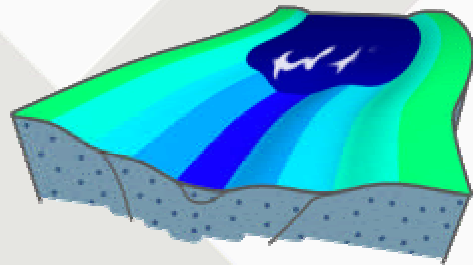




JORNADA TÉCNICA DE INUNDACIONES. EPISODIOS DEL INVIERNO 2009/2010

1ª SESIÓN: PANEL Criterios técnicos

Fuentes de datos y criterios geomorfológicos



Andrés Díez Herrero

Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos

Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica

Instituto Geológico y Minero de España

andres.diez@igme.es



1. **Introducción:** la geomorfología y las inundaciones
2. Geomorfología y **cartografía de peligrosidad** por inundaciones
3. Geomorfología y mejora en el **análisis de frecuencia** de inundaciones
4. Geomorfología para la elaboración, calibración y validación de **modelos hidrológicos e hidráulicos**
5. **Integración** de fuentes de datos y métodos geomorfológicos con otros métodos
6. **Conclusiones**

1. Introducción: la geomorfología y las inundaciones

- ¿Qué es la Geomorfología?
- La visión clásica del papel de la Geomorfología en el estudio de las inundaciones
- La Geomorfología en la nueva legislación y guías técnicas

geomorfología.

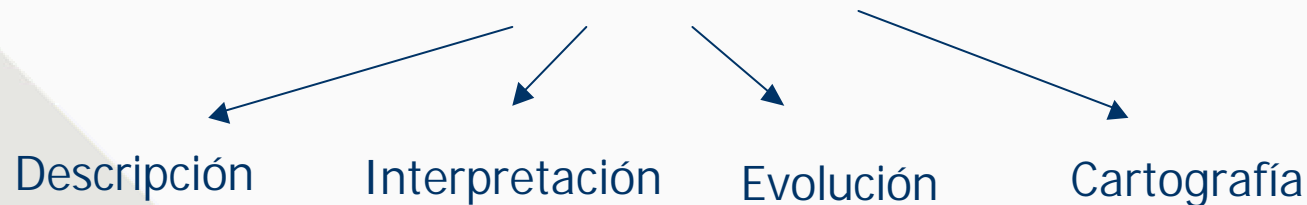


REAL ACADEMIA ESPAÑOLA

1. f. *Geol.* Estudio de las características propias de la corteza terrestre.

Geomorfología.

Disciplina científica, a caballo entre la Geología y la Geografía, que se ocupa del estudio de las formas de terreno de la superficie terrestre, su caracterización morfológica, interpretación genética, evolución temporal y distribución espacial.



1. INTRODUCCIÓN

Los geomorfólogos son los poetas y los pintores del paisaje y el relieve terrestre...

- Subjetiva
- Cualitativa
- Poco científica
- Escasamente útil



José Orcajo (2007)

Modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico

(Real Decreto 9/2008, de 11 de enero; BOE nº 14, 16 de enero, 3141-3149)

755 *REAL DECRETO 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.*

La gestión del riesgo, uno de los aspectos fundamentales que debe abordar un país moderno, es el hilo común de esta modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1086, de 11 de abril, que persigue como objetivo la protección de las personas y los bienes, y del medio ambiente, a través de la modificación de la normativa sobre inundaciones y de la introducción de un nuevo título relativo a la seguridad de presas, embalses y balsas. En el caso concreto de las inundaciones, España ha sufrido sus consecuencias tanto en repercusiones económicas como en pérdida de vidas

Modificación del RDPH

Preámbulo:

personas y bienes.

La definición de cauce natural establecida en el vigente Reglamento, basada en el concepto de la máxima crecida ordinaria, se ha mostrado claramente insuficiente en numerosas situaciones, por lo que resulta imprescindible que los cauces naturales se definan no sólo a partir de criterios hidrológicos, sino atendiendo también a otras características, como las geomorfológicas, las ecológicas y teniendo en cuenta las referencias históricas disponibles.

La protección del dominio público hidráulico, a través

Artículo 4.1:

«1. Álveo o cauce natural de una corriente continua o discontinua es el terreno cubierto por las aguas en las máximas crecidas ordinarias (artículo 4 del texto refundido de la Ley de Aguas). La determinación de ese terreno se realizará atendiendo a sus características geomorfológicas, ecológicas y teniendo en cuenta las informaciones hidrológicas, hidráulicas, fotográficas y cartográficas que existan, así como las referencias históricas disponibles.

