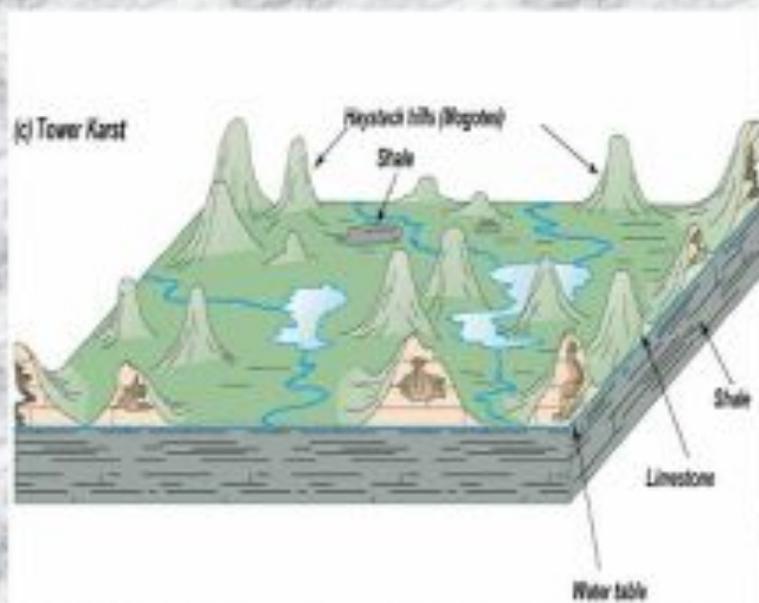


## Valles kársticos



## VALLES KARSTICOS

Son morfologías de incisión fluvial en terrenos kársticos, cuyo funcionamiento se localiza en parte o totalmente bajo la superficie, lo que puede traducirse en que a veces no discurre ninguna corriente fluvial (valles secos) o el curso fluvial se infiltra en un sumidero (valle ciego). Cuando son estrechos y presentan paredes verticales forman cañones y gargantas. La cabecera de estos valles puede tener una forma de anfiteatro y tener un manantial que da lugar a un curso de agua superficial en cuyo caso se denomina valle en fondo de saco.



# Fuentes

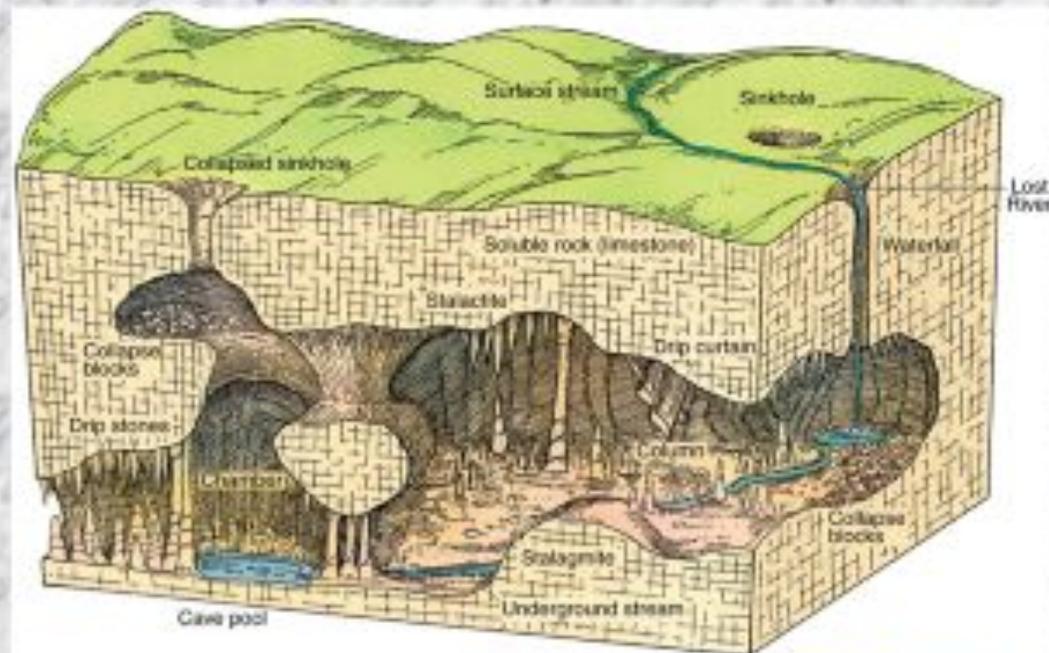
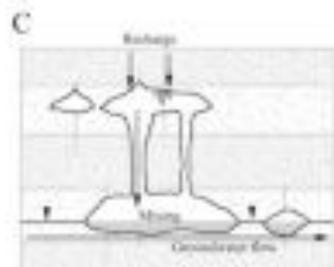
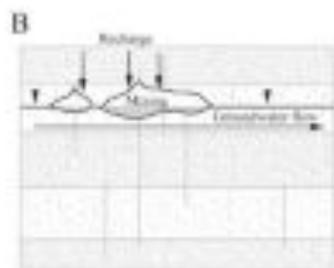
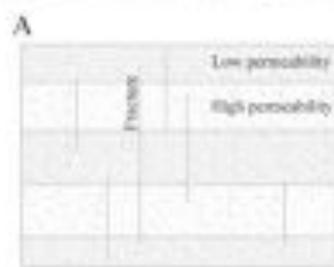


