

# Los Registros Fluviales: Paleo-crecidas



Gerardo Benito Ferrández

CSIC-Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid

Parte 3: Extremos hidrológicos-Paleocrecidas

Turia, Oct. 1957



Jucar, Oct. 1982



Gardon, Francia, Sept 2004



Cornwall, UK, Agosto 2004



Altea, Alicante, Sept. 2007



Inglaterra, Junio-Julio 2007



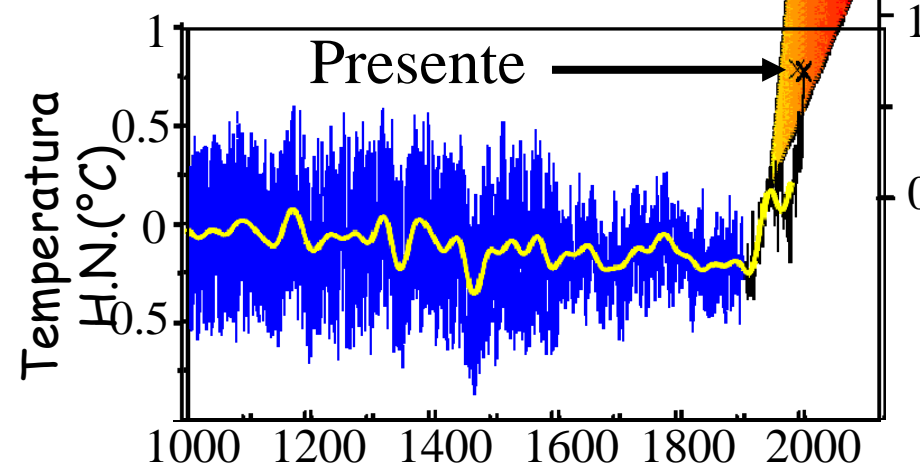
Sistema Terrestre se mueve hacia un nuevo estado;  
Colapso de la civilización moderna

Retroalimentación de aerosoles y C empuja el  
clima hacia arriba; impacto masivo en humanos

Pérdida de casquete polar de Groelandia

Pérdida elevada de biodiversidad;  
Desaparición de los arrecifes de coral

"Acordado" Protocolo Cambio Climático

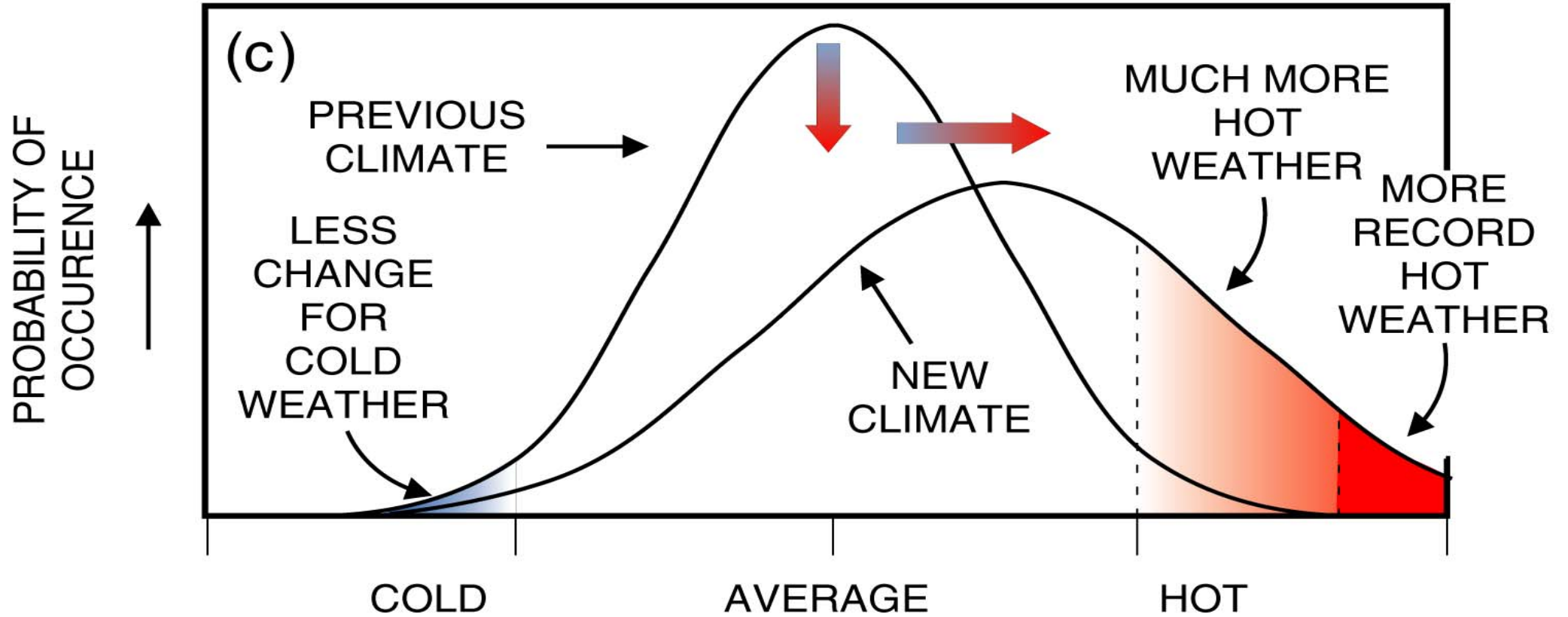


Proyecciones del  
IPCC 2100 AD

Temperatura Global  
(°C)



# INCREASE IN MEAN AND VARIANCE

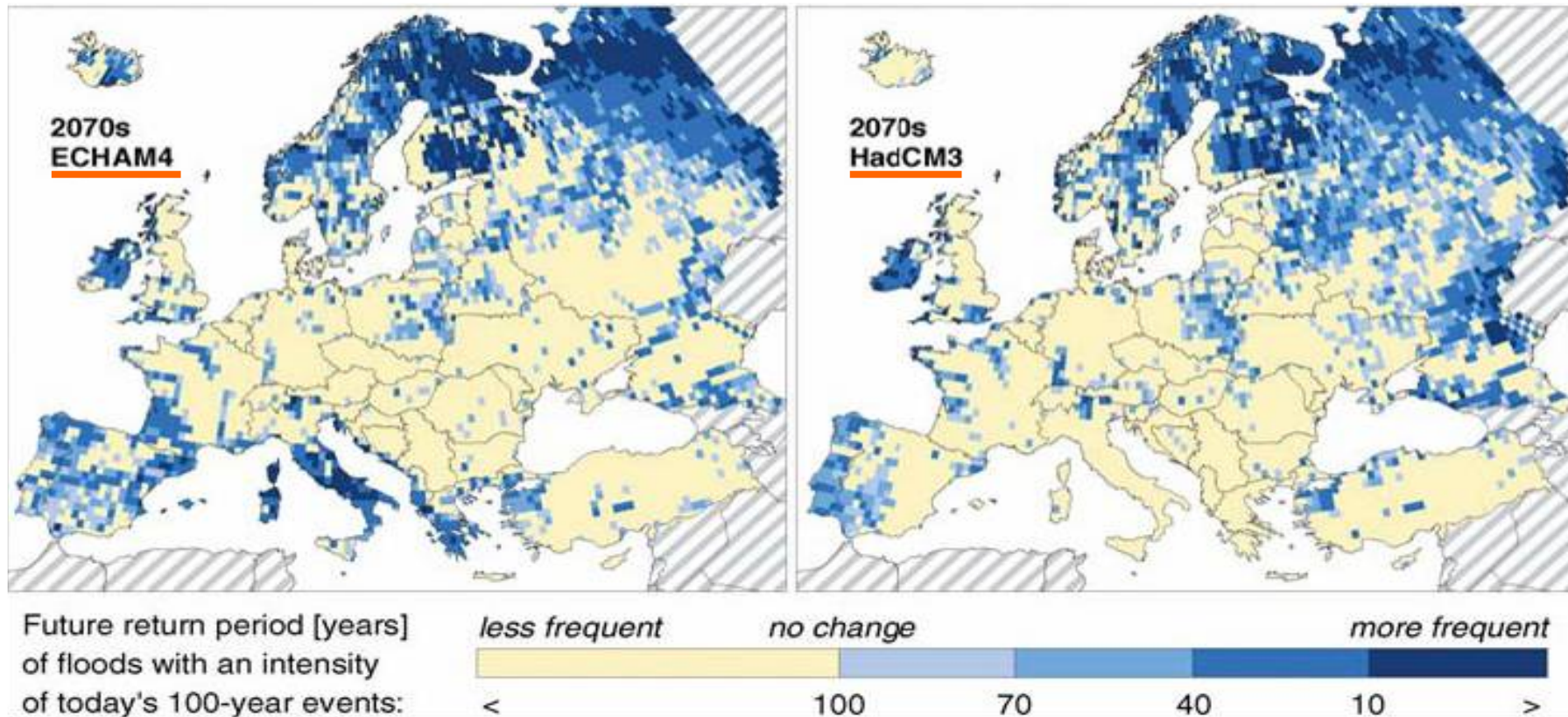


Much bigger percentage changes in extremes

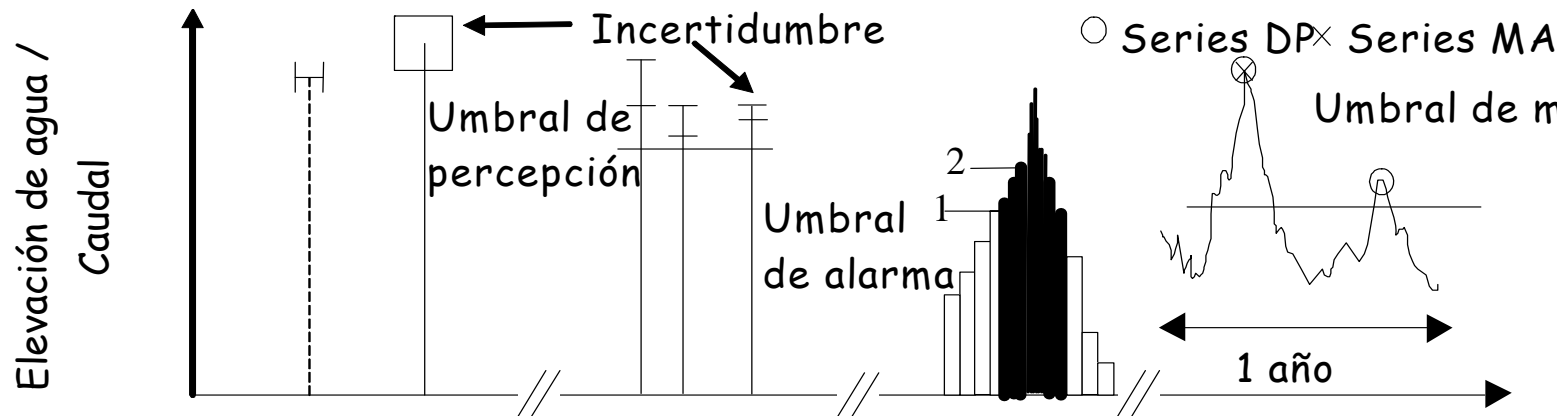


# ¿Está el cambio climático causando el incremento de la frecuencia o magnitud de las crecidas?

## ➤ Valoración Europea de Lehner et al. (2006)



*Cambio en la recurrencia de eventos de crecida con periodo de retorno de 100 años entre el presente (1961-1990) y el futuro (2070s) a partir de simulaciones de clima y uso de agua. Fuente: Lehner et al. (2006), Climatic Change 75, p. 273-299.*

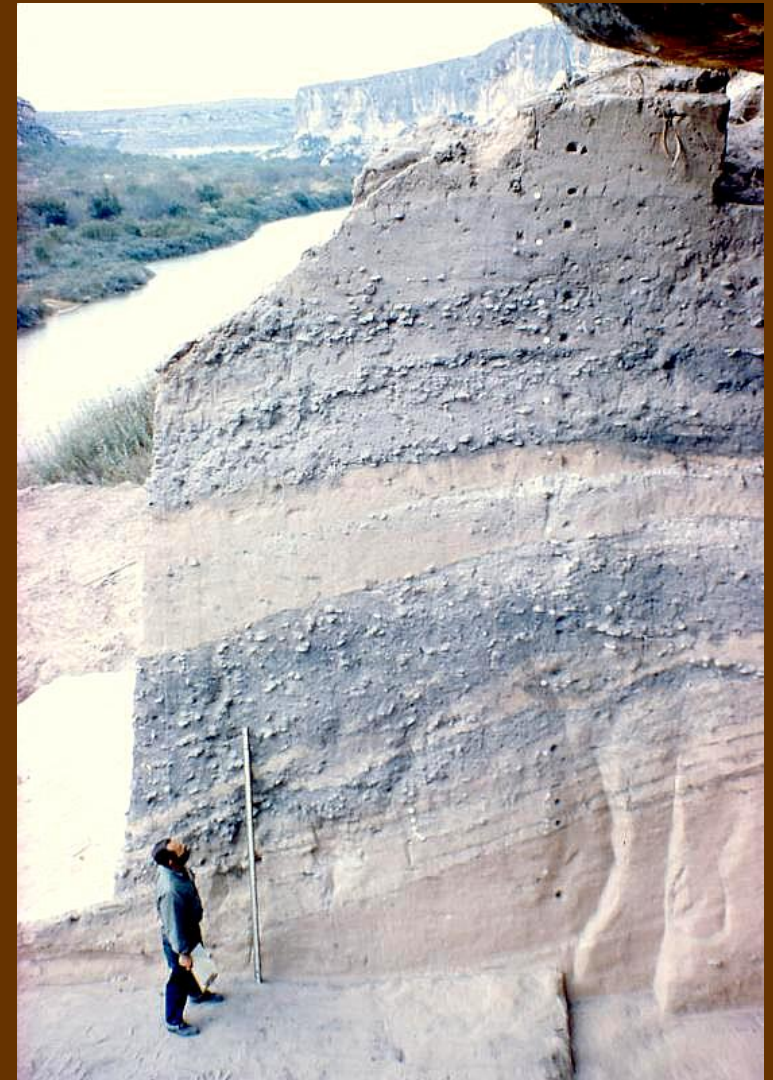


PERIODOS	(a) PREHISTÓRICO	(b) HISTÓRICO		(c) CONTEMPORÁNEO
	Paleocrecidas	Observación ocasional	Observación permanente	Estación de aforos
Fuente de datos	INDICADOR GEOLÓGICO	BUSQUEDA EN ARCHIVO		EVIDENCIA ORAL
	INDICADOR BIOLÓGICO			
Tipos de datos	Datos censurados Magnitud conocida o no	Censurados Magnitud conocida o no	Niveles diarios Detalles de crecidas	Datos sistemáticos MA / DP

# Paleocrecida:

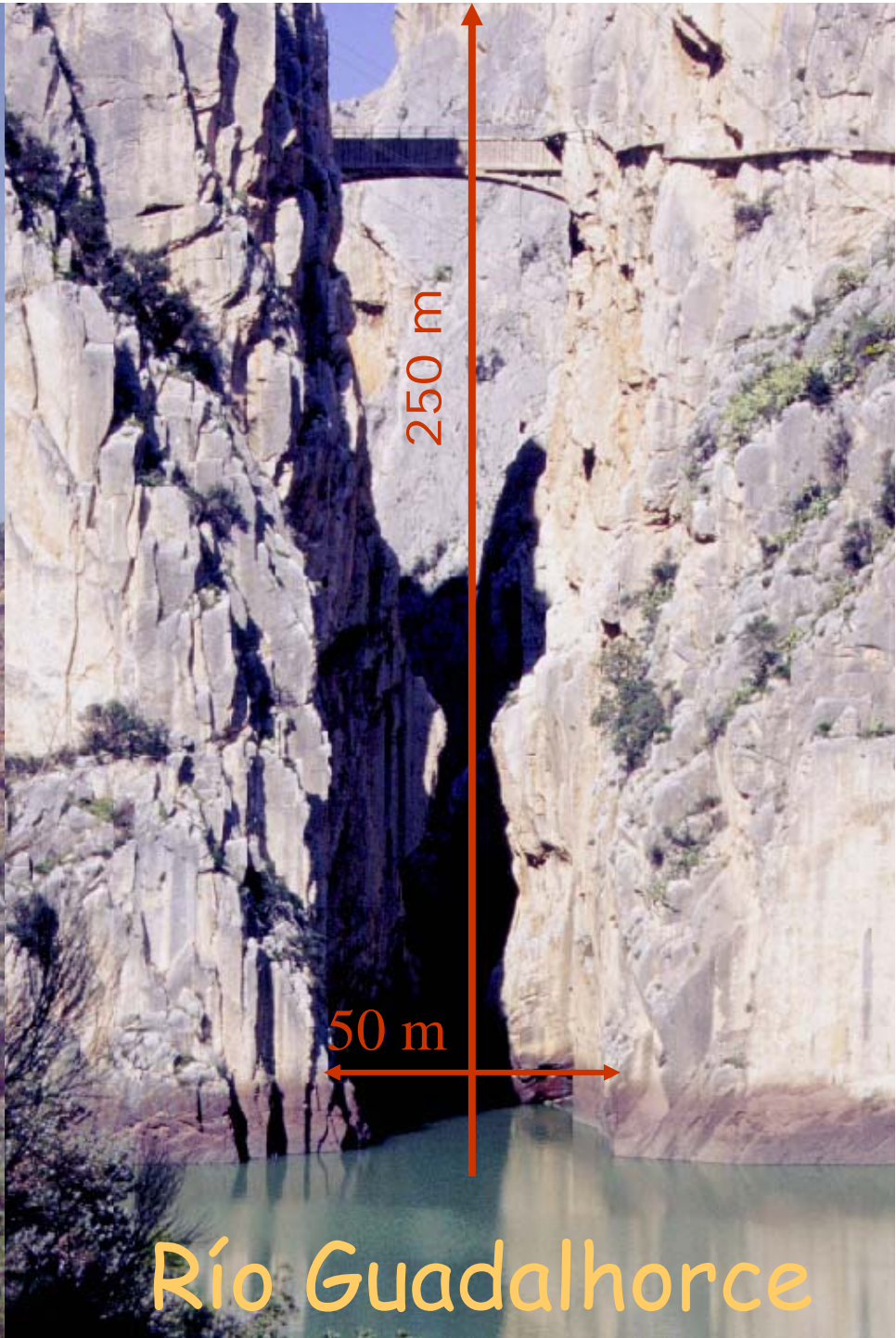
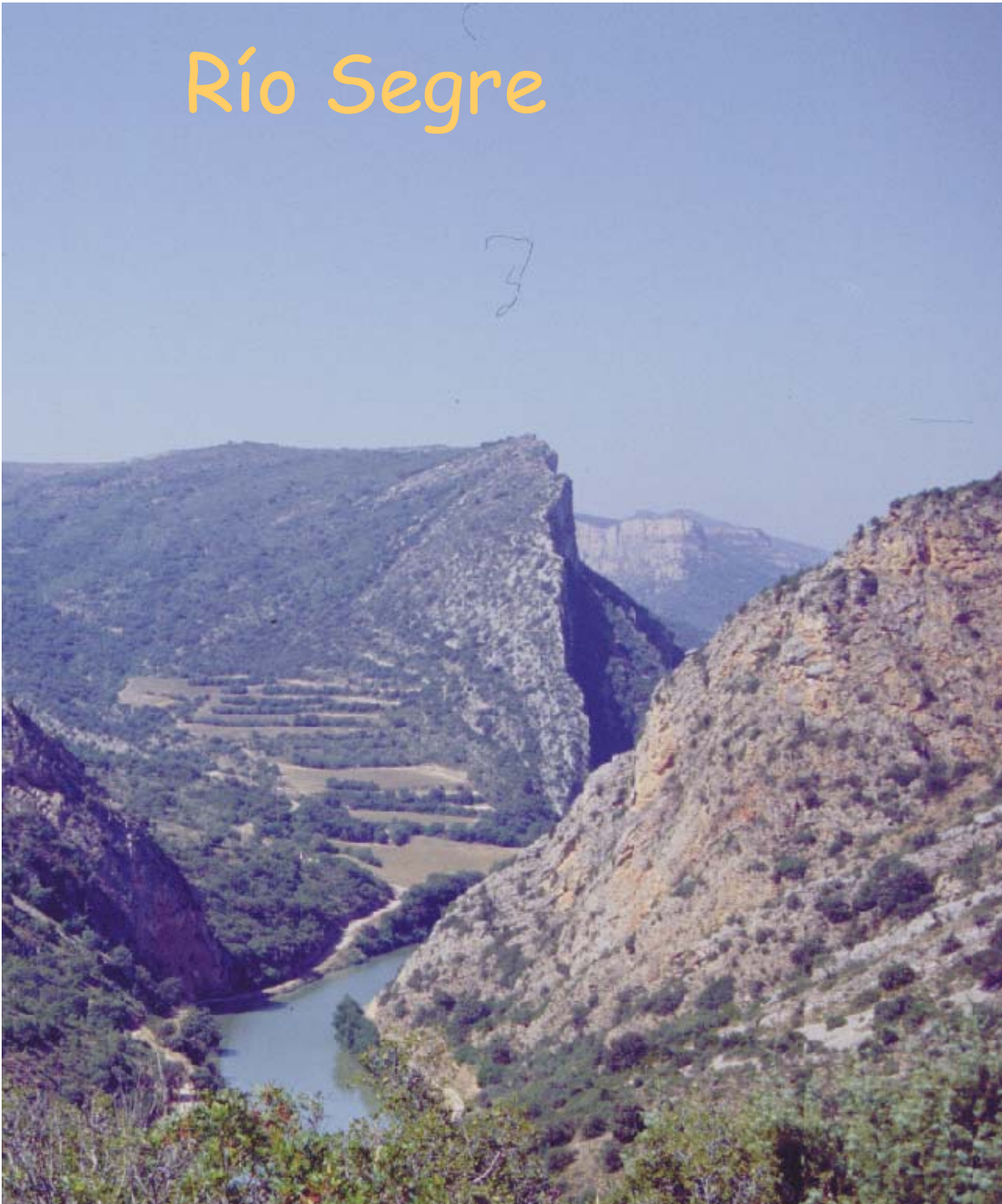
Crecidas acaecidas con anterioridad a los registros de aforos y cuya magnitud y ocurrencia puede estimarse a partir de evidencias geológicas, geomórficas, botánicas e hidráulicas.

V.R. Baker (1983)





Río Segre



Río Guadalhorce

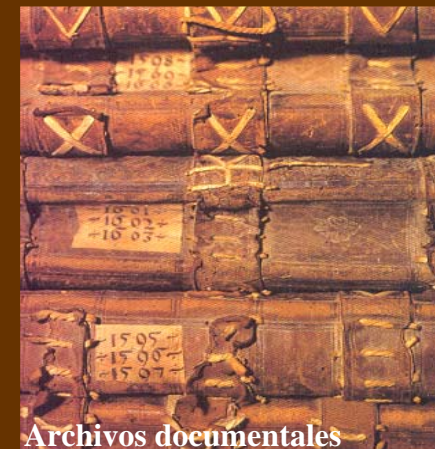


# Crecida Histórica:

Eventos de crecida documentados mediante observación humana (no instrumental) que incluyen diferentes fuentes y archivos documentales.



*Registro epigráfico en edificios*



Archivos documentales

Brázdil, Kundzewic & Benito (2006)

# Estudios de paleocrecidas

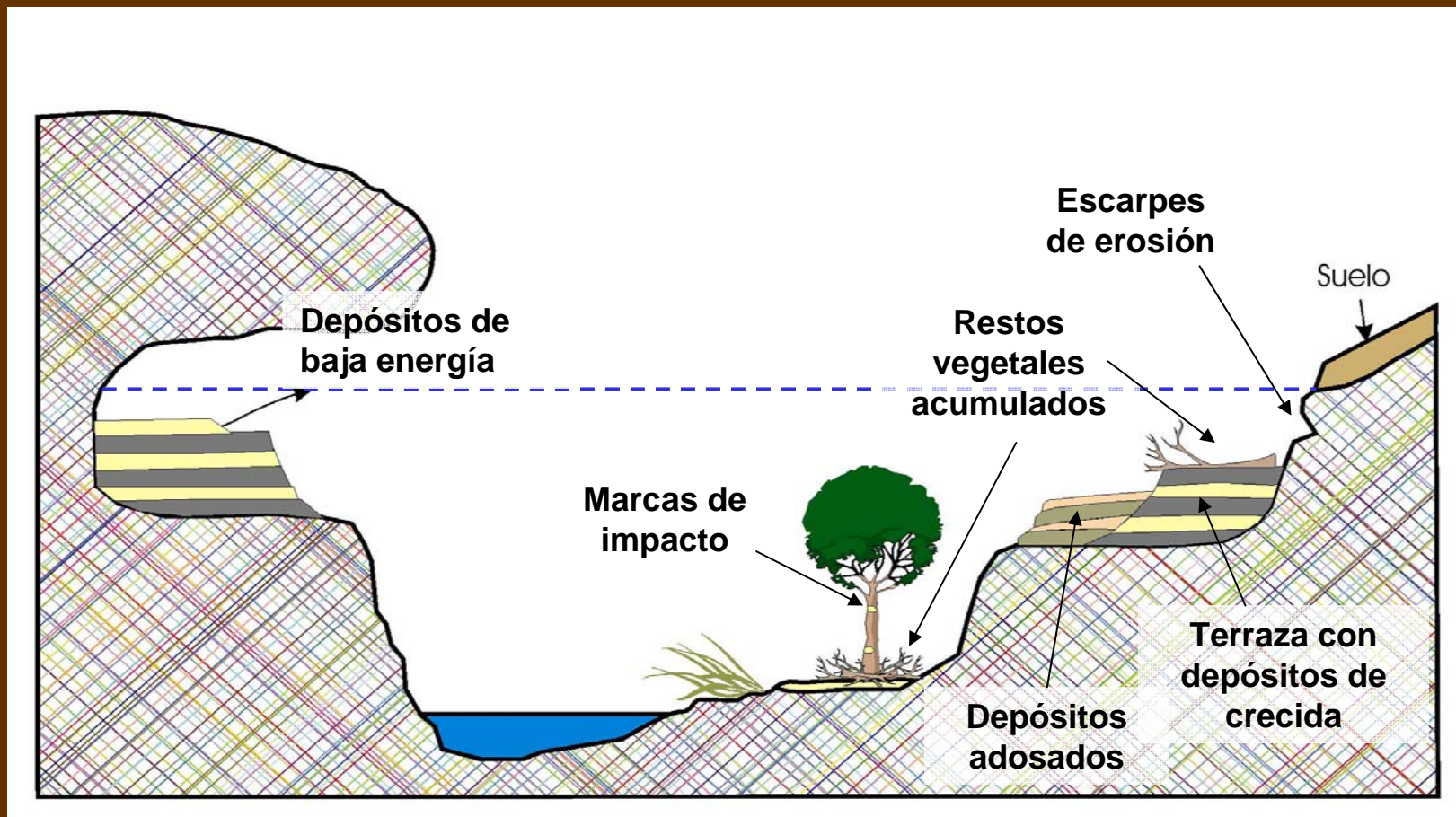




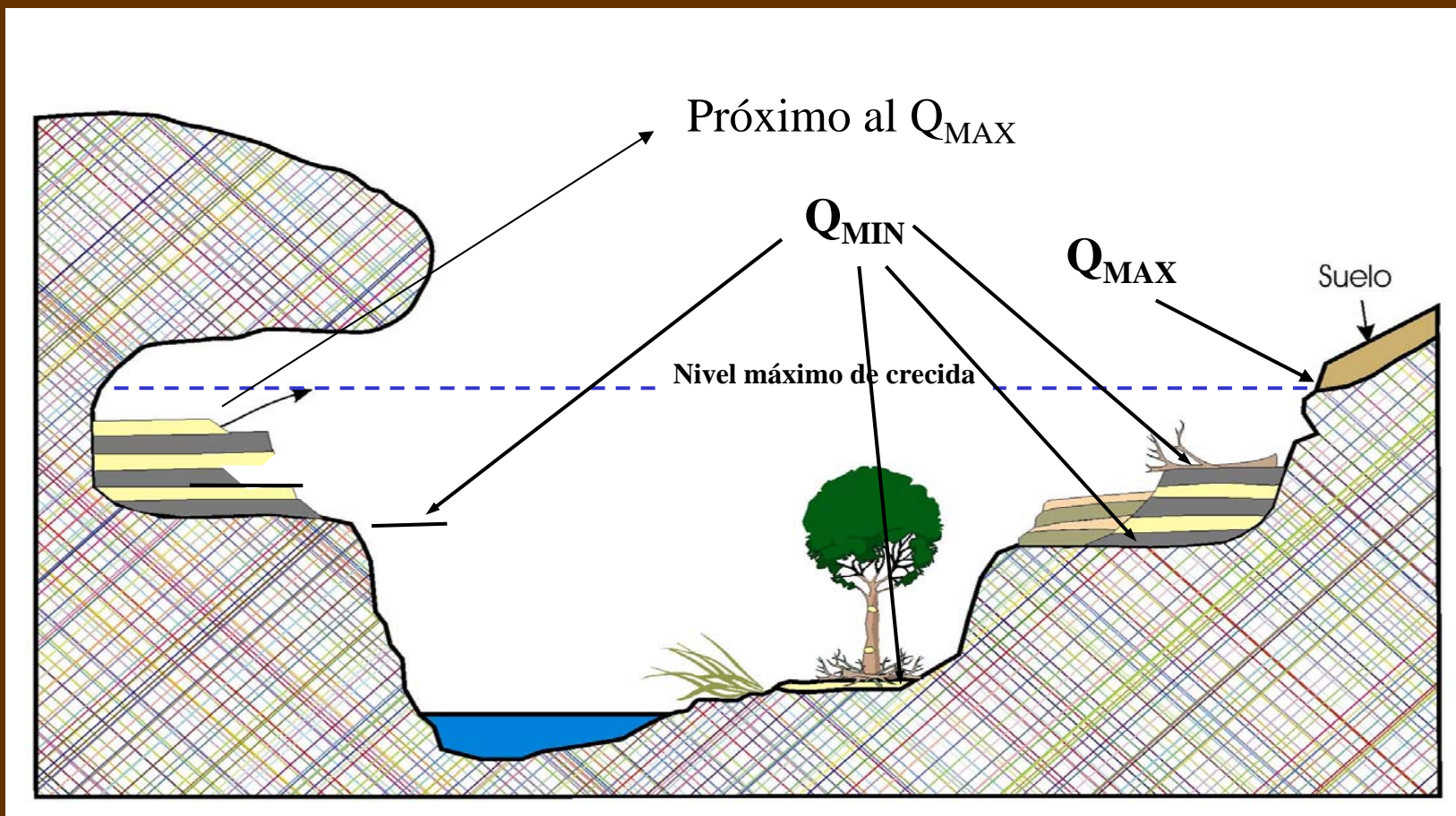
PALEOCRECIDAS

INDICADORES DE NIVEL  
EN LAS PALEOCRECIDAS

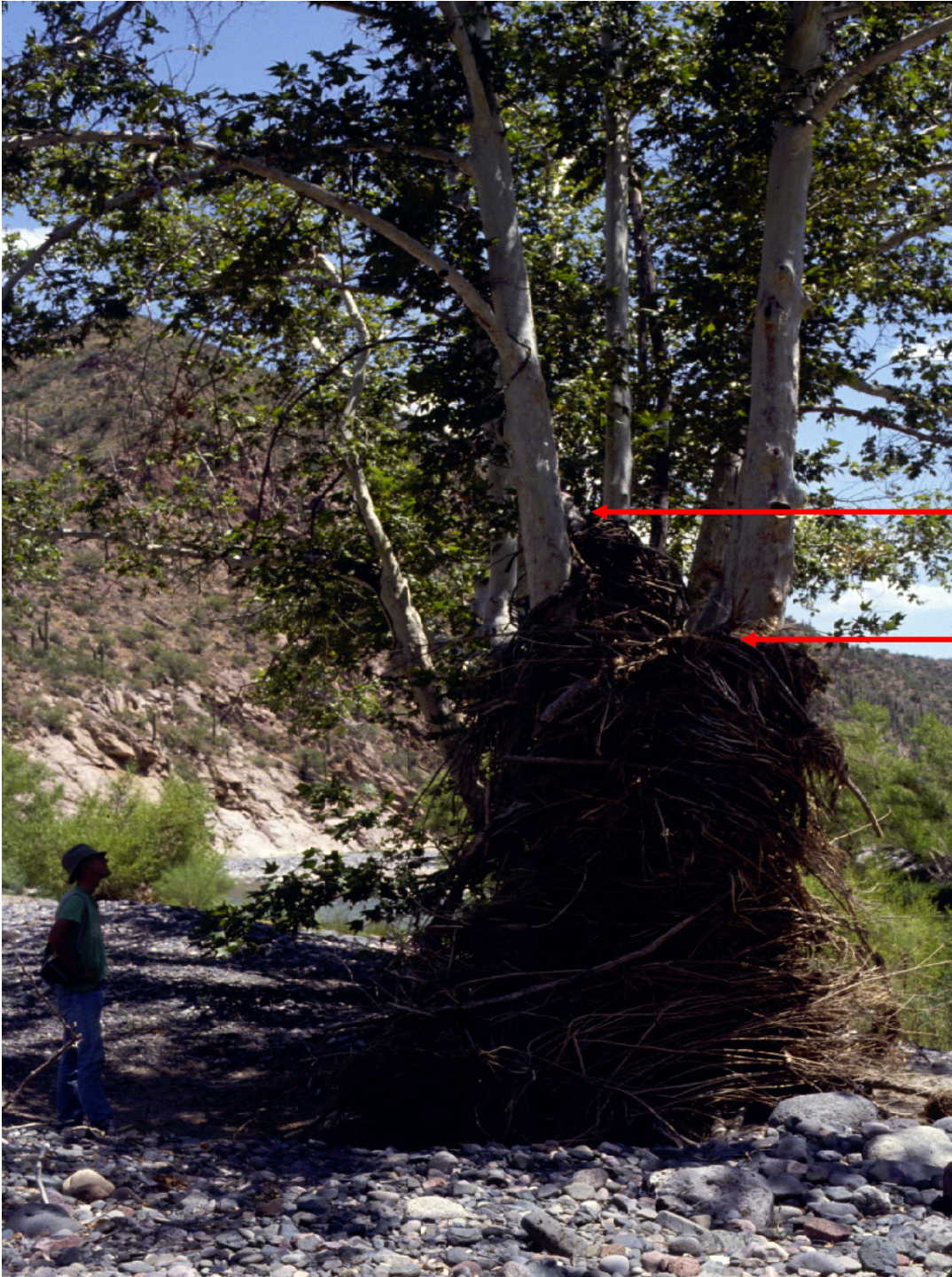
# Registro geológico de paleocrecidas



# Registro geológico de paleocrecidas







Marcas de nivel debidas al  
arrastre de restos de vegetación

Nivel con sobreelevación =  
Energía de carga

Nivel mínimo de la crecida



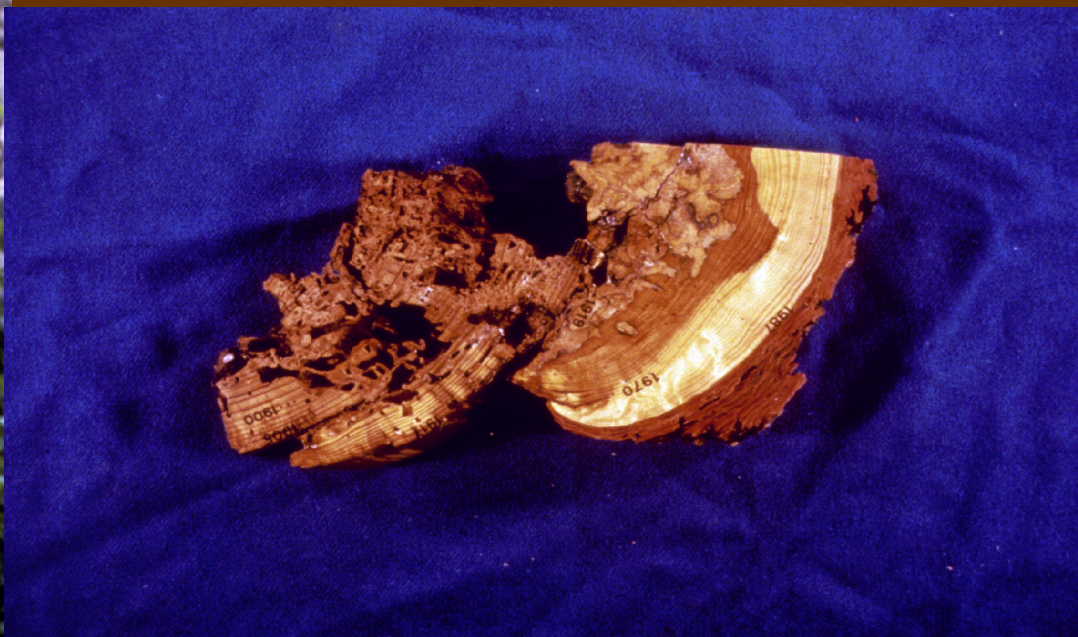
Raíces expuestas por erosión de un banco de orilla durante un evento de avenida torrencial; pino resinero (*Pinus pinaster*) en las márgenes del arroyo Cabrera (Venero Claro, Sierra de Gredos oriental)



Foto cortesía de Andrés Díez Herrero

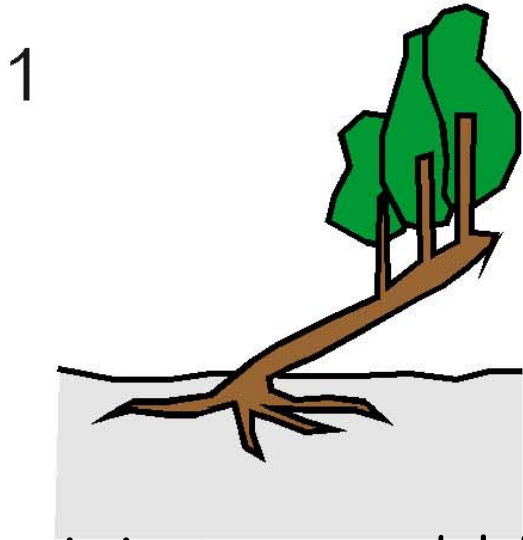


# Marcas de impacto en troncos

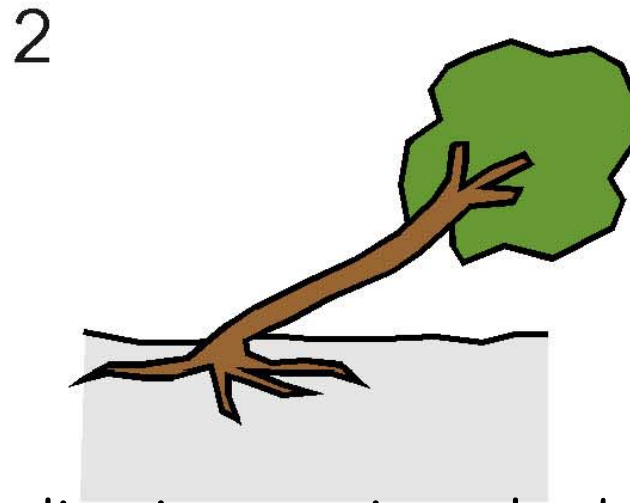




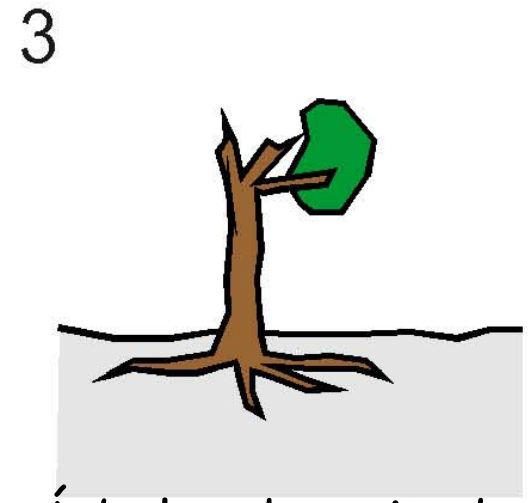
# Indicios dendrogeomorfológicos macroscópicos (Díez Herrero et al., 2007)



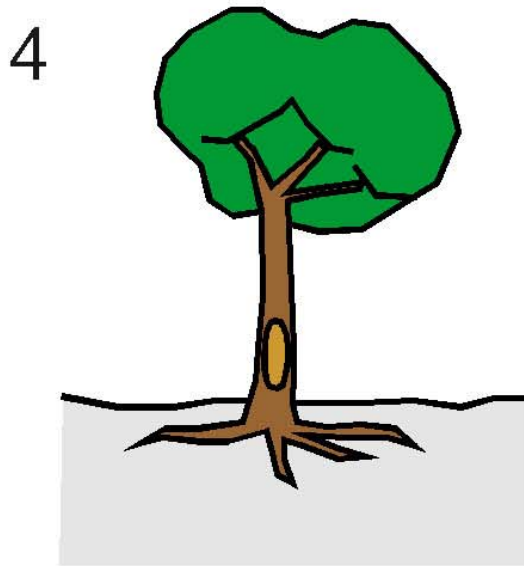
Crecimiento en candelabro



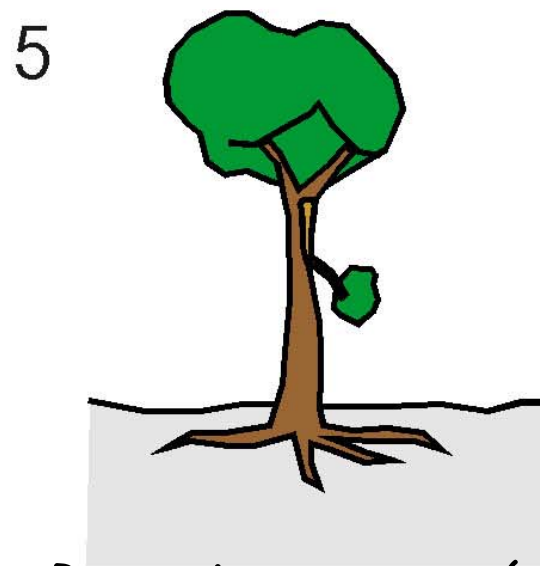
Inclinaciones y pies volcados



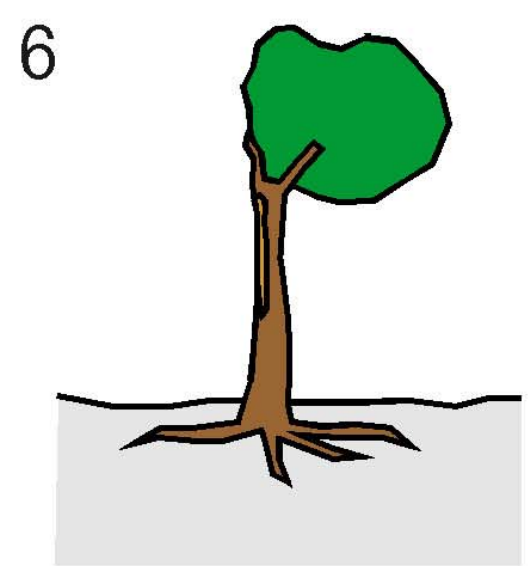
Árboles decapitados



Impacto de carga sólida



Rozamiento por caída de otros troncos



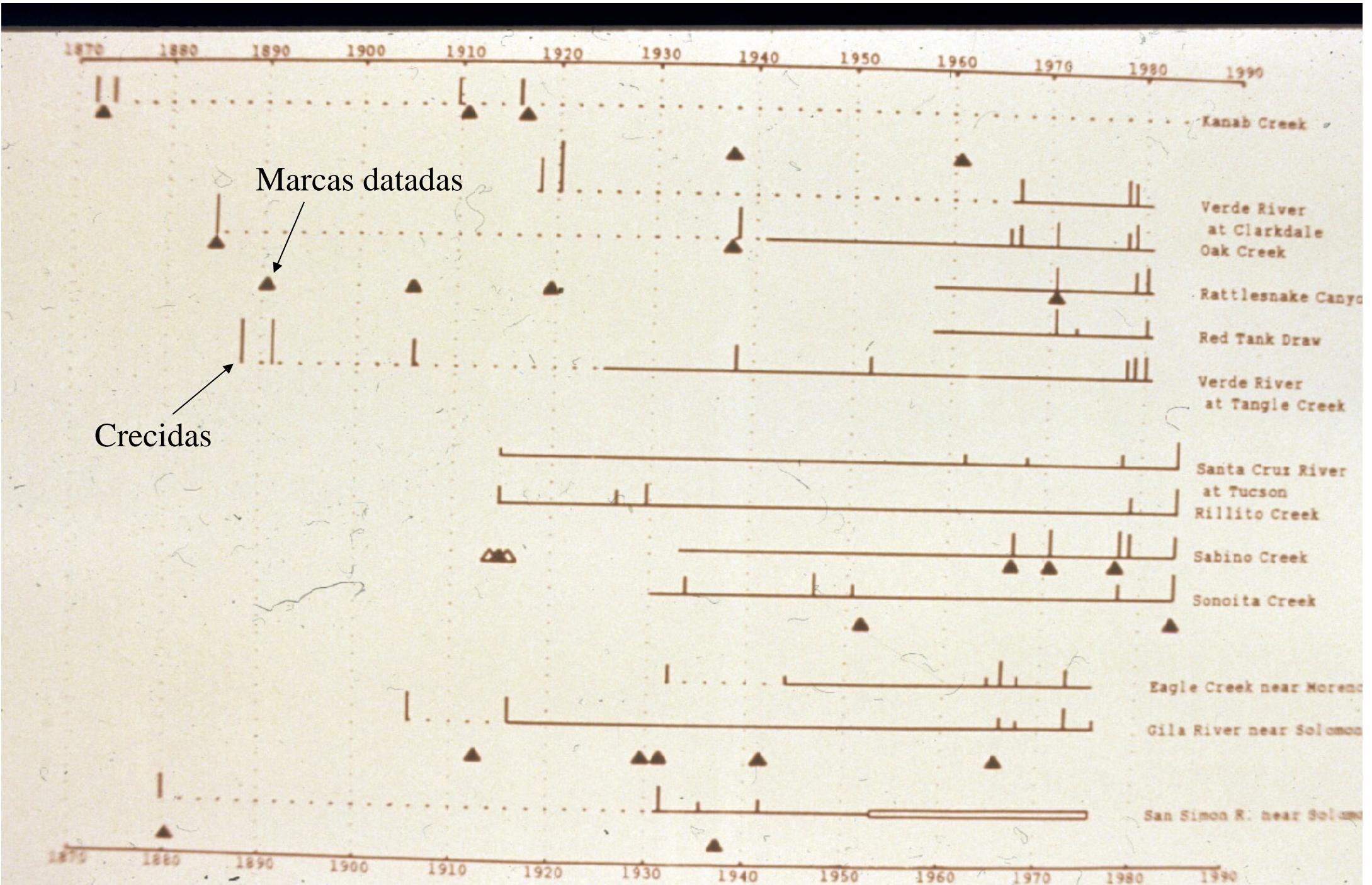
Arranque de ramas





Crecimiento de ramas adventicias en candelabro a partir de un fuste inclinado y partido; ejemplar de aliso (*Alnus glutinosa*) en una barra media longitudinal de gravas del río Alberche a su paso por Navaluenca (Ávila). Foto Díez-Herrero et al., 2007