Antiguo RDPH (Artículo 14.3):

ZONAS INUNDABLES “...los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo periodo estadístico de retorno sea de quinientos años”

Modificación del RDPH (Artículo 14.1):

«1. Se consideran zonas inundables las delimitadas por los niveles teóricos que alcanzarían las aguas en las avenidas cuyo período estadístico de retorno sea de quinientos años, atendiendo a estudios geomorfológicos, hidrológicos e hidráulicos, así como de series de avenidas históricas y documentos o evidencias históricas de las mismas, a menos que el Ministerio de Medio Ambiente, a pro




GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO

Sede Electrónica

Contacto

Búsqueda en www.mma.es

Buscar **Búsqueda Avanzada**

Enlaces de interés | Mapa web | Temas A-Z

marm.es : [aguas continentales y zonas asociadas](#) : [prevención de inundaciones](#) : [cartografía inundables](#)

Medios de Comunicación

Novedades en la web

Licitaciones

Biblioteca y Publicaciones



Aguas Continentales y Zonas Asociadas

 [< volver](#)

Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables



**SISTEMA NACIONAL DE
CARTOGRAFÍA DE
ZONAS INUNDABLES**

Como primera respuesta a esta nueva Directiva, el Ministerio de Medio Ambiente está llevando a cabo el **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables**, como elemento básico en la planificación territorial para la identificación y gestión adecuada de las zonas inundables, con el objetivo de disminuir los daños frente a inundaciones a la vez que se preserva el espacio fluvial para lograr un estado ecológico óptimo de nuestros cauces.

Con la elaboración del **Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables** se pondrán a disposición del ciudadano todos mapas de peligrosidad de inundaciones realizados por el Ministerio de Medio Ambiente y aquellos que aporten las Comunidades Autónomas dentro de sus competencias a través de internet.

■ Zonificación del área inundable

El área inundable englobará las zonas cubiertas por las aguas de avenidas excepcionales (con una recurrencia de 500 años aproximadamente).

Este área se zonificará según el periodo de recurrencia de las inundaciones sea: muy frecuente (la que corresponde al dominio público hidráulico probable), frecuente (la que corresponde a la avenida de 100 años) y excepcional (la que corresponda a la avenida de 500 años), cumpliendo así las indicaciones de la Directiva de Inundaciones y facilitando la integración con la cartografía desarrollada por las Comunidades Autónomas y Protección Civil.

Se integrarán estas líneas cuando una Comunidad Autónoma las tenga ya elaboradas y presenten un grado de precisión suficiente.

La zonificación será realizada en base a la información de las inundaciones ocurridas en el pasado y a las evidencias geomorfológicas. Complementariamente se desarrollarán modelos hidráulicos, que serán coherentes con la información histórica y geomorfológica disponible en el tramo de río analizado, así como con los tramos ubicados aguas abajo y arriba. Estos modelos permitirán estimar la velocidad y calado en estas zonas. La zonificación de la peligrosidad deberá de incorporar, de forma consistente, la información aportada por ambos métodos.

Se identificarán aquellas estructuras antrópicas del tramo de estudio (encauzamientos, carreteras, rellenos, escombreras, etc) que puedan generar modificaciones de la zona inundable. Se identificarán las zonas inundables que actualmente se encuentren desligadas de la dinámica fluvial como consecuencia de dichas estructuras y aquellas otras no inundables en régimen natural, pero que sí lo son como consecuencia de la estructura.

En la medida de lo posible, se deberá de tener en cuenta la carga sólida, utilizando mapas geomorfológicos y modelos de pérdidas de suelo para eventos singulares.



Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema
Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.
Estudios históricos y geomorfológicos (Borrador v5)



16 de marzo de 2009



Guía Metodológica para el desarrollo del Sistema
Nacional de Cartografía de Zonas Inundables.
Estudios históricos y geomorfológicos (Borrador v5)



6.11.2007

ES

Diario Oficial de la Unión Europea

L 288/27

DIRECTIVAS

DIRECTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO

de 23 de octubre de 2007

relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación

(Texto pertinente a efectos del EEE)

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL RIESGO DE INUNDACIÓN

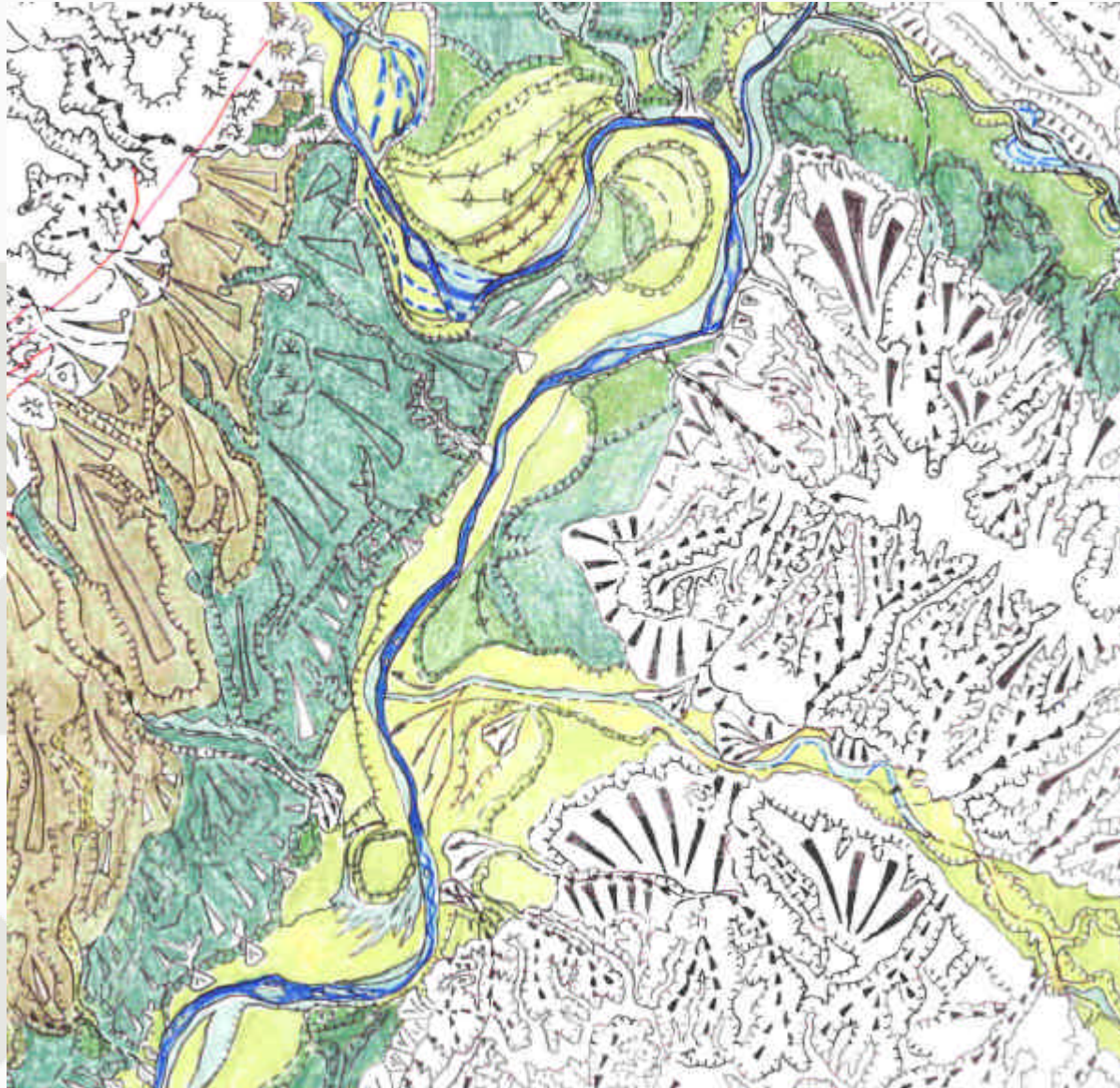
Artículo 4

- d) una evaluación de las consecuencias negativas potenciales de futuras inundaciones para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica, teniendo en cuenta, siempre que sea posible, factores como la topografía, la localización de los cursos de agua y sus características hidrológicas y geomorfológicas generales, incluidas las llanuras aluviales como zonas de retención naturales, la eficacia de las infraestructuras artificiales existentes de protección contra las inundaciones, la localización de las zonas pobladas, de las zonas de actividad económica y el panorama