Los **manantiales kársticos** son los puntos de salida del agua que circula y está almacenada en los acuíferos kársticos. La descarga de estos manantiales puede variar muchísimo, desde pequeños rezumes a caudales de varias decenas de metros cúbicos por segundo, capaces de originar ríos. A lo largo de la historia, los manantiales kársticos han sido determinantes a la hora de establecer asentamientos humanos y son numerosos los pueblos y ciudades que se abastecen de sus aguas, generalmente de excelente calidad. El comportamiento de los acuíferos kársticos difiere en gran medida de otros tipos de acuíferos y sus manantiales presentan ciertas singularidades.

# Endokarst



# Formas endocársticas



Copyright ©

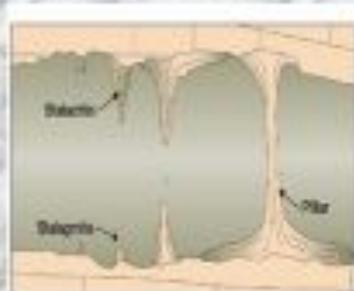


Photo 23. A cave stream inside Ogden's Cave. Photo by James Peltz.

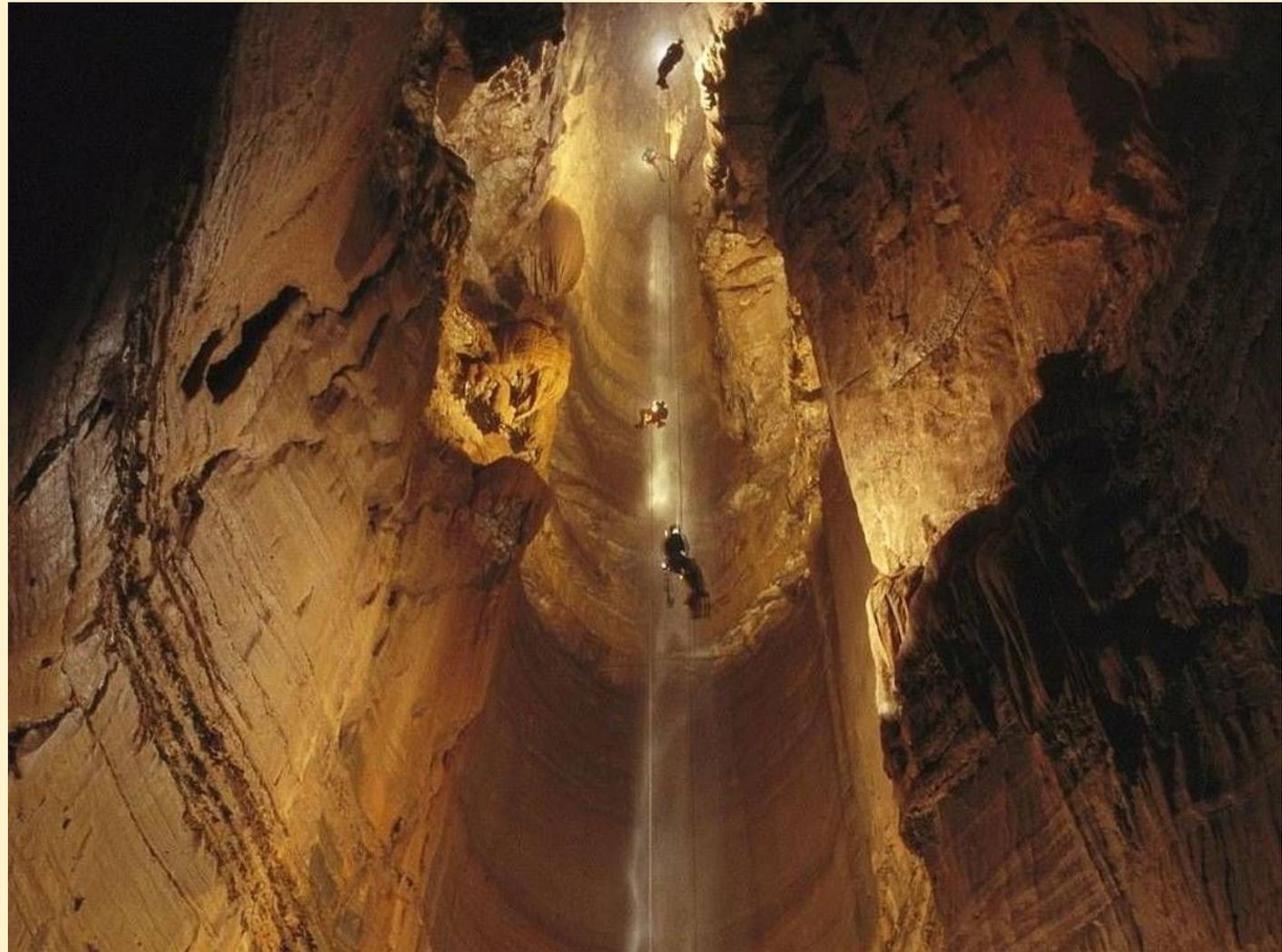