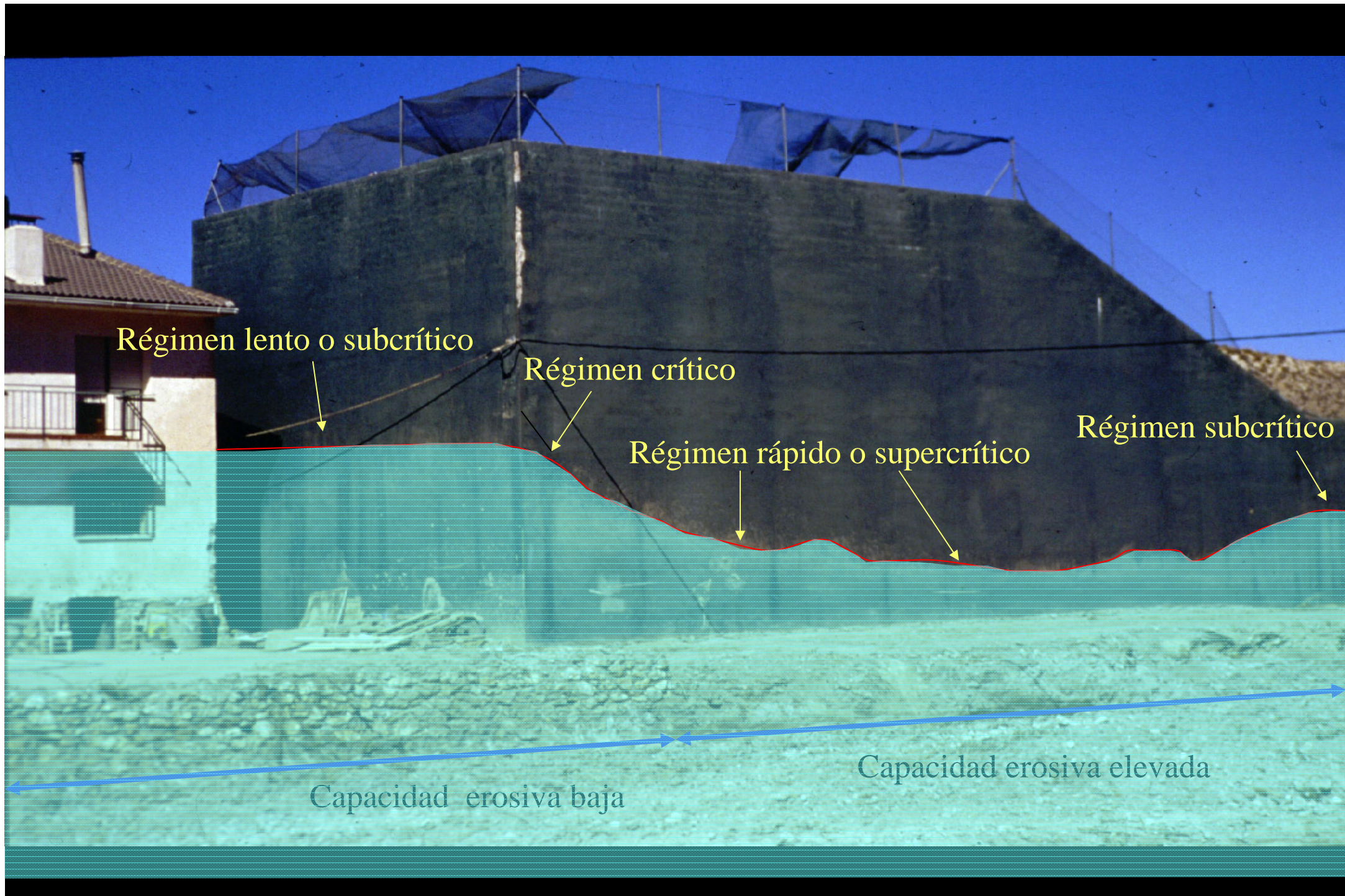












Régimen lento o subcrítico

Régimen crítico

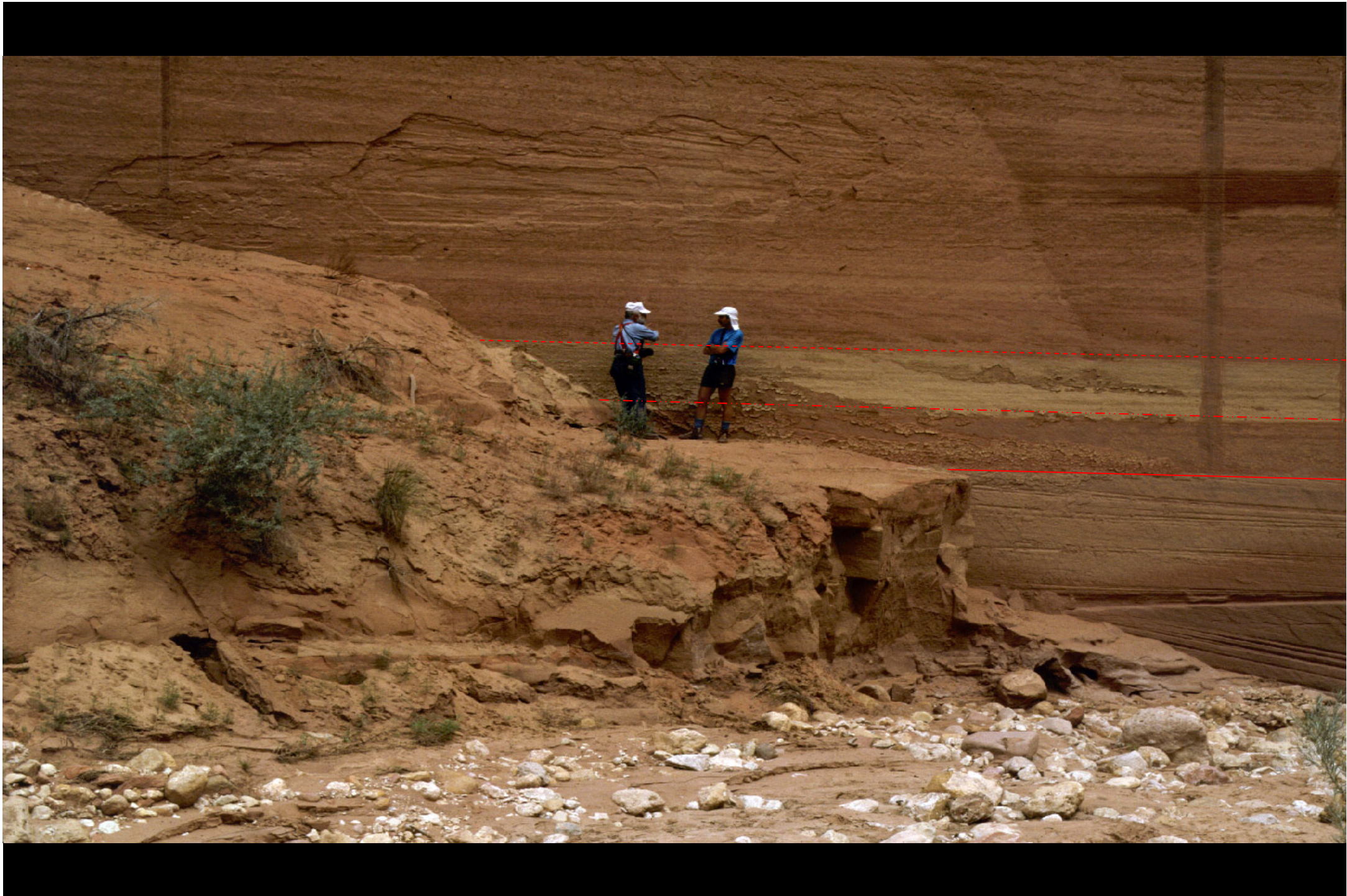
Régimen rápido o supercrítico

Régimen subcrítico

Capacidad erosiva baja

Capacidad erosiva elevada







# R. Narmada (India)

Líneas de erosión





# R. Narmada

Líneas de erosión





## ESTRATIGRAFÍA Y GEOCROLOGÍA



## ESTIMACION DE CAUDALES



## ANÁLISIS ESTADÍSTICO



## CAMPOS DE APLICACION

- Descripción de los sedimentos
- Identificación de los diferentes eventos de crecida
- Datación

- Aplicación de principios de hidráulica
- Estimación de caudales punta asociados a los sedimentos mediante modelos hidráulicos

- Determinar las funciones de distribución
- Frecuencia de crecidas

Cambio Global: Relación C. clima y C. ambientales

Delineación de zonas inundables

Seguridad de presas e infraestructuras

Recursos hídricos en zonas áridas

# Depósitos de paleocrecidas en zonas de remanso

- Los sedimentos de remanso son sedimentos que transportados en suspensión y se acumulan en zonas laterales de los canales donde se forman remolinos y áreas de agua estancadas o de baja velocidad.
- Son indicadores de calado ya que proporcionan la elevación mínima alcanzada por las aguas de crecida durante el evento.
- Estas elevaciones se pueden convertir en caudales estimados mediante modelización hidráulica.



# Estudios de paleocrecidas

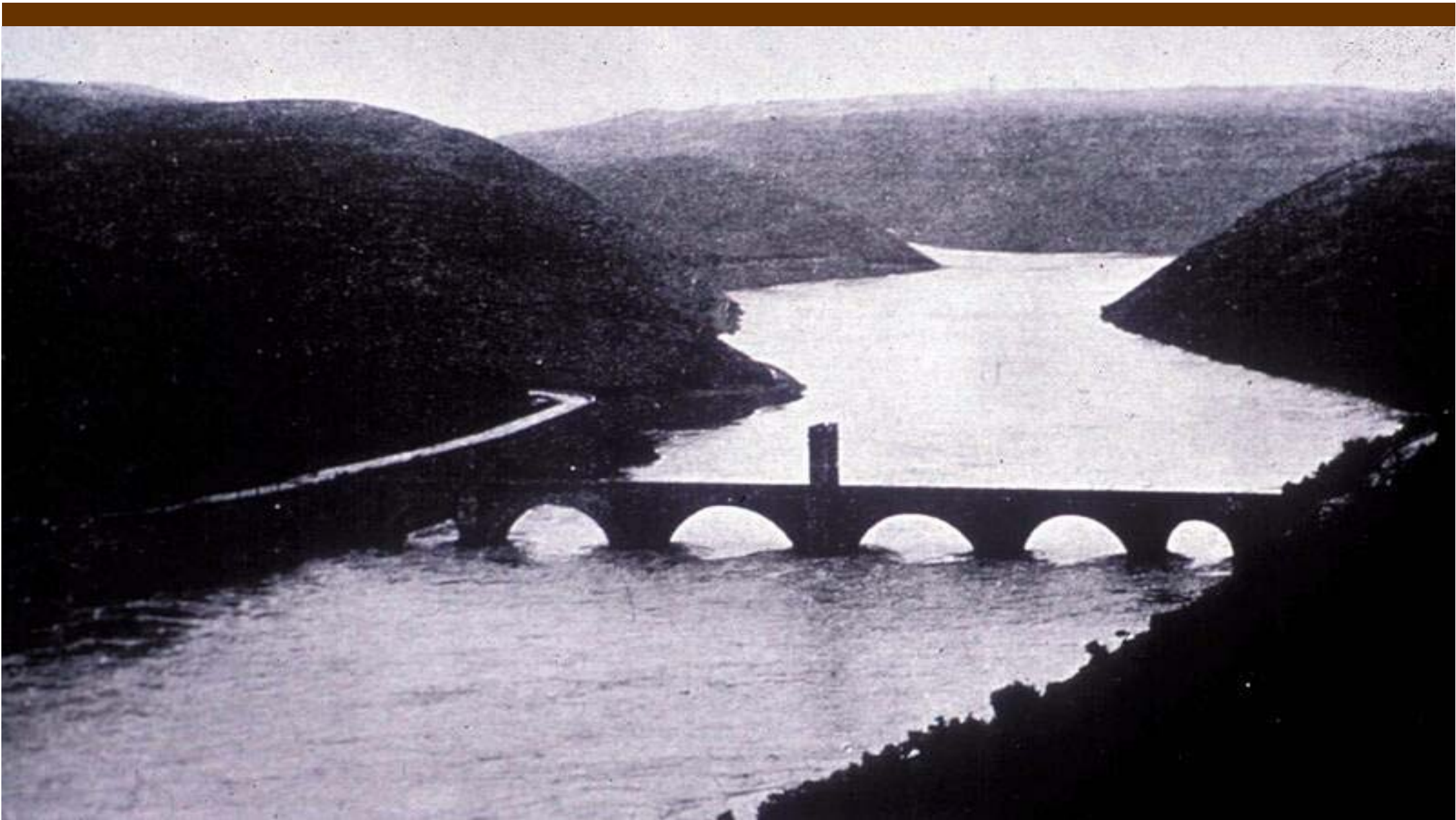




Puente de Alcántara  
(Río Tajo, Cáceres)







Río Tajo: Crecida de 1947



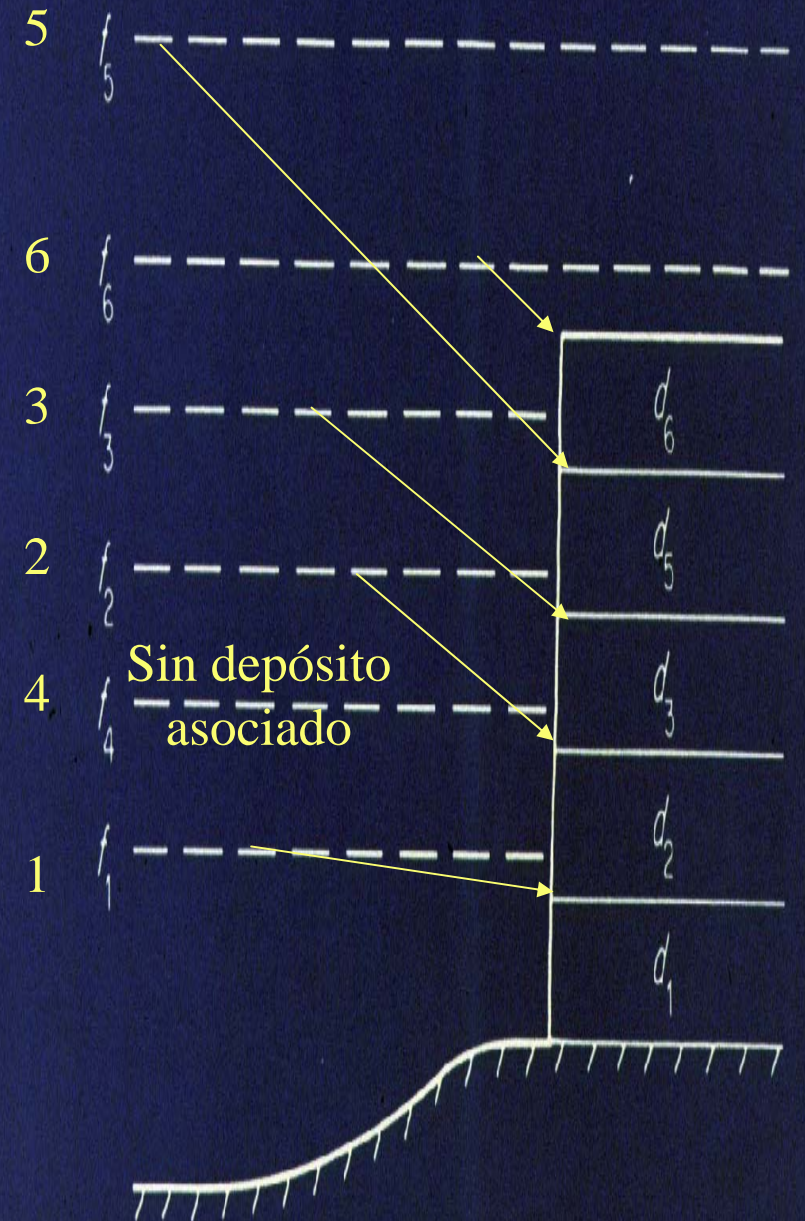
# Puente Romano de Alcantara





# Depósitos asociados a las paleocrecidas

Datos censurados: Niveles de censura cambiantes en el tiempo



# DEPÓSITOS DE REMANSO SLACK-WATER FLOOD DEPOSITS

## Descripción

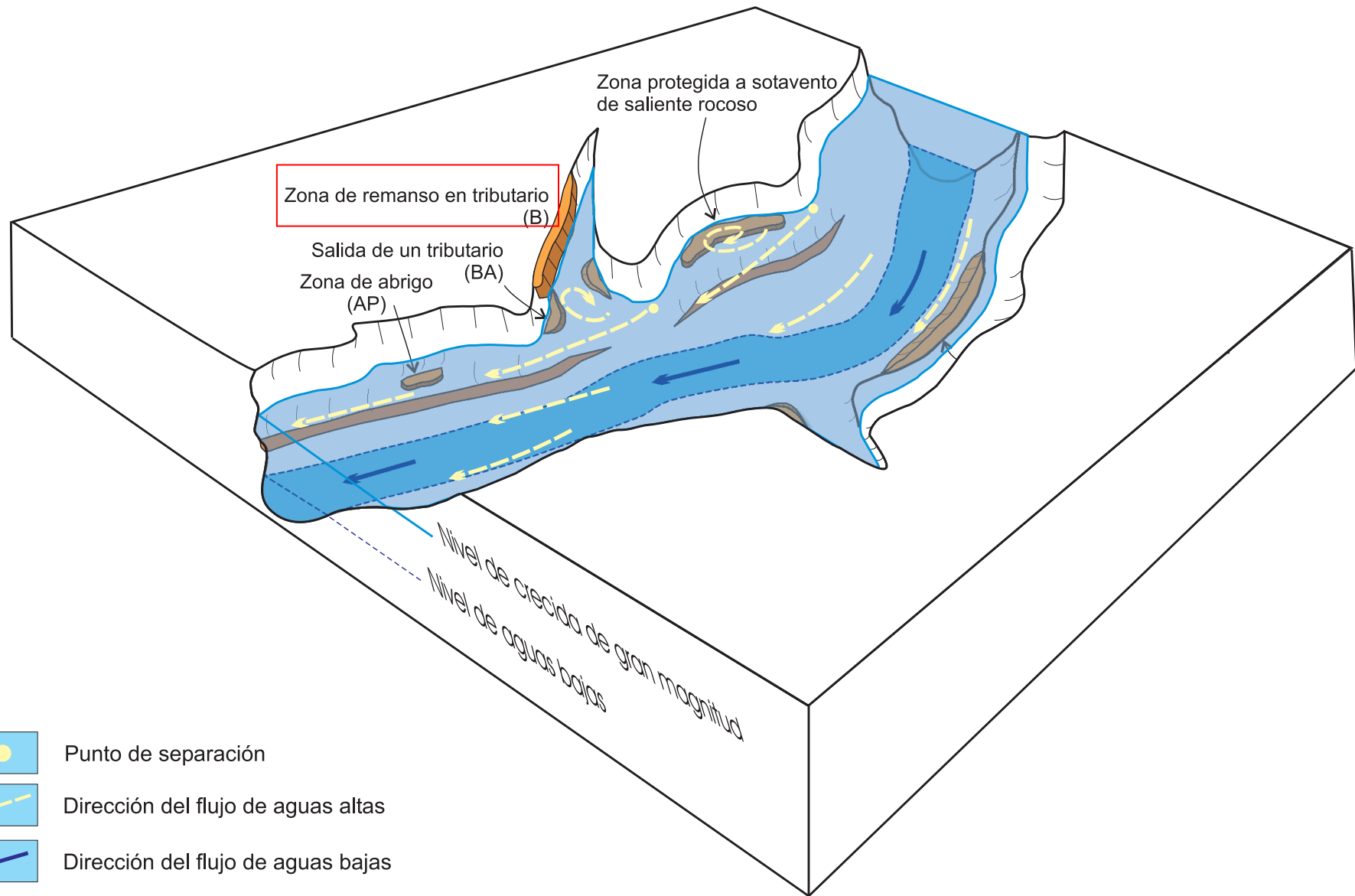
- Grano fino, principalmente arena y limo transportado en suspensión
- Potencia: pocos cm a 1.5 m
- Estructuras: masiva, laminación paralela y estratificación cruzada planar y en surco
- Ambientes deposicionales: zonas de recirculación



## Depósitos de paleocrecidas (zonas de remanso)

- **NO** son indicadores **PROXY** (filtrados conociendo una relación o respuesta biológica o física)
- Son una **EVIDENCIA FÍSICA DIRECTA** de eventos individuales de extremos hidrológicos y de lluvia
- Preservan selectivamente las **MAYORES CRECIDAS**
- Normalmente son extremos **NO REGISTRADOS EN SERIES INSTRUMENTALES** de las estaciones foronómicas.

# Zona de remanso en barrancos afluentes





# Río Verde, Arizona



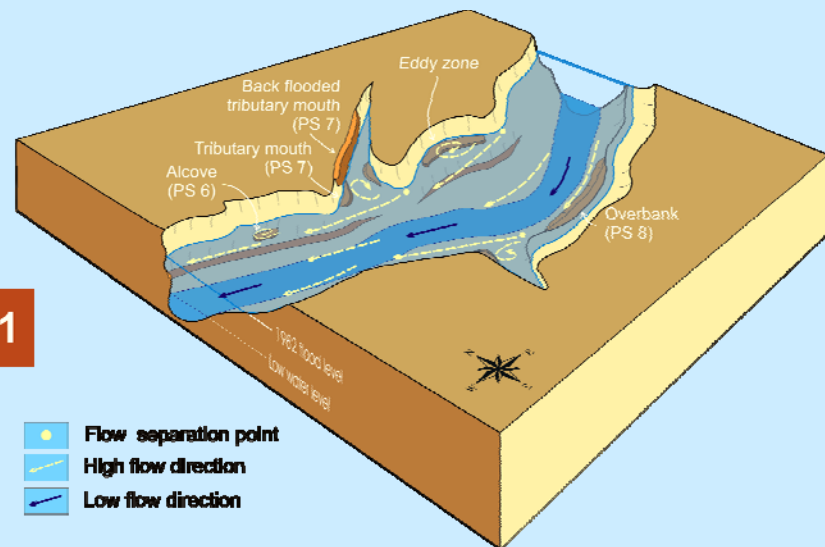
Flujo secundario



Flujo principal

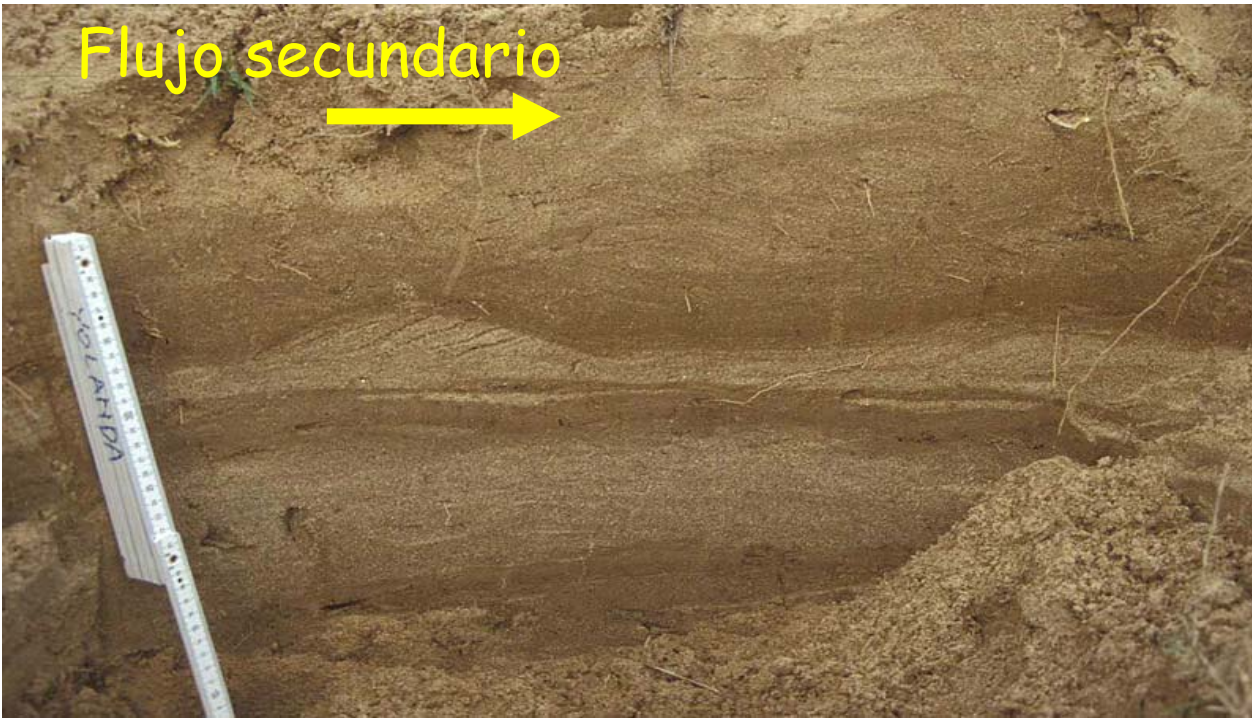


B 1





Flujo secundario



Banco inferior

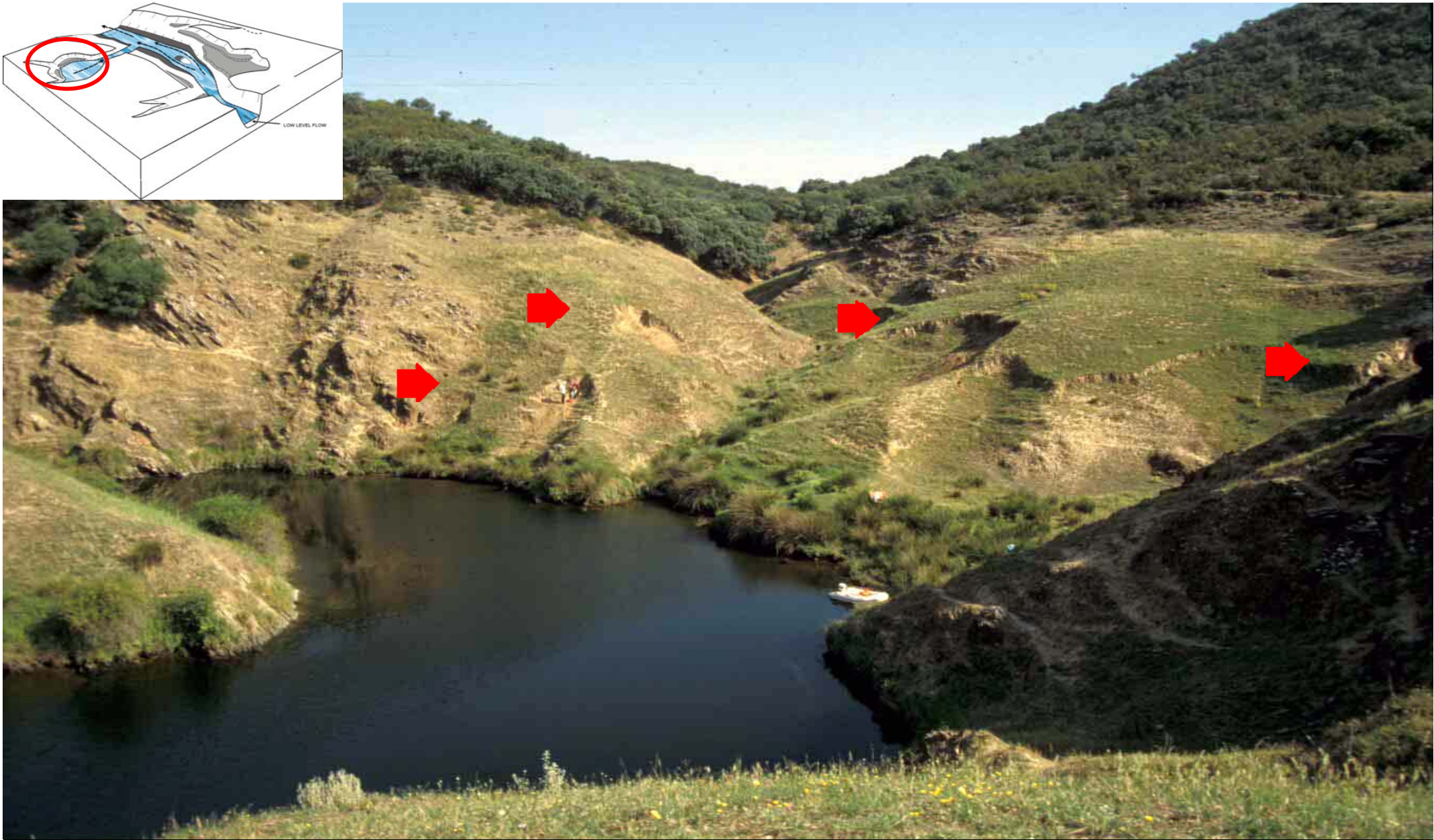
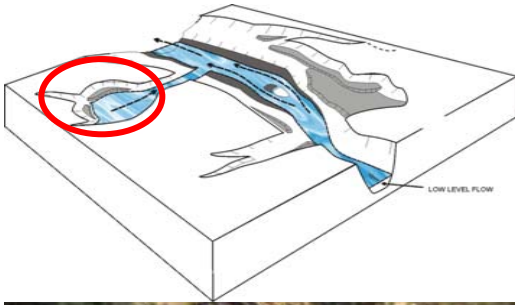
Flujo principal



Banco inferior

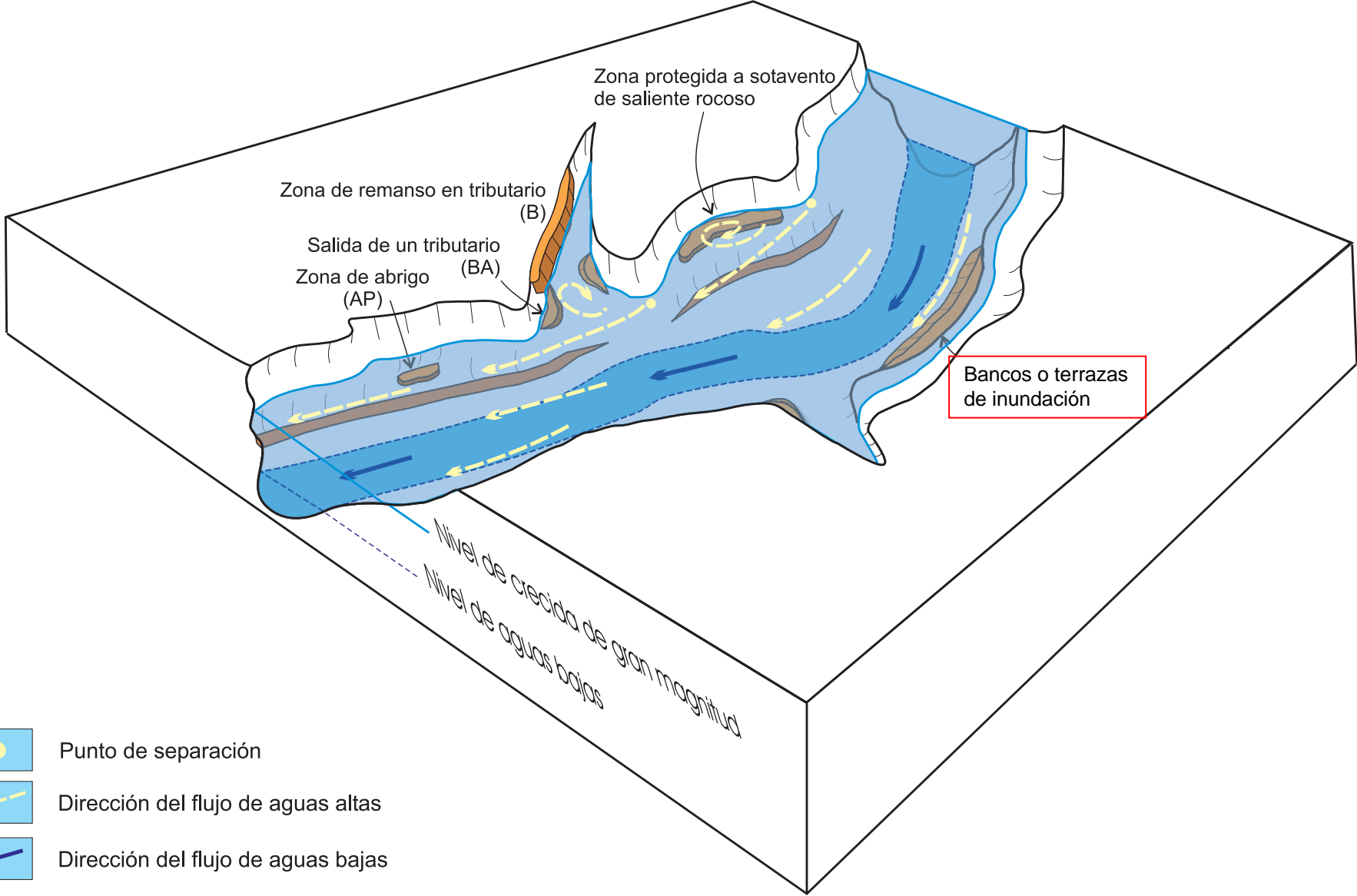




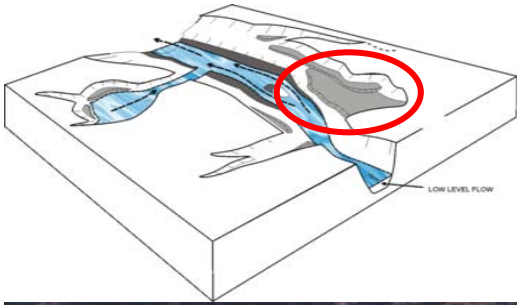


Río Tajo: Zona de remanso aguas arriba de afluente

# Bancos o terrazas de inundación







Puente del Arzobispo, Río Tajo. Bancos en zona de expansión





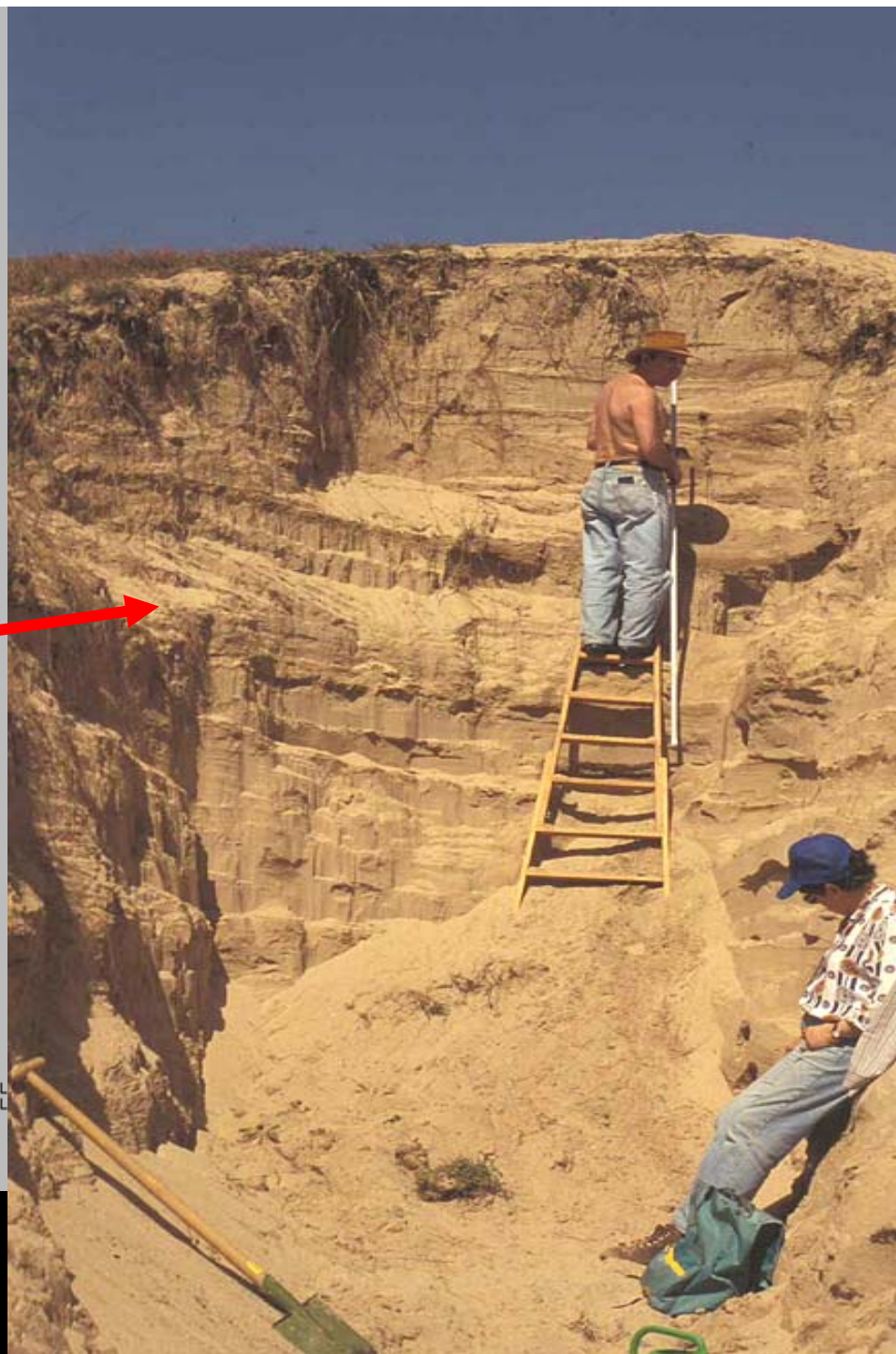
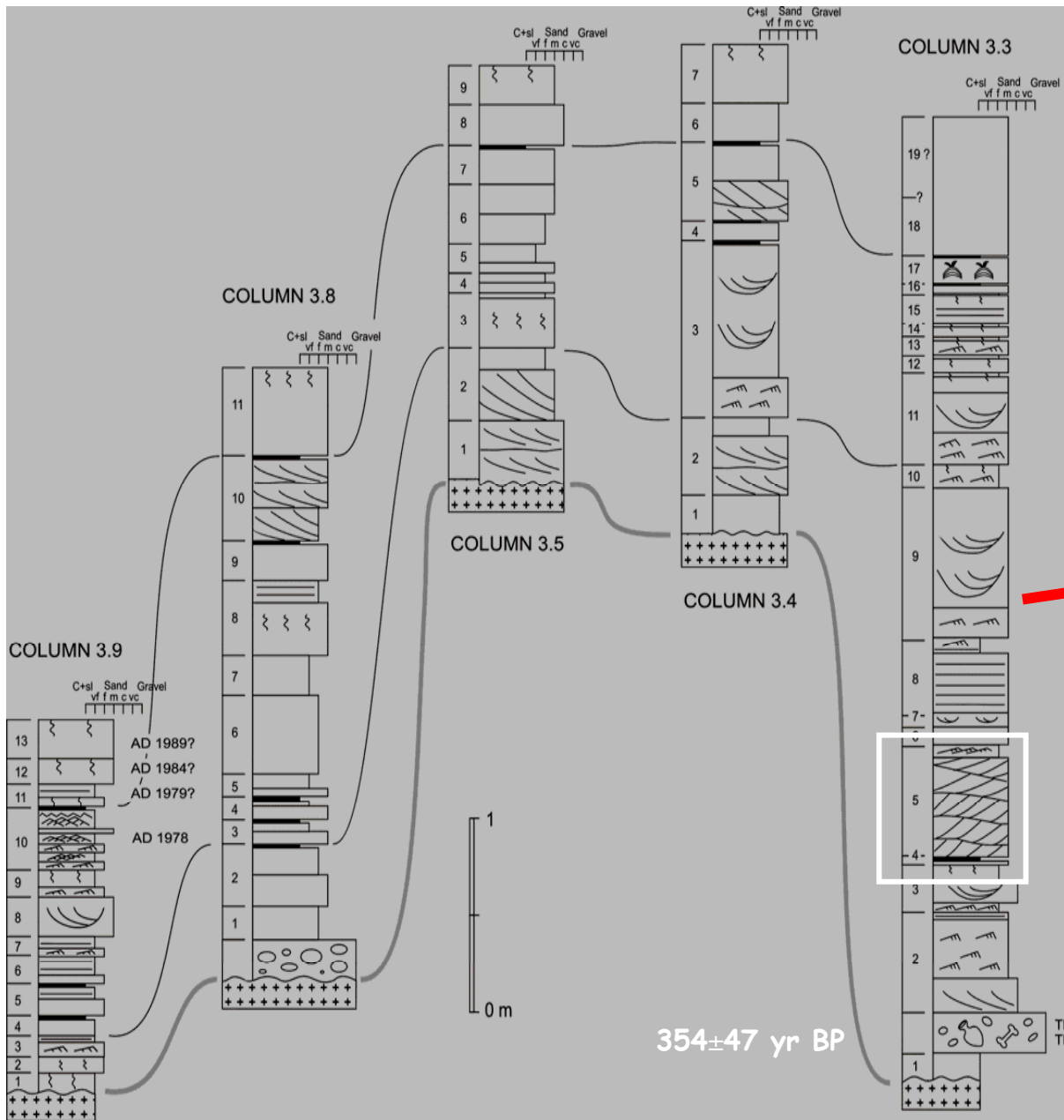
B3