2. Geomorfología y cartografía de peligrosidad por inundaciones

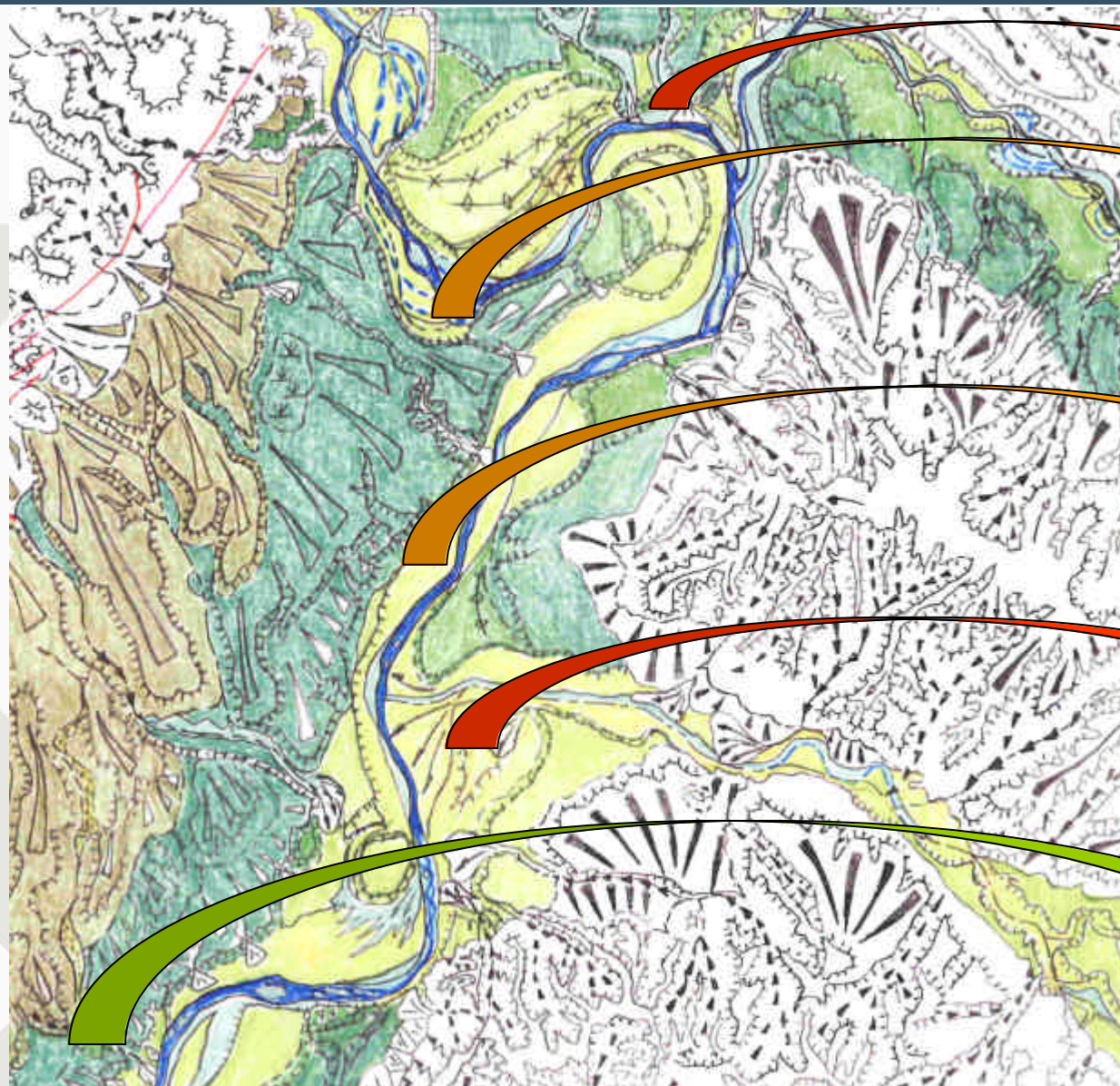
- Delimitación de áreas potencialmente inundables:
 - Morfodinámica y evolución
 - Áreas singulares inundables (áreas endorreicas y poljes)
- Determinación de la frecuencia y magnitud de la inundación en cada sector inundable
- Cartografía de otros riesgos relacionados con la inundación

2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



Díez (2001)