# CUEVAS



La unidad esencial de las morfologías endokársticas es la cueva o cavidad kárstica. Tradicionalmente, este término se emplea cuando las cavidades son lo suficientemente grandes para permitir el tránsito de una persona. No obstante, una definición basada en propiedades hidrológicas, es decir, de acuerdo con las propiedades físicas del flujo de agua, es, sin lugar a dudas, mucho más adecuada. Se define como cueva, o sistemas de cuevas kársticas, a los conductos formados por disolución, de un tamaño mayor a 5-15 mm de diámetro o sección, que se extiende, de forma continua, desde los puntos de entrada de agua subterránea a los puntos de salida. Este tamaño mínimo corresponde a la apertura mínima efectiva para permitir el flujo turbulento del agua. Cuando son menores de 5 mm se habla de protocuevas (Andreu et al. 2016).



SIMAS: conductos verticales que en ocasiones pueden resultar espectaculares por su tamaño.

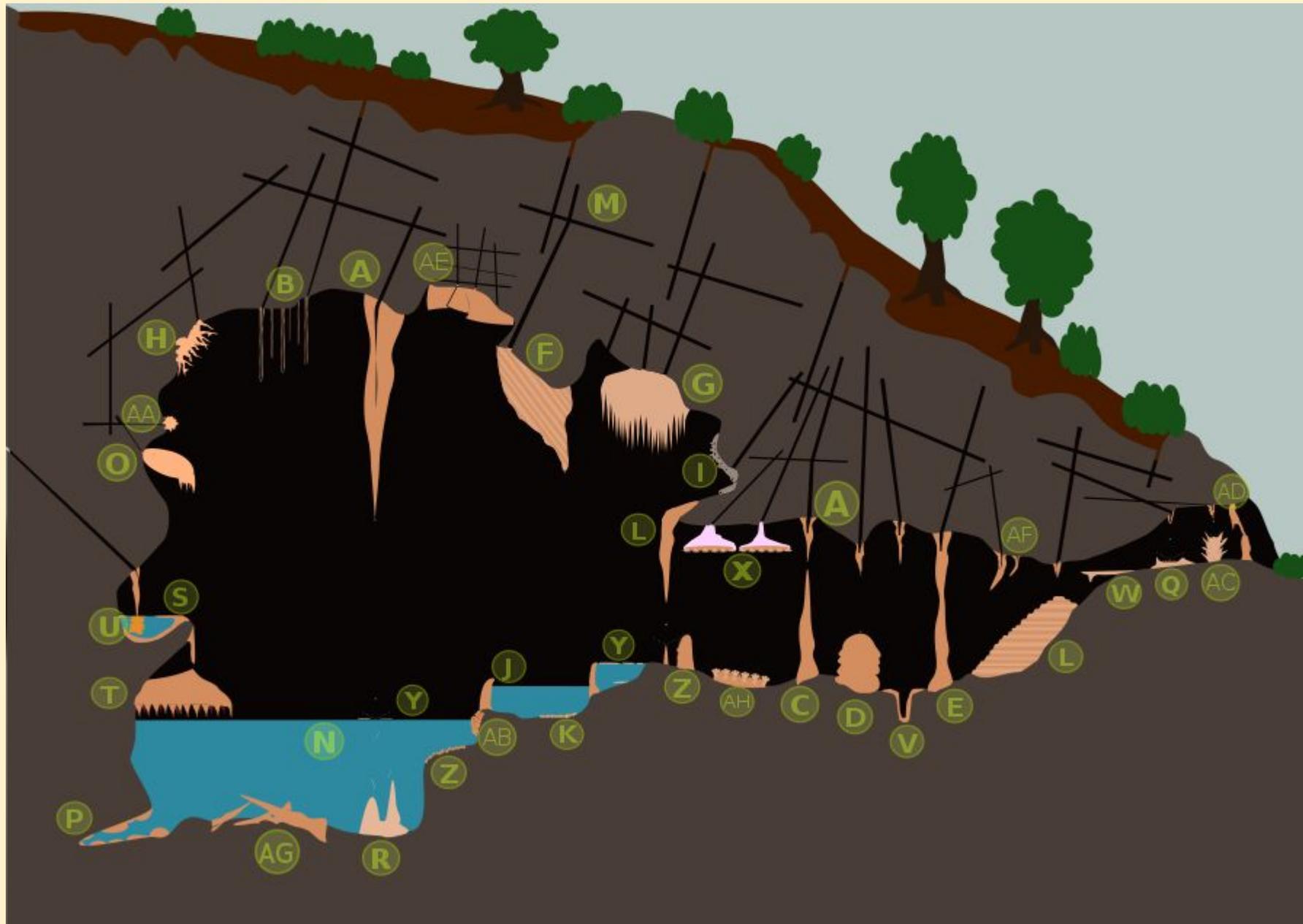


# ESPELEOTEMAS

Un espeleotema es un depósito mineral formado en cuevas.