B1

Dirección del flujo principal

Depósitos de crecida, Río Tajo, Puente del Arzobispo

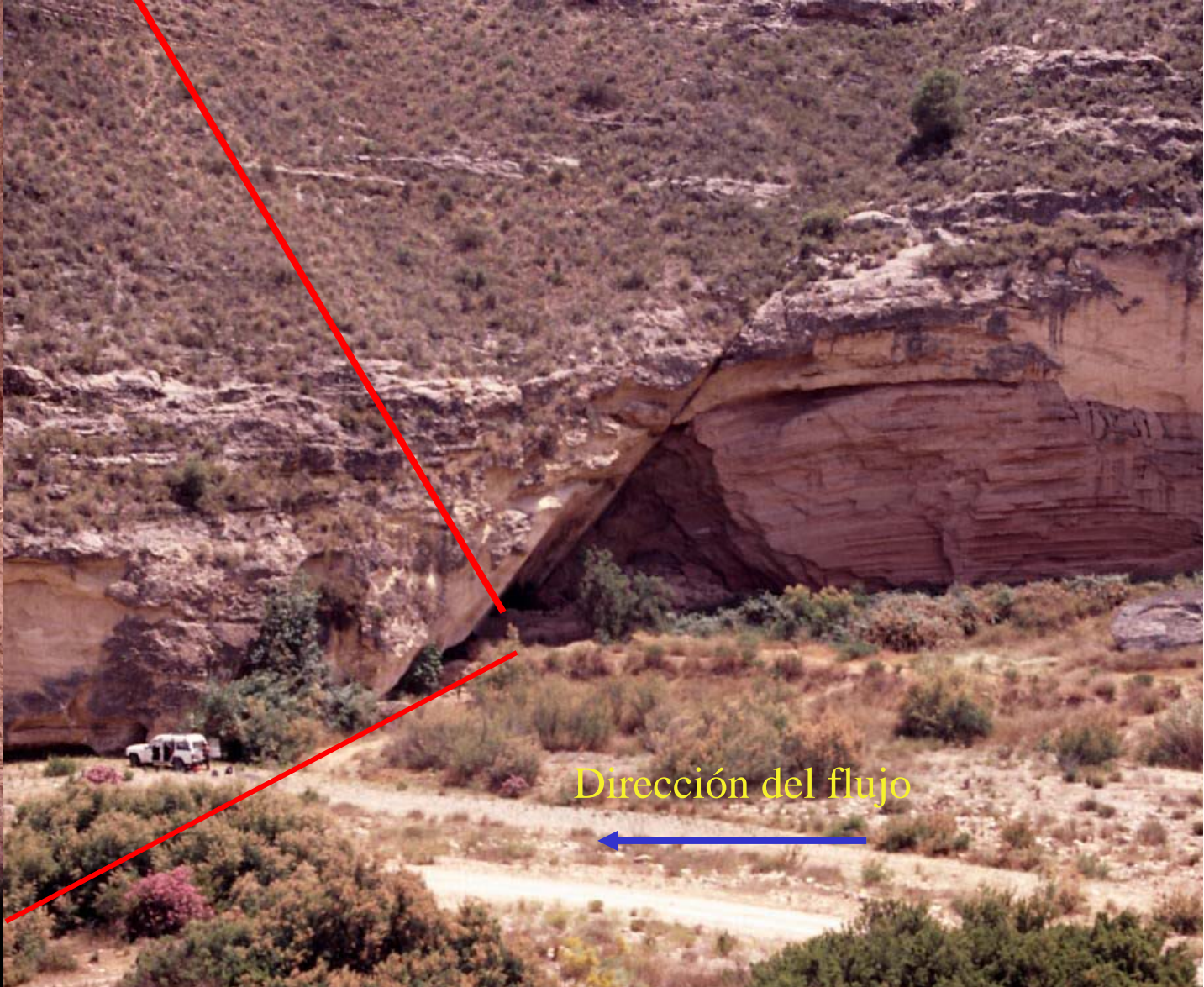




**Banco inferior**



## Zonas de abrigos o cavidades rocosas





## Zonas de abrigos o cavidades rocosas



Río S





Rapid Creek, Dakota del Sur  
Crecida de 1972  
"Noche del terror"









# DISCRIMINACIÓN ENTRE EVENTOS DE INUNDACIÓN

## Criterios:

- Cambios abruptos en la granulometría
- Desarrollo de paleosuelos
- Cambios en el endurecimiento y encostramiento
- Cambios de color
- Grietas de exposición subaérea
- Horizontes coluviales
- Aluviones de afluentes intercalados (dobletes)

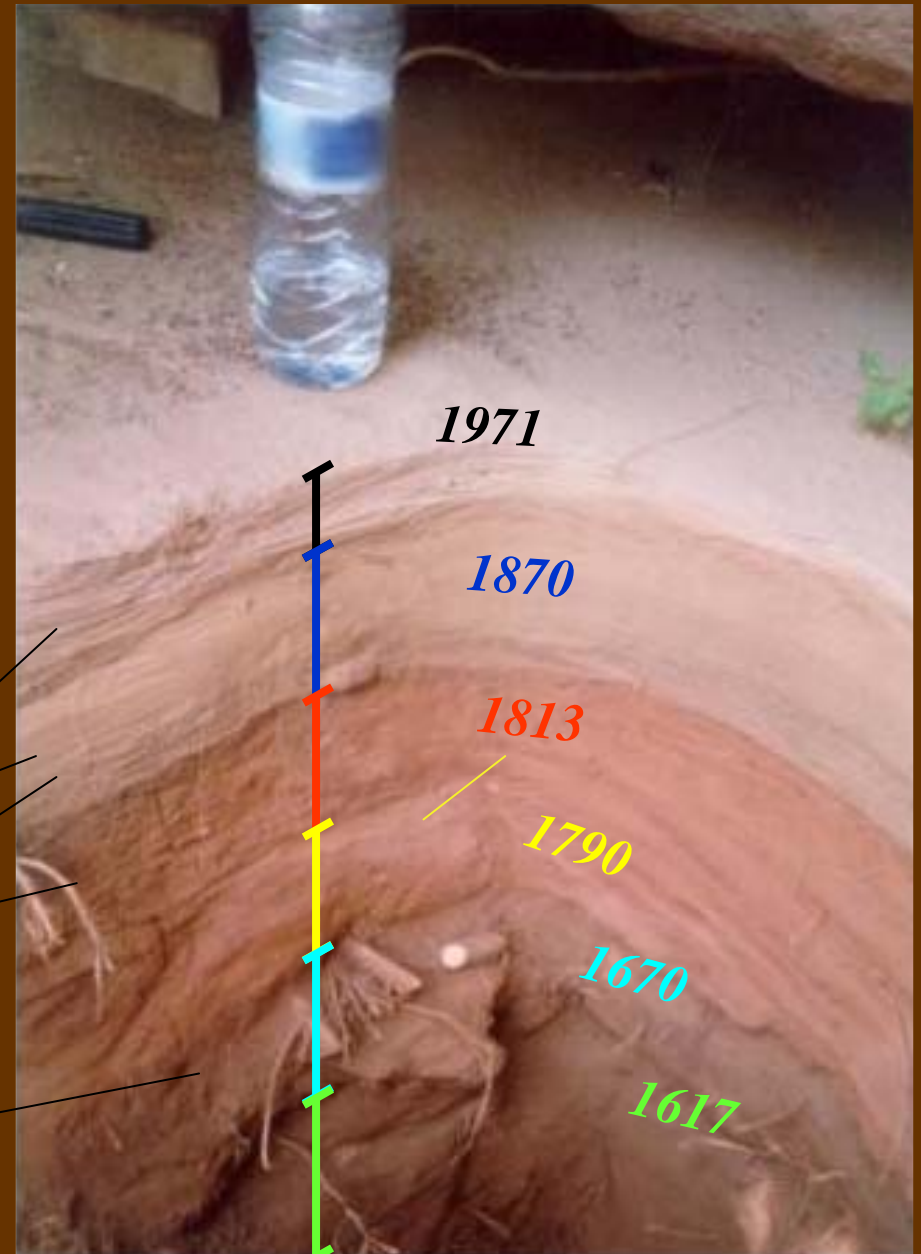


# DISCRIMINACIÓN ENTRE EVENTOS DE INUNDACIÓN

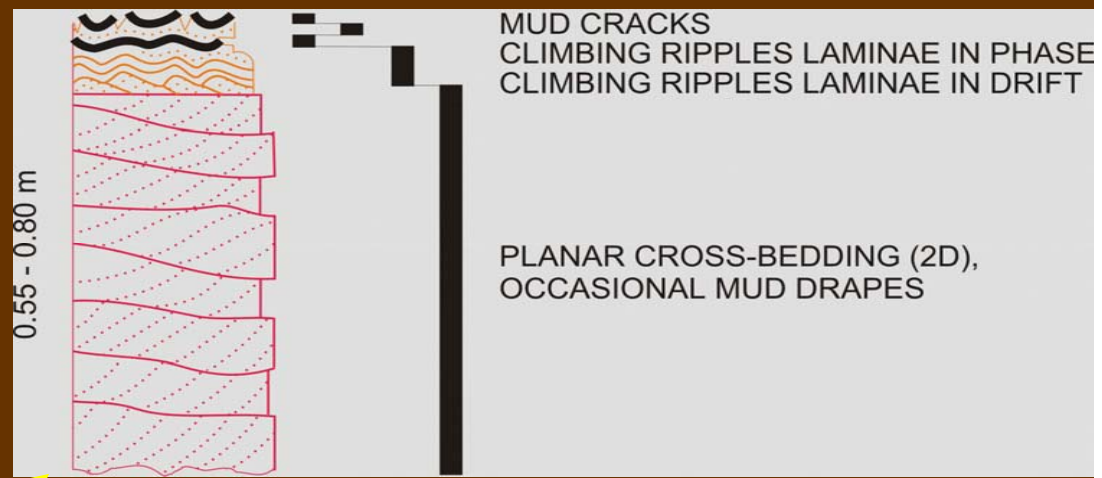
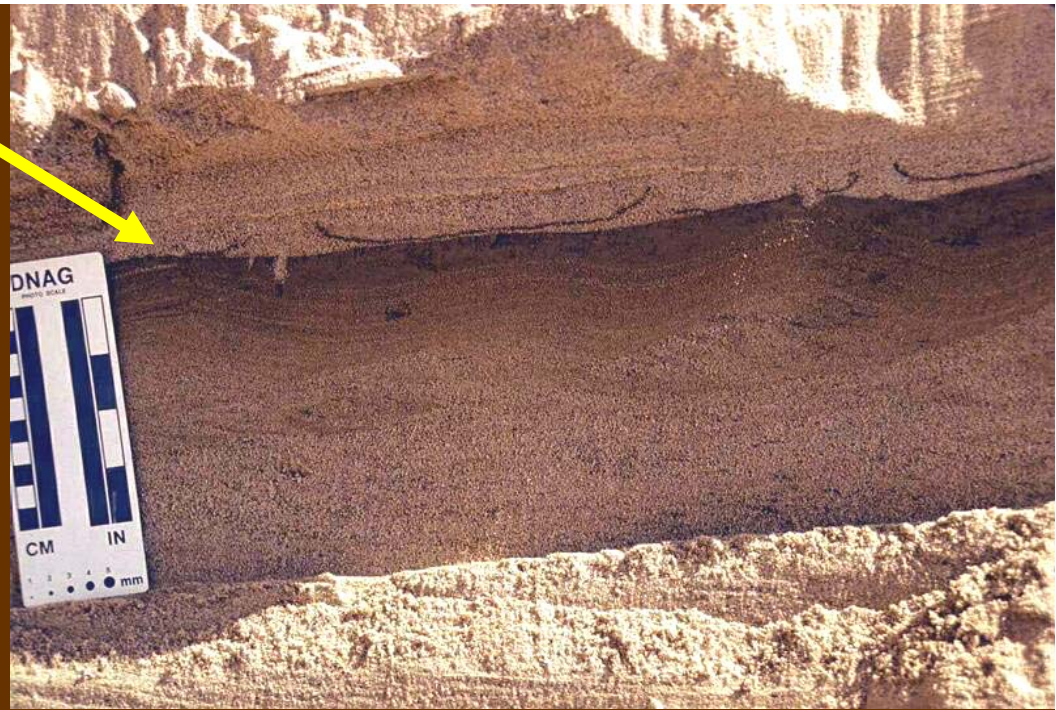
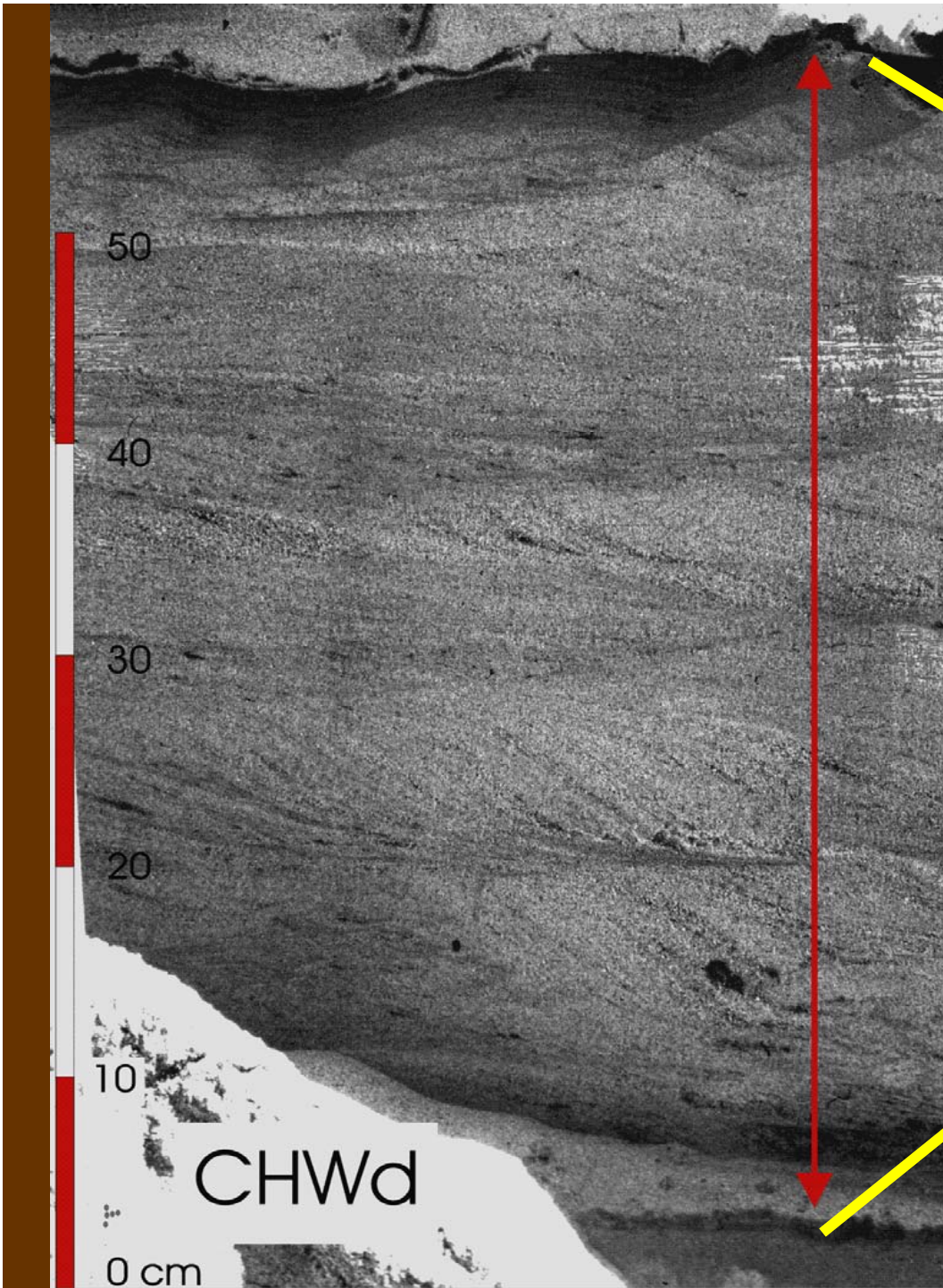
Cambios abruptos en la granulometría

Cambios en el color

Desarrollo de suelos



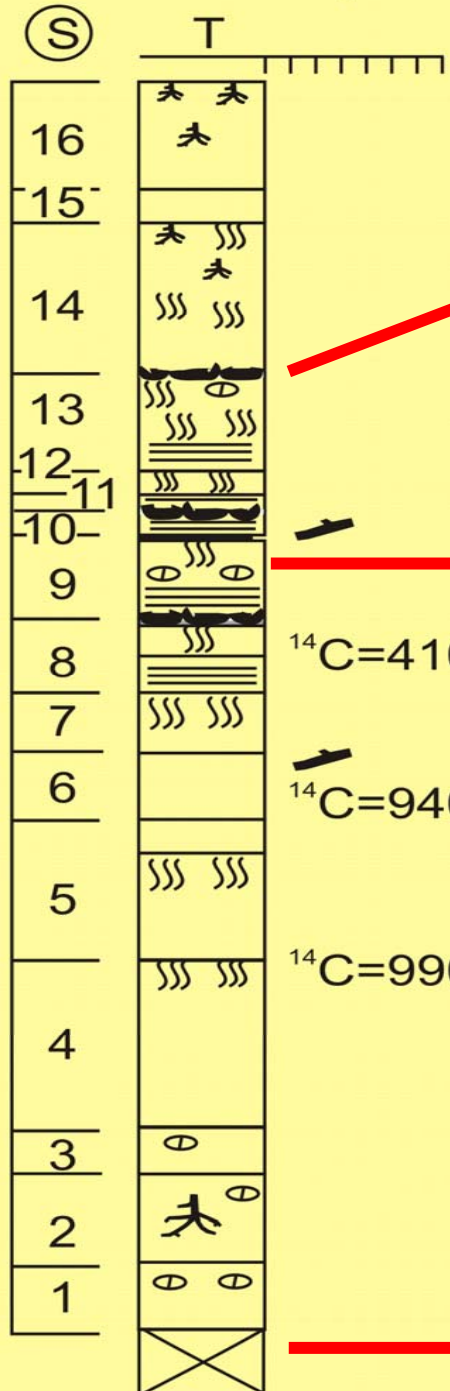




*Secuencia CHW*



PONDED ZONE (Section A.2)



Grietas de exposición subaérea



Bioturbación

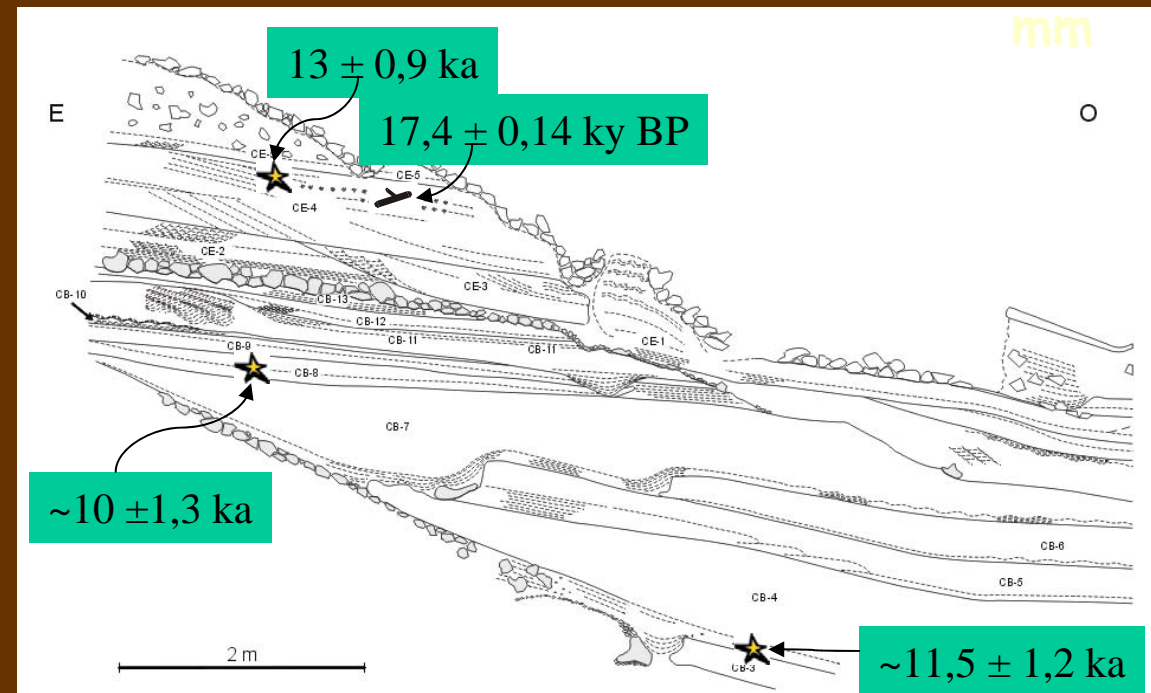
Cambios en el endurecimiento y encostramiento



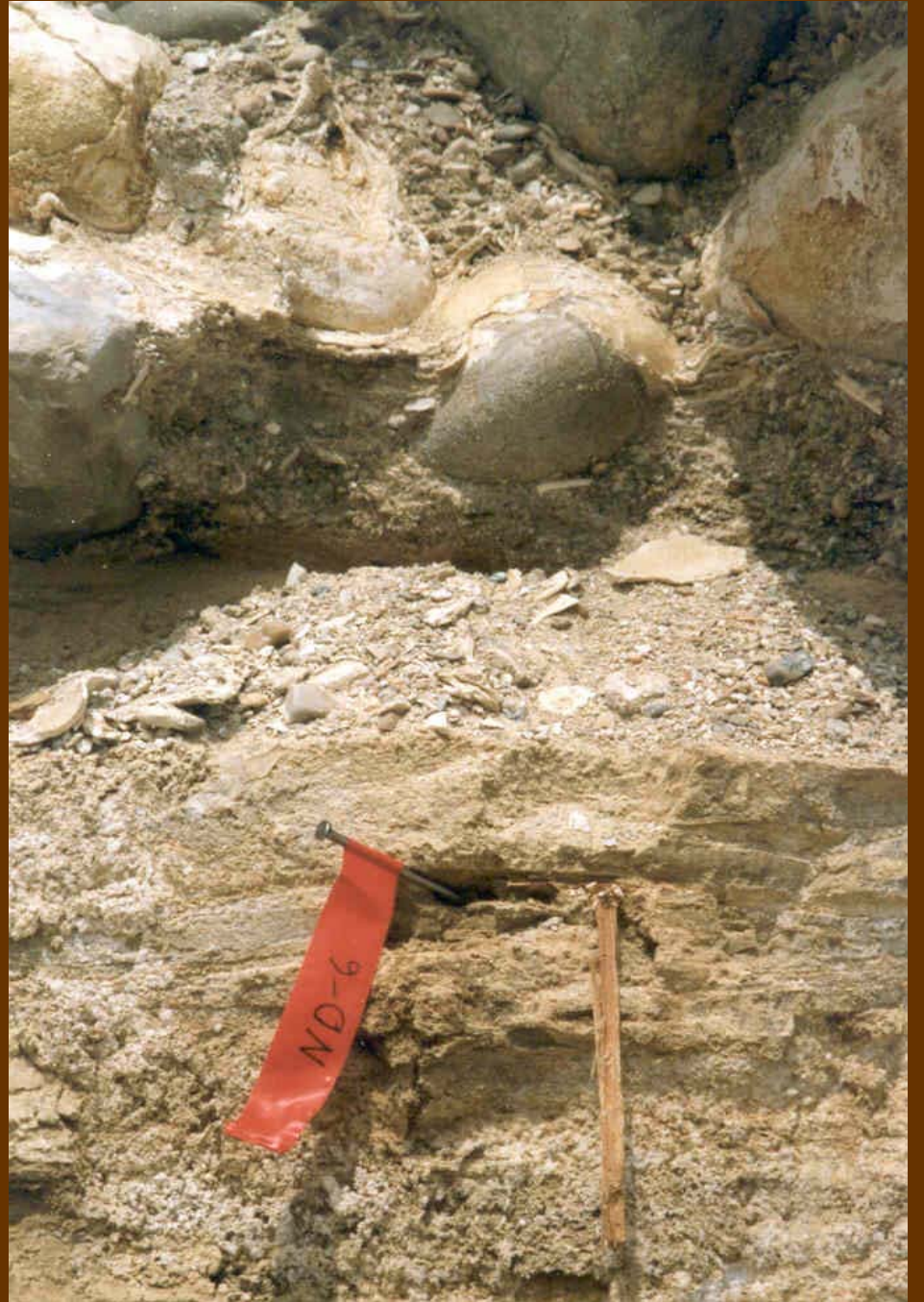


# Geocronología

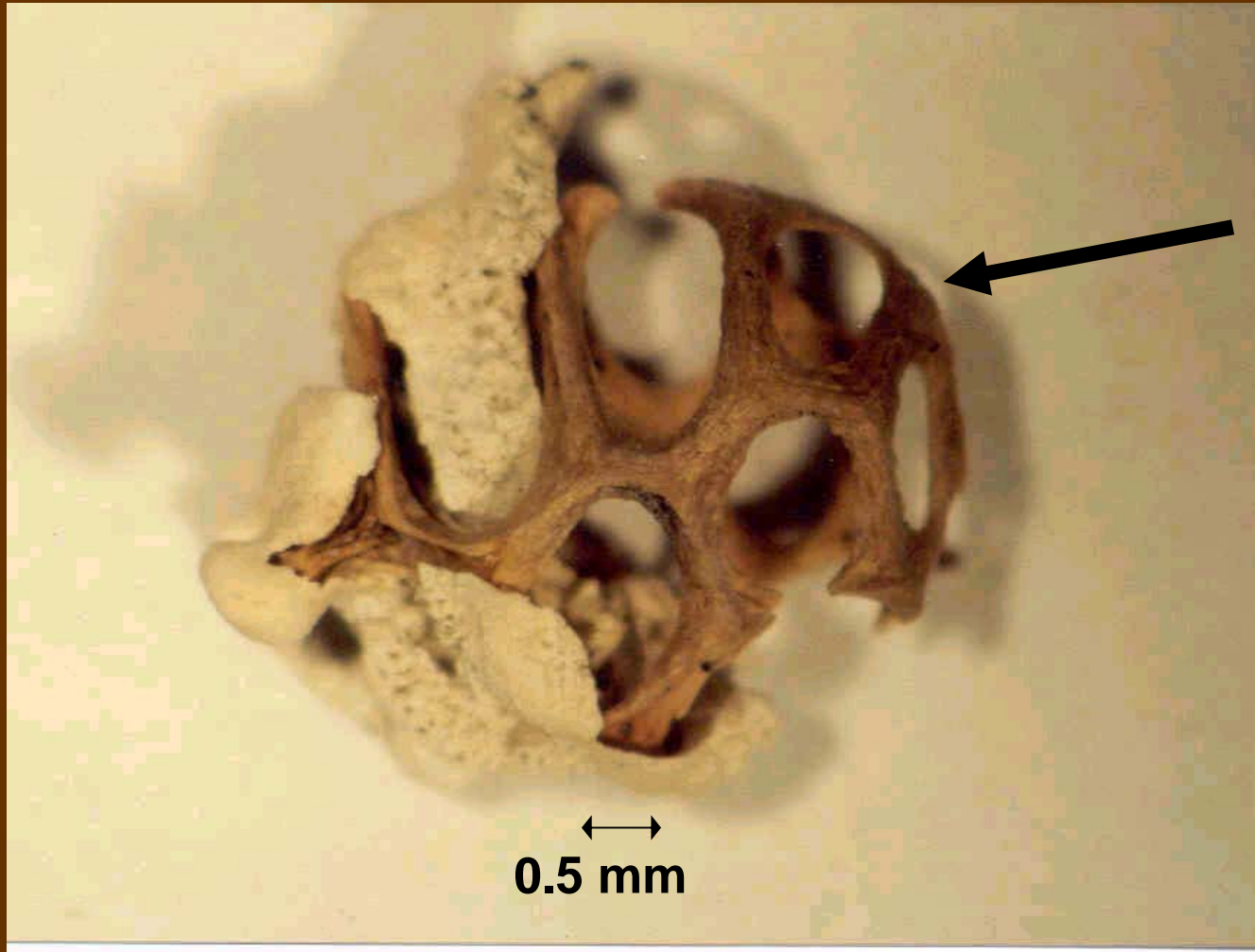
- Dataciones con  $^{14}\text{C}$  de carbón vegetal, restos orgánicos, suelos, conchas etc.
- Técnicas relacionadas con la luminiscencia (TL, OSL, IRSL) granos de cuarzo y feldespato, o de restos cerámicos.
- Contenido en CS-137
- Datos históricos
- Correlación estratigráfica











Cáscara de  
una semilla



# DATACIÓN CON CARBONO 14

C-14: Elemento radiactivo que los seres vivos asimilan a través de la fotosíntesis y la respiración.

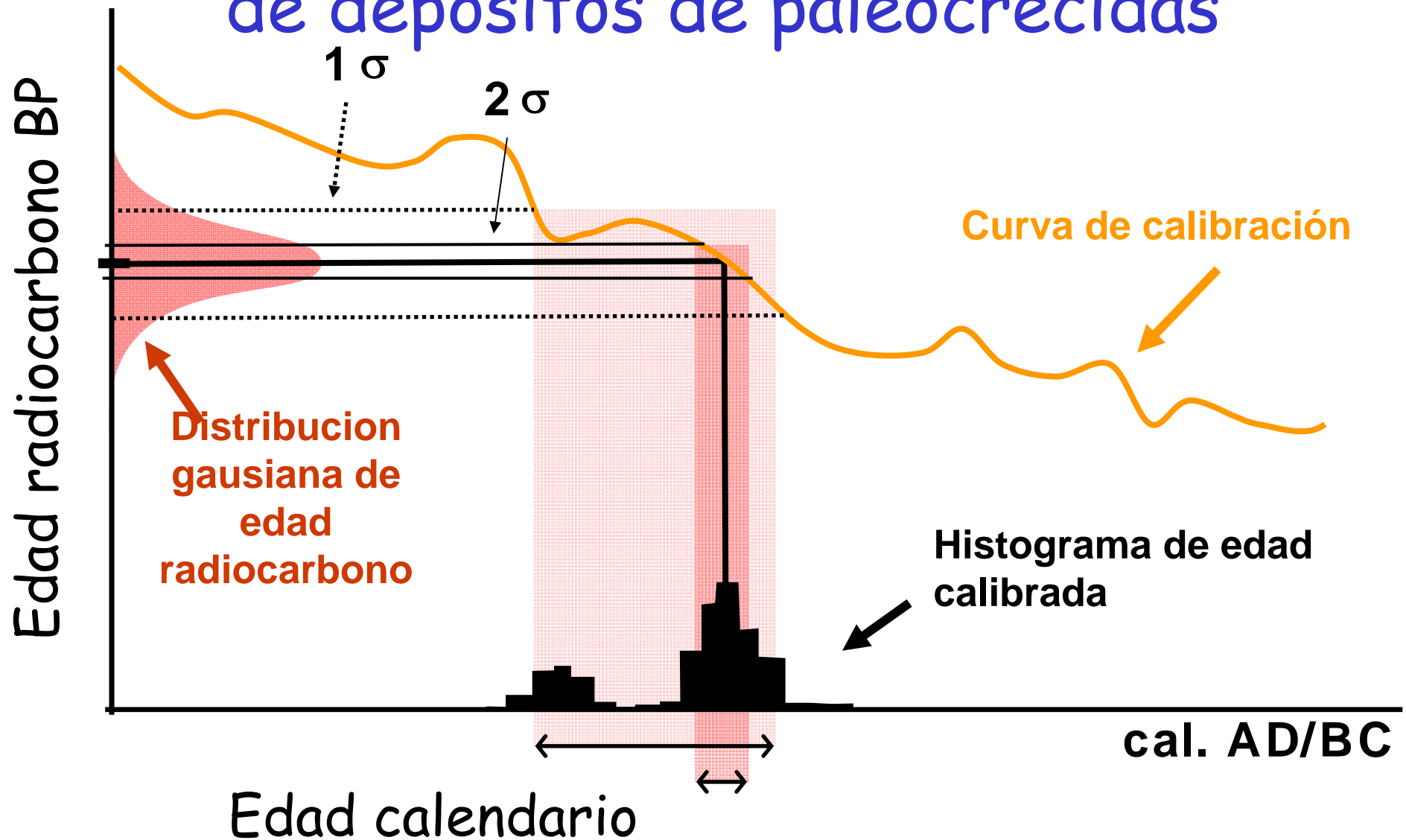
Cuando el organismo muere la asimilación de C-14 se detiene.

Mientras que el carbono-12 es estable, el carbono-14 tiene una vida media de 5570 años, lo que significa que en este lapso de tiempo la proporción de C-14 a C-12 se reduce a la mitad, convirtiéndose los átomos faltantes en nitrógeno-14 (7 protones y 7 neutrones).

Después de unas cinco o seis vidas medias (es decir unos 30,000 años en el caso del carbono), la abundancia del isótopo radiactivo comienza a ser demasiado baja para ser medible



# Base de datos de edades C-14 procedentes de depósitos de paleocrecidas



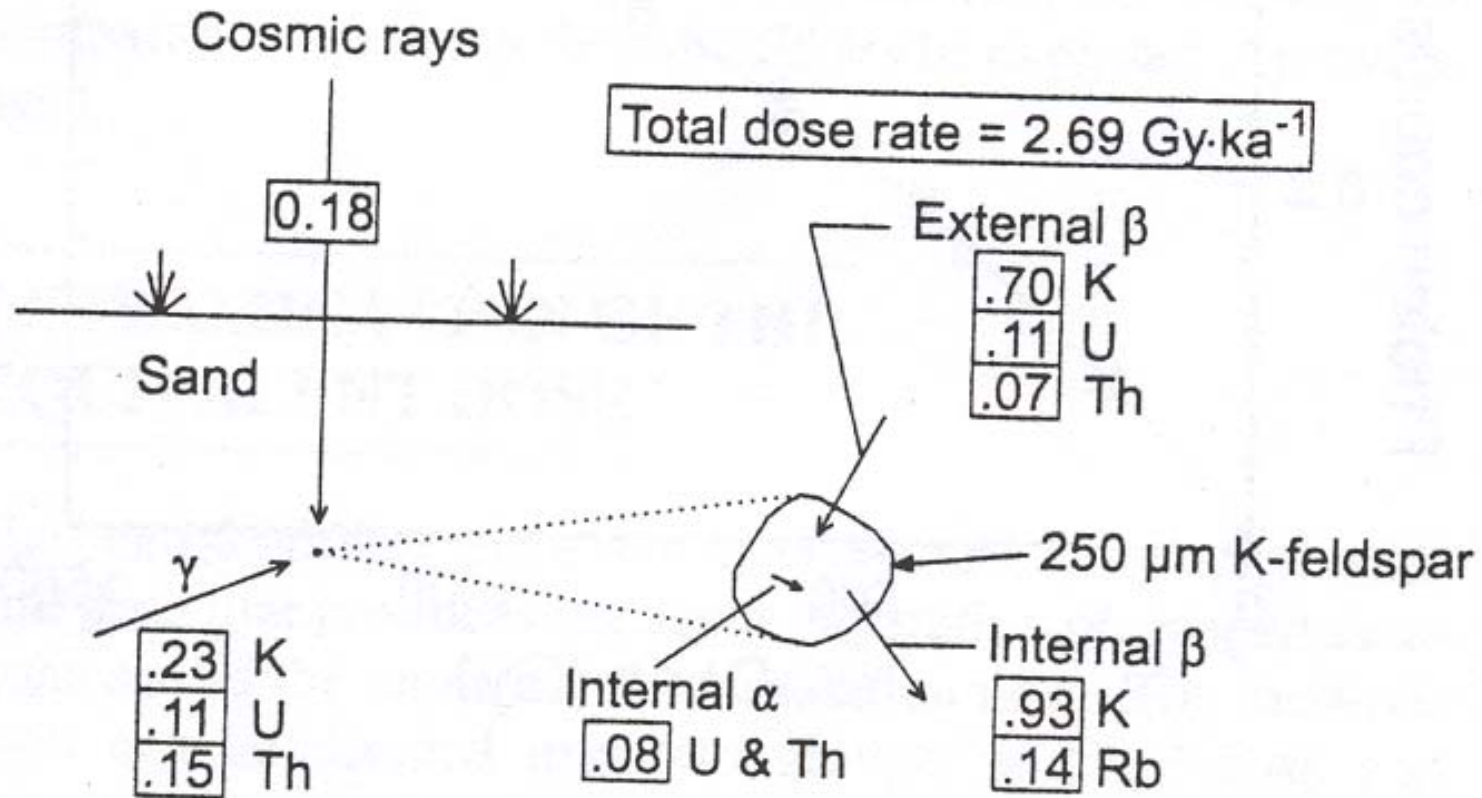


# Luminiscencia

- Medida de la intensidad natural de radiación estimulada térmicamente.
- La muestra es calentada, lo que conlleva a la activación de las cargas atrapadas y emisión de luz.
- Se utiliza un fotomultiplicador para detectar las emisiones de luz. Emisión de luz dibujada frente a la temperatura para crear una curva de decaimiento (glow curve).



# Fuentes de dosis y sus tasas en granos de feldespato y cuarzo

















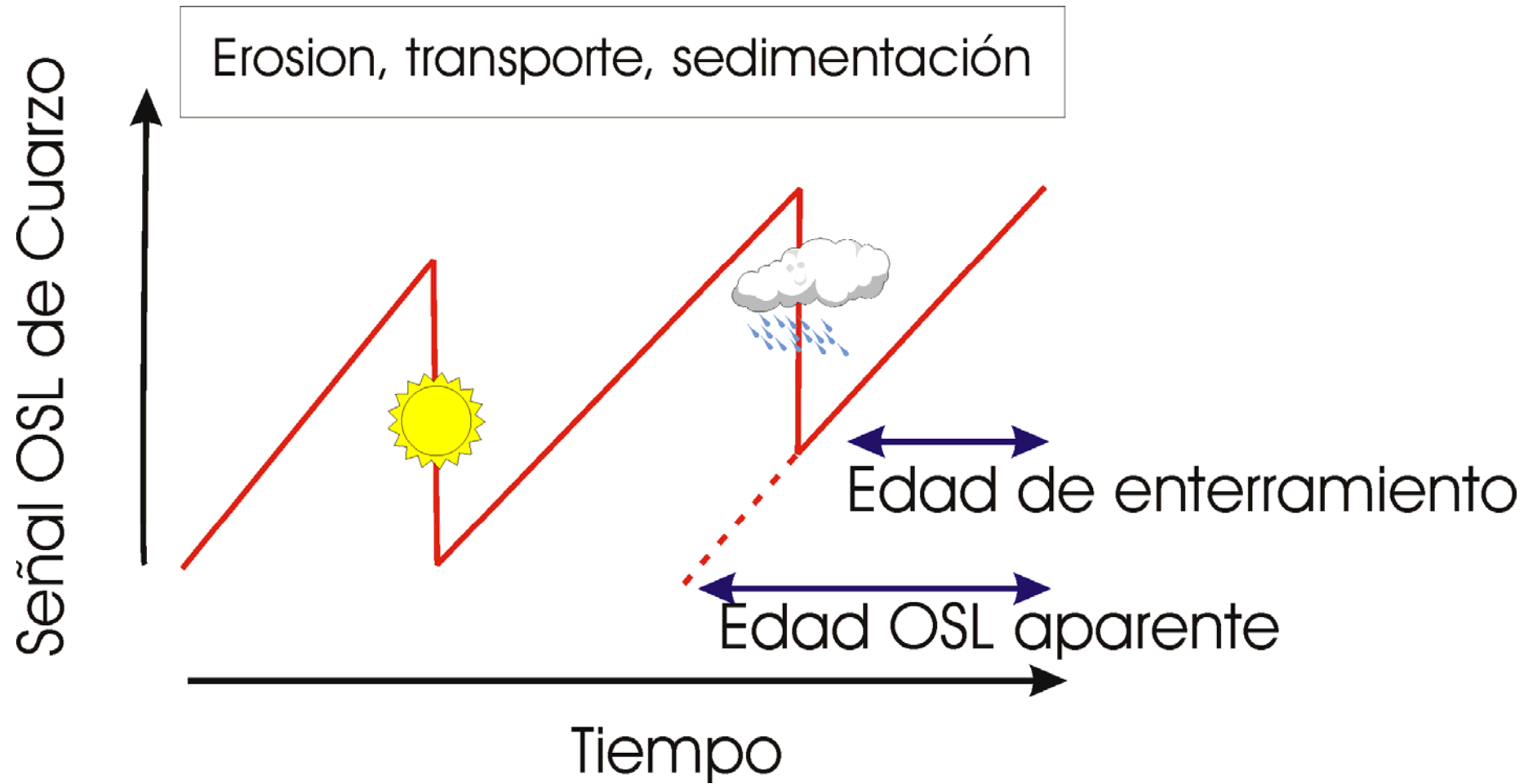




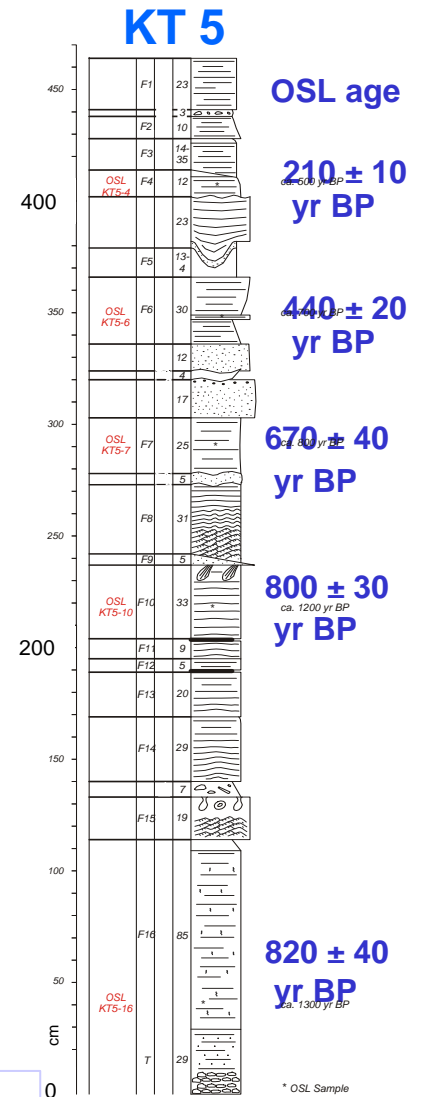
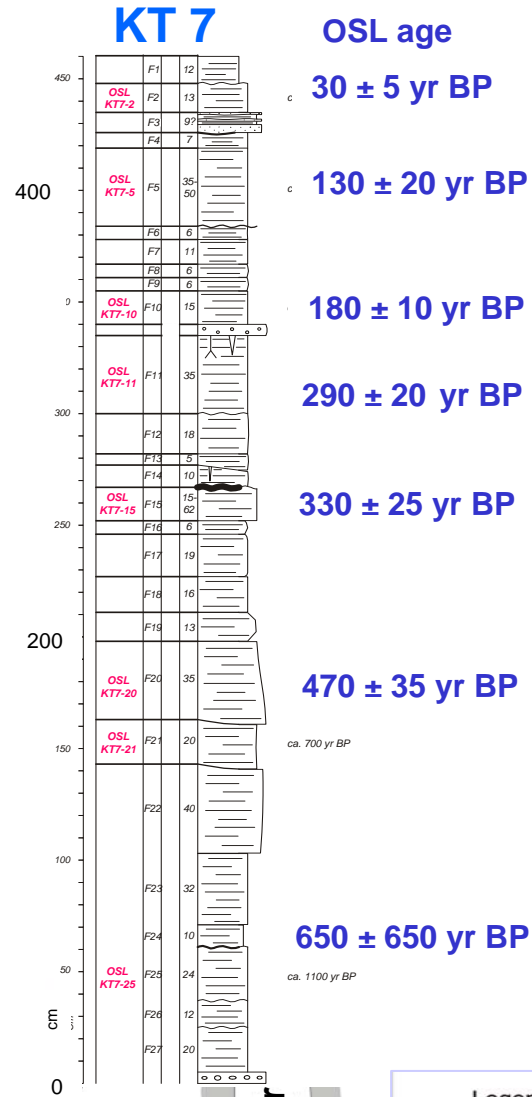
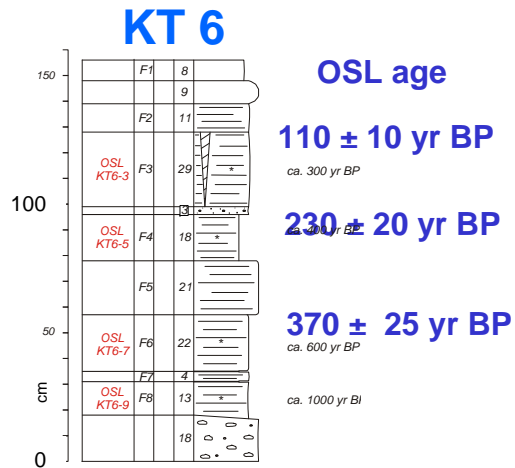
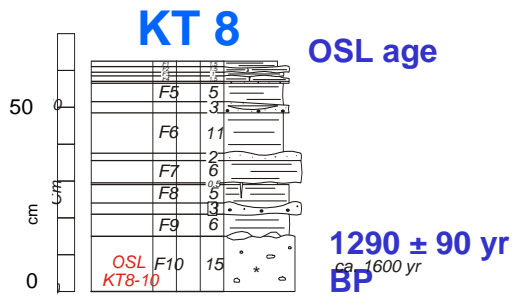




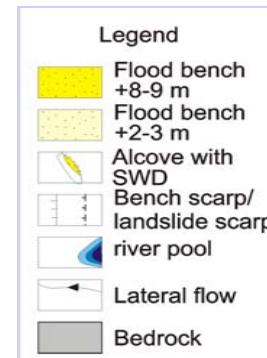
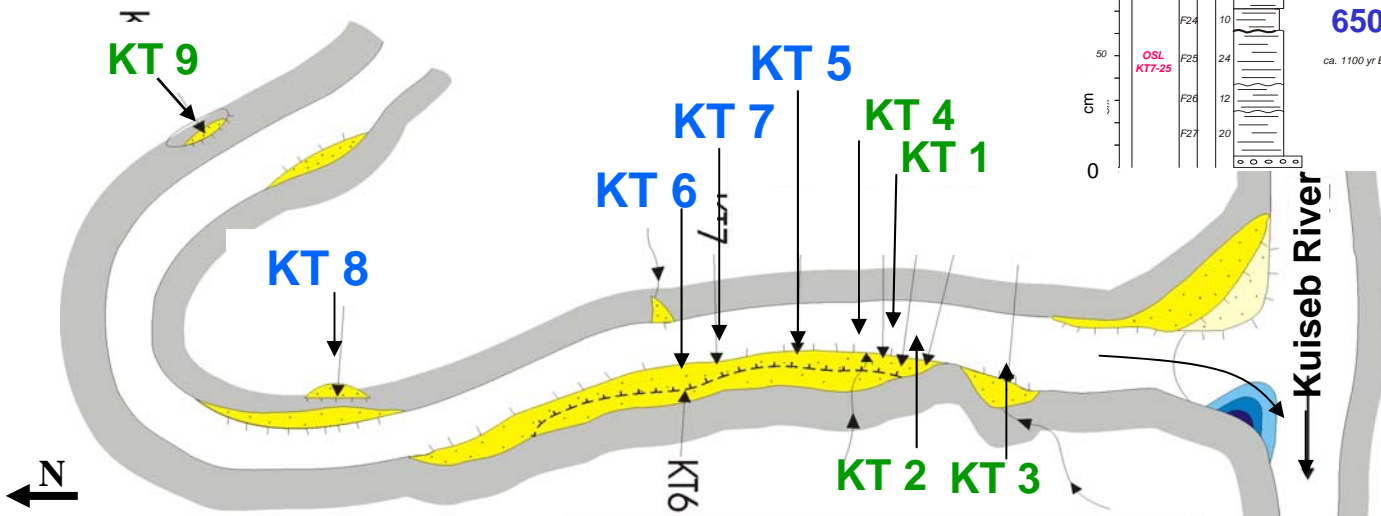
# Datación con Luminiscencia estimulada ópticamente







# K-400





PALEOCRECIDAS

ESTIMACION DE CAUDAL



# Esquema Metodológico

Registro de  
paleocrecidas

Registro documental

Depósitos de crecidas  
y marcas de erosión

Informes públicos o eclesiásticos  
(fecha y referencia al nivel de la  
crecida)

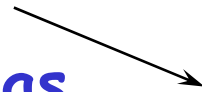
Marca de aguas  
altas

Marcas epigráficas de  
nivel de crecida

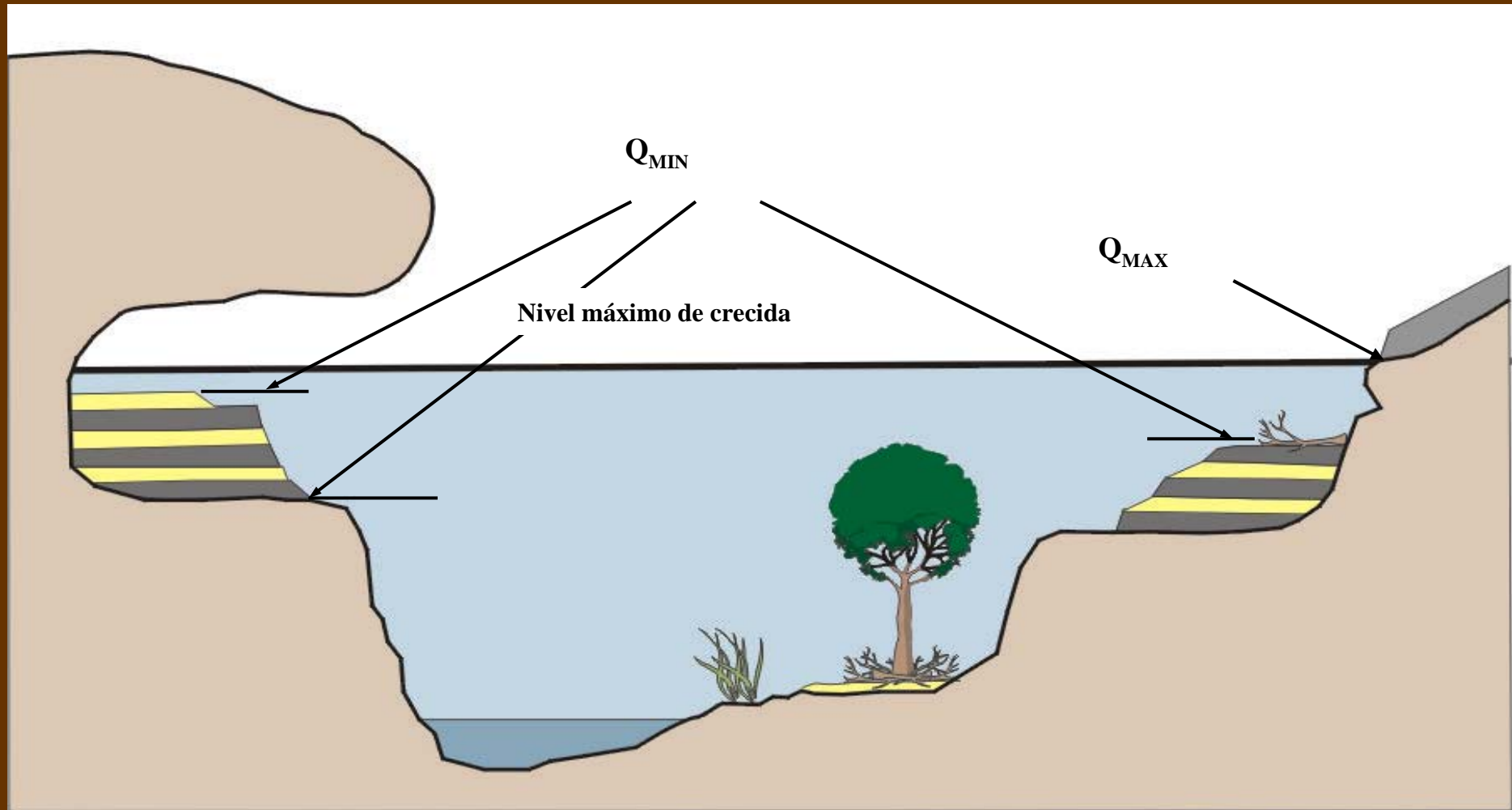
Cálculos  
hidráulicos

Caudales de crecida  
(valores mínimos, máximos o exactos)

Análisis de frecuencia de  
crecidas



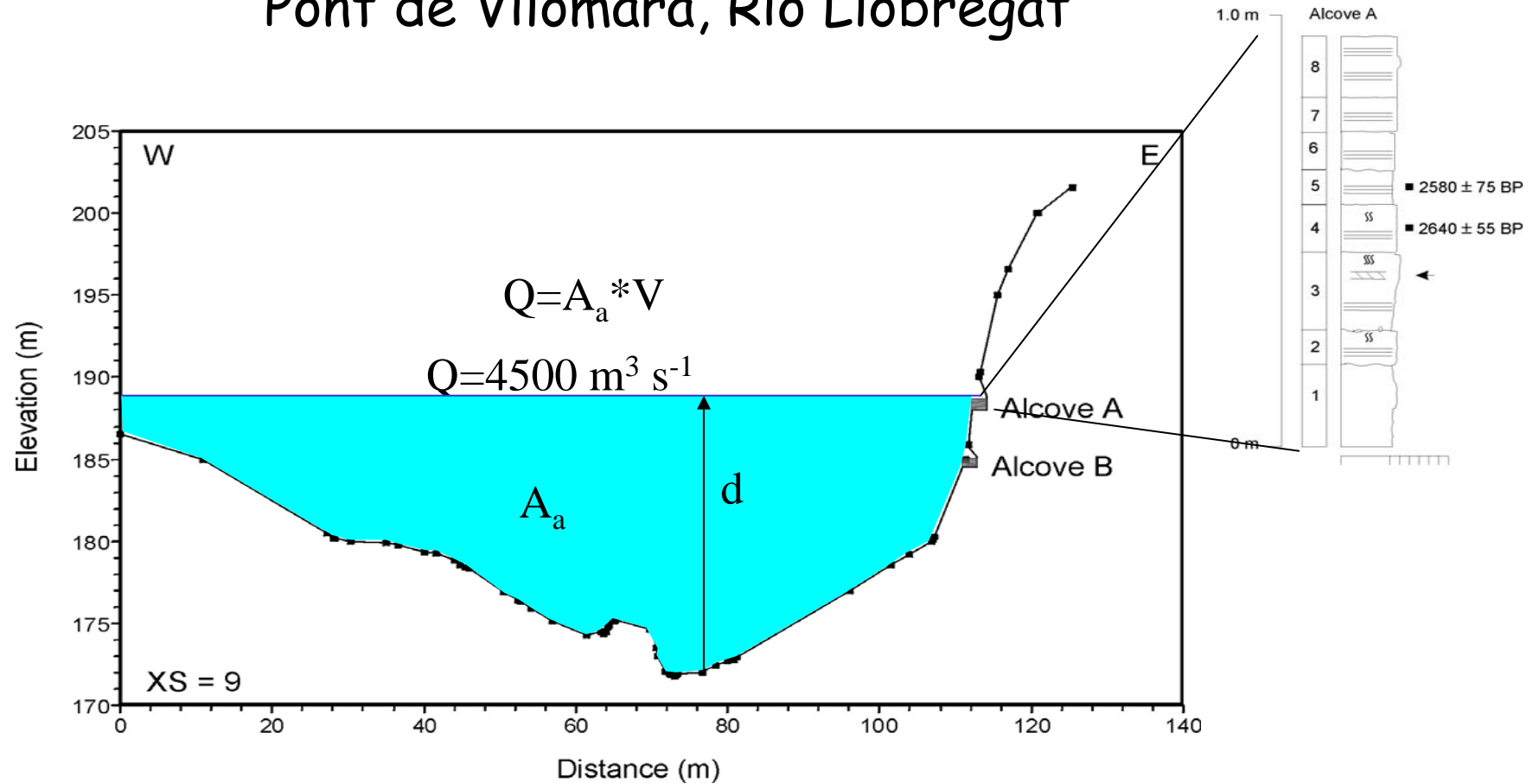
# ESTIMACIÓN DE CAUDALES ASOCIADOS A LAS PALEOCRECIDIDAS





# *Cálculo de caudales de las paleocrecidas*

Depósitos de paleocrecidas de gran magnitud:  
Pont de Vilomara, Río Llobregat



# HEC-GeoRAS: Principios básicos

## Características:

- ✓ Modelo unidimensional
- ✓ Flujo estacionario y variado
- ✓ Resuelve la Ecuación de Conservación de la Energía :

$$Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_o$$

- ✓ Pérdidas de carga:  $H = H_1 - H_2$



# Rugosidad de Manning (n) en ríos



$n = 0.028$



$n = 0.032$



$n = 0.050$



$n = 0.065$

$$Q = 1/n (AR^{2/3} S^{1/2}) m^3 s^{-1}$$



$n = 0.073$



$n = 0.075$

# Modelo Digital del Terreno

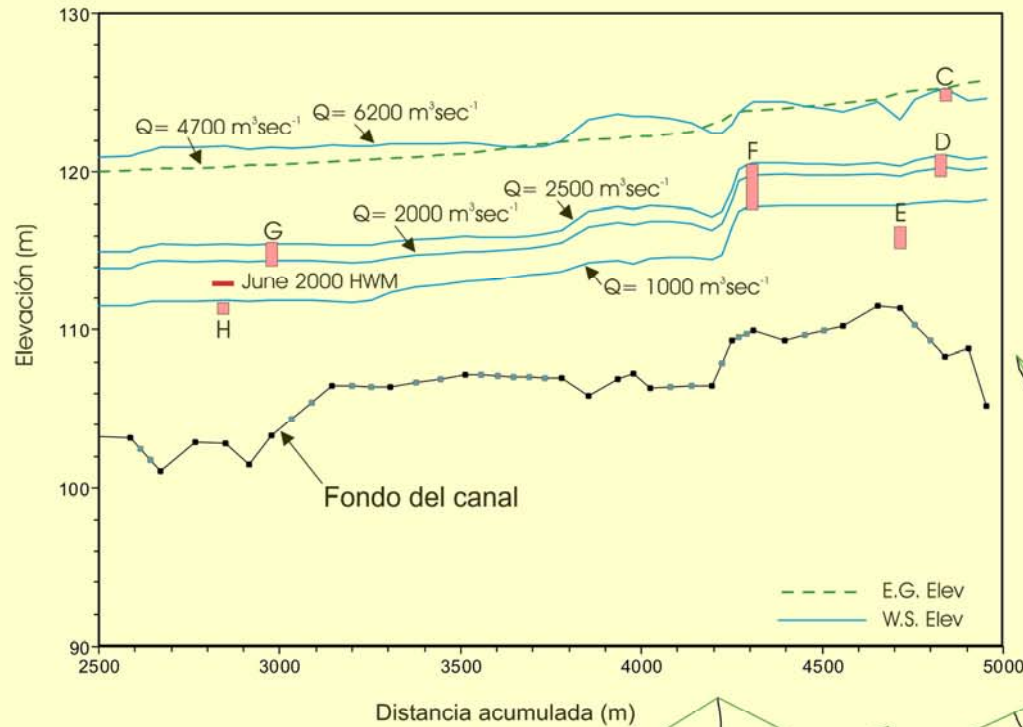
- Topografía en campo de los tramos con depósitos con GPS y estación total
- Batimetría con GPS y ecosonda
- Digitalización de cartografías a escala 1:5000 y 1:2000
- Elaboración final del Modelo Digital del Terreno
- Error asociado: 1 m / decimétrico



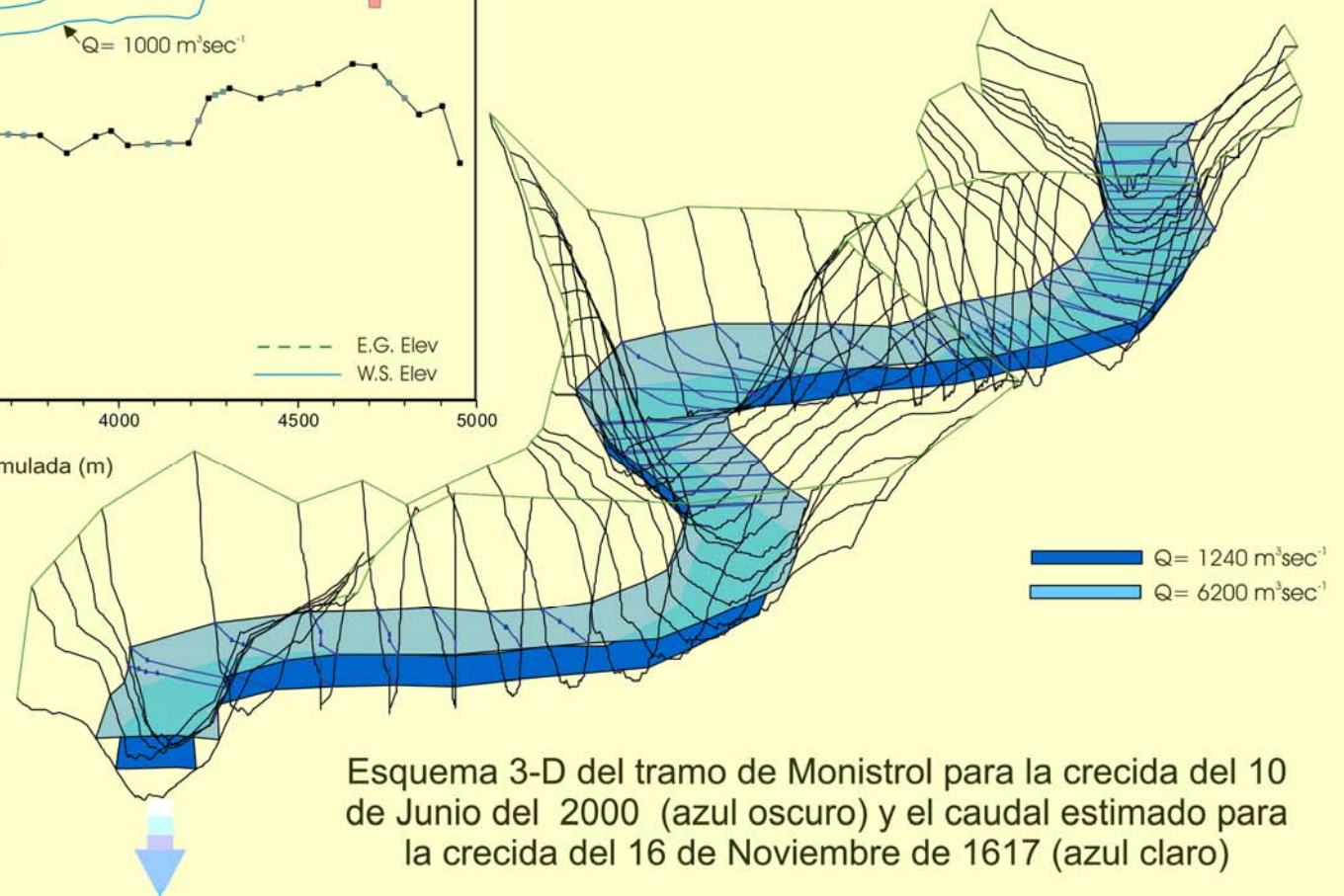
Río Llobregat, Pont de Vilomara



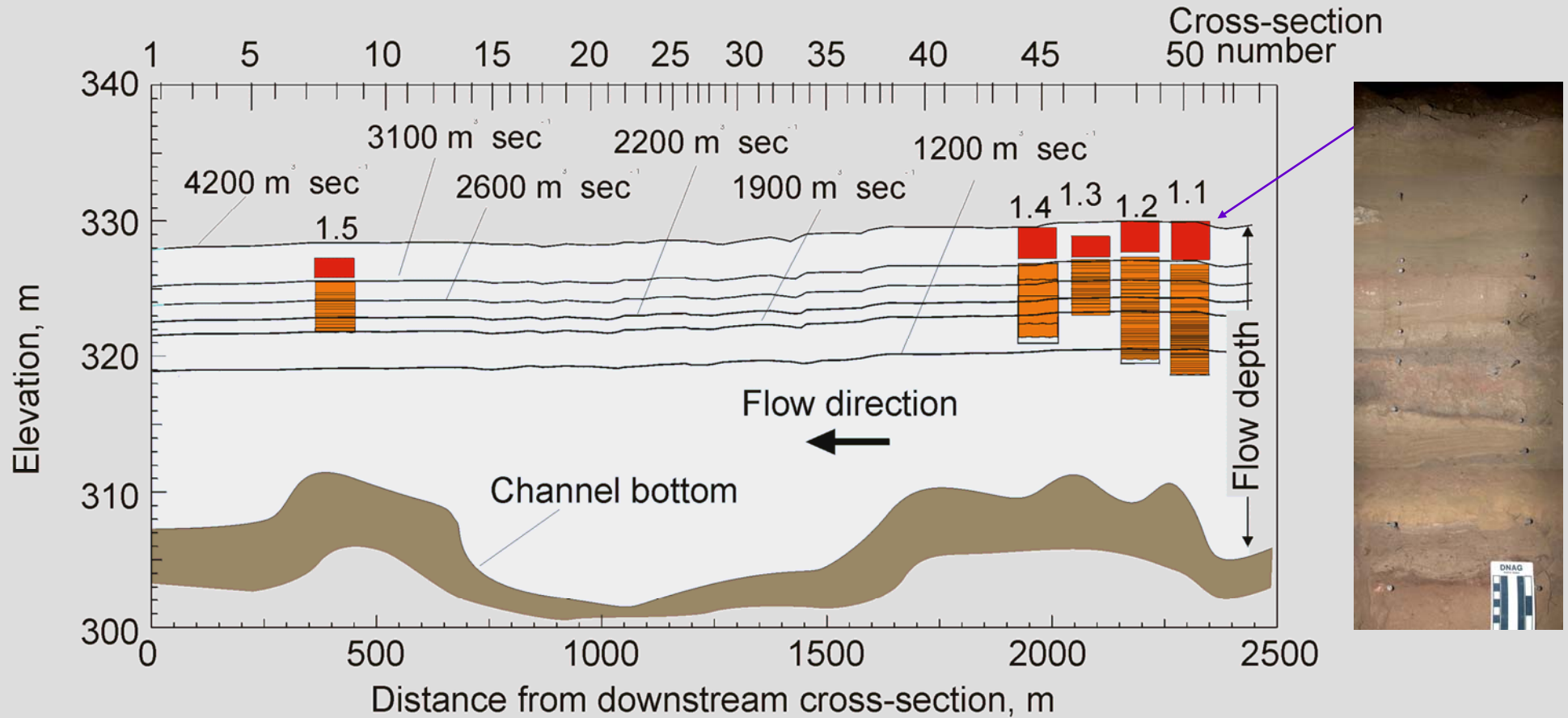
# Modelización Hidráulica



Estimación de caudales de paleocrecidas

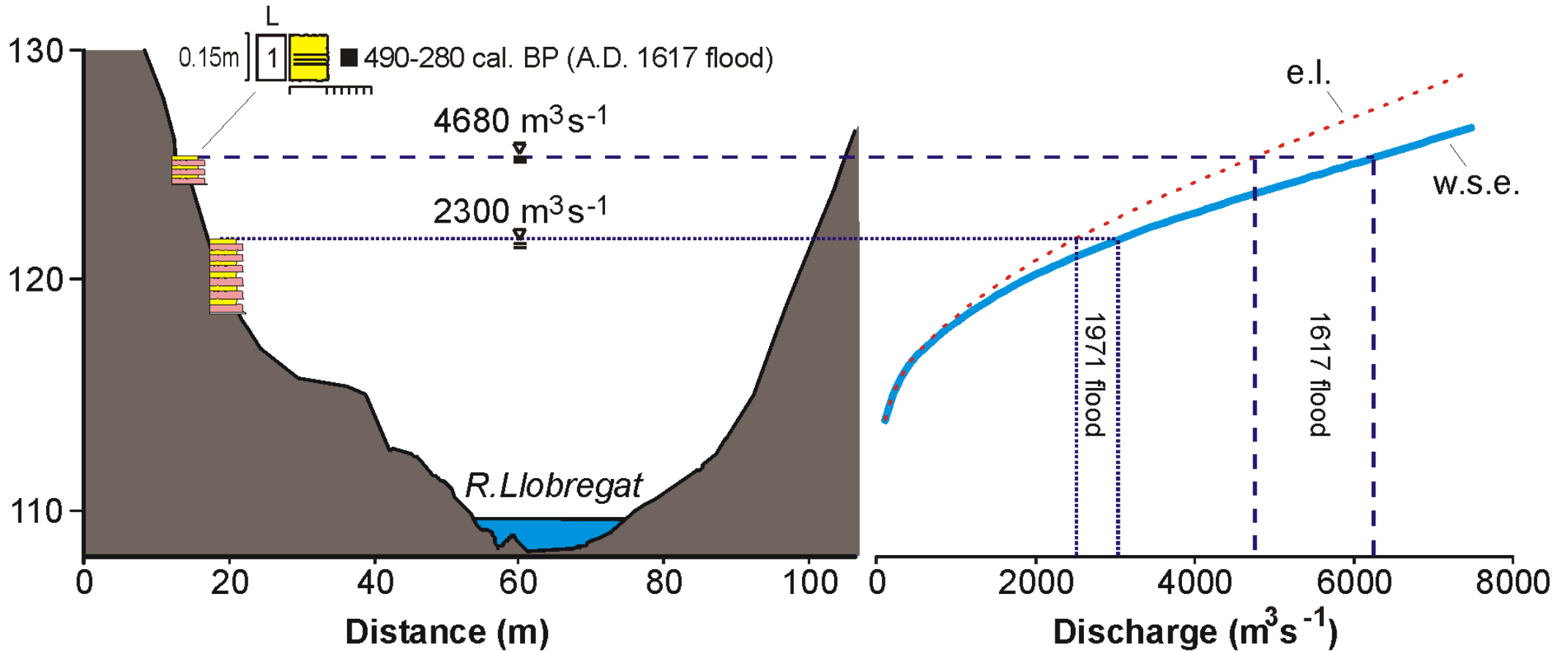


# Estimación de caudales asociados a las paleocrecidas

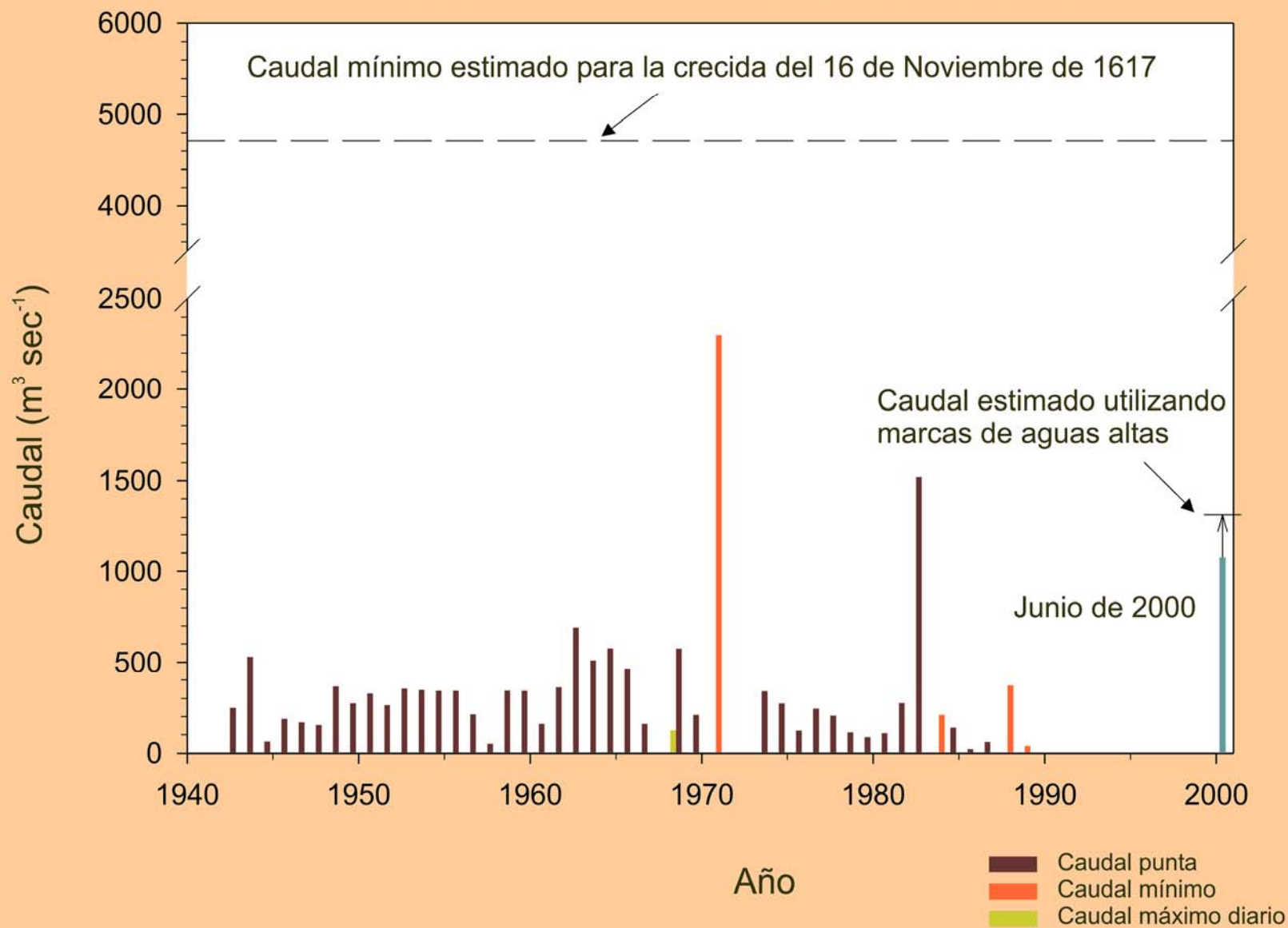




# Ajuste del caudal mediante la utilización de la curva de gasto

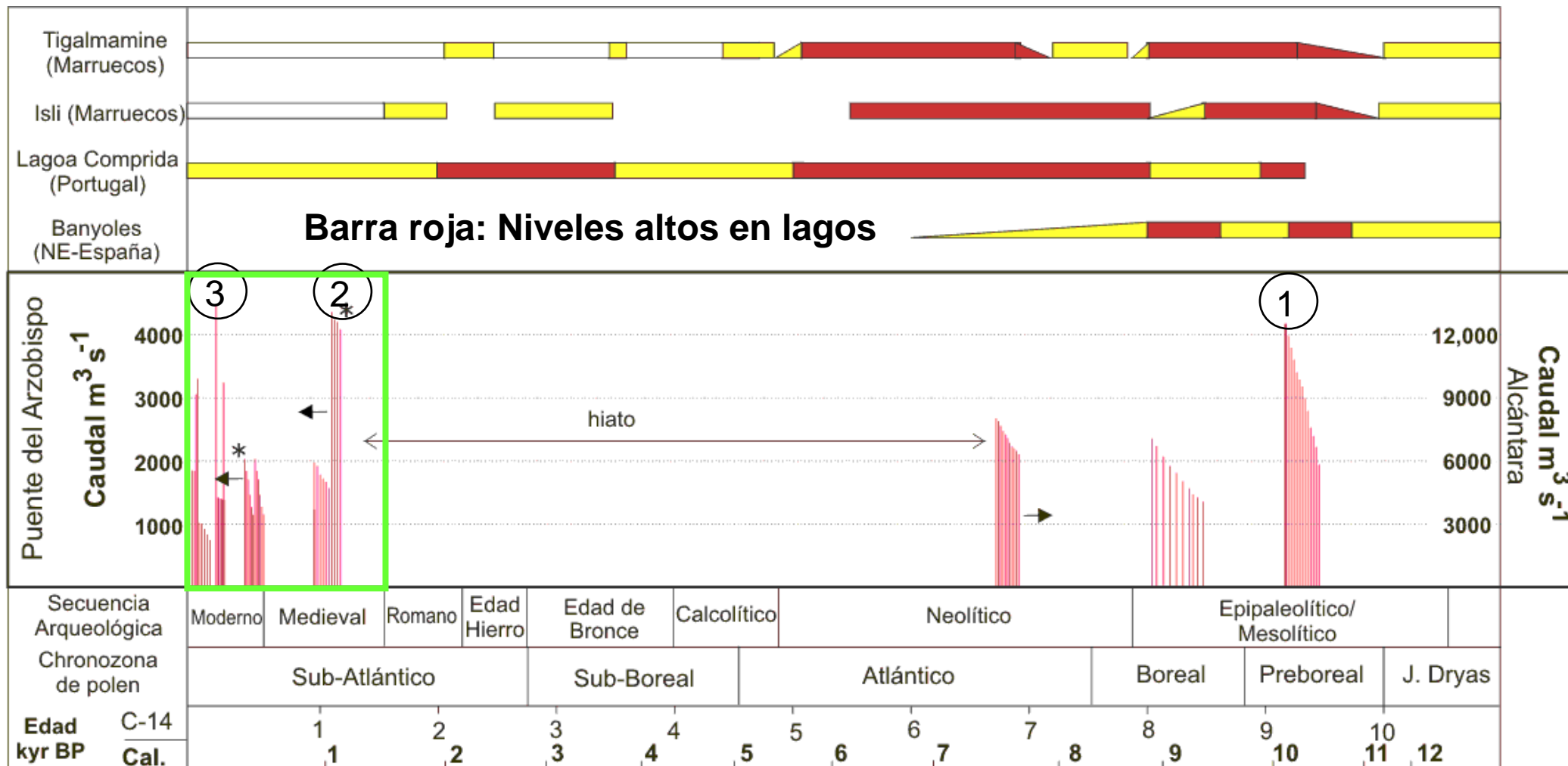


## Serie de crecidas anuales del río Llobregat en la estación de aforos de Castellvell





# Registro de paleocrecidas en el río Tajo: >80 crecidas



- Nivel de lago: ■ Alto ■ Bajo  Similar al actual ▴ Tendencia a aumentar ▴ Tendencia a disminuir
- Crecida:  Caudal en Puente del Arzobispo  \* Discharge en Alcántara
- Sin control cronológico inferior  ← Sin control cronológico superior

# Crecidas Históricas

## Evidencias de inundación

- *Fuentes documentales*
- *Fuentes gráficas*

Depiction of Stoeffler's prediction of a flood for February 1524 by S. Ranssmar, printed in Augsburg in 1523

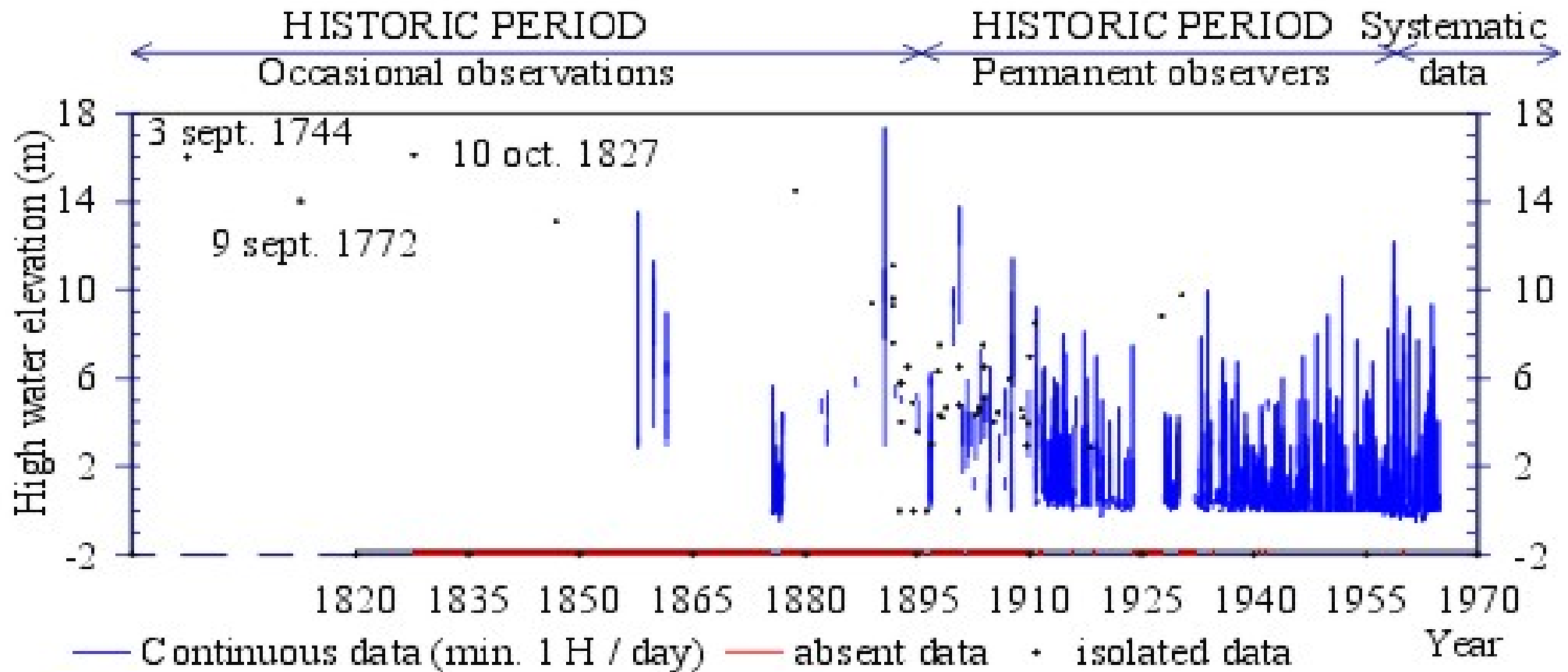
Anzaygung. vnd Aufzlegung. der  
grossen constellation/vnd anderer aspectten/  
so sich in dem 15 24. jar/in dem  
Februario erbeben werden/  
durch Sebastian Rāß  
mit zūsamenn  
gesehen.



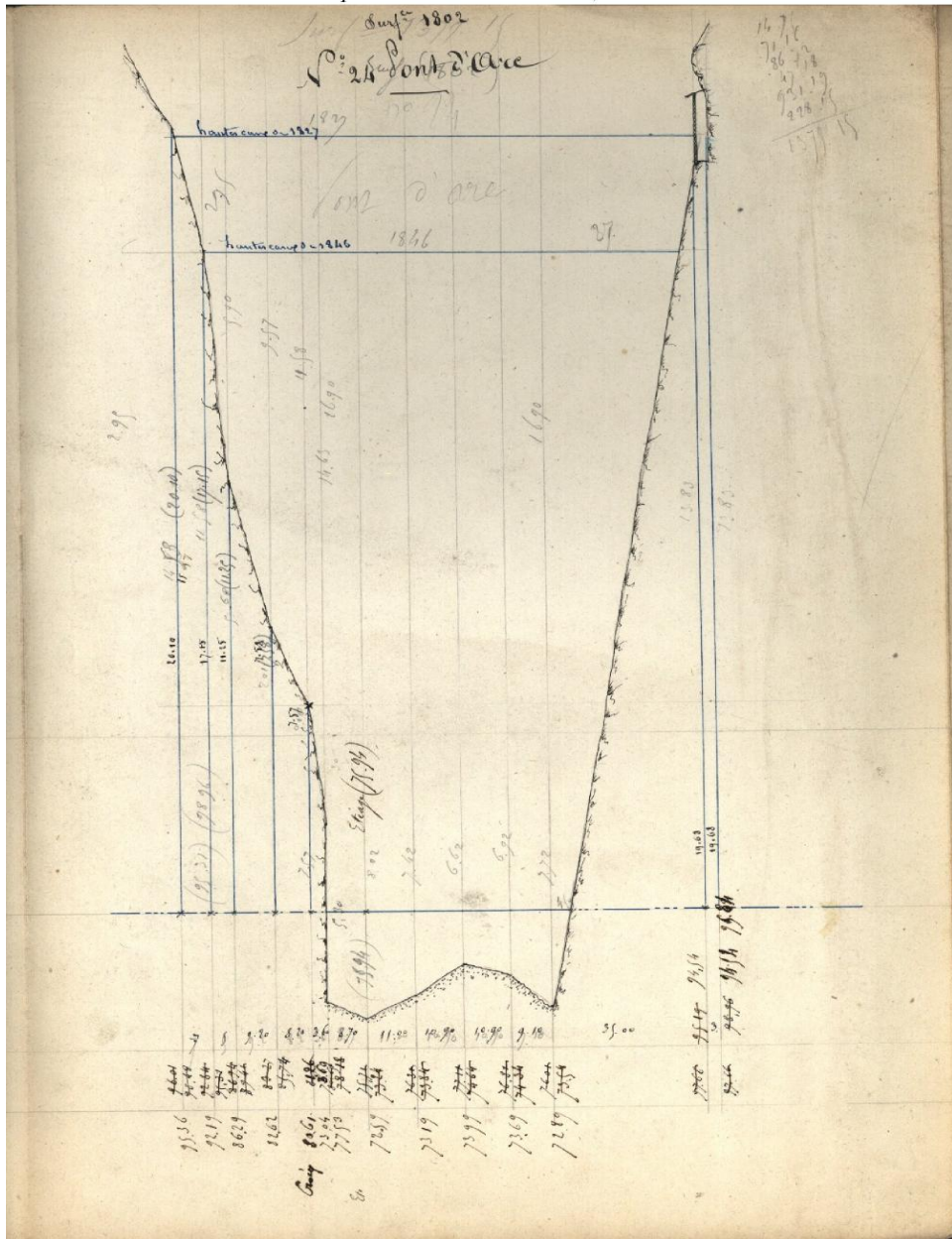
o got byß vns gnädig zū dyser zeyt  
Wān wir schreyen zū dir/erhöre vns wān es ist zeyt



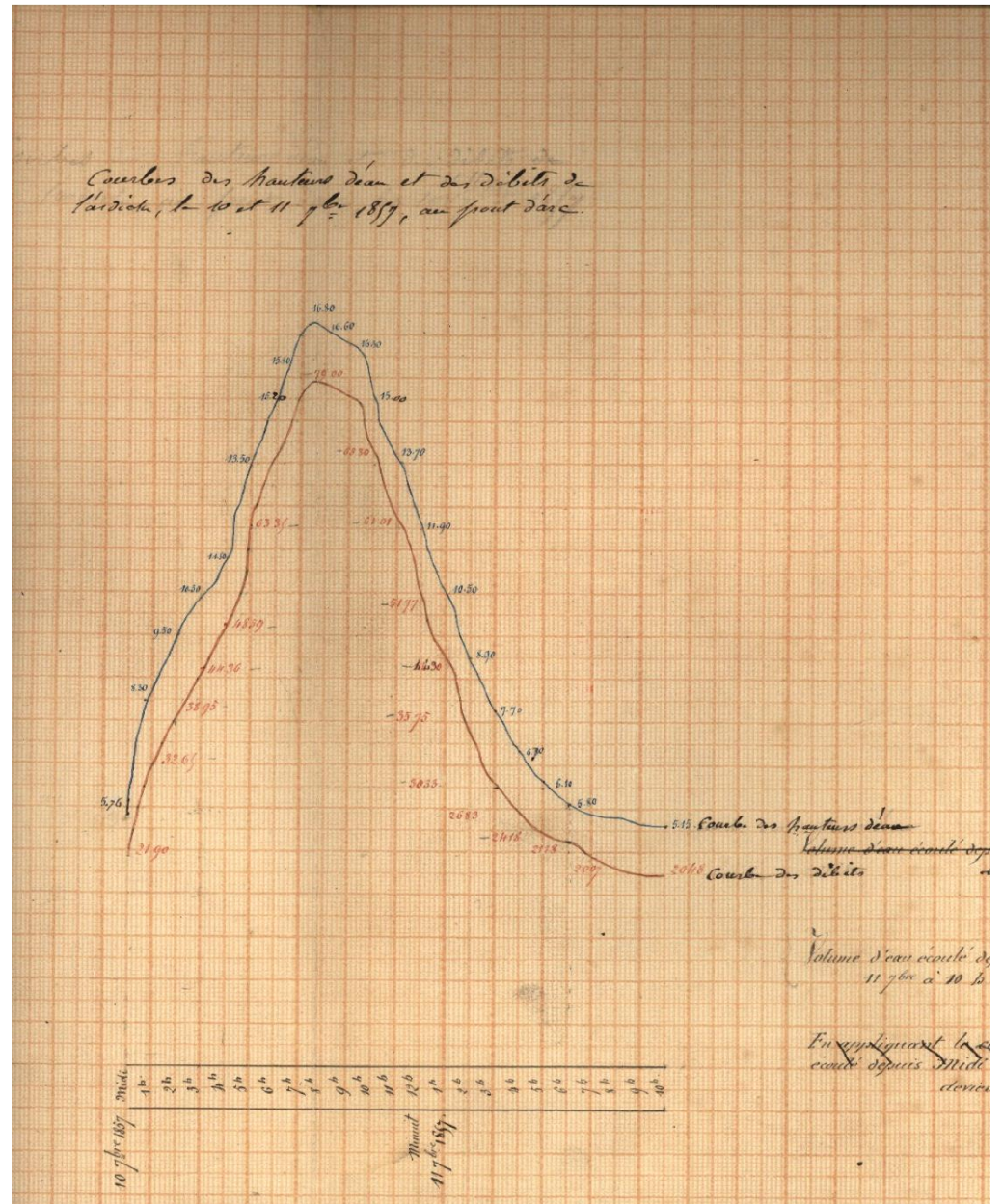
# Río Ardeche en Vallon Pont d'Arc



Profils en travers en amont du pont d'Arc (20-III-1857)  
Archives Départementales de l'Ardèche, 1262 W 154



Profil HQ de l'Ardèche au pont d'Arc lors de la crue du 10-11 septembre 1857 par l'ingénieur-en-chef  
Paul de Mardigny (20-I-1858)  
Archives Départementales de l'Ardèche, 1270 W 1





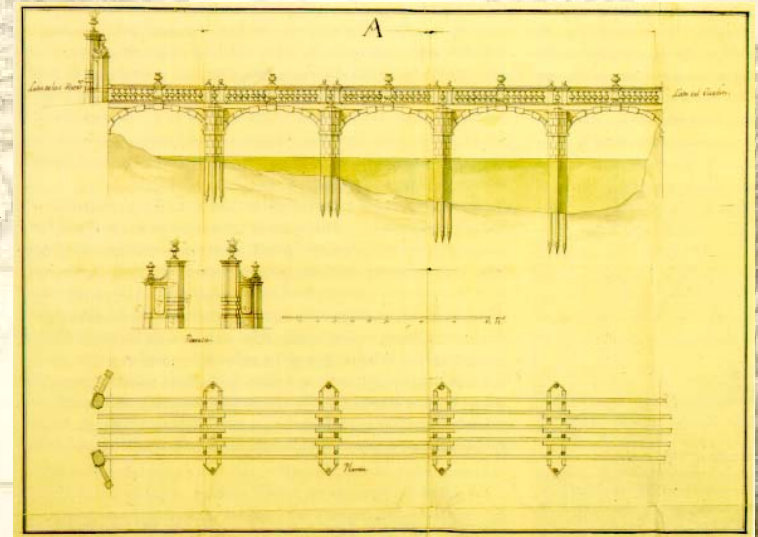
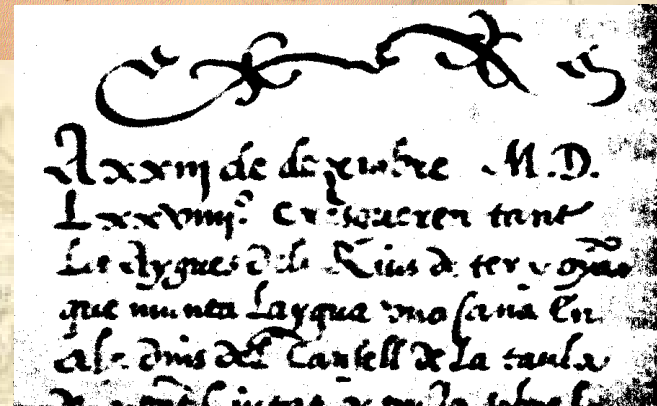
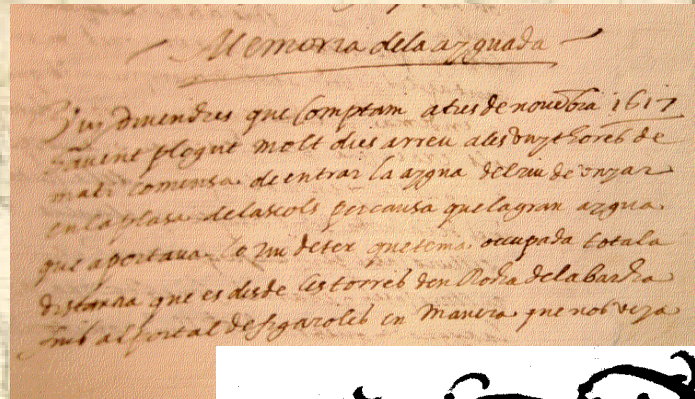
# Fuentes documentales

-- Documentación directa:  
Libros de Actas Municipales,  
Actas eclesiásticas.