El agua que se filtra a través de grietas en el suelo cerca de una cueva puede disolver algunos compuestos, generalmente calcita, aragonita (carbonato de calcio) y yeso (sulfato de calcio). La cantidad de mineral disuelto depende, entre otros factores, de la concentración de dióxido de carbono y de la temperatura de la solución. Cuando esta solución llega a una caverna llena de aire, la descarga de dióxido de carbono interrumpe la capacidad del agua para retener estos minerales en solución, lo que hace que se precipiten. Con el tiempo, que puede durar decenas de miles de años, la acumulación de estos precipitados puede formar espeleotemas secundarios.

Los espeleotemas secundarios no se forman únicamente en las cuevas kársticas, aunque es en ellas donde más se aprecian. También pueden formarse en cualquier otra cavidad donde el agua que gotea del suelo cargada de minerales tiene la posibilidad de precipitar. Así, los espeleotemas secundarios se pueden encontrar en tubos volcánicos que se encuentran en suelos húmedos y también en cavidades artificiales, como las minas, siempre que transcurra el tiempo necesario para su formación.



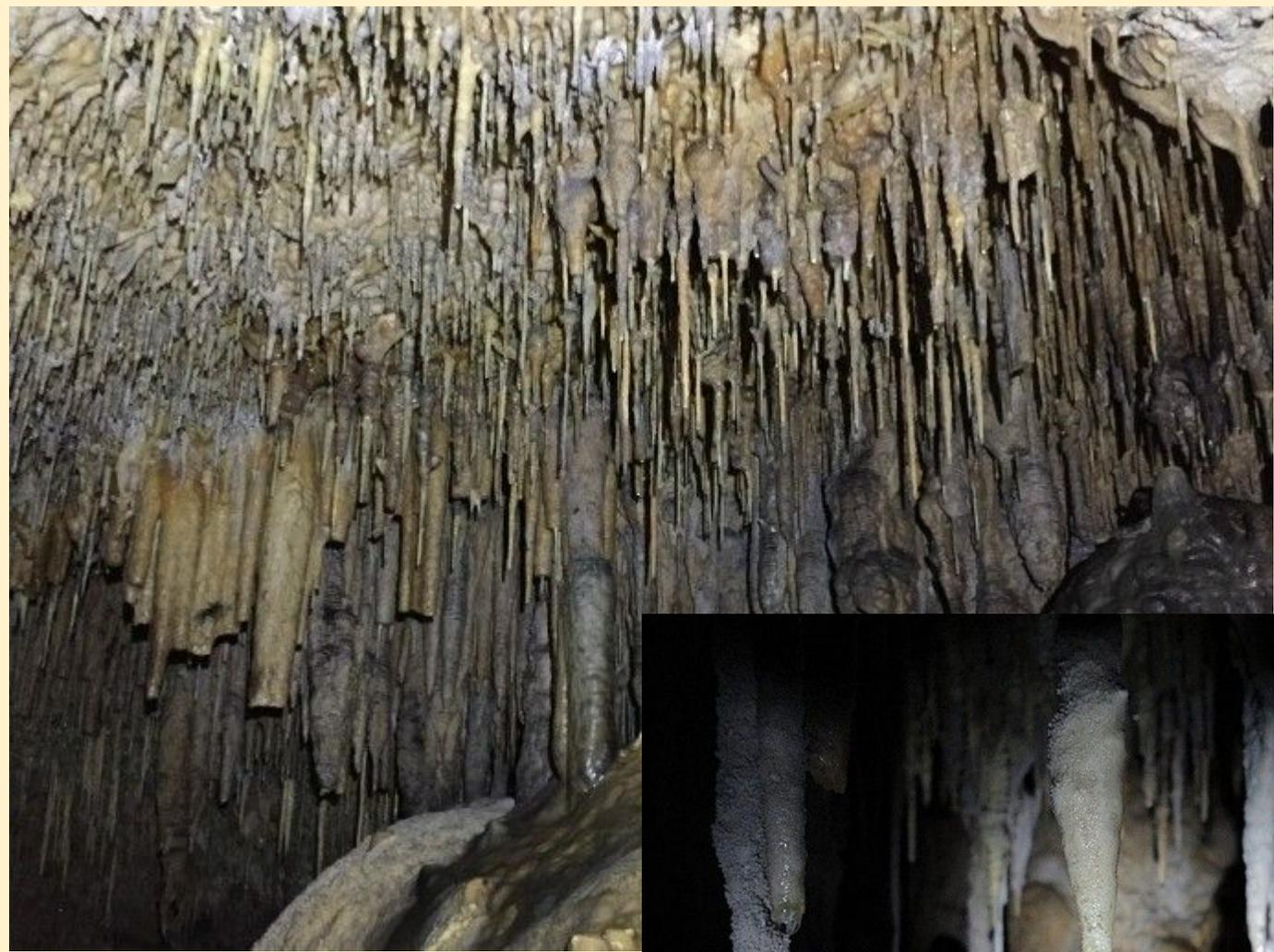
Sección transversal de una cueva kárstica. El dibujo muestra diferentes tipos de **espeleotemas**:

**A**—Estalactita **B**—Macarrones  
**C**— Estalagmita conica  
**D**—Estalagmita **E**— Columna  
**F**— Banderola, cortina o velo \*  
**G**— Colada de cortinas **H**—  
 Helictitas **I**— Leche de luna **J**—  
 Gorus **K**— Calcita espática **L**—  
 Colada **M**—Terreno Karstico **N**—  
 Aguas subterráneas **O**— Disco o  
 paleta **P**— Mamelares **Q**—  
 Perlas **R**— Cono de las  
 cavernas **S**— Cornisas o  
 repisas de piedra **T**— Dosel de  
 baldaquino **U**— Estalactita  
 bulbosa **V**— Conulito **W**— Flaso  
 suelo **X**— Bandejas **Y**— Calcita  
 flotante **Z**— Coraloides **AA**—  
 Antoditas **AB**— Botroide **AC**—  
 Uñas **AD**— Speleoseismites  
**AE**— Reticulados **AF**—  
 Anemolito **AG**—Derrumbes  
**AH**—Pop corn

## ESTALACTITA

Una estalactita es un espeleotema que cuelga del techo de una cueva.

Toda estalactita comienza a crearse con una simple gota de agua mineralizada. Cuando la gota cae, deja detrás de ella un fino reguero de calcita. Cada gota sucesiva que se forma y cae deposita otra pequeña capa de calcita. Finalmente, estas capas forman un estrecho tubo (0,5 mm). Estos pequeños tubos pueden crecer una columna secundaria de acreción o pilar.



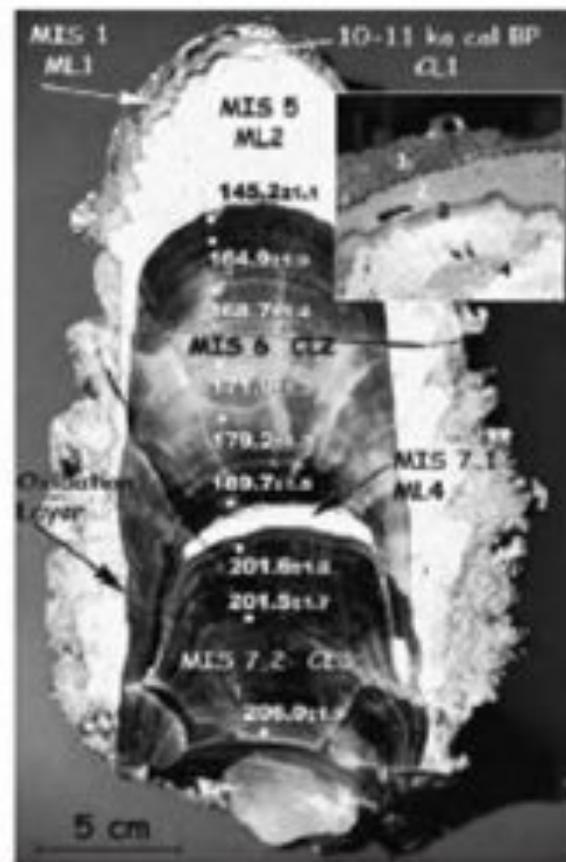
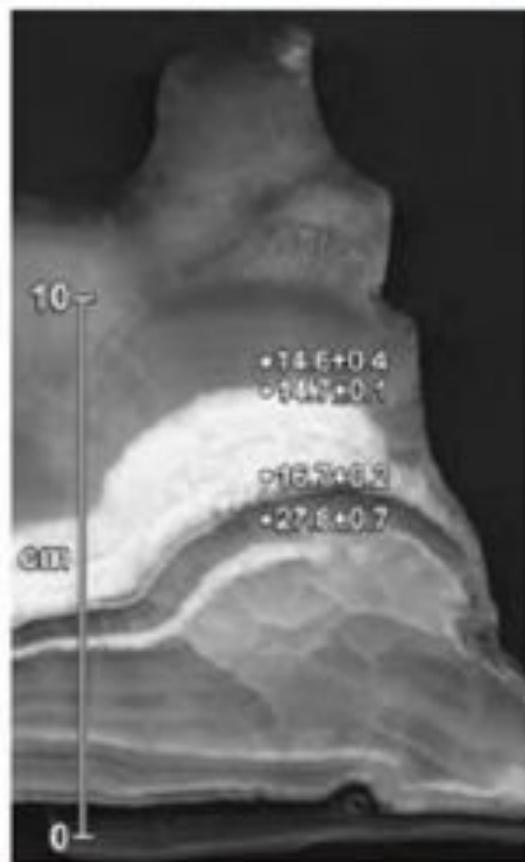
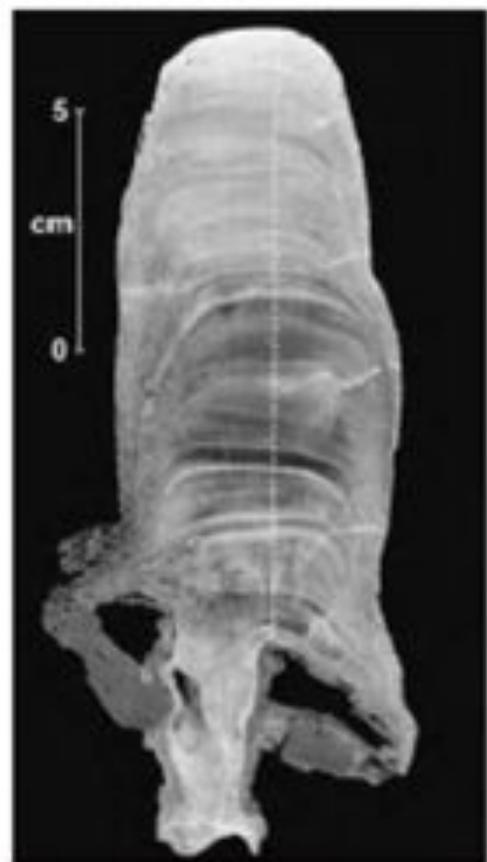
## ESTALAGMITA