-- Documentos Indirectos:  
Crónicas, Memorias  
Indirectas.

-- Documentos  
Complementarios: Informes de  
Obras Públicas, Informes  
económicos, etc.

-- Periódicos y revistas



Jardín de la Isla. Puente de Picotajo, 1748

# Fuentes de datos históricos en España. *Fuentes gráficas*

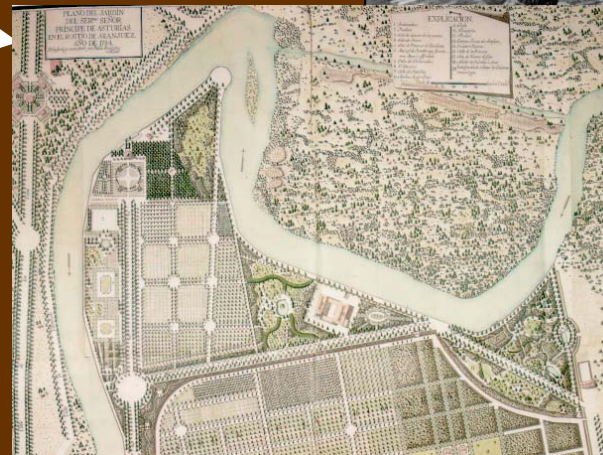
-- Dibujos



-- Fotografías



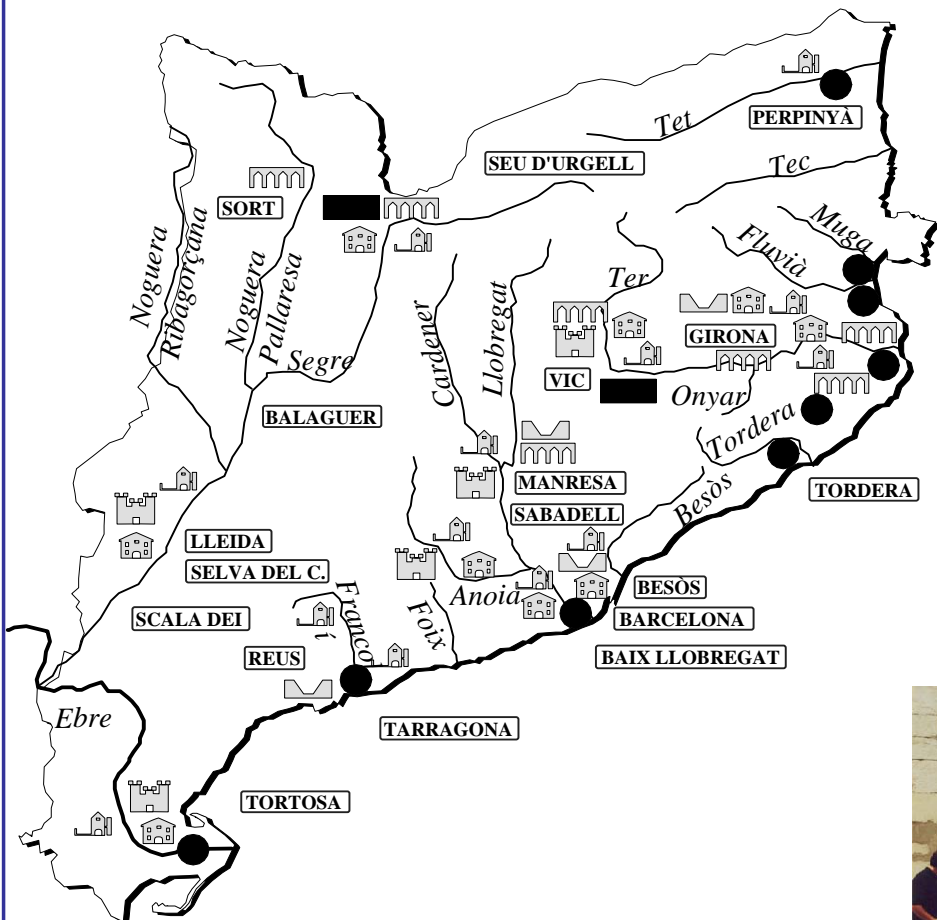
-- Cartografía histórica



- Fuentes epigráficas



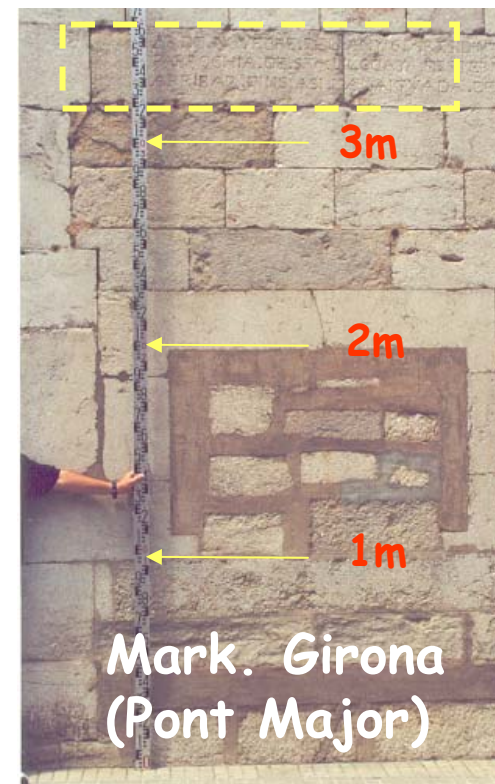
# Información disponible: Distribución y Elevación de la crecida (Según M. Barriendos)



Oct. 1940 (2,96m)

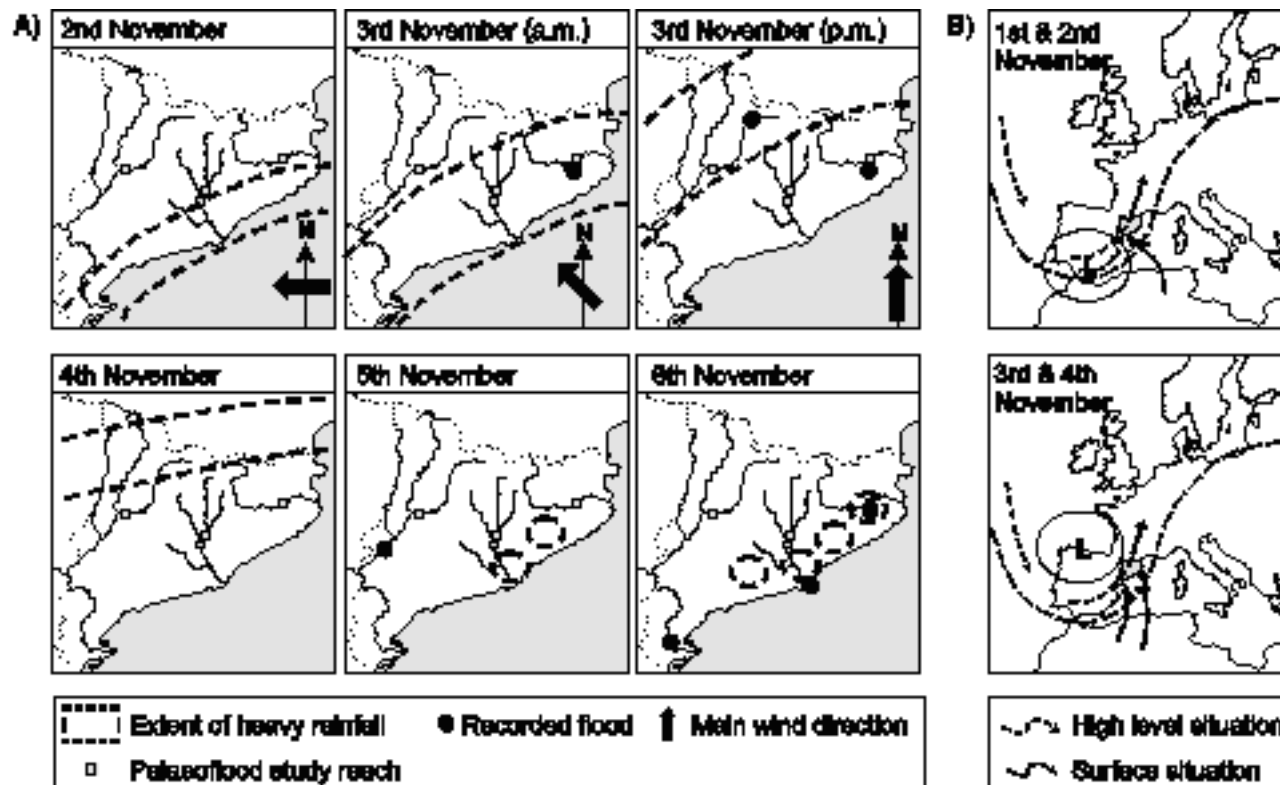
Nov. 1617

Mark.  
Camprodon



Mark. Girona  
(Pont Major)

# Reconstrucción de la situación sinóptica asociada a la crecida de 1617



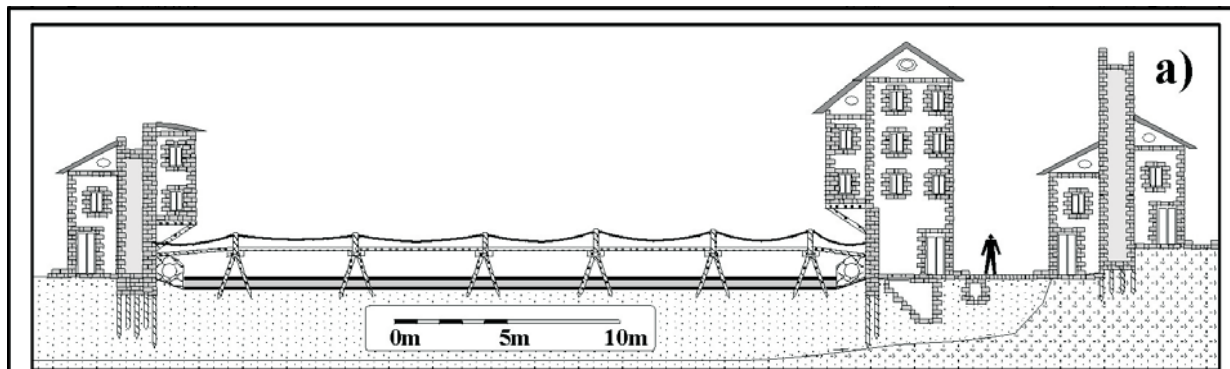
Thorndycraft et al., 2006



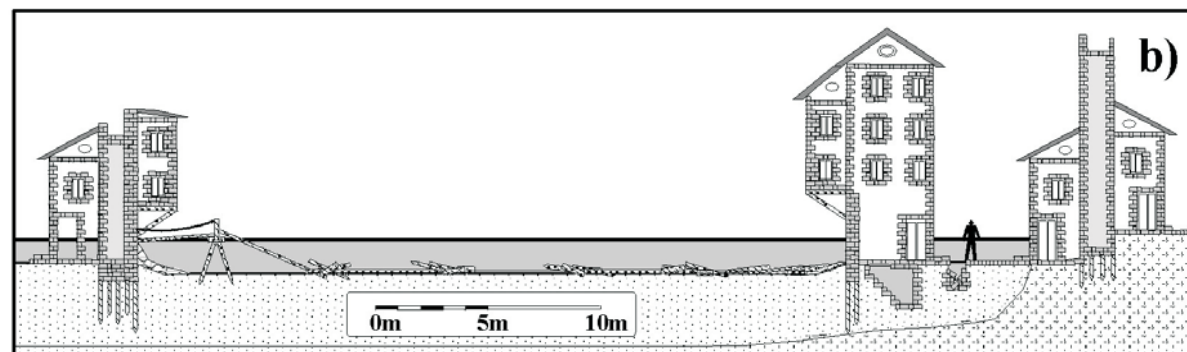


# Categorías de la magnitud relativa de crecidas históricas de acuerdo a niveles alcanzados, daños y descripciones derivadas de fuentes documentales

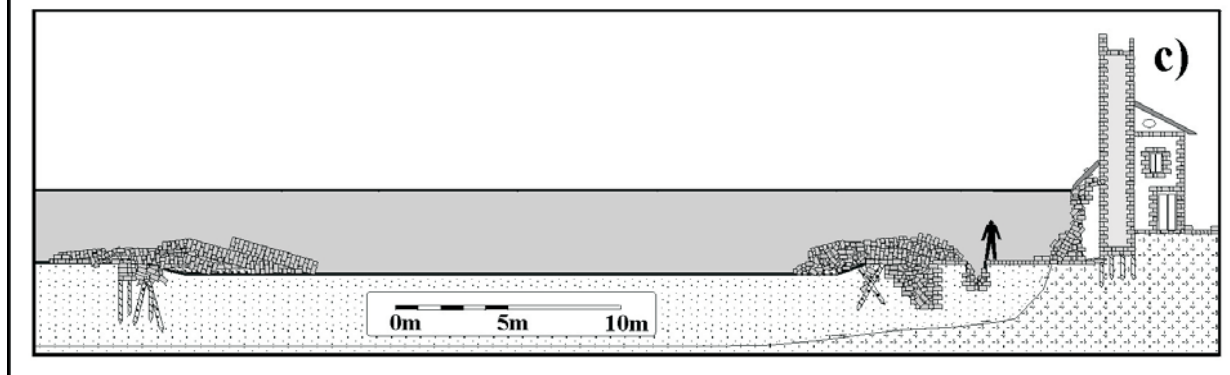
a) Situación de crecida ordinaria  
(Clase 1)



b) Situación de extraordinaria  
(Clase 2)

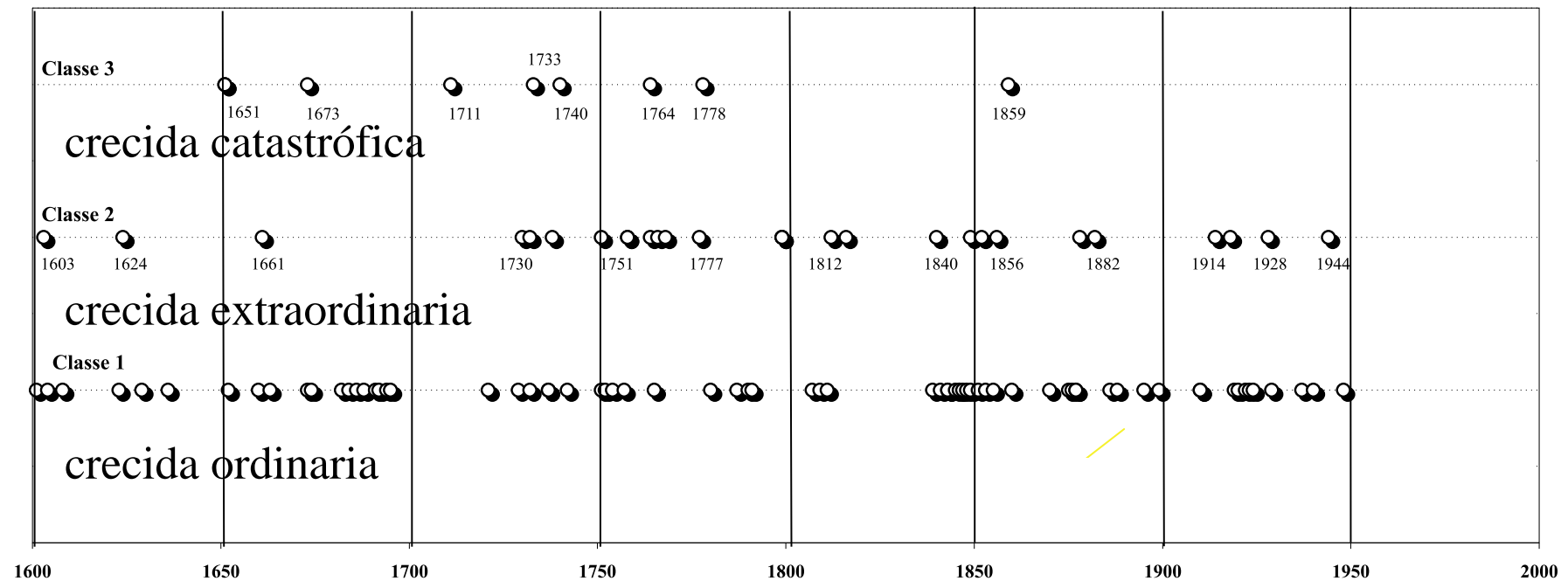


c) Situación de crecida  
catastrófica  
(Clase 3)

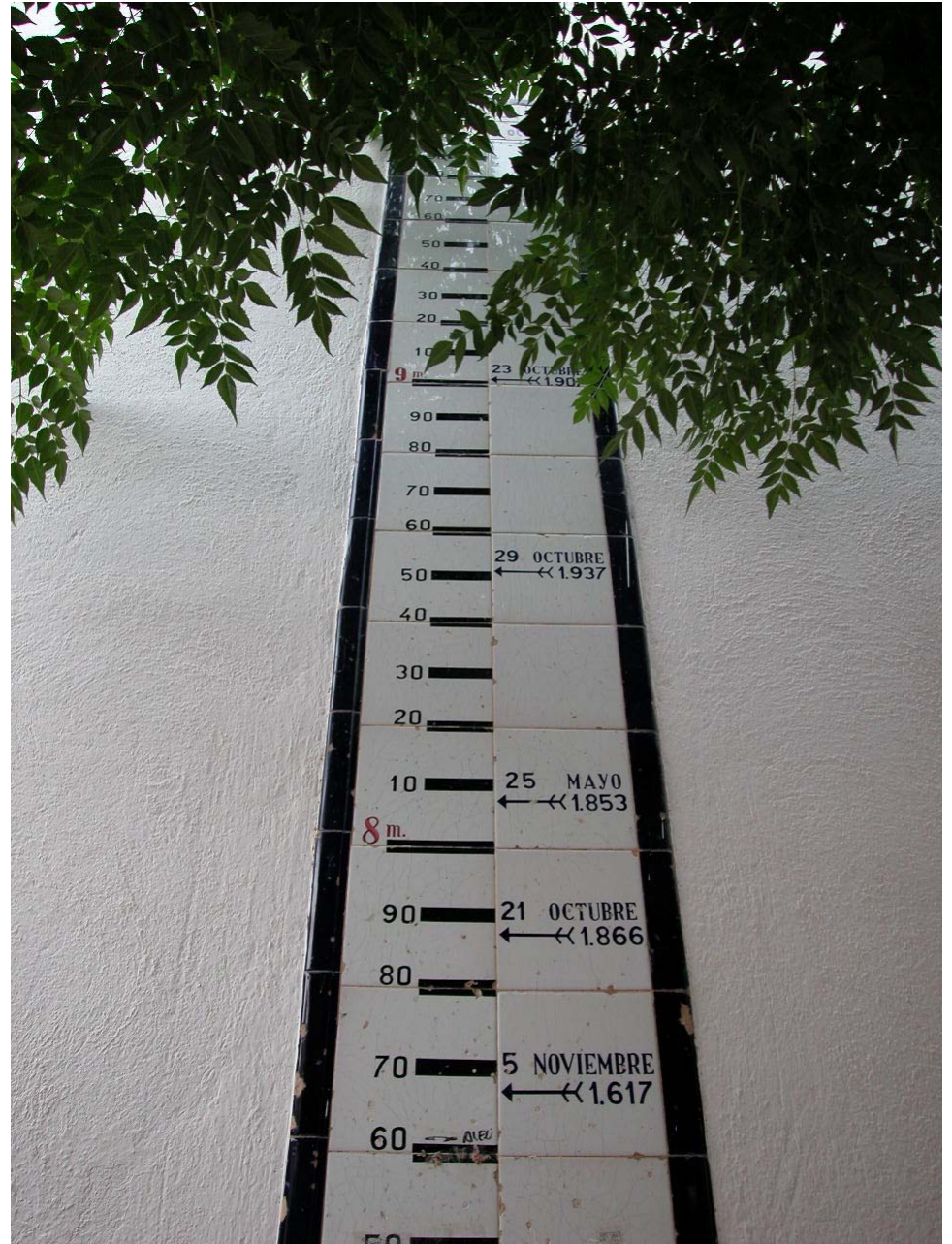
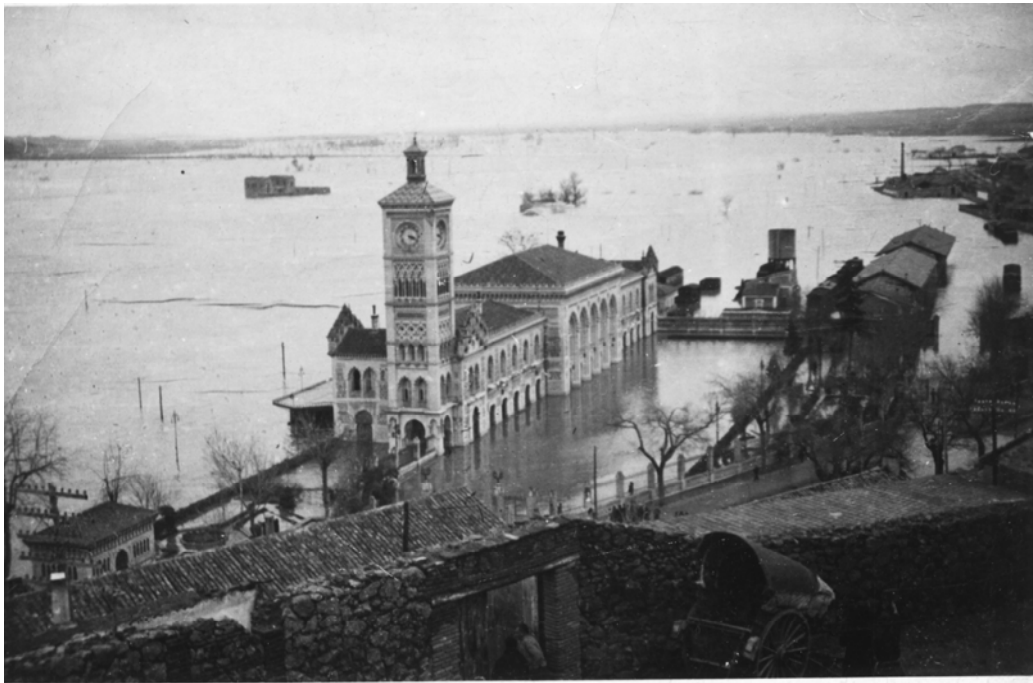




# Distribución temporal de crecidas de acuerdo a la magnitud relativa teniendo en cuenta los daños y descripciones derivadas de fuentes documentales



Categorías de eventos de crecida para el río Isère en Grenoble (AD 1600-1950)





# Río Tajo, Marca de inundación: 8 de enero de 1856



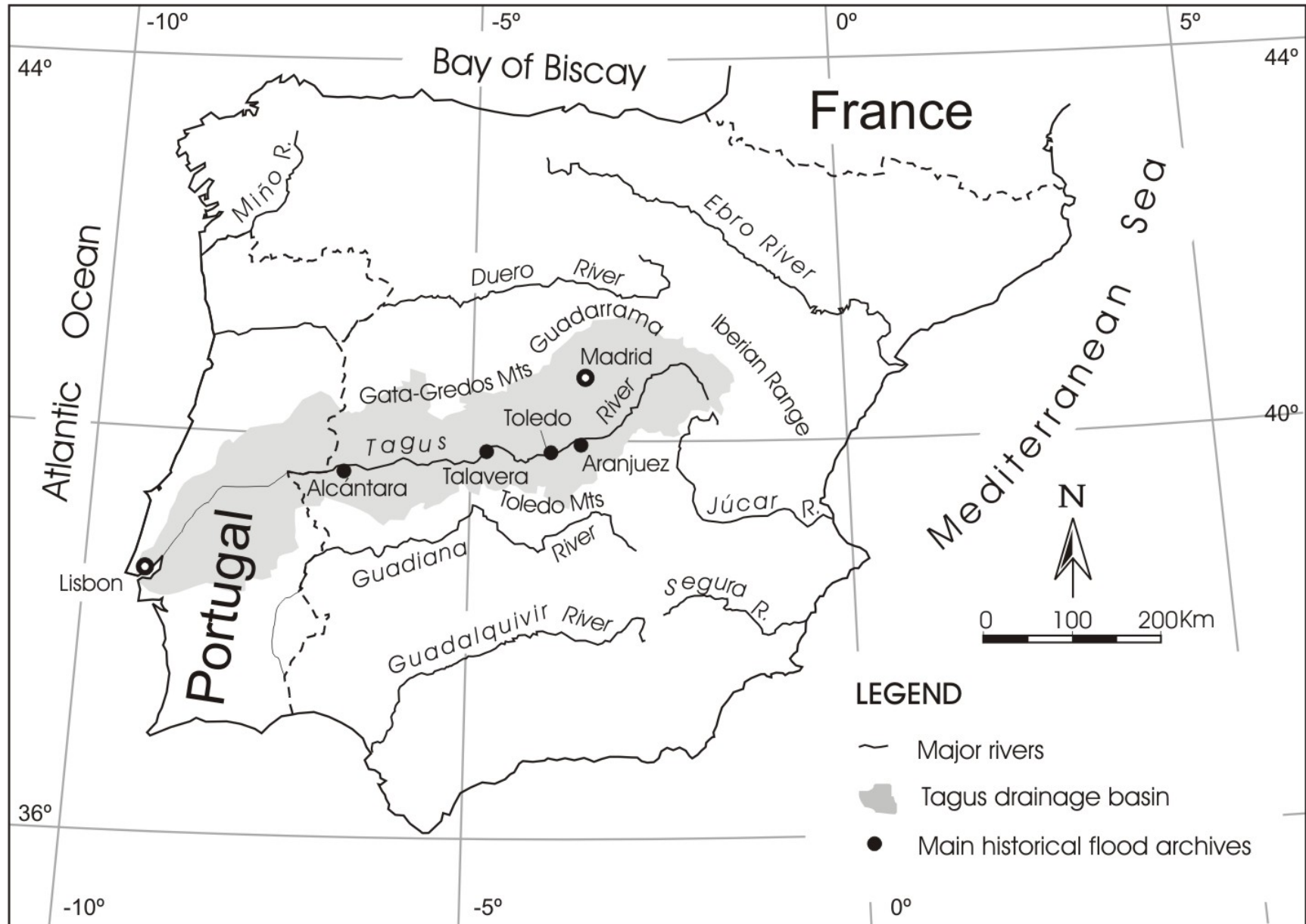


# Inscripción de una crecida de 1870 en China





# Historical flood discharge estimations

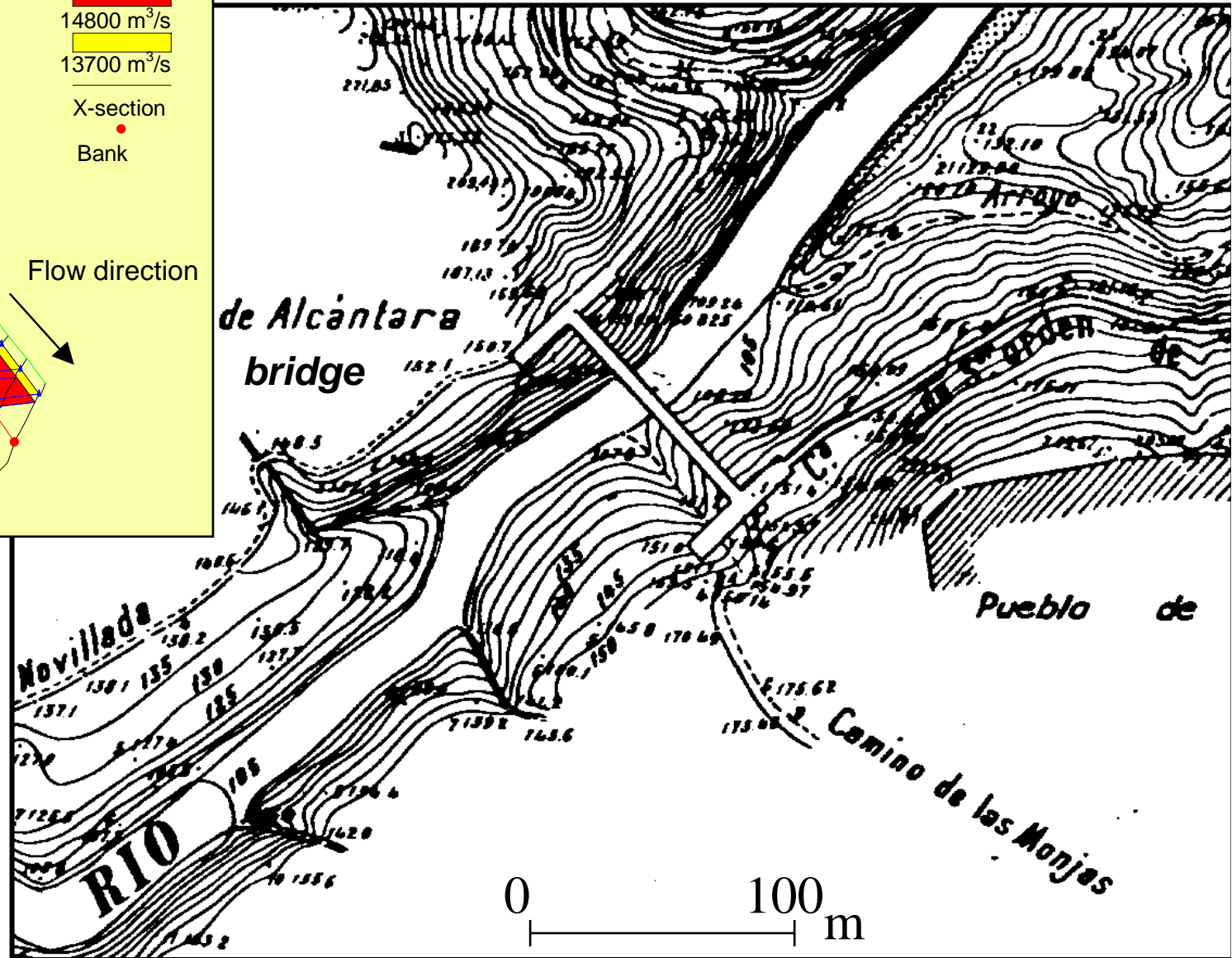
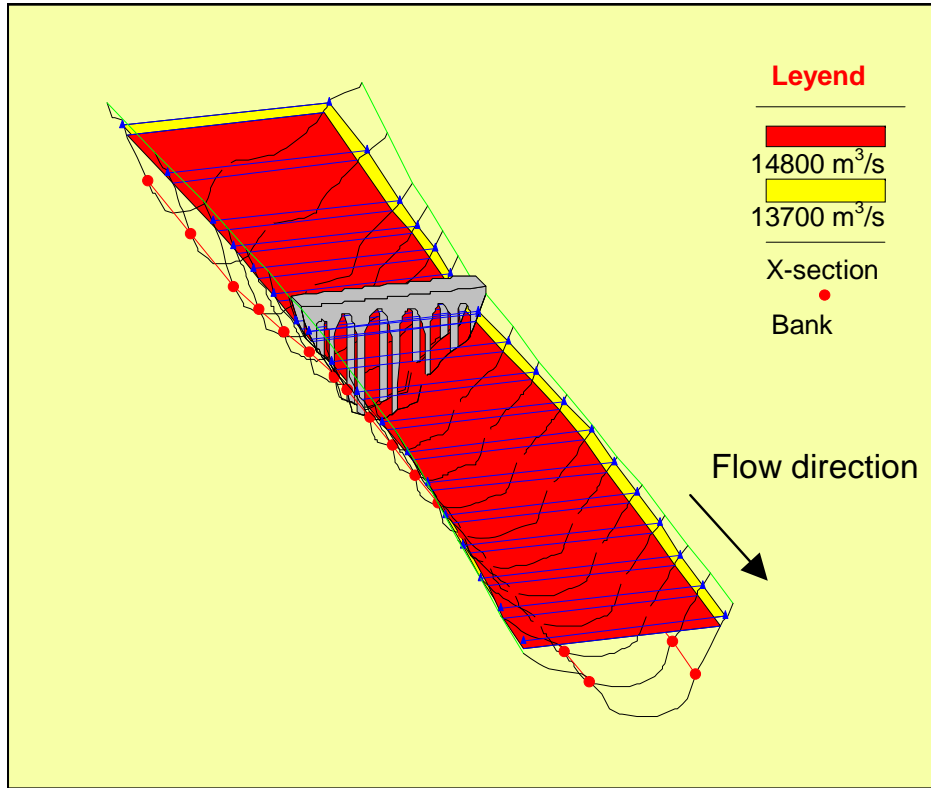


# Información disponible: Alturas del nivel de crecida

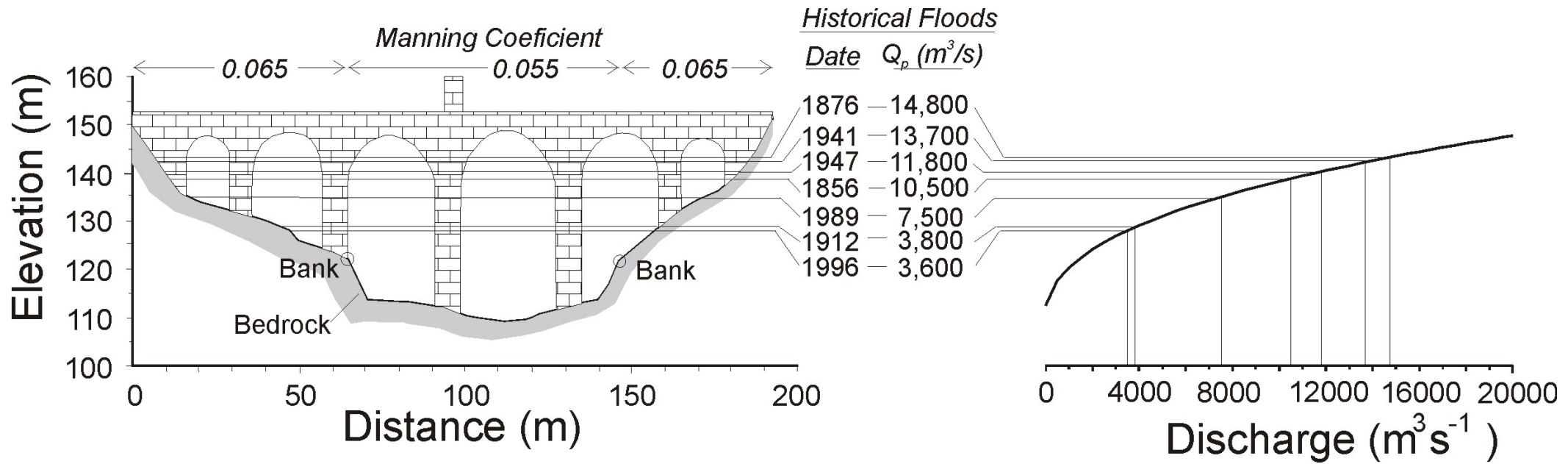




# Estimación de caudales de las crecidas históricas

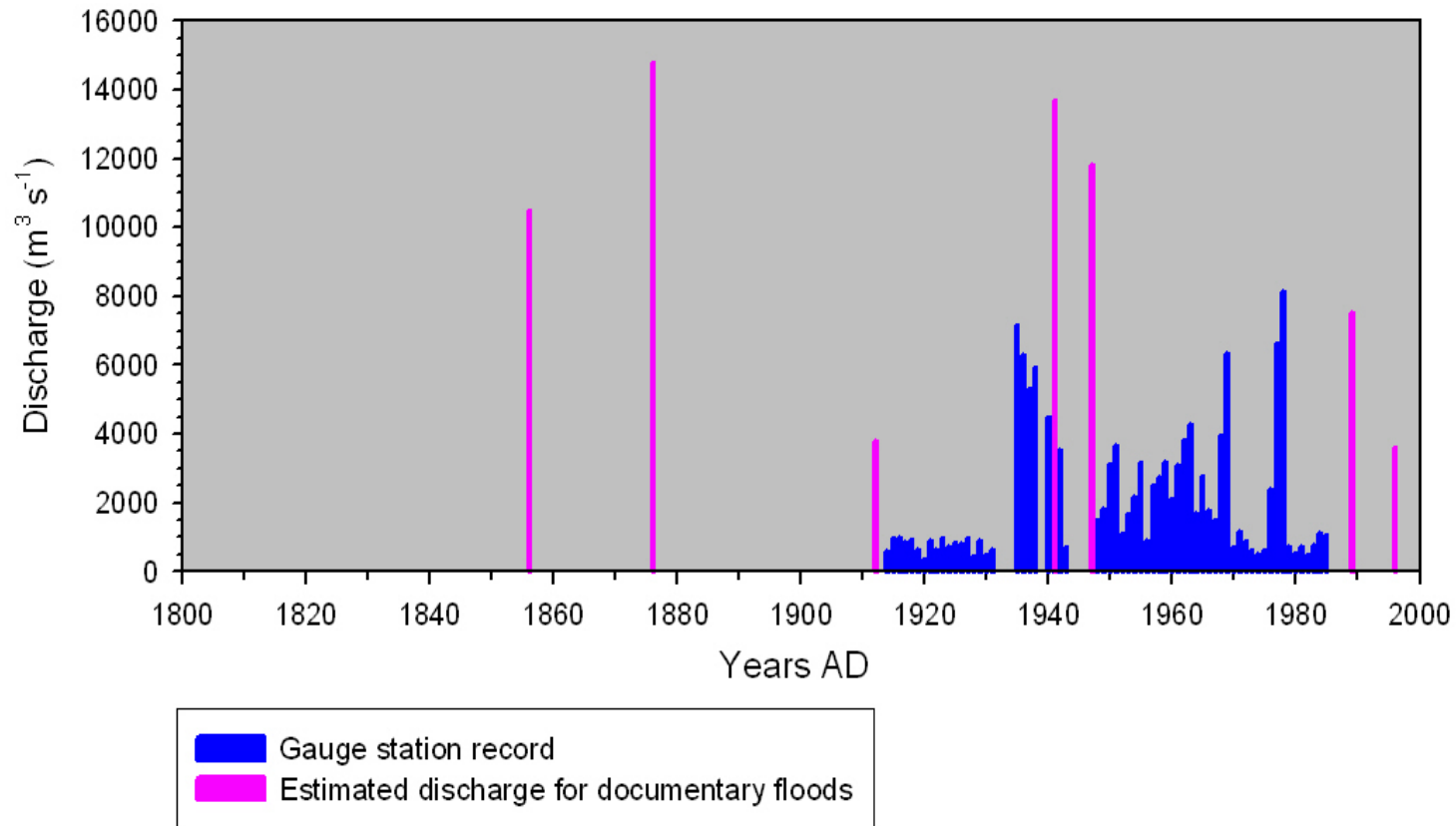


# Caudales asociados a niveles de crecidas históricas Río Tajo, Alcantara (Cáceres)





# CAUDALES HISTORICOS ESTIMADOS A PARTIR DE MARCAS, RIO TAJO, ALCANTARA



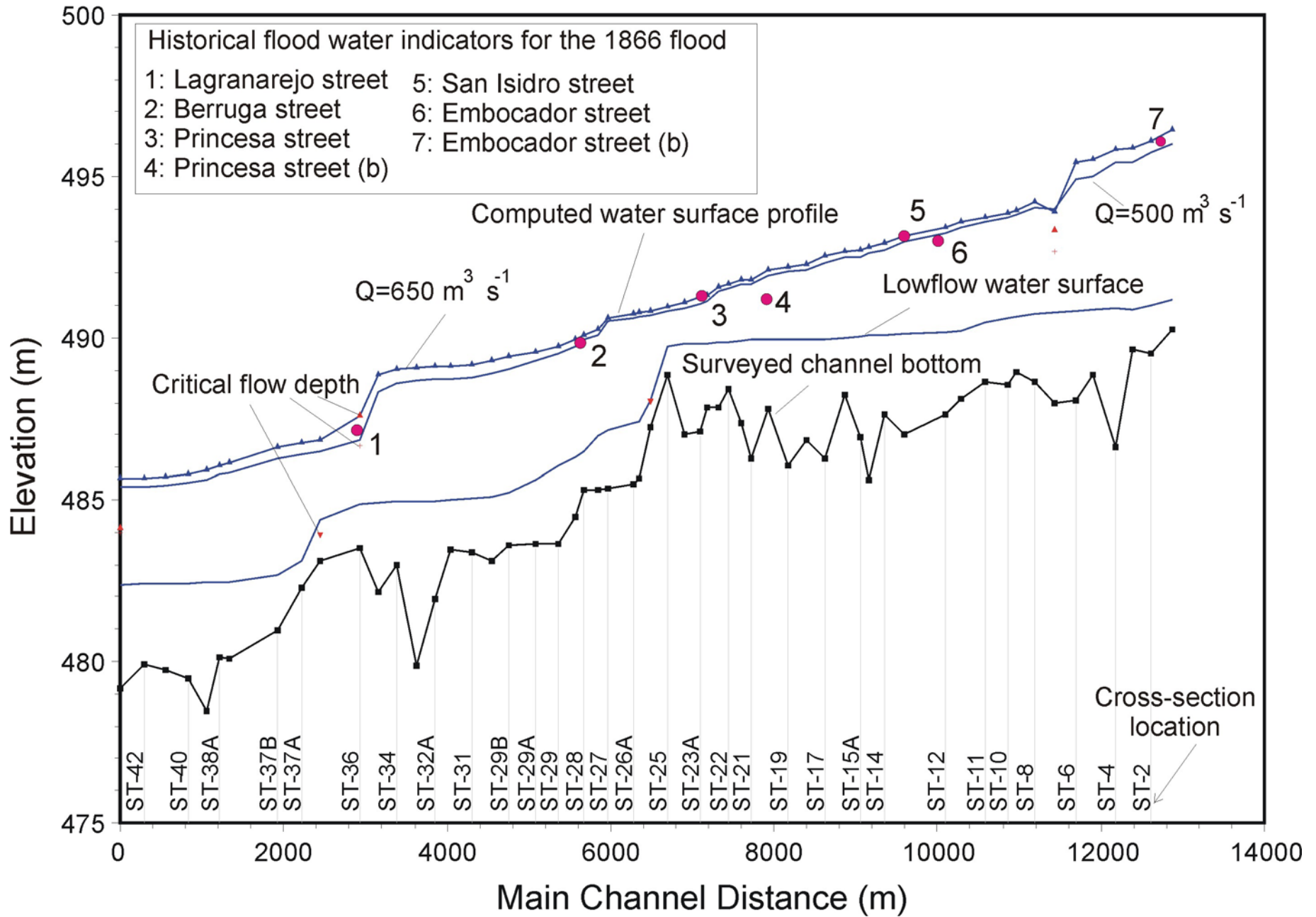
*Benito et al., 2003*

# Palacio Real de Aranjuez, según Antonio Joli

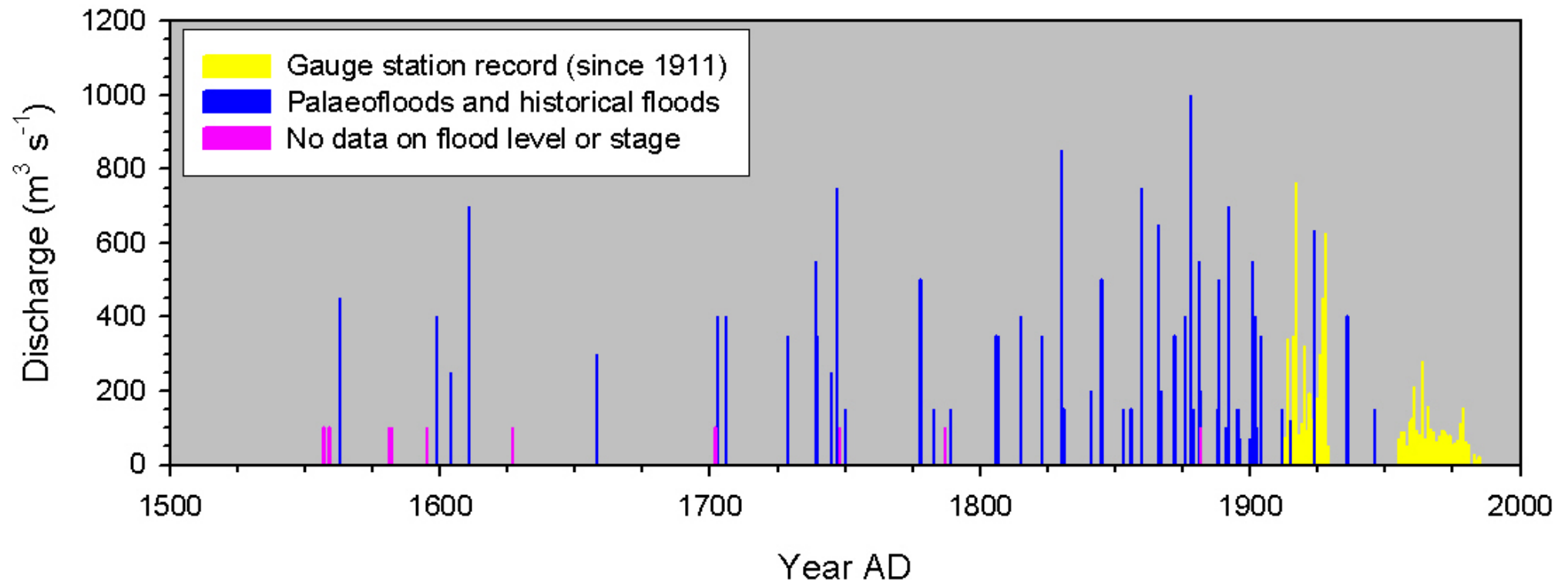


>70 crecidas en los últimos 400 años, con referencias a >50 hitos y lugares





# ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE CRECIDAS HISTÓRICAS, RIO TAJO EN ARANJUEZ



*Benito et al., 2003*



ESTRATIGRAFÍA  
Y GEOCROLOGÍA



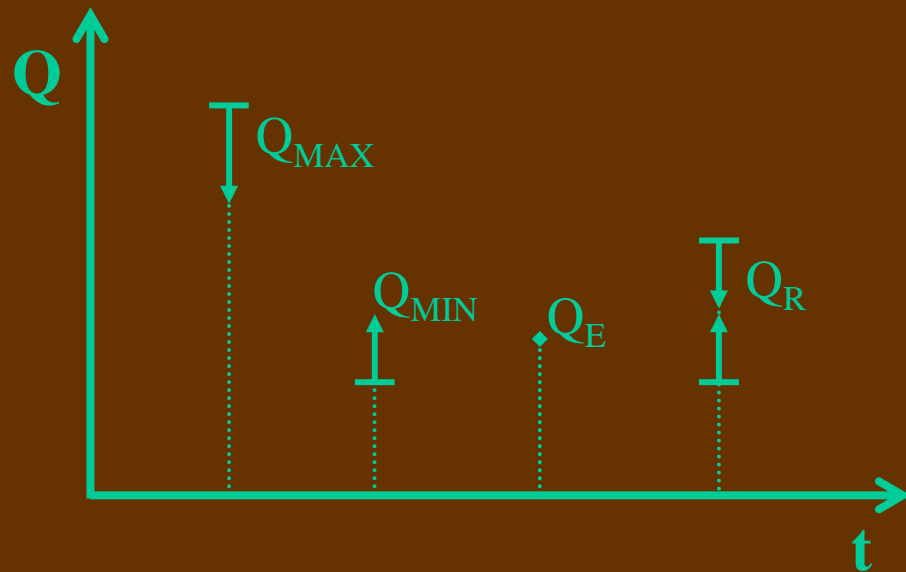
ESTIMACION  
DE CAUDALES



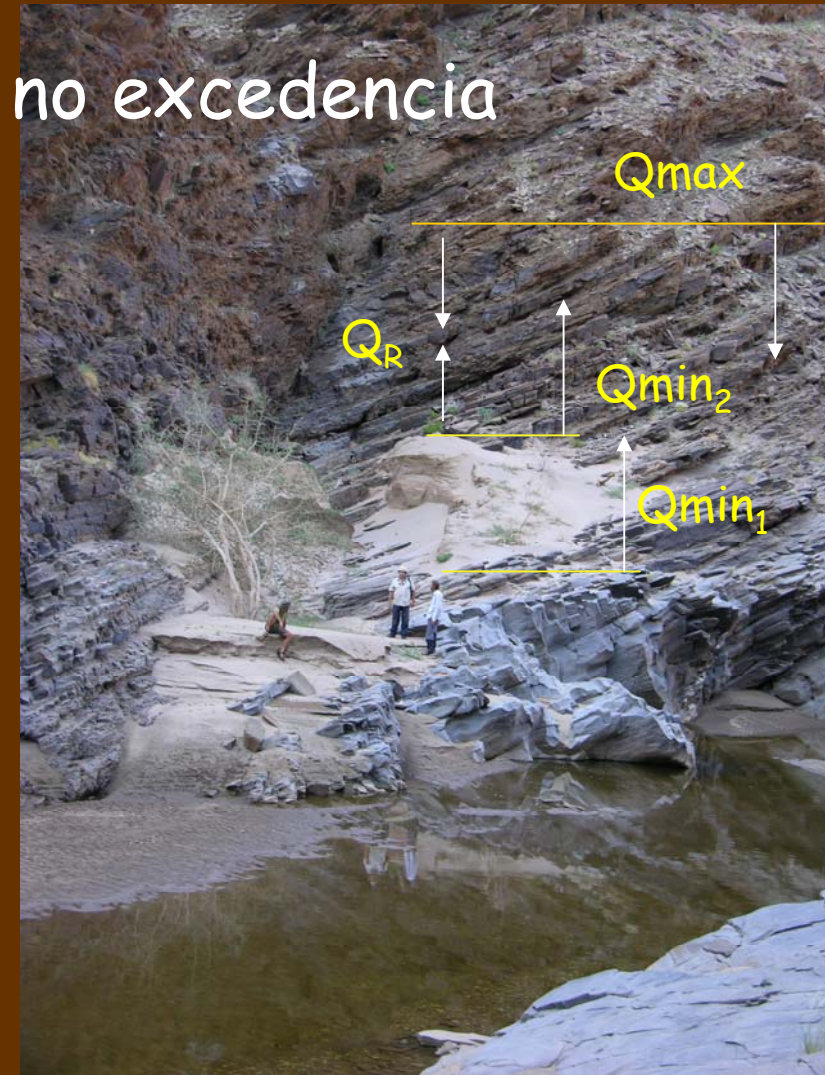
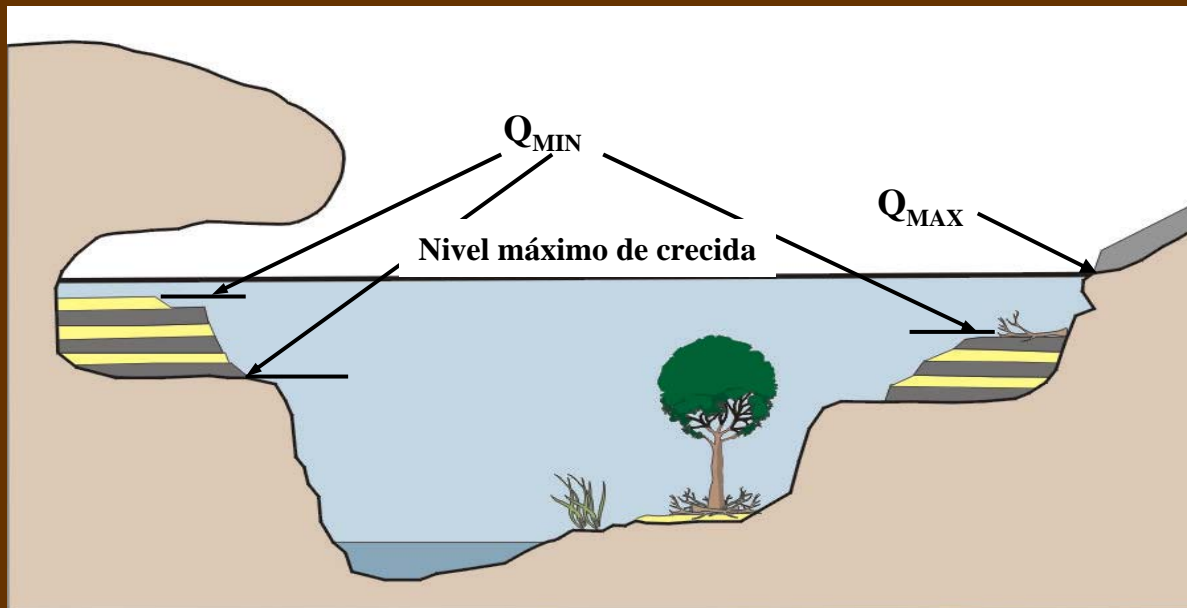
ANÁLISIS  
ESTADÍSTICO

- Descripción de los sedimentos
- Identificación de los diferentes eventos de crecida
- Datación
- Aplicación de principios de hidráulica
- Estimación de caudales punta asociados a los sedimentos mediante modelos hidráulicos
- Determinar las funciones de distribución
- Frecuencia de crecidas

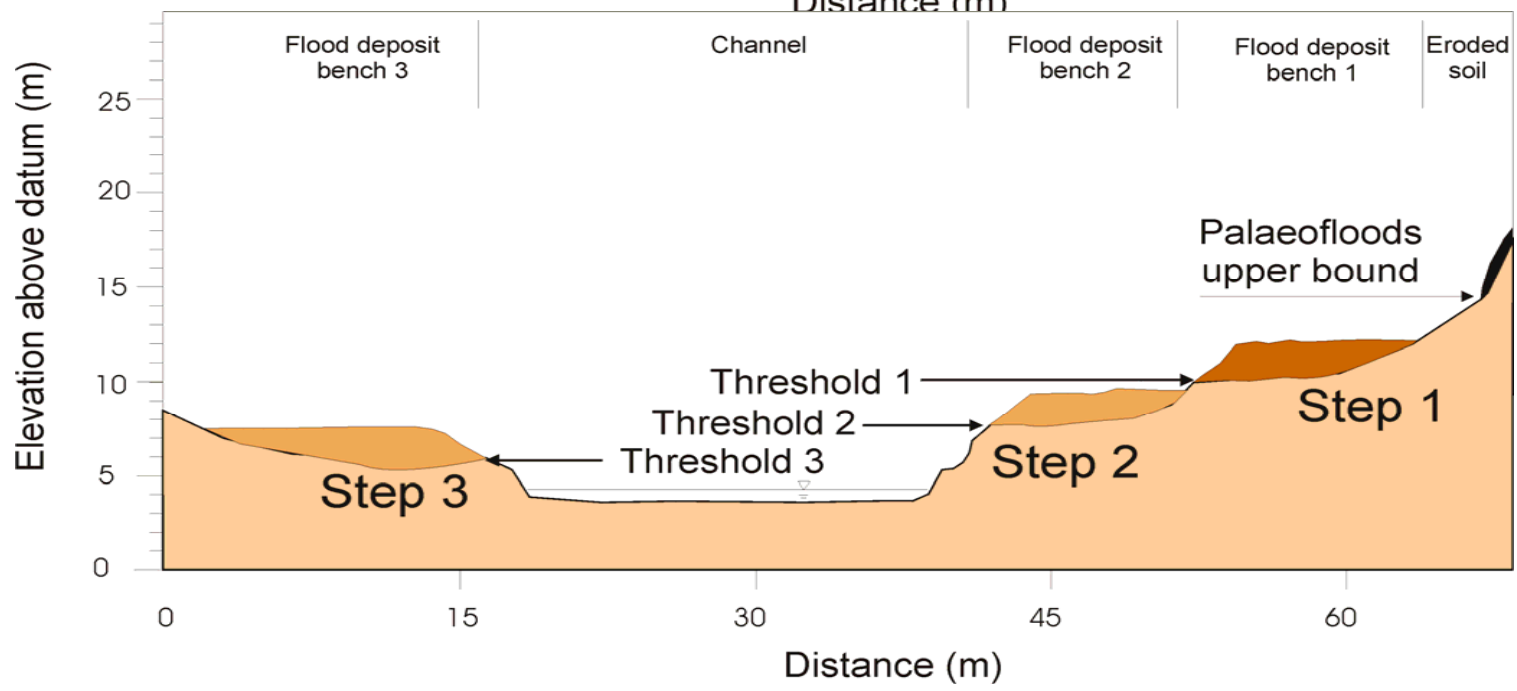
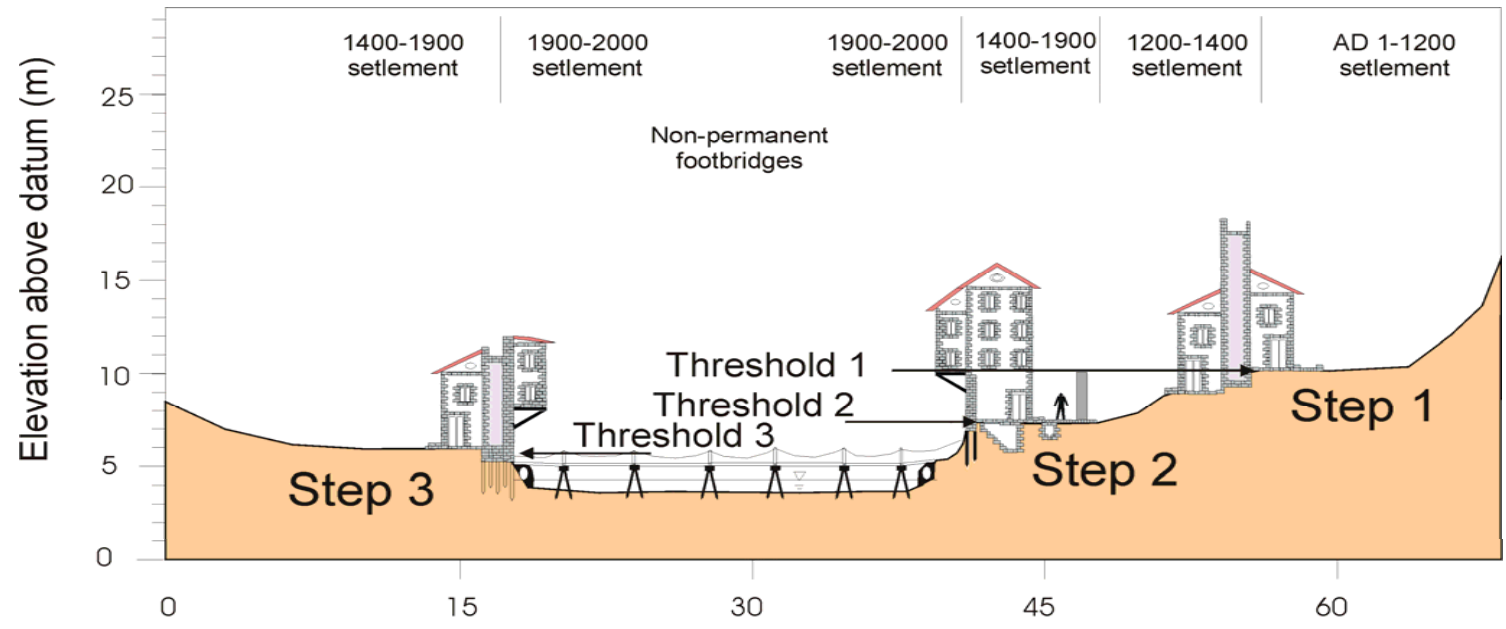
# Datos no sistemáticos



- Indicador de paleocalado
- Datos censurados-Nivel de umbral
- Nivel de no excedencia







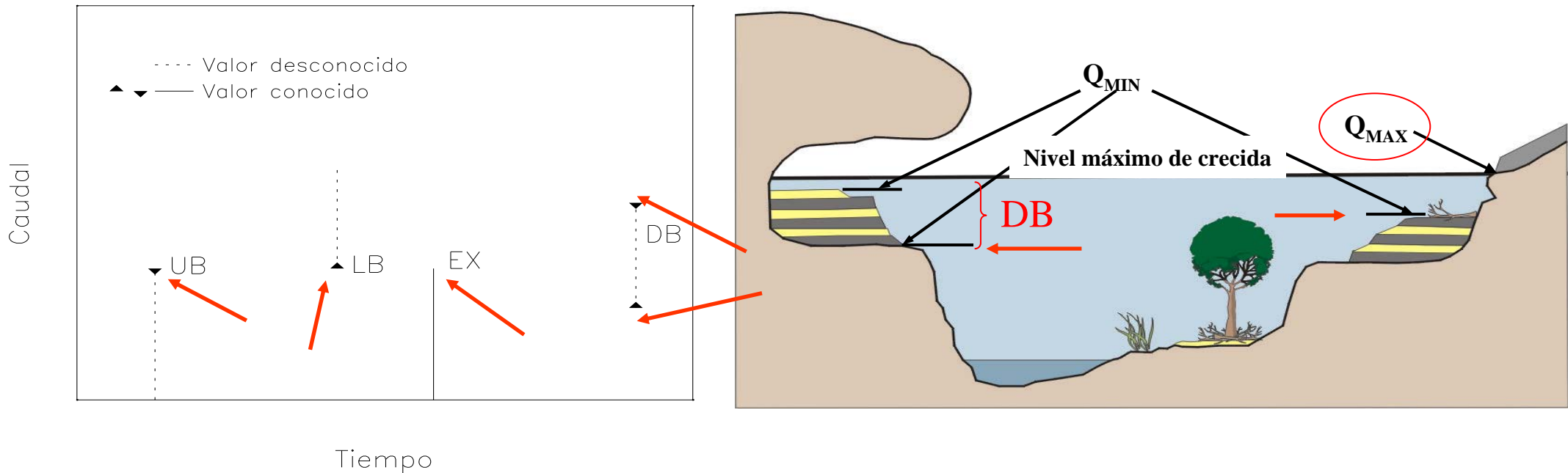
# Clasificación de los Datos

**EX** (Exacto) → Magnitud de la crecida

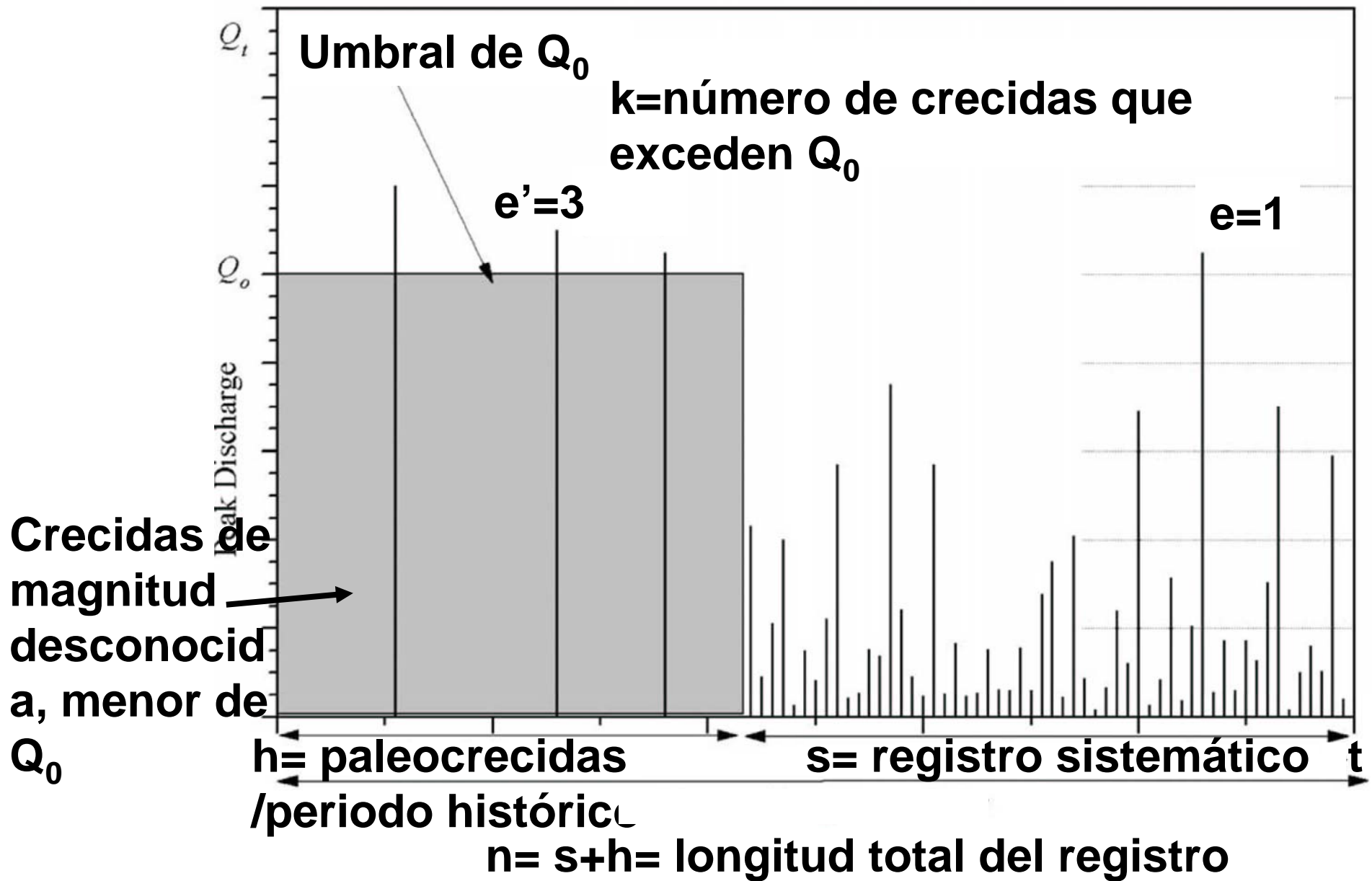
**UB** (Upper Bound) → Límite superior no excedido

**LB** (Lower Bound) → Límite inferior excedido

**DB** (Double Bound) → Crecida dentro de Intervalo



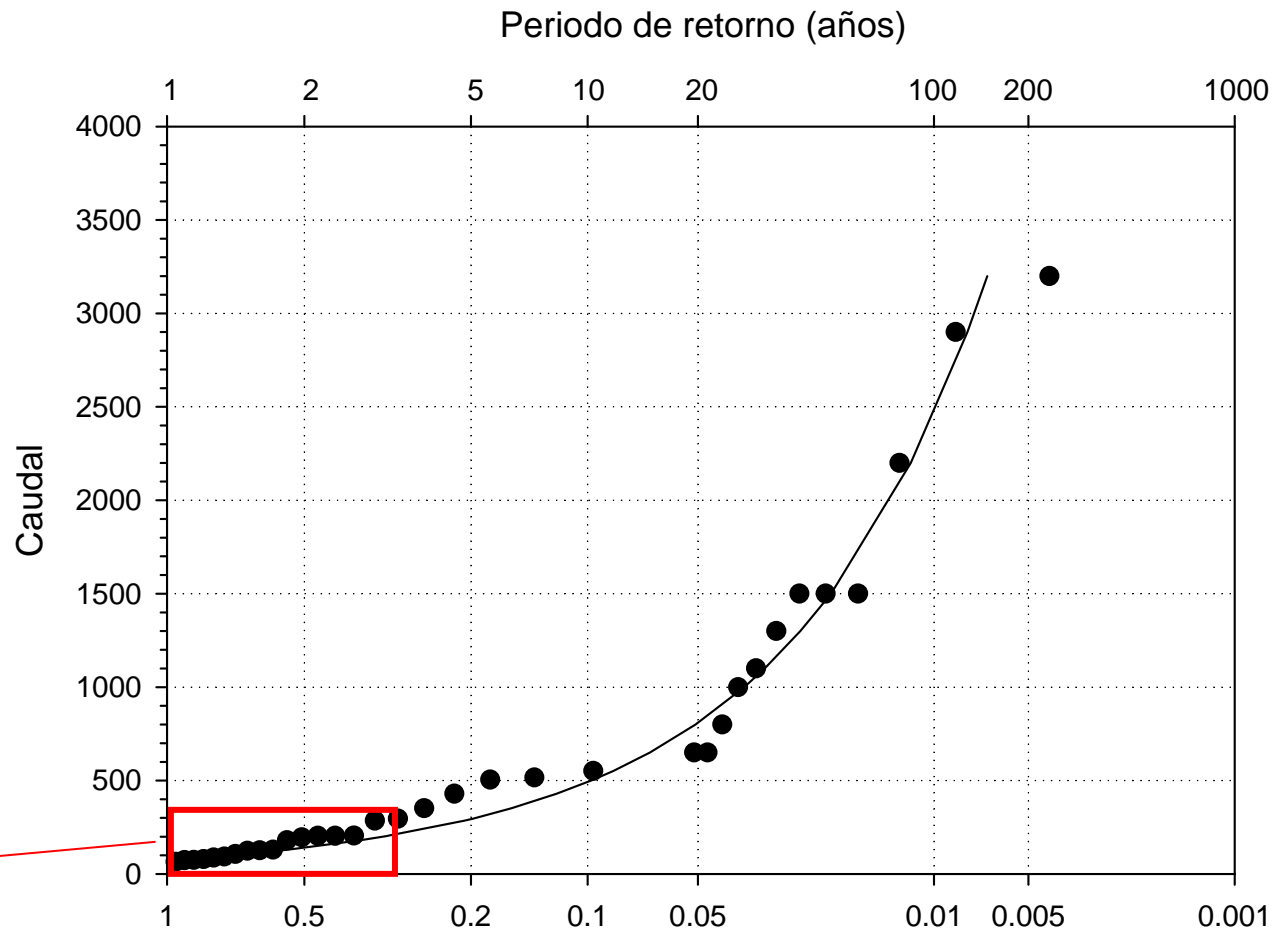




Según: England et al., 2003 basado en Hirsch and Stedinger, 1987

# ANALISIS DE FRECUENCIA CON DATOS NO SISTEMATICOS

Distribución LOGPEARSON en Toledo (Históricas desde 1778)

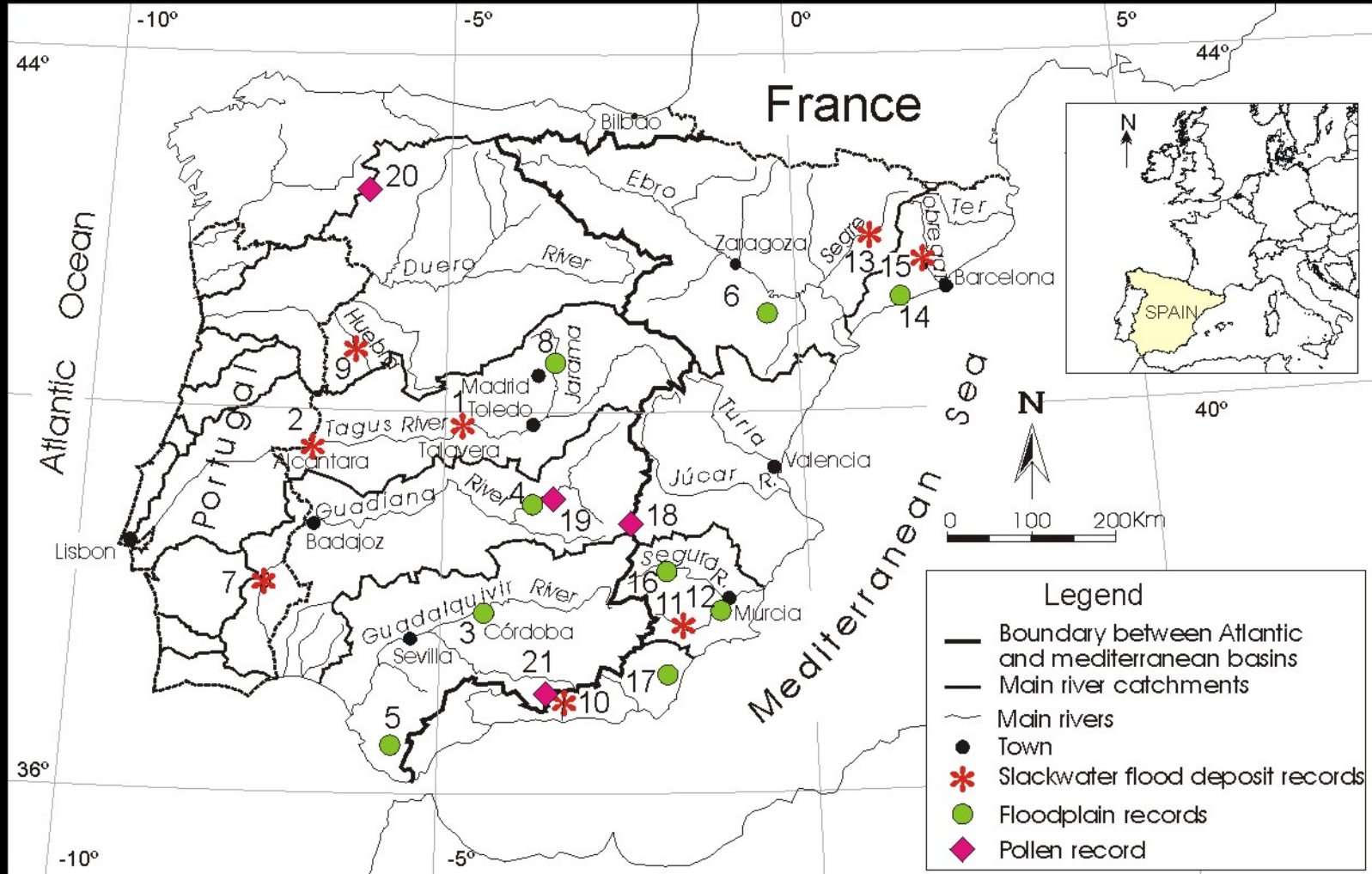




Periodos de retorno de inundaciones para el río Llobregat en Monistrol  
 Basados en una función de distribución de Valores Extremos  
 de 4 parámetros (EV4) para dos periodos climáticos distintos

<b>Llobregat Monistrol de Montserrat</b>	<b>Valores Extremos 4 parámetros (EV4)</b>	
<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>Clima Contemporáneo (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> )</b>	<b>Clima 1000- 1850AD (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> )</b>
25	2,110	1,626
100	5,279	3,911
500	11,097	8,484
10,000	17,841	15,357
PMF	18985	17053

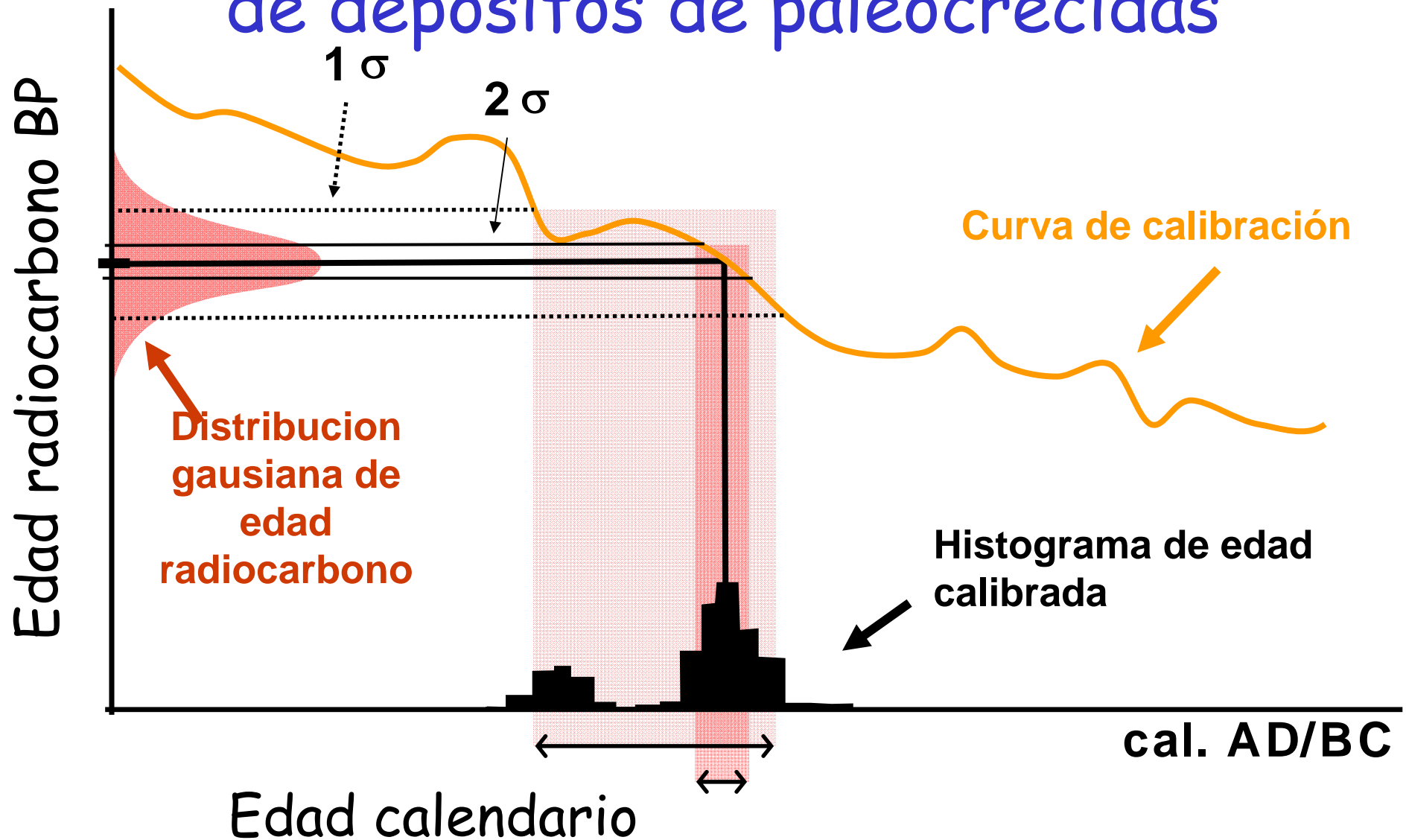
# Estudios de paleocrecidas

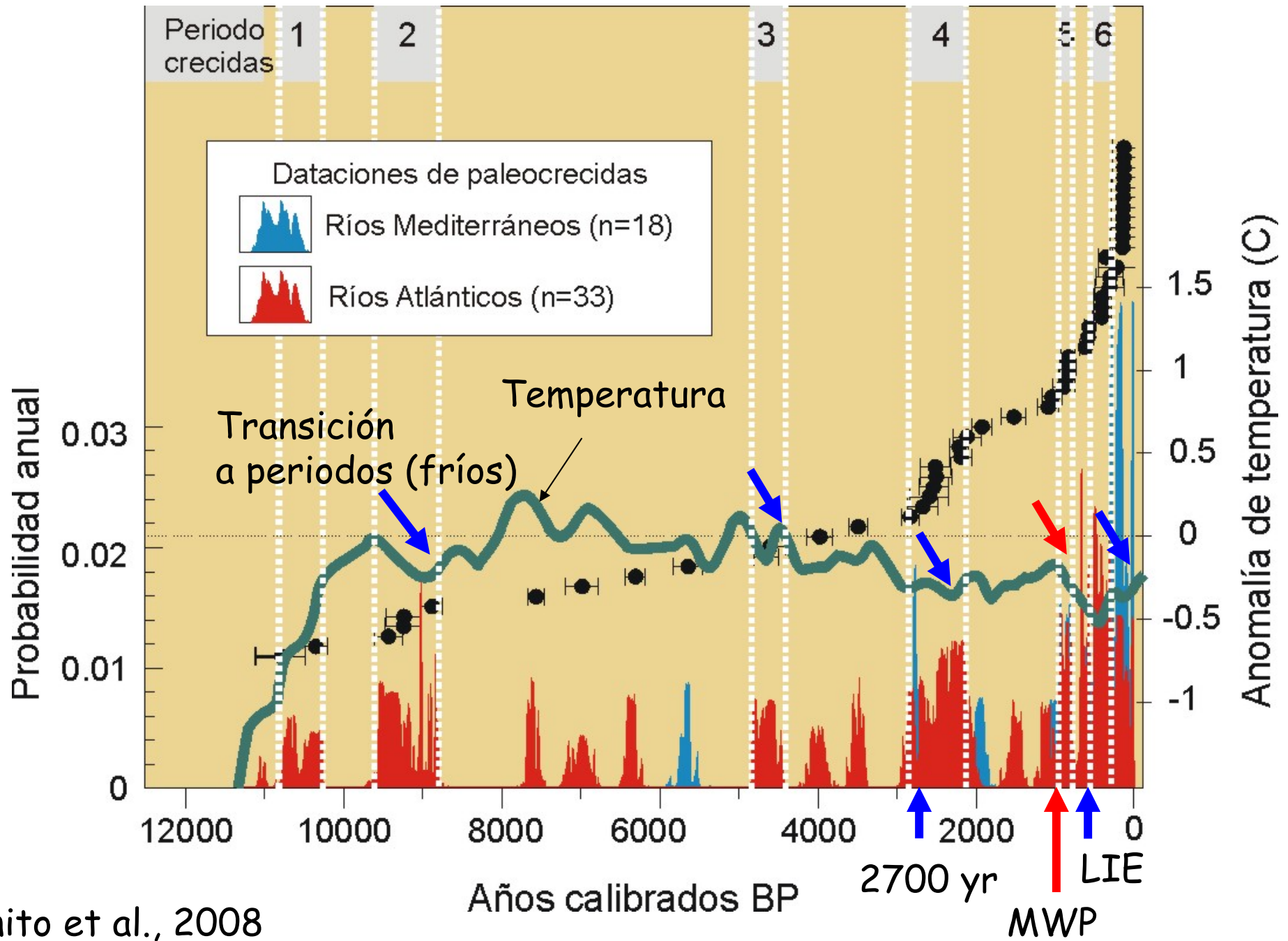


Datos paleocrecidas de Benito et al., 2008, excepto pto 7 tomado de Ortega, 2007



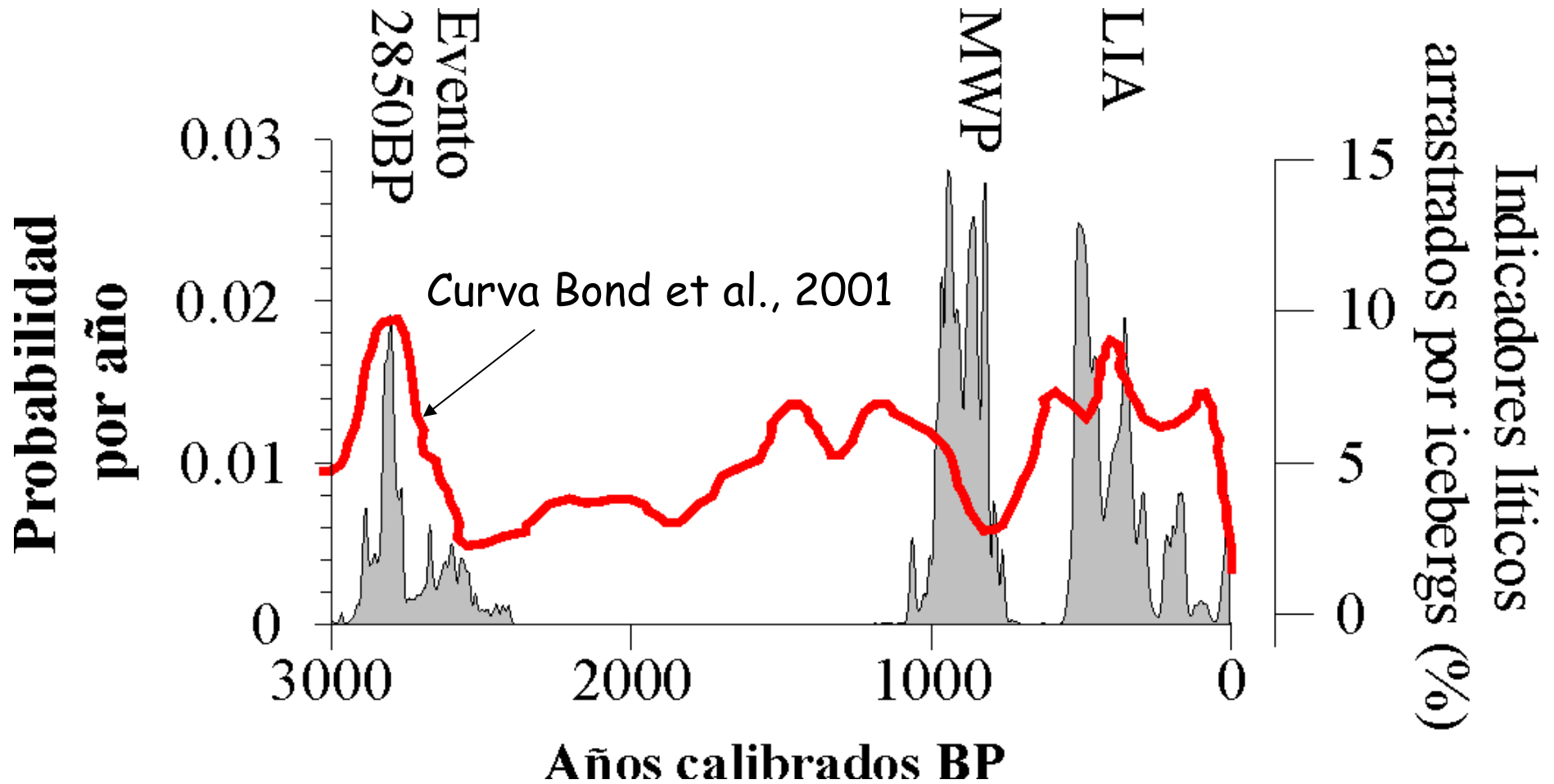
# Base de datos de edades C-14 procedentes de depósitos de paleocrecidas





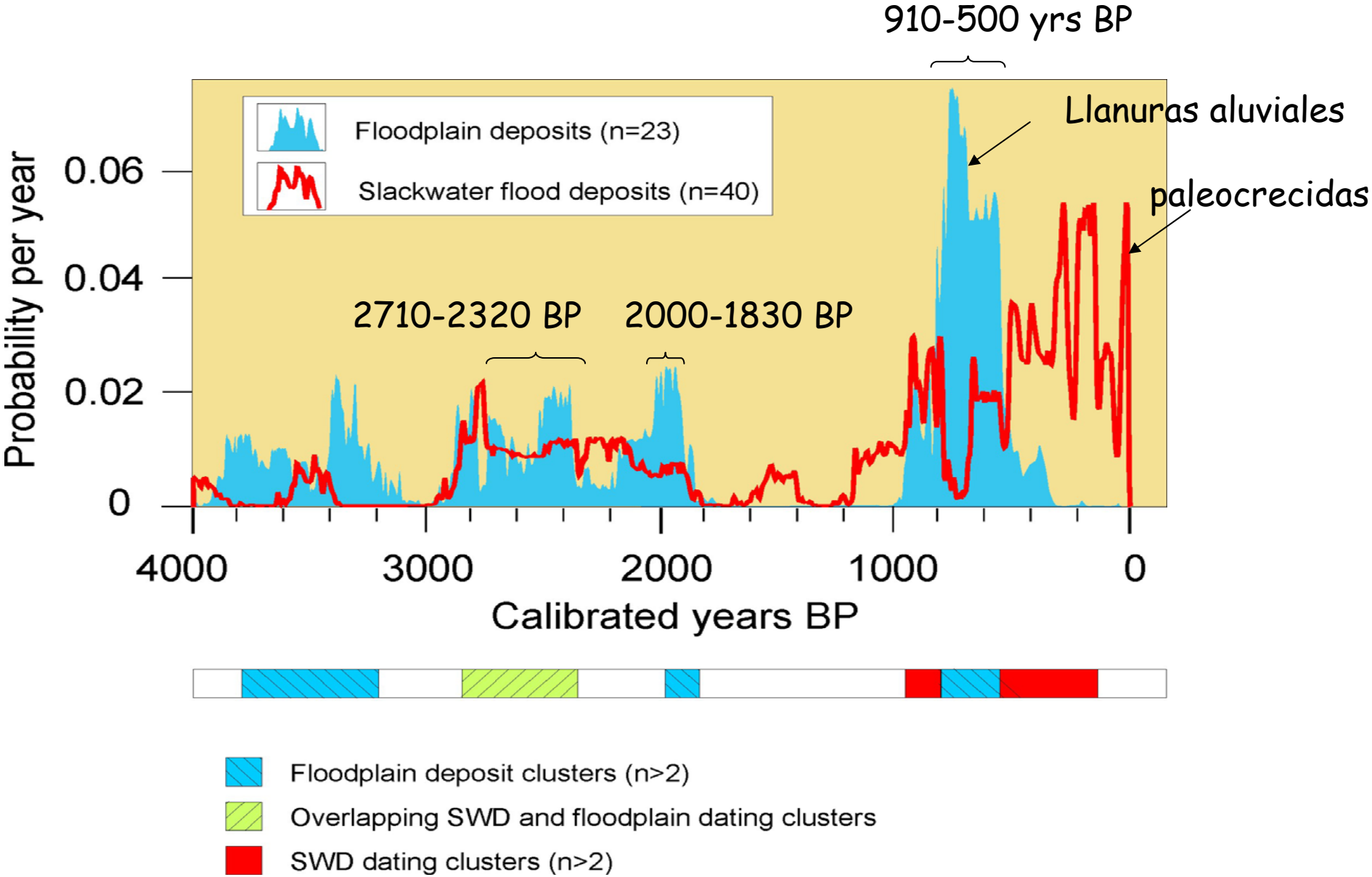


# Registros paleocrecidas en España



Fuente: Thorndycraft y Benito (2005)

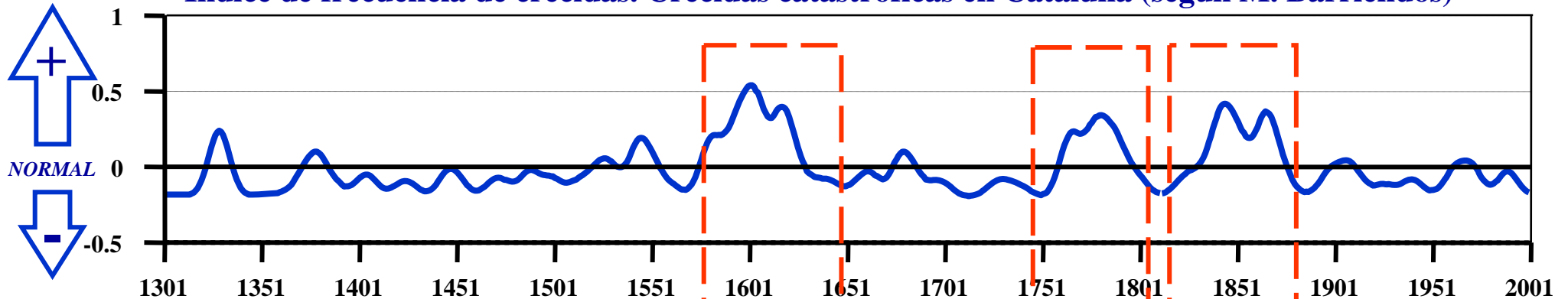
# Registros de paleocrecidas y llanuras aluviales, últimos 3ka



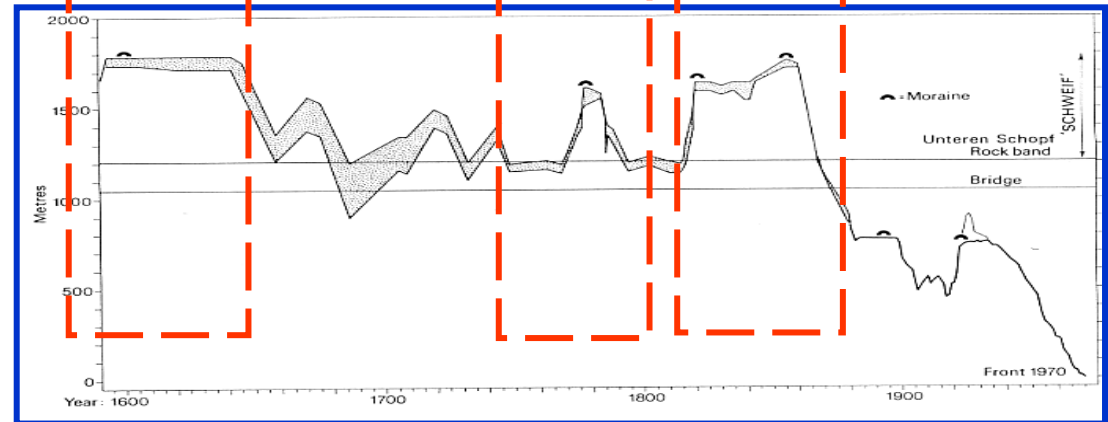


## Crecidas y variabilidad climática

Índice de frecuencia de crecidas. Crecidas catastróficas en Cataluña (según M. Barriendos)



-- Se observan como diferentes patrones de circulación atmosférica y sus anomalías producen diferentes escenarios de crecidas relacionadas con la frecuencia del fenómeno.