Espeleotema en forma de cono con la punta hacia arriba, que se forma en el suelo de una cueva cuando el agua con carbonato de calcio disuelto gotea de una estalactita.

Se originan en el suelo y crecen hacia arriba debido a los depósitos minerales del agua filtrada. Al igual que en las estalactitas, comienzan a formarse con una simple gota mineralizada que posteriormente acumula residuos de calcita (carbonato de calcio).







# Karst and Climate Change

We can understand the sensitivity of karst to climate change by considering the past.

## Past

6-10 °C global mean temperature changes between glacial and interglacial.

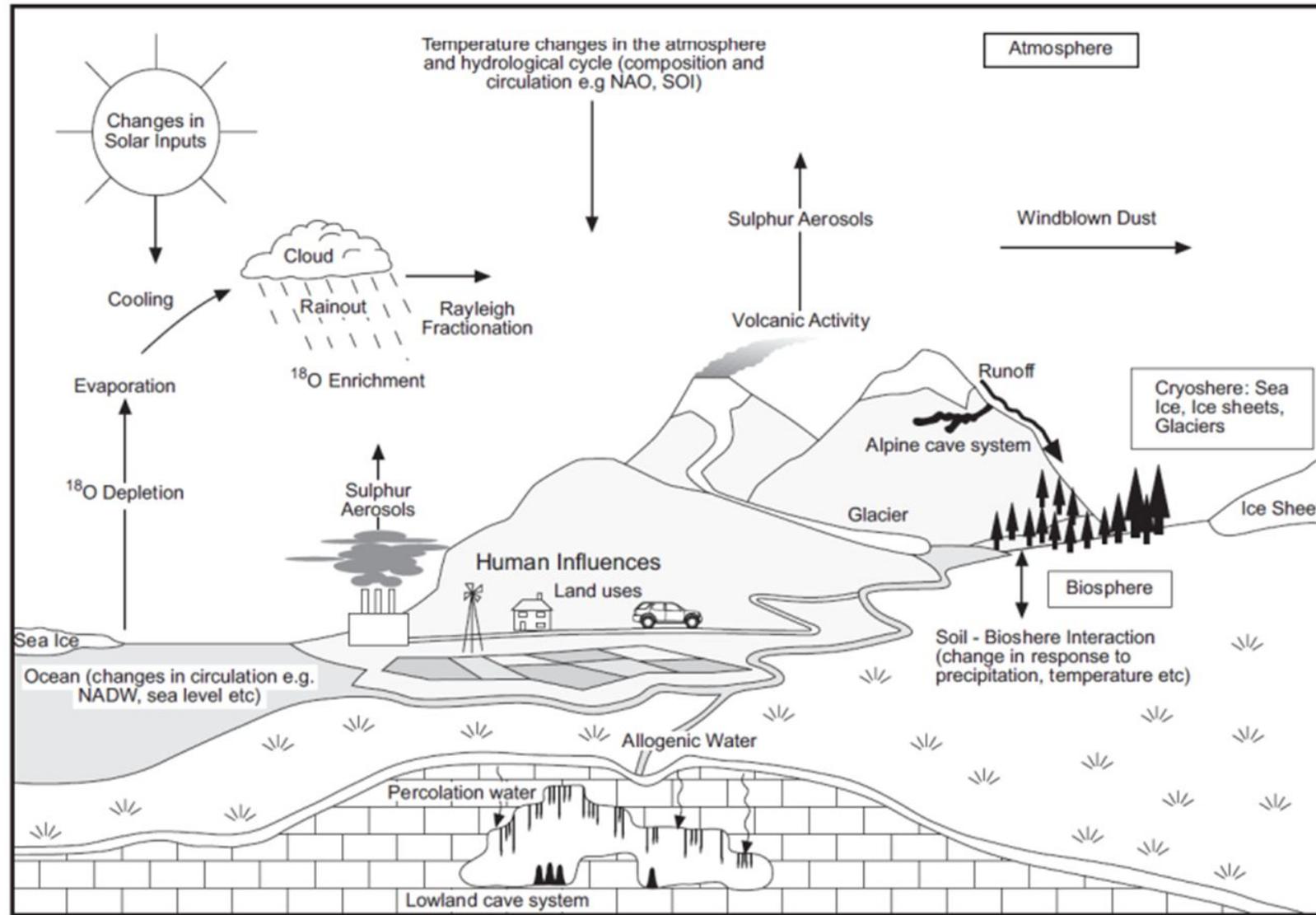
## Present

>1 °C warming since the industrial revolution

## Future

>2 °C warming, expansion of **Hadley Cells**, changes in precipitation regime





From: Fairchild IJ & Baker A (2012) Speleothem Science. Wiley-Blackwell

The problem is that **karst** systems are sensitive to a wide range of surface environmental conditions (**soil, vegetation, landscape instability, climate**)

# Karst and ice age climate change

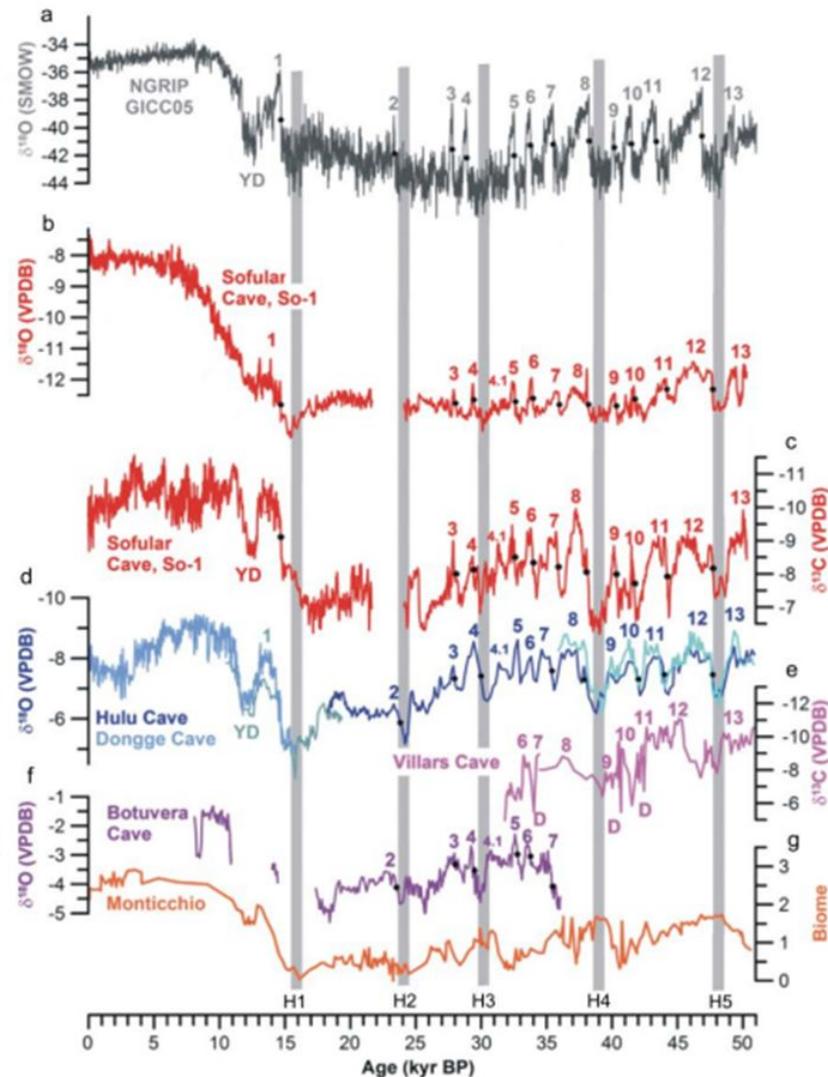
Speleothems also provide consistent records of Quaternary climate variability.

U-Th ages on speleothems record periods of past recharge

Oxygen isotopic composition of speleothem calcite shows glacial – interglacial climate change in China, Europe, S America, ....

Temperature affects oxygen isotope composition by  $\sim 0.24\text{‰} / \text{°C}$ .