Glaciar Grindelwald. Oscilaciones en longitud (Pfister, 1988)

-- Se identifican diferentes configuraciones sinópticas producen precipitaciones severas con crecidas asociadas.

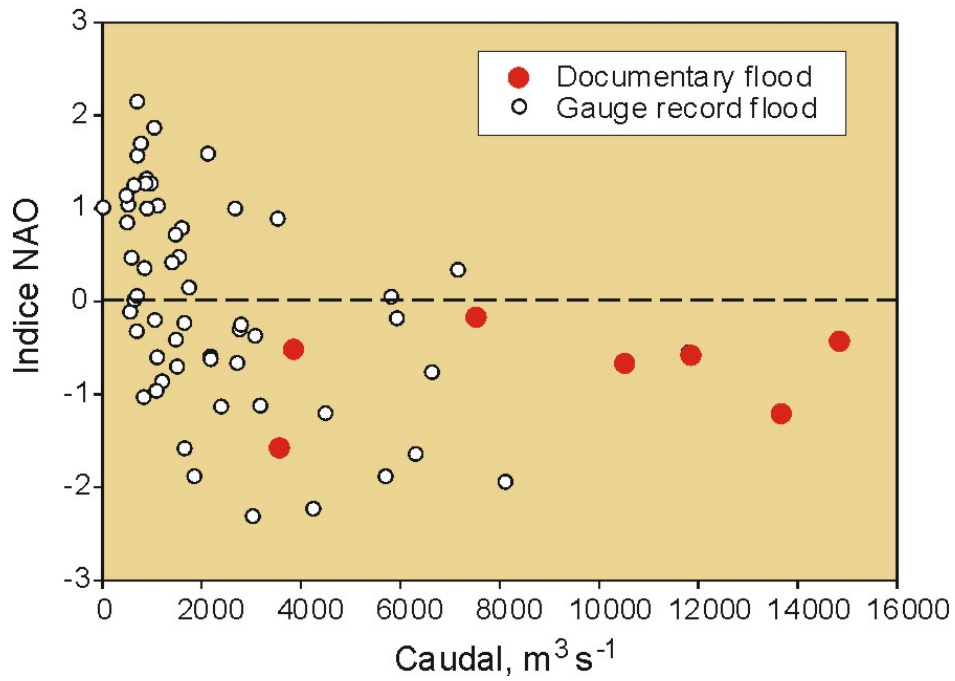
Datos de M. Barriendos, U. Barcelona

# ¿Cómo se pueden proyectar la frecuencia de las crecidas en los escenarios de Cambio Global?

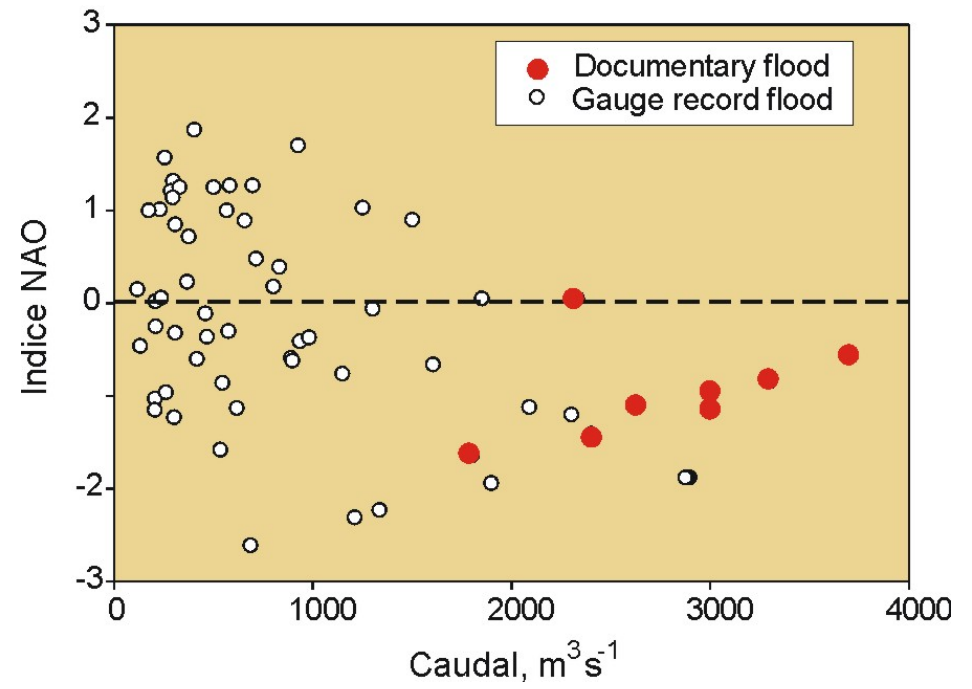
- Los Modelos de Circulación Global presentan dificultades para proporcionar proyecciones de futuro de los eventos extremos a escala regional.
- Las proyecciones de futuro sobre la frecuencia y la magnitud de las crecidas se pueden mejorar mediante las relaciones de las crecidas con otros índices relacionados con el clima como son la actividad solar, el Índice del Atlántico Norte (NAOI) y el índice El Niño (Southern Oscillation index).



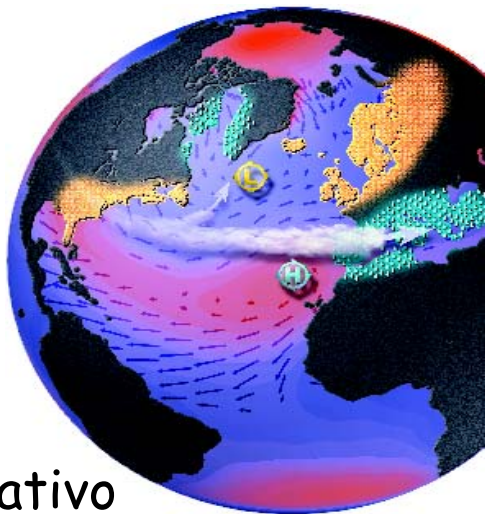
Río Tajo en Alcántara



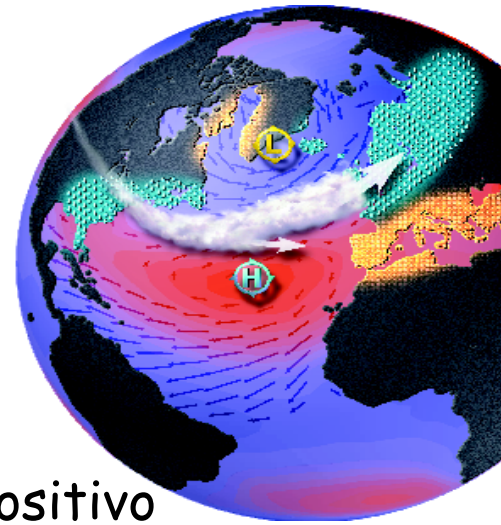
Río Tajo en Talavera



Benito et al., 2008



NAOI negativo

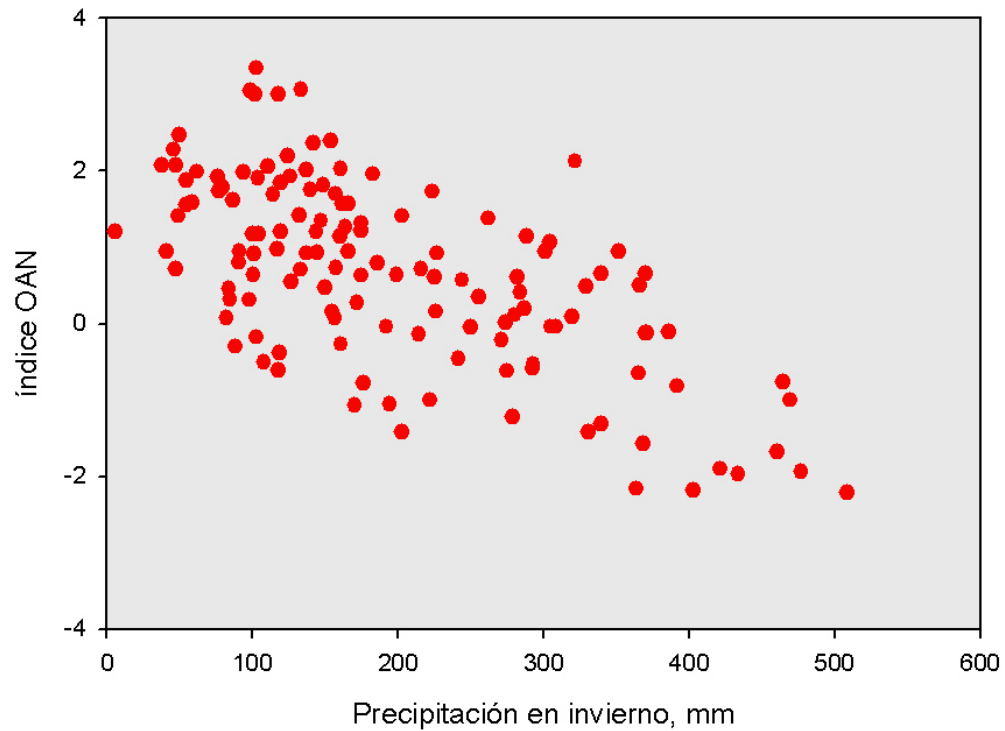


NAOI positivo

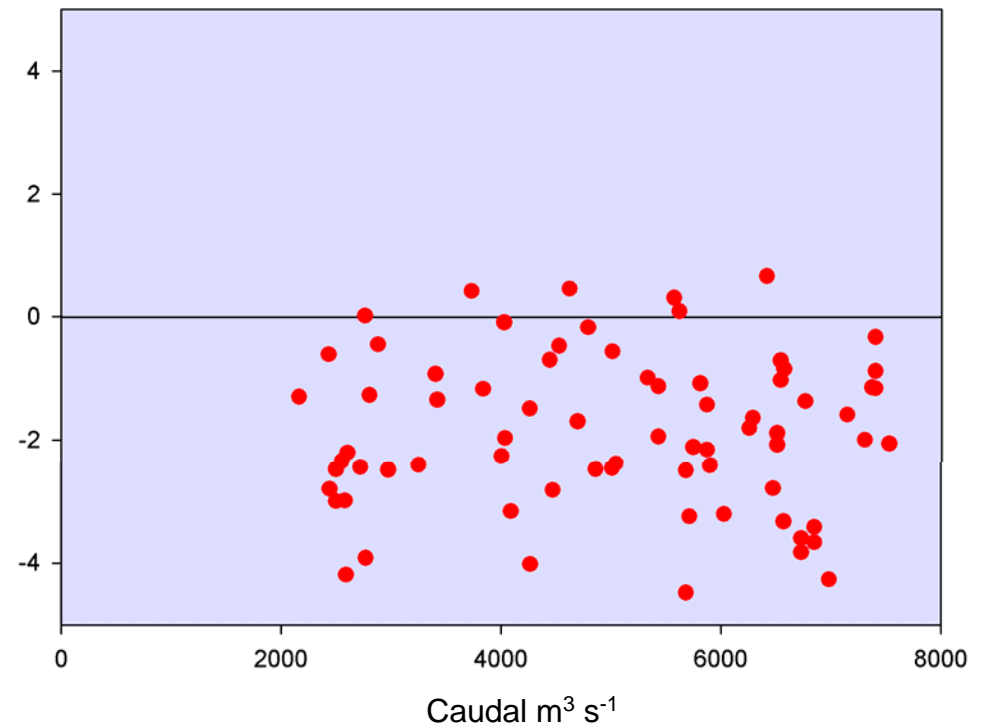
Según M. Visbeck,  
Columbia University

# *Relación índice NAO (Dic, En, Feb) y crecidas históricas del río Guadalquivir en Sevilla*

Datos del periodo instrumental

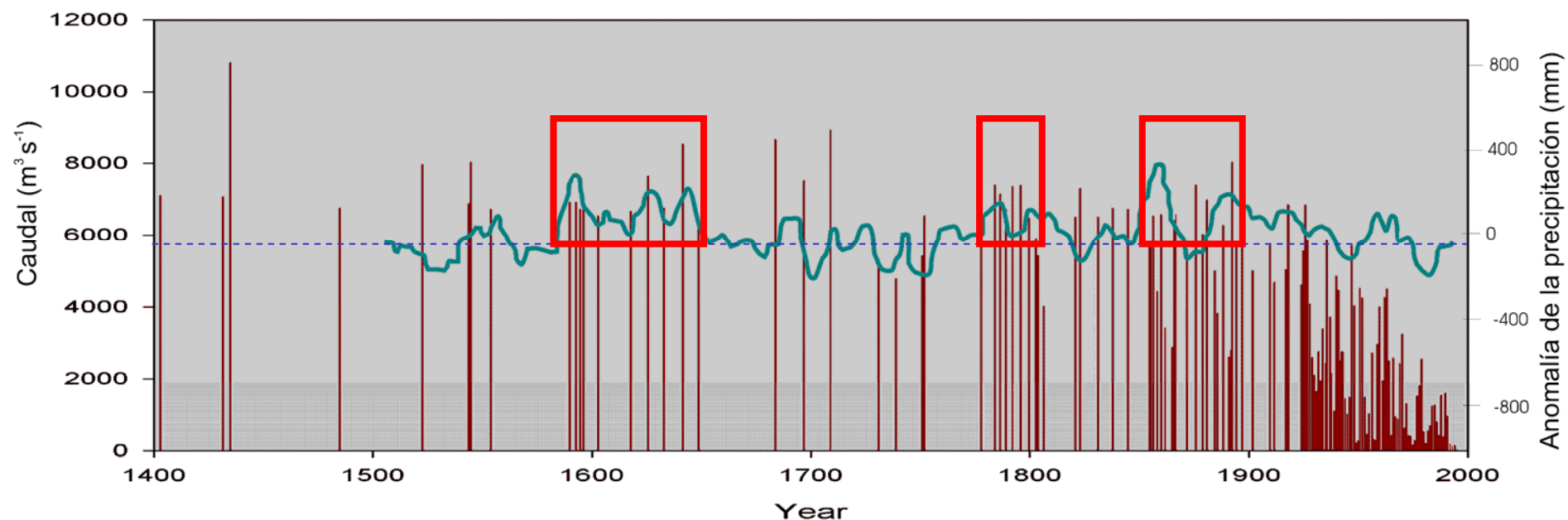


Datos de los últimos 500 años





## Pasado y presente de las crecidas del río Guadalquivir en Sevilla

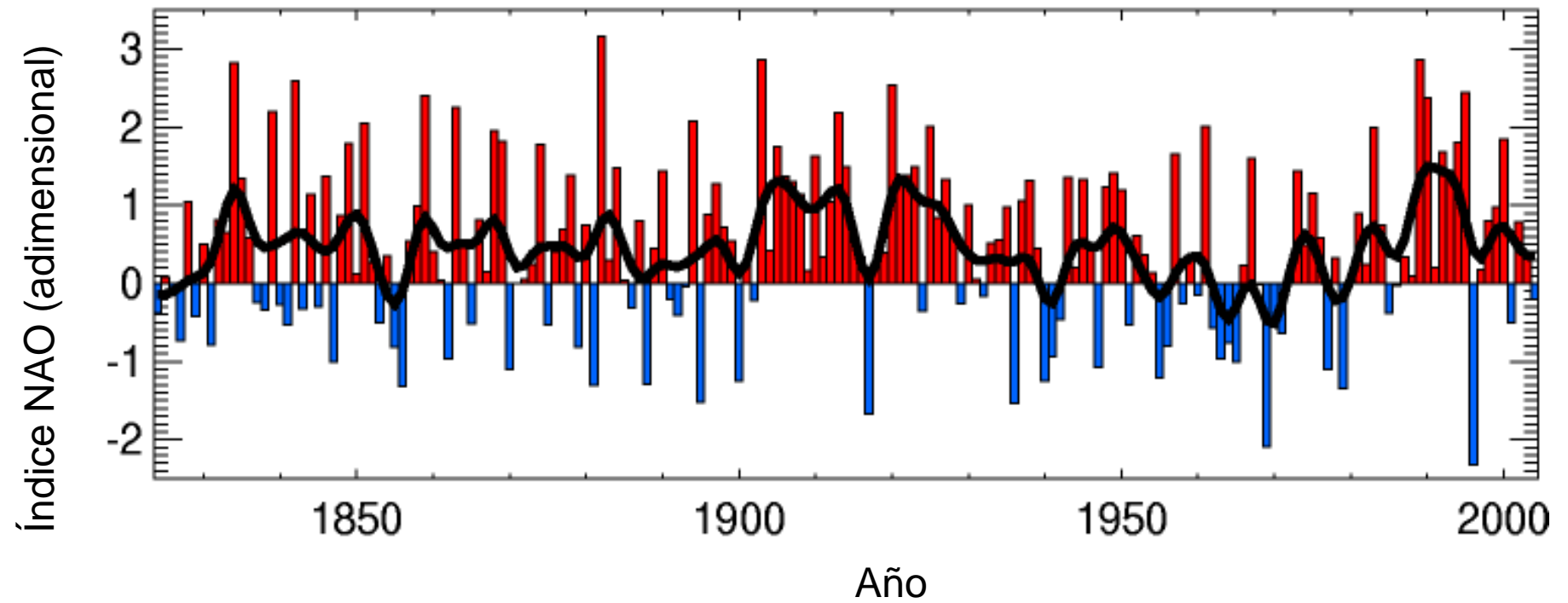


11. 52. - Sevilla. Vista general del Puerto y el Muelle

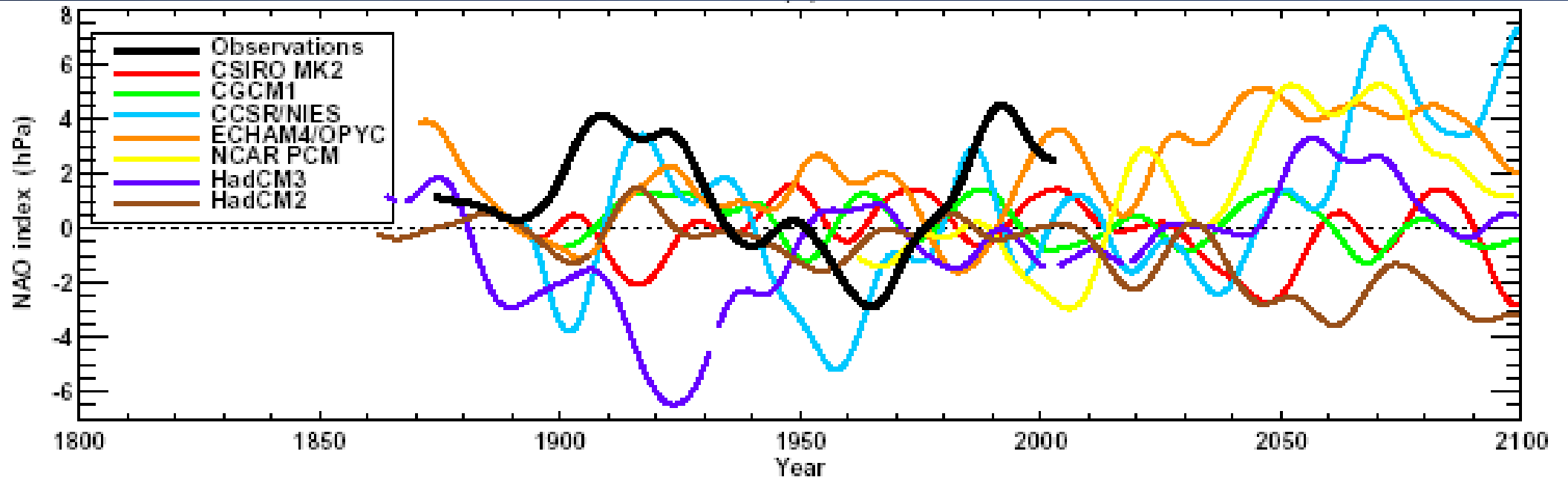


# Tendencia del índice del Atlántico Norte

NAO índice para los meses de invierno







Proyecciones Futuras del Índice NAO..... y crecidas??

Osborn, 2003



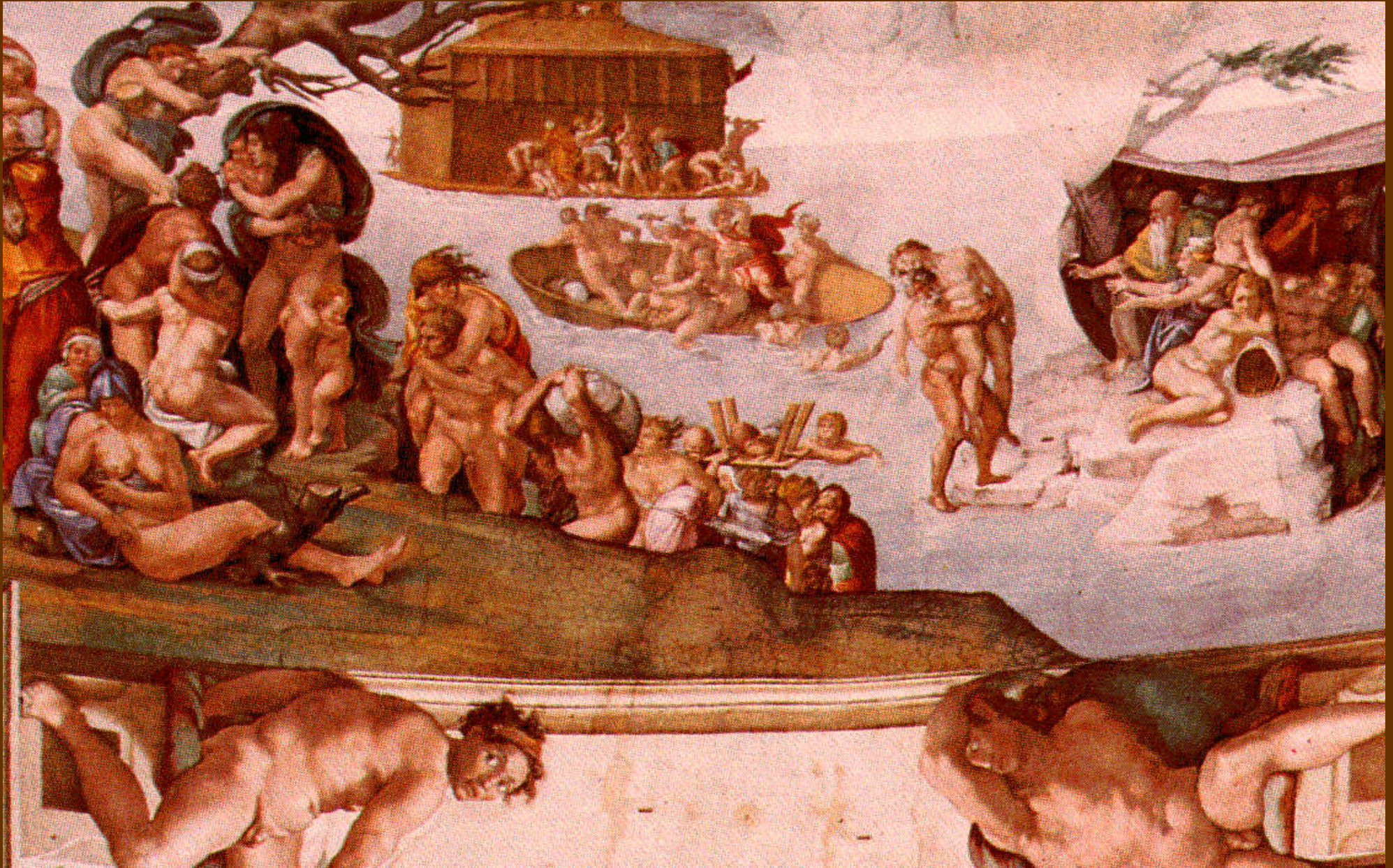
# Valoración cualitativa de la respuesta de las crecidas al Calentamiento Global



Possible impact of Climate Change	Guadalquivir Guadiana Tajo	Duero	Norte	Ebro	Cuencas Internas Catalanas	Levante/Sur
Change in zonal circulation (NAO positive)	-Extremas (higher discharges) +Ordinarias	-Extremas +Ordinarias				
Complex Convective to Mesoscale (cold drop)			+Irregularidad de extremos		+ Irregularidad de extremos	+ Irregularidad de extremos crecidas/sequías
Generation of convective rain	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago	+Crecidas relámpago
Sudden temperature changes		+Crecidas causadas por deshielo		+Crecidas causadas por deshielo	+Crecidas causadas por deshielo	

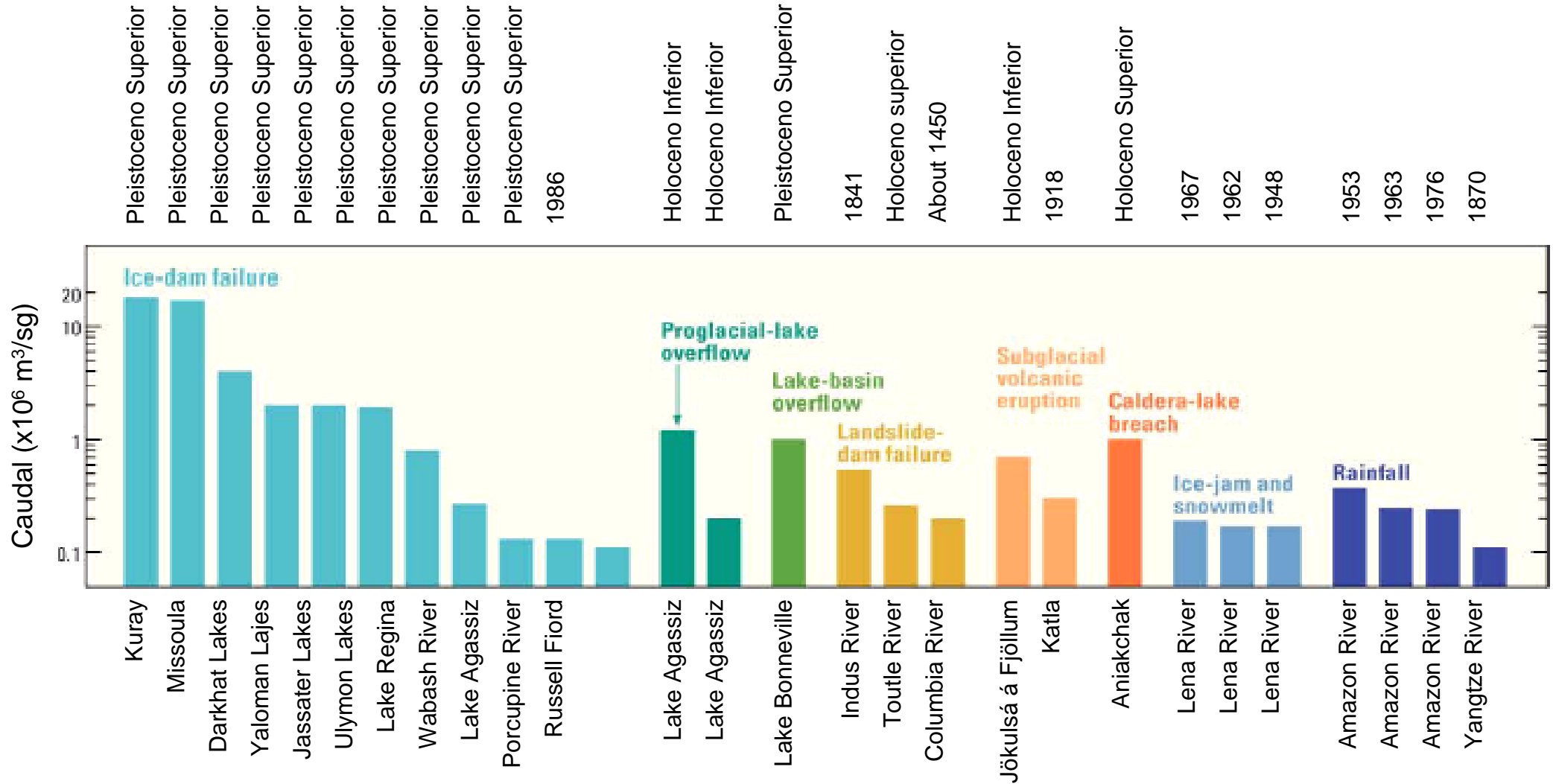


# ¿Puede una crecida cambiar el Clima?





# Inundaciones ocurridas en el Cuaternario mayores de 100 000 m<sup>3</sup>/s





# Rotura de presas de hielo y megainundaciones





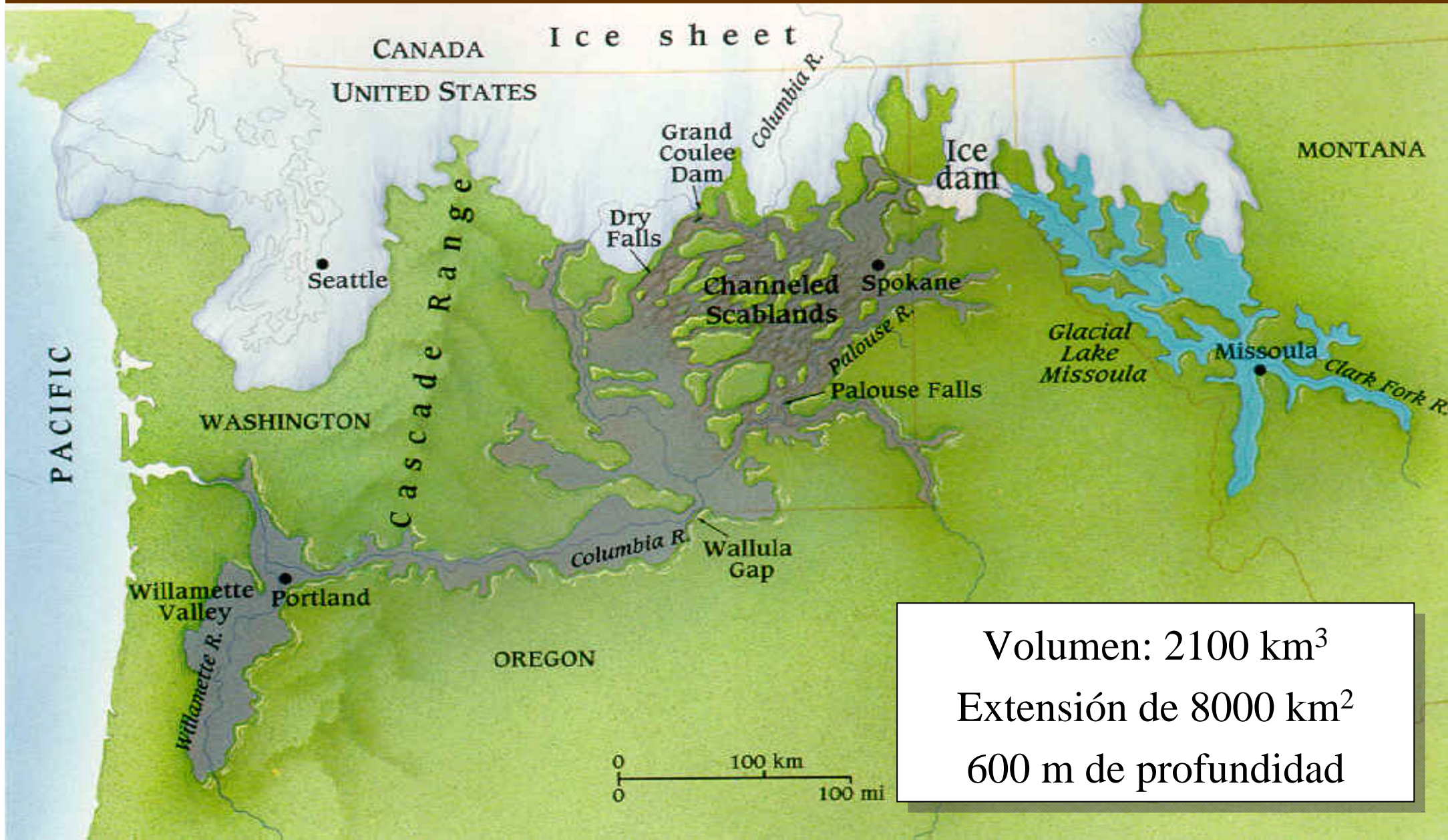
# Principales Mega-inundaciones del Pleistoceno Tardío

Volumenes drenados por lagos proglaciares en km<sup>3</sup>





# Noroeste de EEUU hace 20,000 años



Volumen:  $2100 \text{ km}^3$   
Extensión de  $8000 \text{ km}^2$   
600 m de profundidad



# Causas: desbordamiento de lagos proglaciares

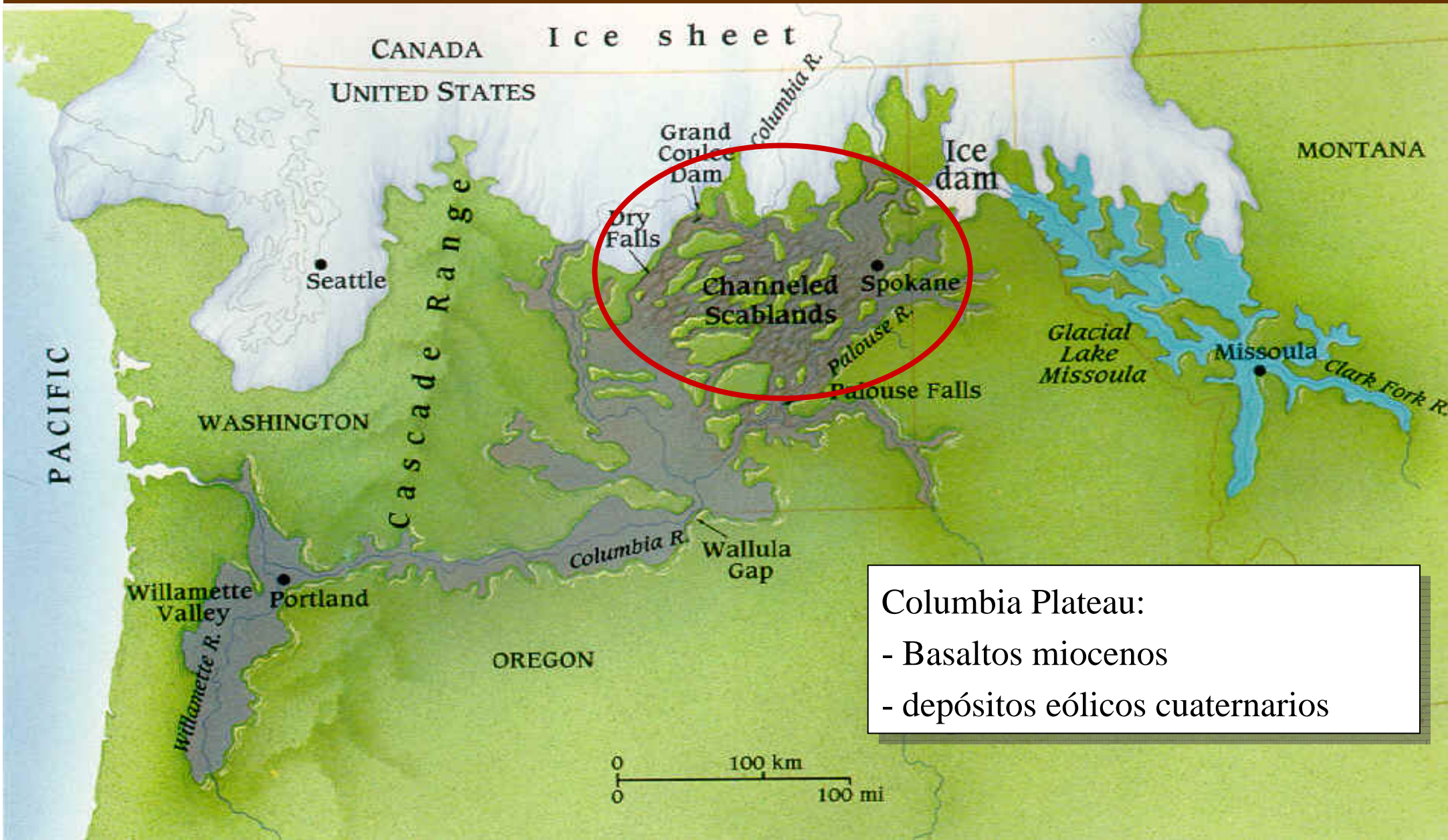








# Noroeste de EEUU hace 20,000 años





# Formas erosivas



Columbia River Basalt  
Stripped of Loess



Streamlined Scabland Hills

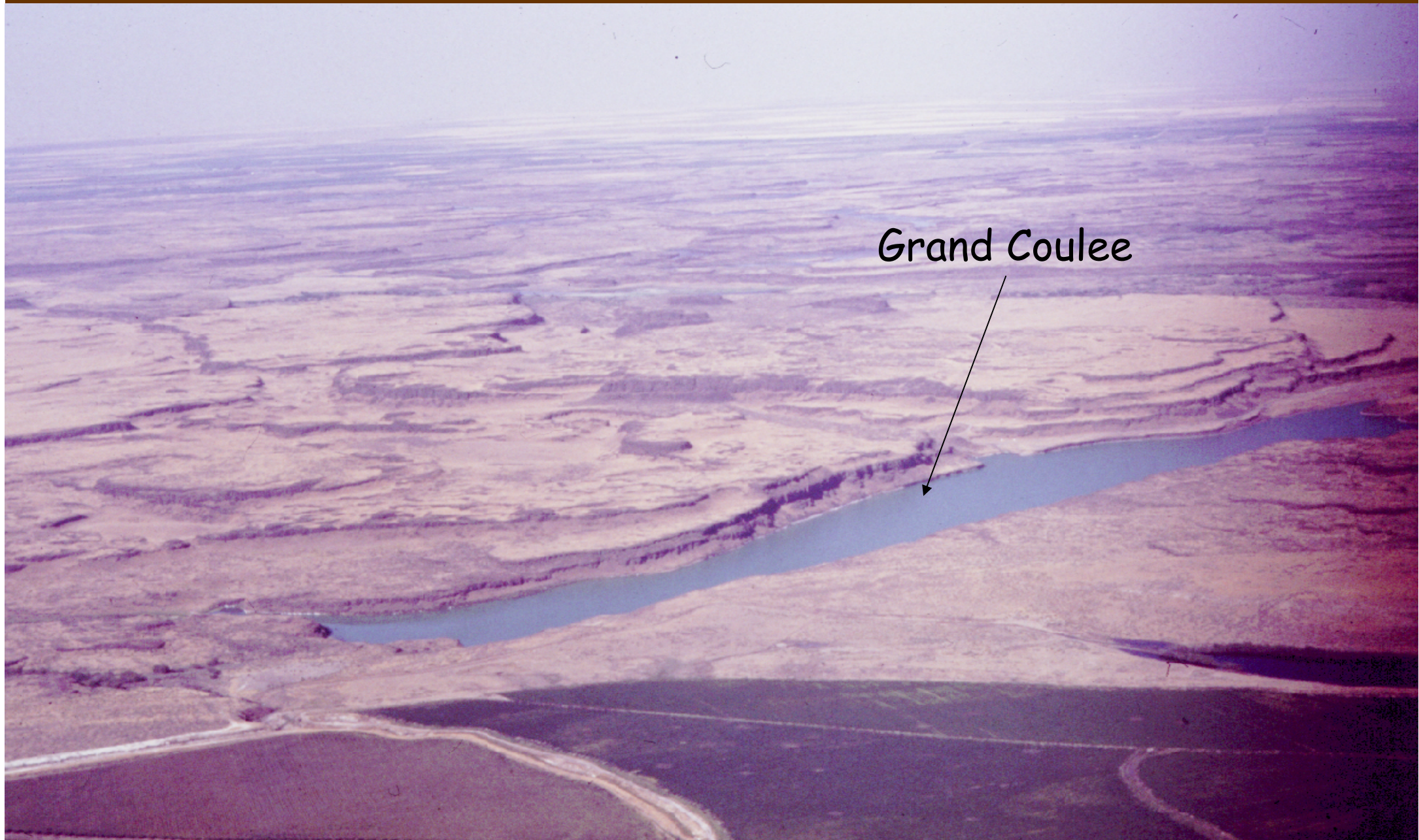
# Formas erosivas

Missoula flood channel cut in loess,  
Columbia Plateau, WA.