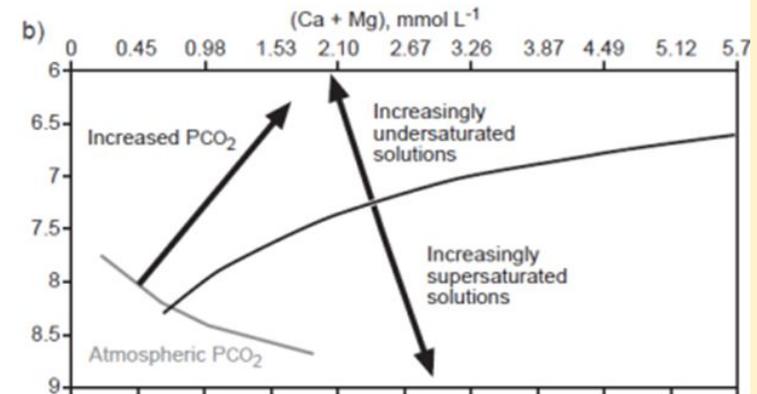
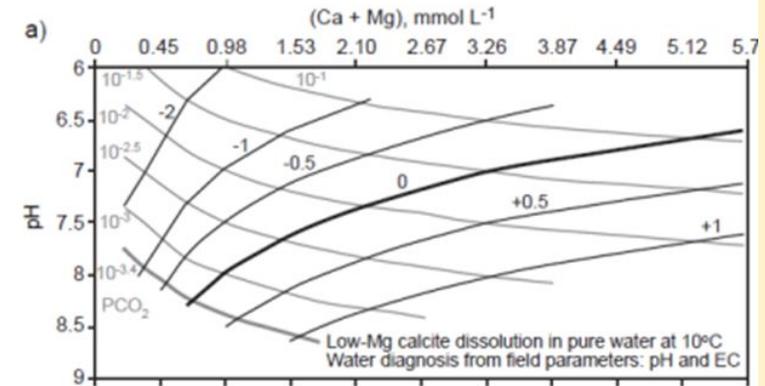
Observed  $\sim 5\text{‰}$  changes record rainfall amount / source ( $\pm$  karst and environmental noise).



# Karst and climate change: dissolution and precipitation

How might water calcite supersaturation change with climate change? How will this affect karstification (dissolution, precipitation)?

- Changes in recharge (dilution, vadose zone residence time, prior calcite precipitation, ...)
- Changes in soil carbon dioxide production (temperature, vegetation cover, aridity, less snow, stomatal efficiency, ....)
- Changes in vadose zone carbon dioxide production (temperature, water availability).



From: Fairchild IJ & Baker A (2012)  
Speleothem Science. Wiley-Blackwell

El estudio de las depresiones kársticas relacionado con su densidad, superficie y localización geográfica a través del análisis espacial para su representación a través de mapas, son las principales herramientas y productos útiles para la gestión del uso del territorio, a fin de atender los problemas de contaminación e identificar los peligros de hundimientos e inundaciones, es decir, estos mapas son de utilidad para estudios ambientales, planificación y ordenación del territorio.

Uno de los mayores desafíos a los que se enfrentan actualmente los científicos que estudian el clima es el de identificar y caracterizar todas las posibles fuentes, depósitos y sumideros de gases de efecto invernadero. Esta información les permitirá calcular con más exactitud el presupuesto de carbono, puesto que la atmósfera subterránea es un lugar clave a tener muy en cuenta en relación con el equilibrio de carbono de la atmósfera.

El objetivo del proyecto SMACKS (Sourcing methane and carbon dioxide in karst systems) era estudiar la dinámica de los principales gases de efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>) en entornos subterráneos naturales de terrenos kársticos. Esta labor incluía la identificación y cuantificación del papel que desempeña en el presupuesto de carbono de los ecosistemas terrestres.

<https://cordis.europa.eu/article/id/191164-subterranean-sinks-and-sources-of-greenhouse-gases/es>



The screenshot shows the CORDIS website interface for the article 'Sourcing methane and carbon dioxide in karst systems'. The page is in Spanish and includes a search bar, navigation menu, and project details. The project is identified as SMACKS, with a subvention agreement number of 624204. It is marked as 'Proyecto cerrado' (Project closed) and has a start date of 3 February 2015 and an end date of 2 February 2017. The project is financed under the FP7-PEOPLE program with a total budget of € 299 558,40, of which the EU contribution is € 299 558,40. The project is coordinated by Royal Holloway and Bedford New College in the United Kingdom. The article text discusses the link between climate change and the carbon cycle, highlighting the role of karstic environments as sinks and sources of greenhouse gases.

cordis.europa.eu/article/id/191164-subterranean-sinks-and-sources-of-greenhouse-gases/es

Comisión Europea | CORDIS  
Resultados de investigaciones de la UE

español ES

PORTADA RESULTS PACKS REVISTAS RESEARCH\*EU PODCASTS Y NOTICIAS PROYECTOS Y RESULTADOS ACERCA DE BUSCAR INICIAR SESIÓN

### Sourcing methane and carbon dioxide in karst systems

Ficha informativa Resultados resumidos Informe Resultados

DE EN ES FR IT PL

#### Sumideros y fuentes de gases de efecto invernadero subterráneos

El cambio climático está indisolublemente ligado al ciclo del carbono y a variaciones naturales o provocadas de la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Investigaciones recientes han revelado que los microclimas y la geoquímica de los entornos kársticos subterráneos pueden actuar como sumideros durante los periodos fríos y como fuentes durante los periodos más cálidos.

CAMBIO CLIMÁTICO Y MEDIO AMBIENTE ENERGÍA

© pyty, Shutterstock

Información del proyecto

**SMACKS**  
Identificador del acuerdo de subvención: 624204

**Proyecto cerrado**

Fecha de inicio: 3 Febrero 2015  
Fecha de finalización: 2 Febrero 2017

Financiado con arreglo a FP7-PEOPLE

Presupuesto general: € 299 558,40  
Aportación de la UE: € 299 558,40

Coordinado por ROYAL HOLLOWAY AND BEDFORD NEW COLLEGE  
Reino Unido