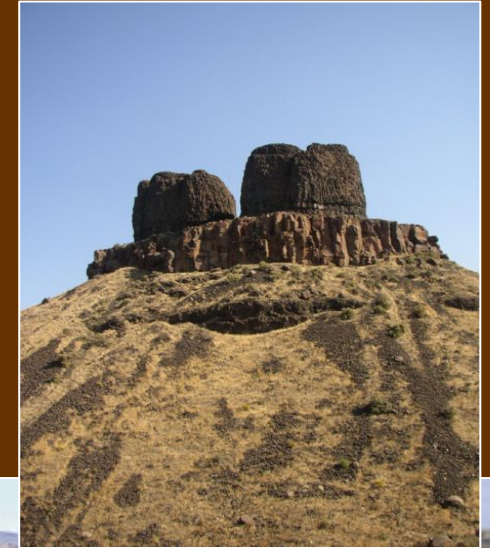
# Modelado en Scabland, E Washington



Grand Coulee

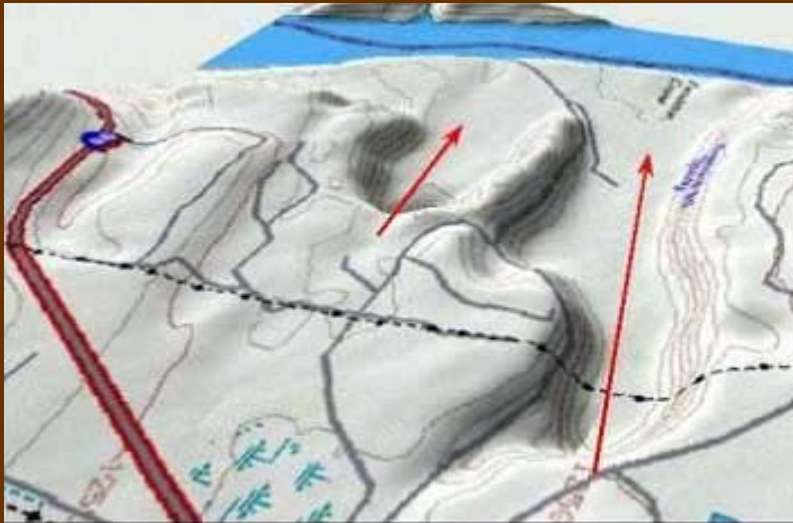


# Formas erosivas: Formación de Canales internos (Coulee)

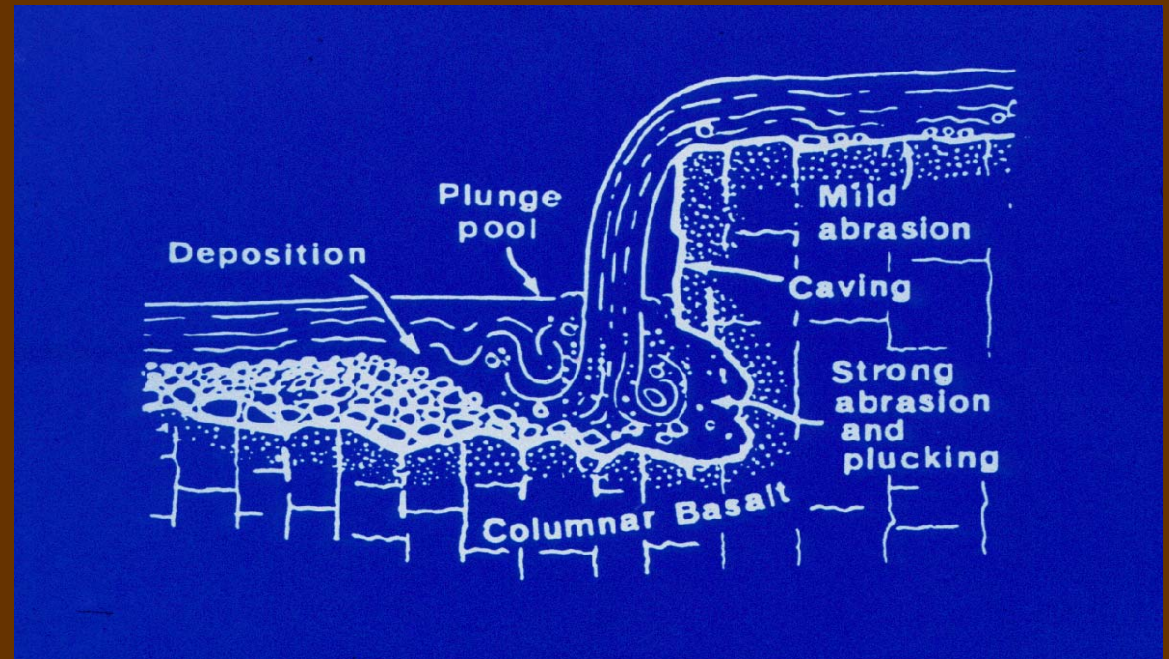




# Formas erosivas: Formación de Canales internos (Coulee)



Frenchman Cataract Topography

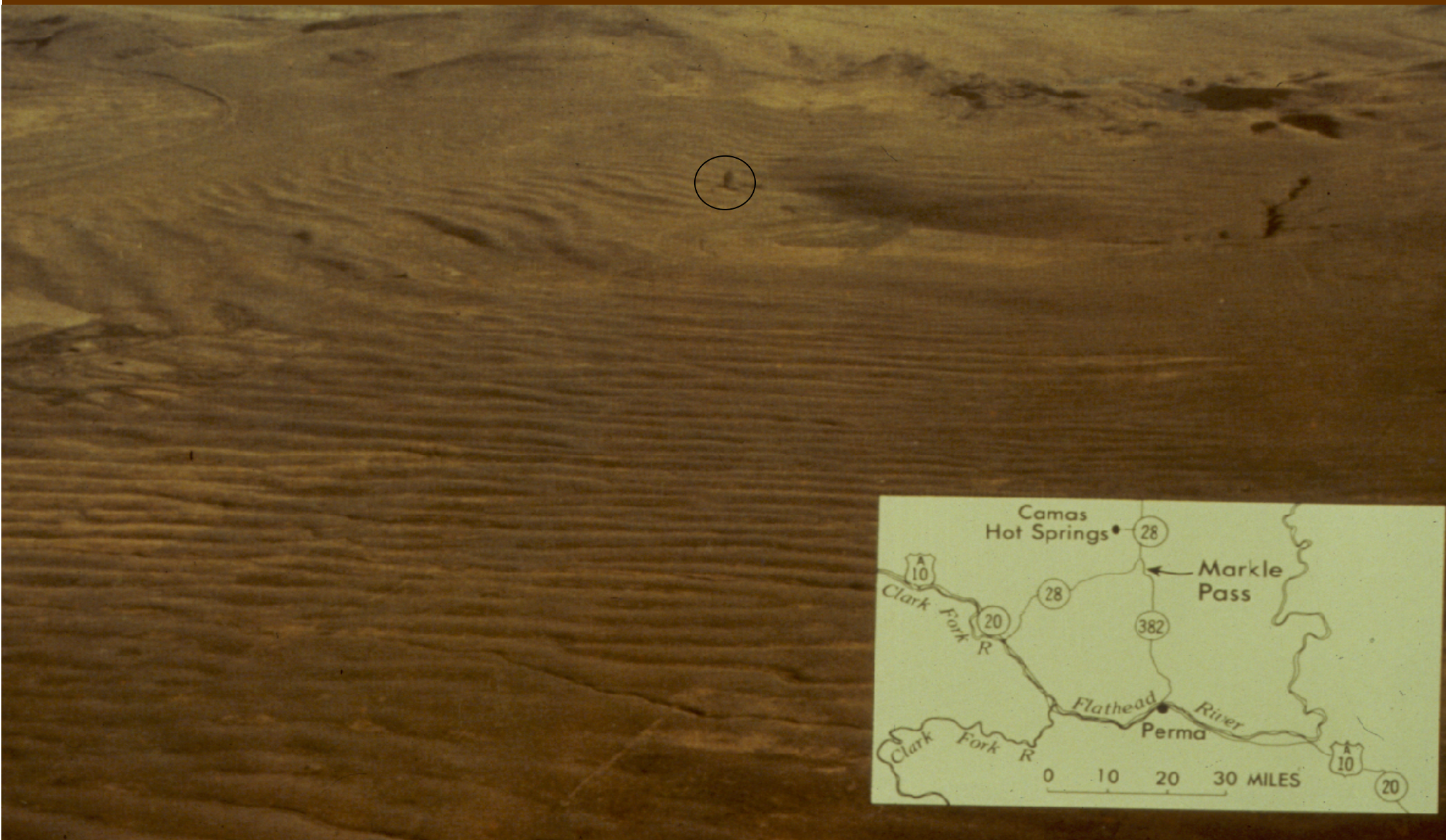


# Formas acumulativas





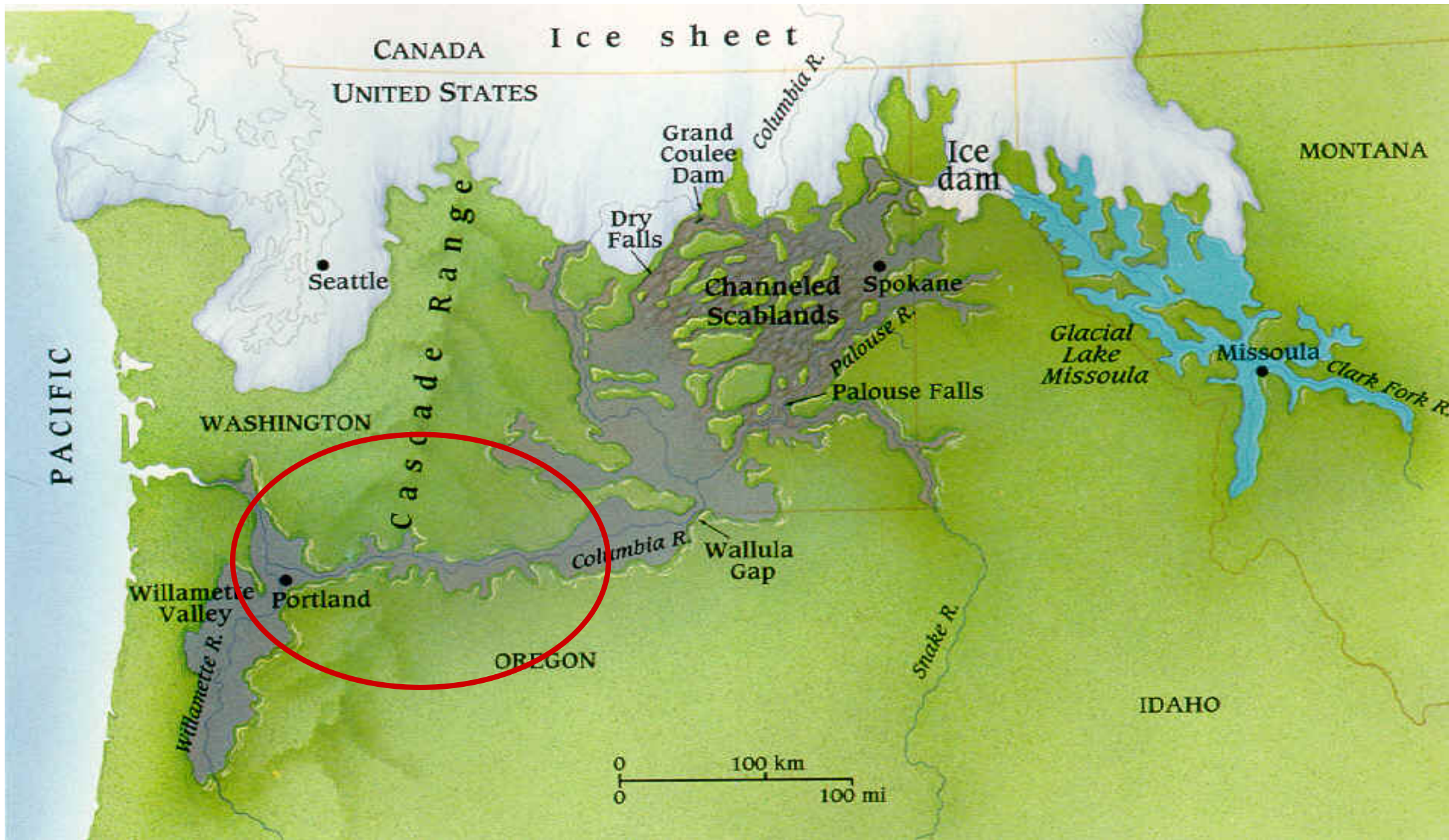
# Dunas Gigantes cerca de Missoula Montana



# Formas acumulativas

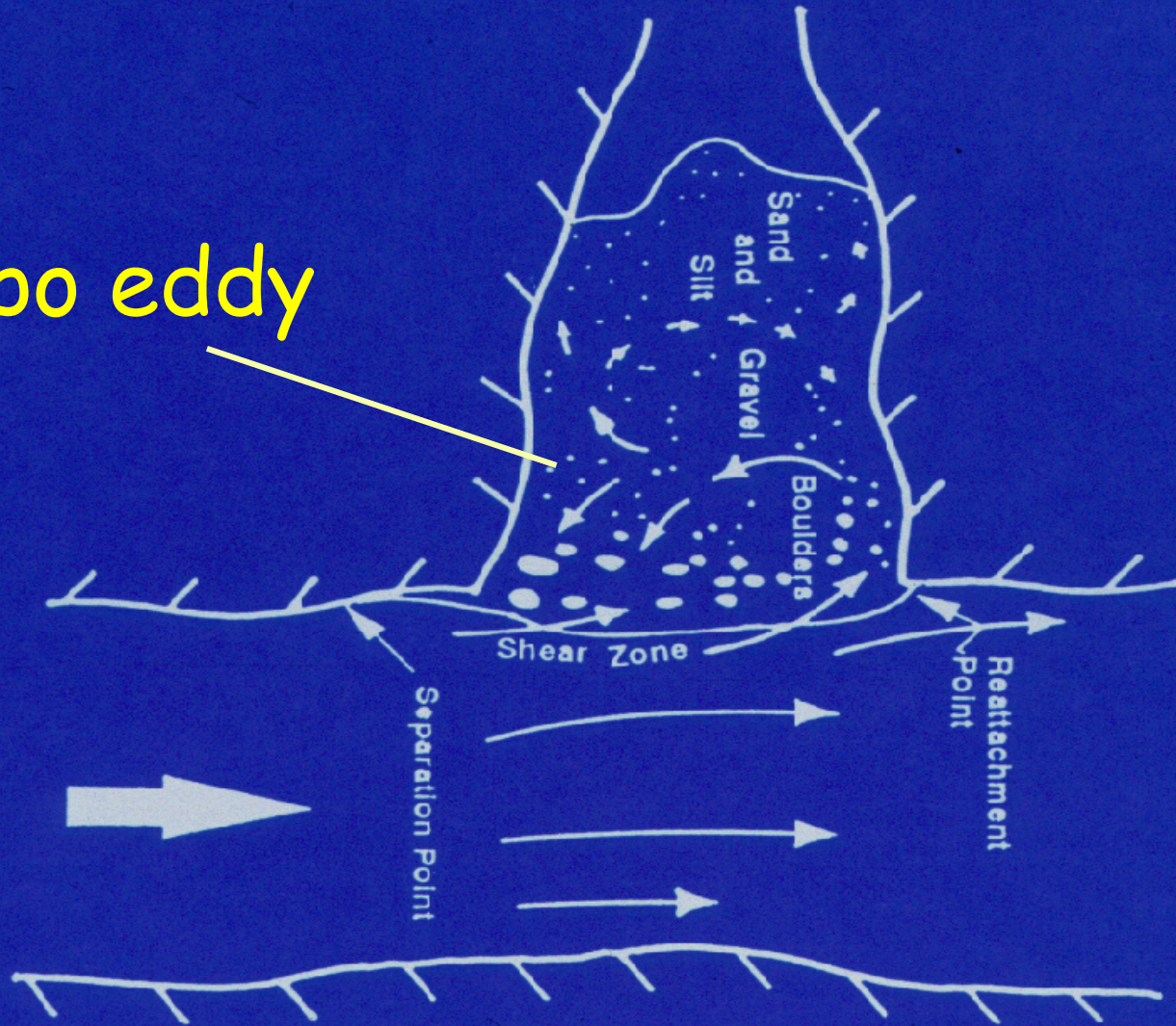






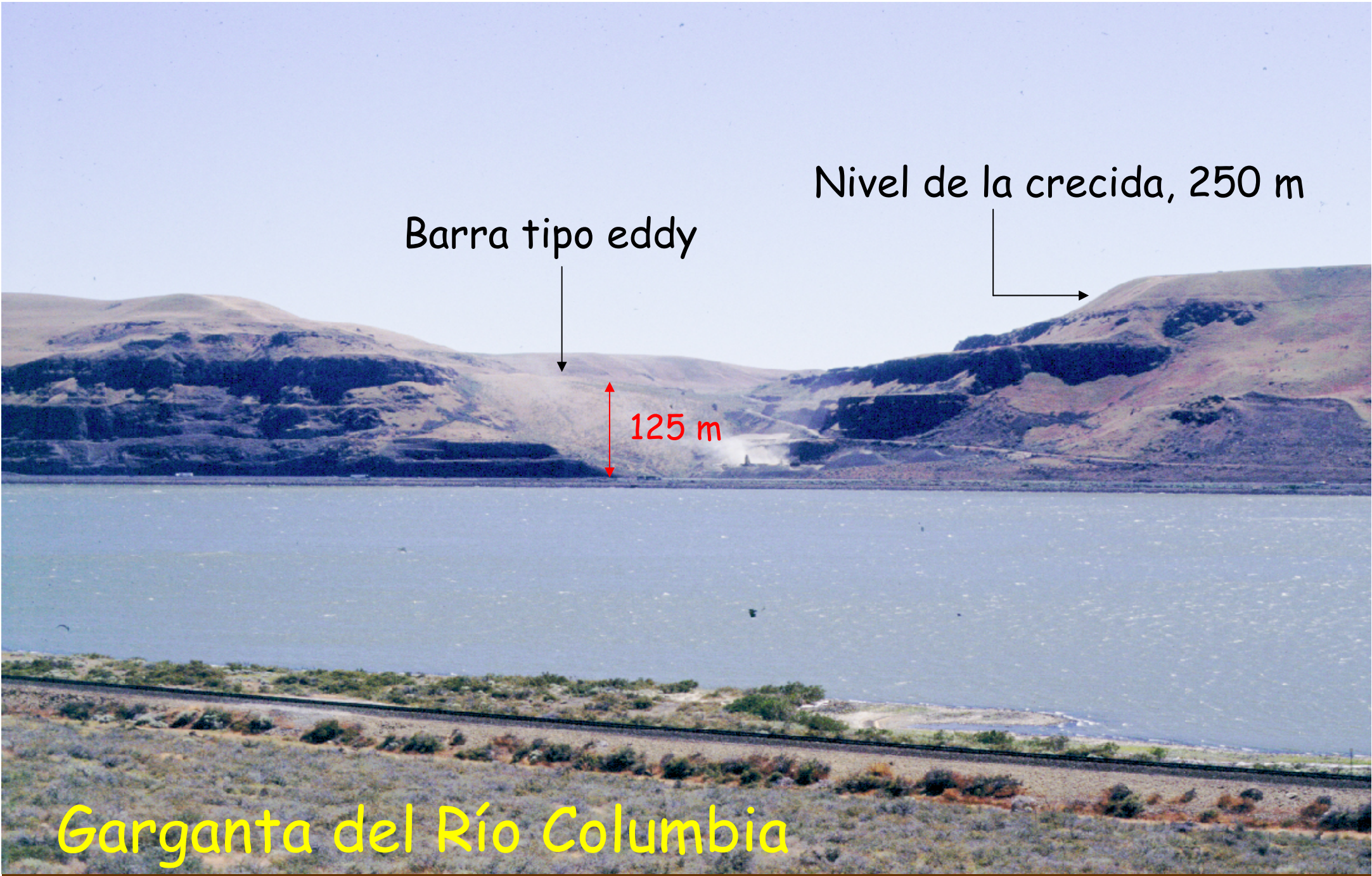


# Barras tipo eddy



O'CONNOR, 1993

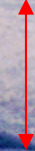




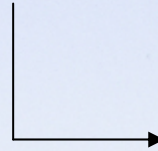
Barra tipo eddy



125 m



Nivel de la crecida, 250 m



Garganta del Río Columbia





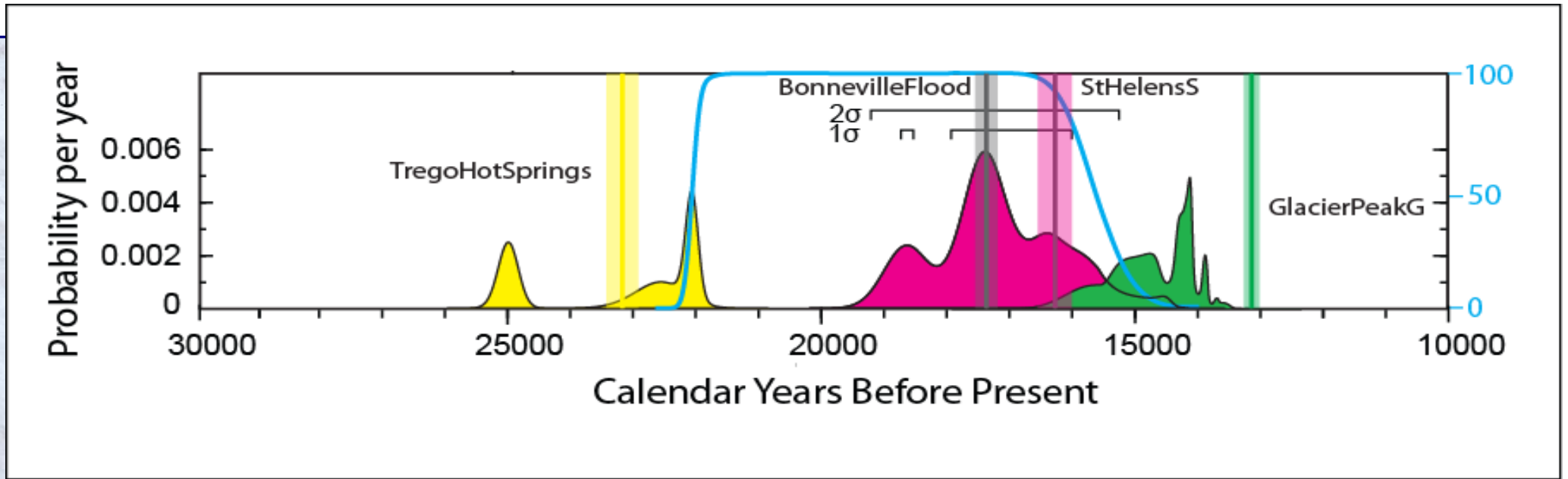
Foresets de estratificación cruzada.  
Barra tipo eddy, Río Columbia, EEUU





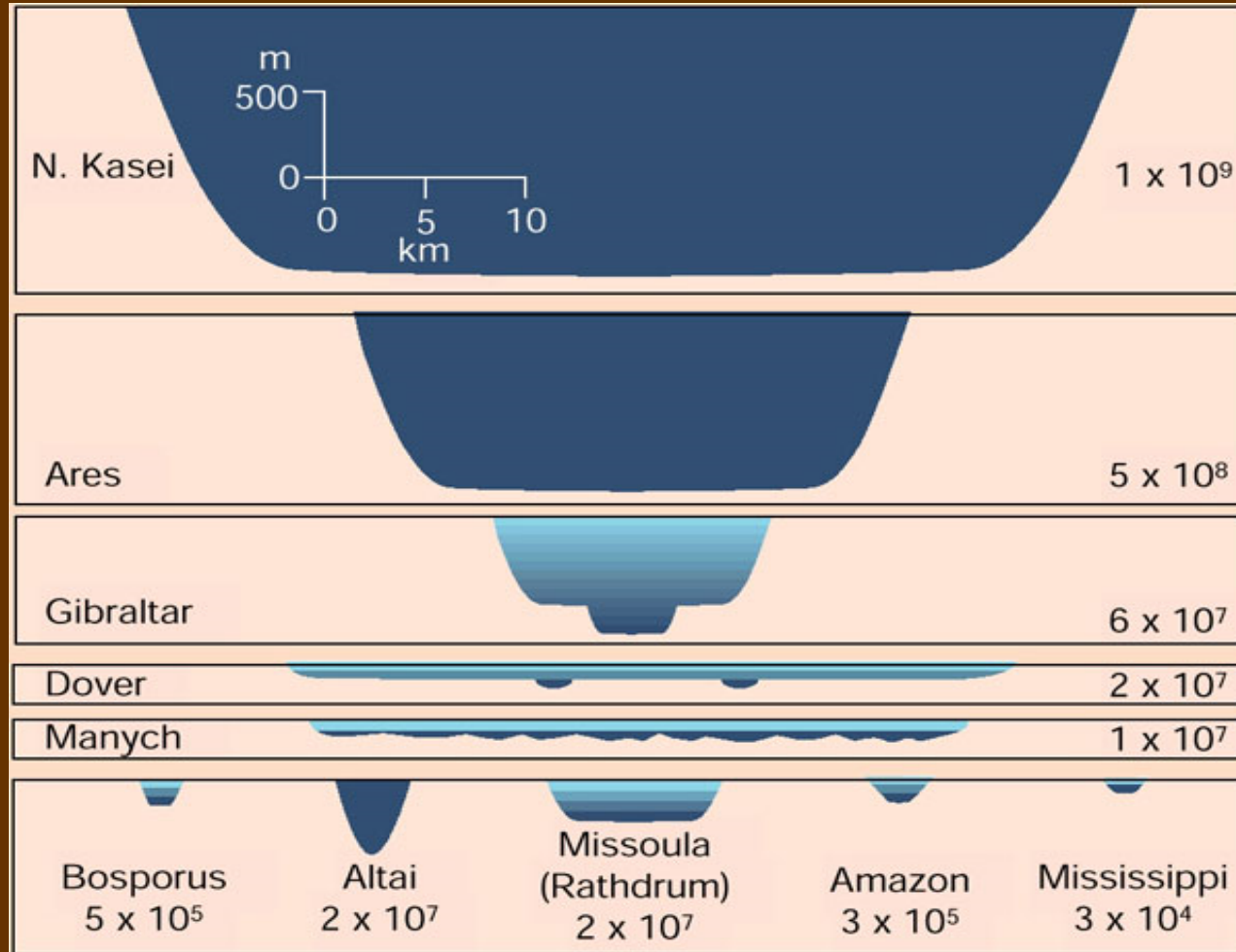
*¿Cuántas megainundaciones Missoula se sucedieron durante la deglaciación?*

En depósitos finos, tipo ritmitas existen evidencias de cerca de 100 eventos



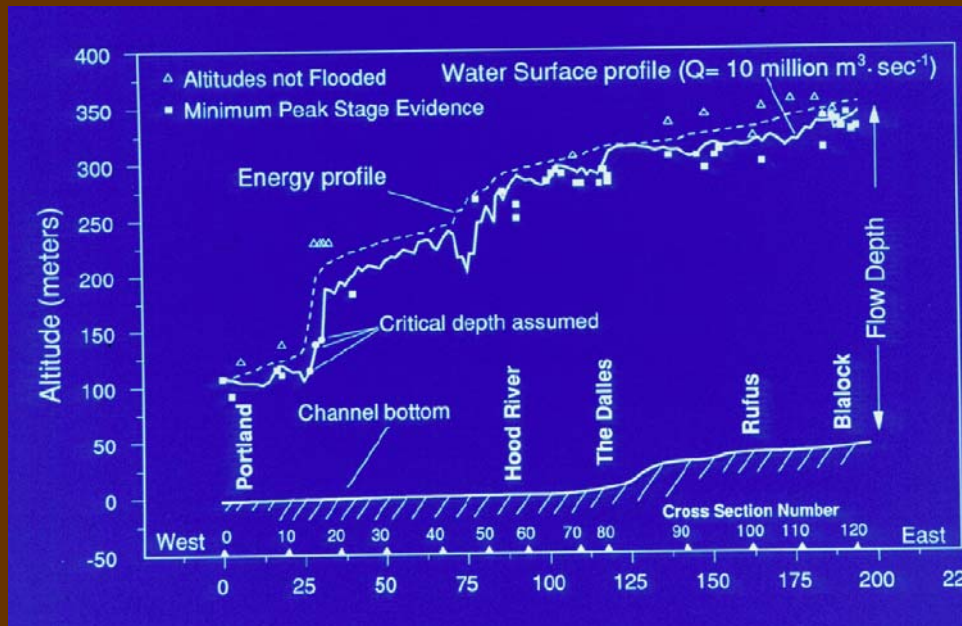


# Comparativa en la dimensión de la sección transversal de megacauces marcianos y terrestres

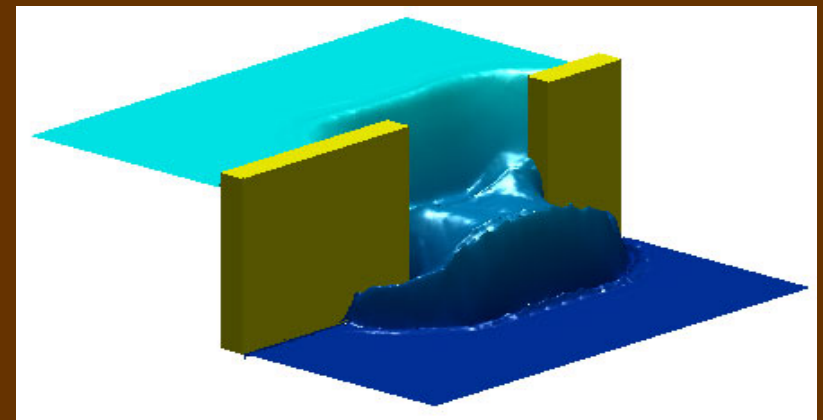


# Reconstrucción paleohidrológica

## 1) "Flow-competence equations"



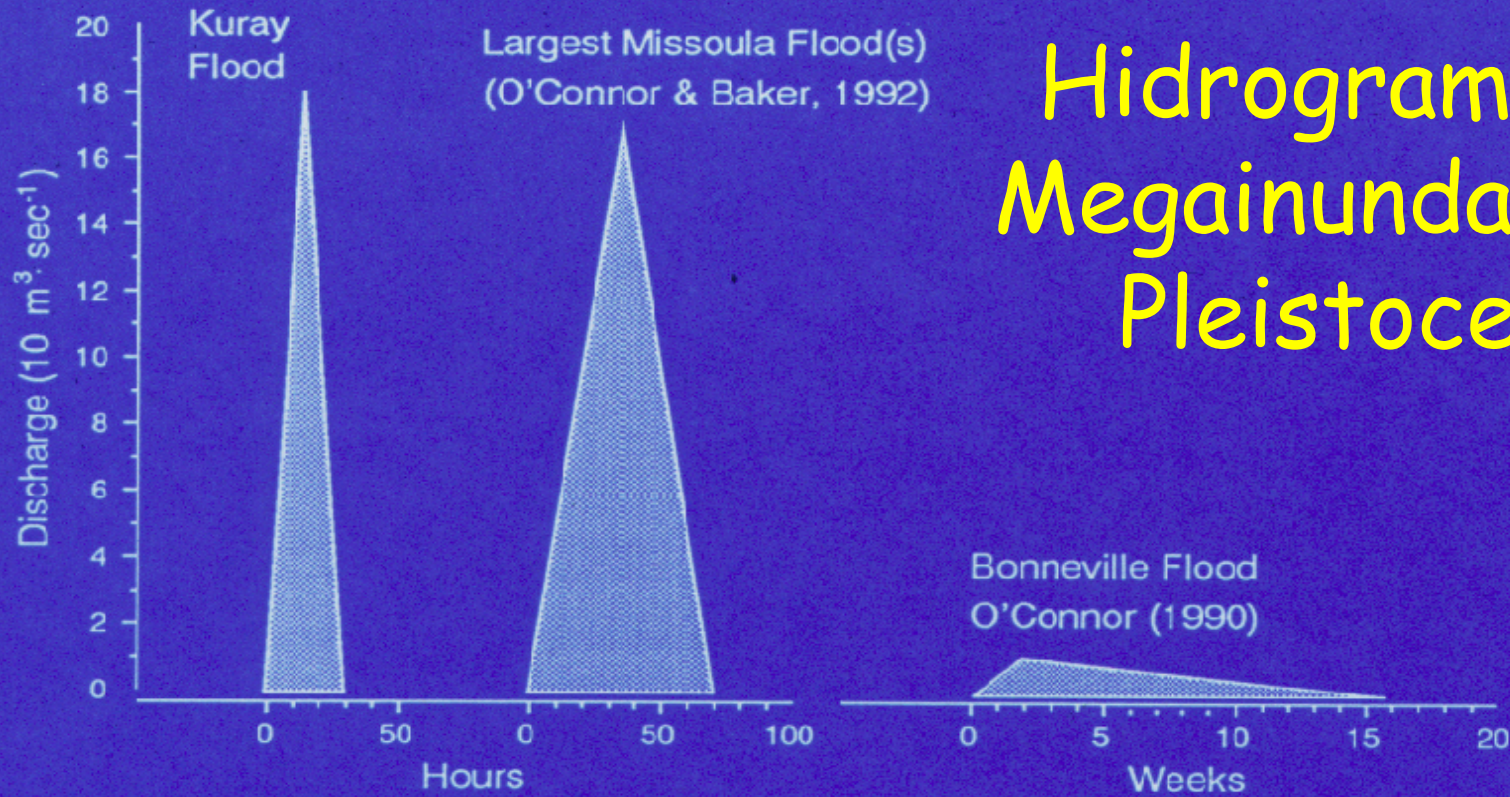
## 2) Modelos de paso estándar



## 3) Modelos de rotura de presa



# Hidrogramas de Megainundaciones Pleistocenas

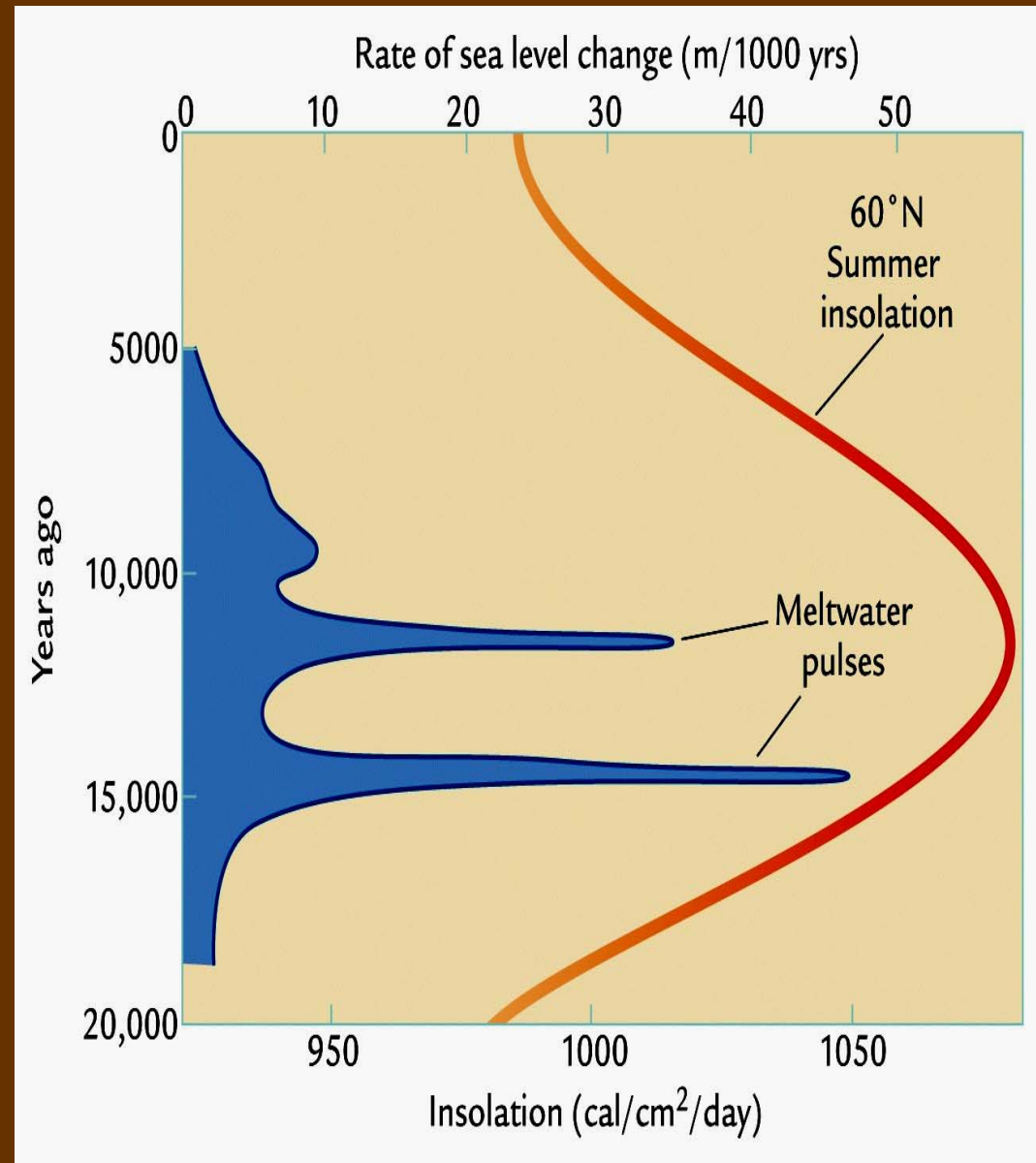


Outburst Flood	Lake Volume ( $\text{km}^3$ )	Water depth at Dam (m)	Peak Discharge ( $10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$ )	Flow duration (hours)	Total Energy ( $10^{19}$ Joules)
Kuray Flood	1000	600	18	30	2
Largest Missoula Flood(s)	2184	635	17	70	2.1
Bonneville Flood	4750	108	1	2640	7.2



# Tasas de aumento del nivel del mar

- Existieron dos pulsos con entrada de flujo de agua fresca a los océanos en 15-14 ka y 12.7-11.5 ka BP.
- Deshielo de glaciares:
  - Deshielo episódico de glaciares
  - Flujo catastrófico y episódico de agua dulce hacia los océanos

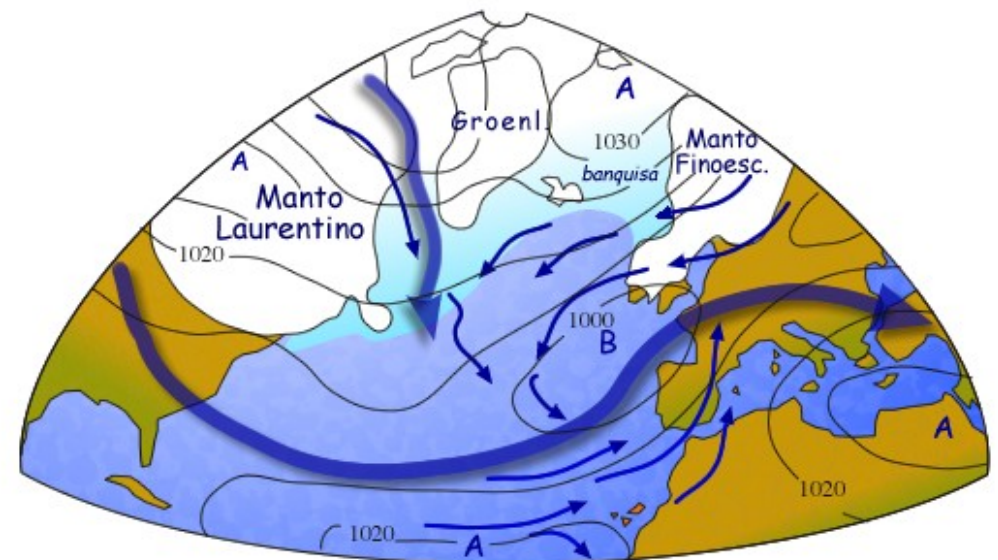




# GCM y Circulación zonal en altitud

La llegada de aguas frías de deshielo produce un efecto similar al deshielo de casquetes :

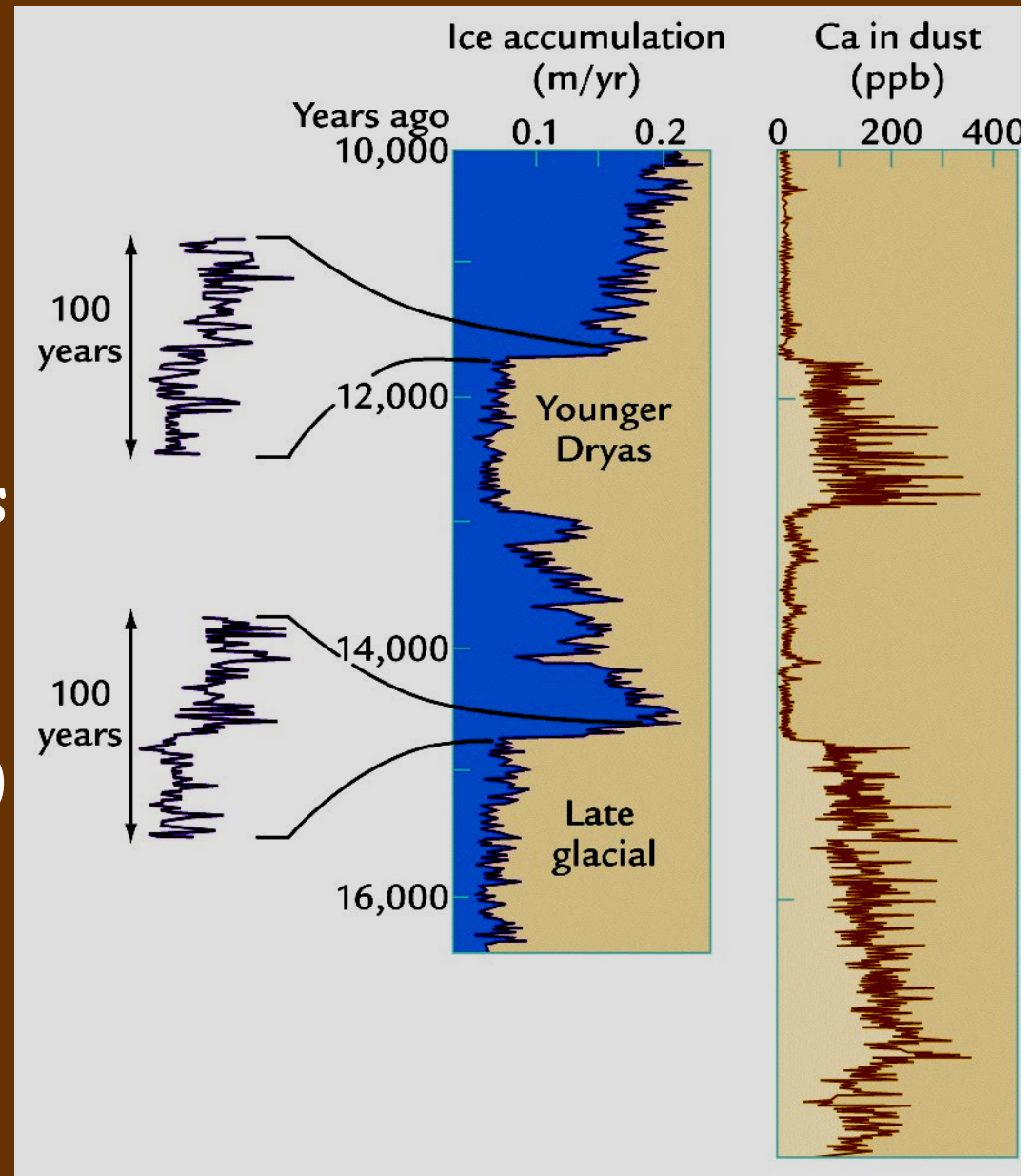
- Ruptura del sistema de corriente termohalina
- Ruptura de la Corriente del Golfo y de transferencia de calor de los trópicos al Atlántico subpolar
- Redirección de la corriente en chorro (jet stream)
- Niveles bajos de flujo atmosférico bloqueados por el hielo y las bajas temperaturas del océano
- Niveles altos de la corriente de chorro se desplazó en Europa hacia latitudes de 45-50°N



# Dryas Reciente

Breve período ( $1300 \pm 70$  años) de clima frío y seco que ocurrió entre 12.700 y 11.500 años BP, con consecuencias tales como:

- Descenso de tasa de acumulación de hielo en casquetes
- Avance hacia el sur de las aguas polares
- Reinserción de la tundra tolerante al frío en Europa (incluye la planta ártica Dryas)
- Desplazamiento de los bosques
- Insectos tolerantes al frío en Inglaterra
- Cambios en los patrones de viento





# Conclusiones

- En el Holoceno se han identificado 5 fases de aumento en la frecuencia de crecidas: (1) 10,750-10,240 cal. BP; (2) 9550-9130 BP (3) 4820-4440 BP; (4) 2850-2350 BP; (5) 960-790 BP; (6) 520-290 BP.
- A pesar de que las condiciones atmosféricas que producen crecidas en las cuencas Atlánticas y Mediterráneas, los periodos de crecidas coinciden en ambos sectores durante los últimos 3000 años.
- La relación con el clima no es unívoca, con episodios de crecidas que coinciden con condiciones frías (húmedas: fases 1, 4, 6), y otras con elevada varianza hidroclimáticas (periodos cálidos-secos: fases 2, 3, 5).
- La cronología de las paleocrecidas coincide con los periodos de crecidas históricas. Las crecidas históricas (desde AD 1500) por encima de un nivel de caudal aparecen relacionadas con índices NAO negativos. Los grupos de paleocrecidas pueden representar un modo dominante de NAO negativo durante los últimos 3 ka. Esta relación presenta importantes implicaciones para comprender el impacto del CC.
- El drenaje súbito de grandes lagos proglaciares al océano (megacrecidas) junto con el deshielo de los casquetes durante el post-glaciar se muestran como hipótesis viable capaz de modificar el clima global (e.g. Younger Dryas)