2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



Canal activo

**Meandro
abandonado**

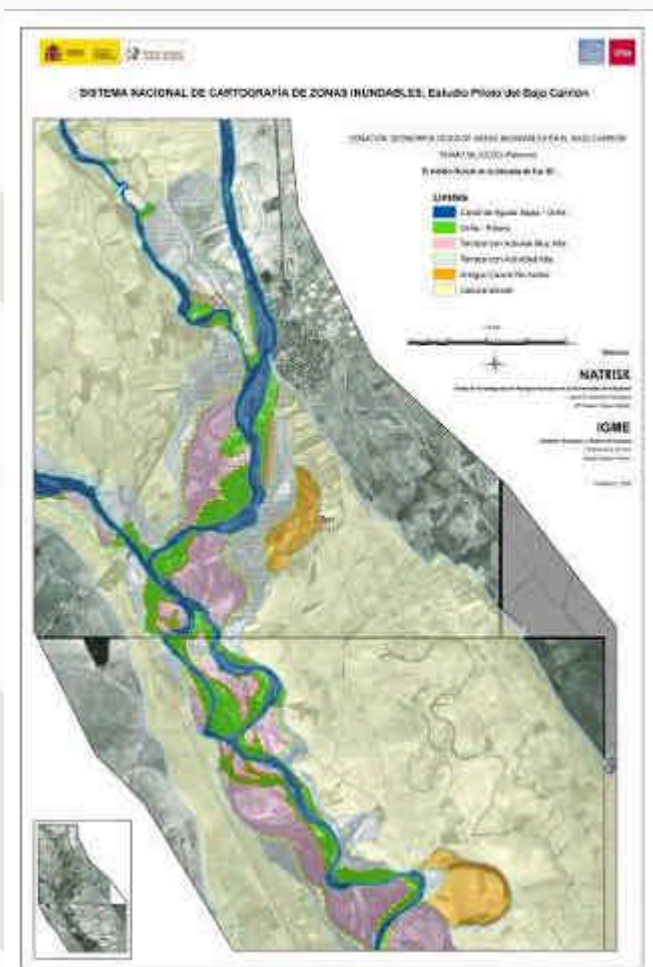
**Llanura de
inundación**

**Cono de
deyección**

**Terrazas
altas**

Díez (2001)

2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD

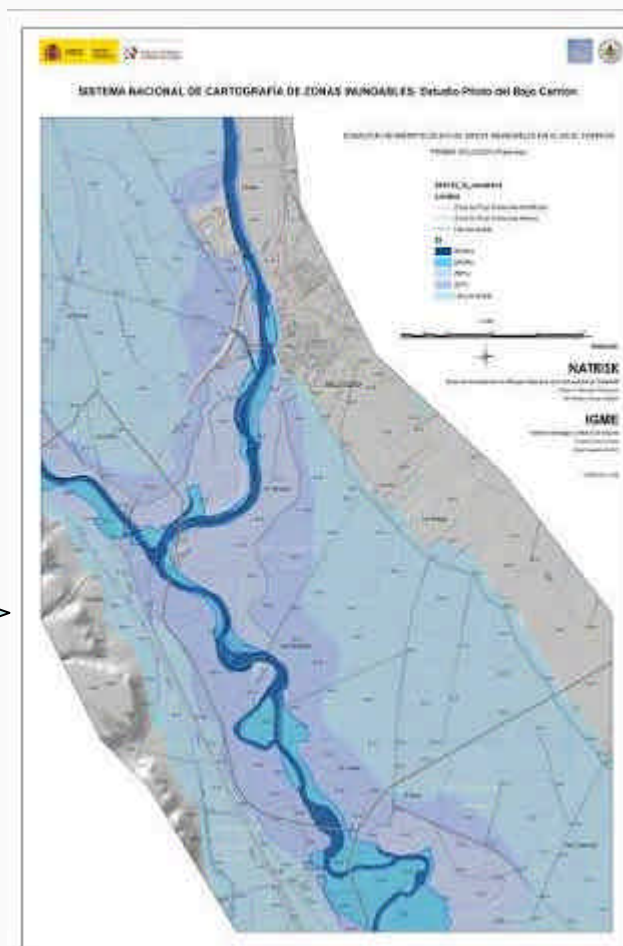
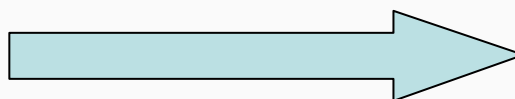


Morales et al (2009)

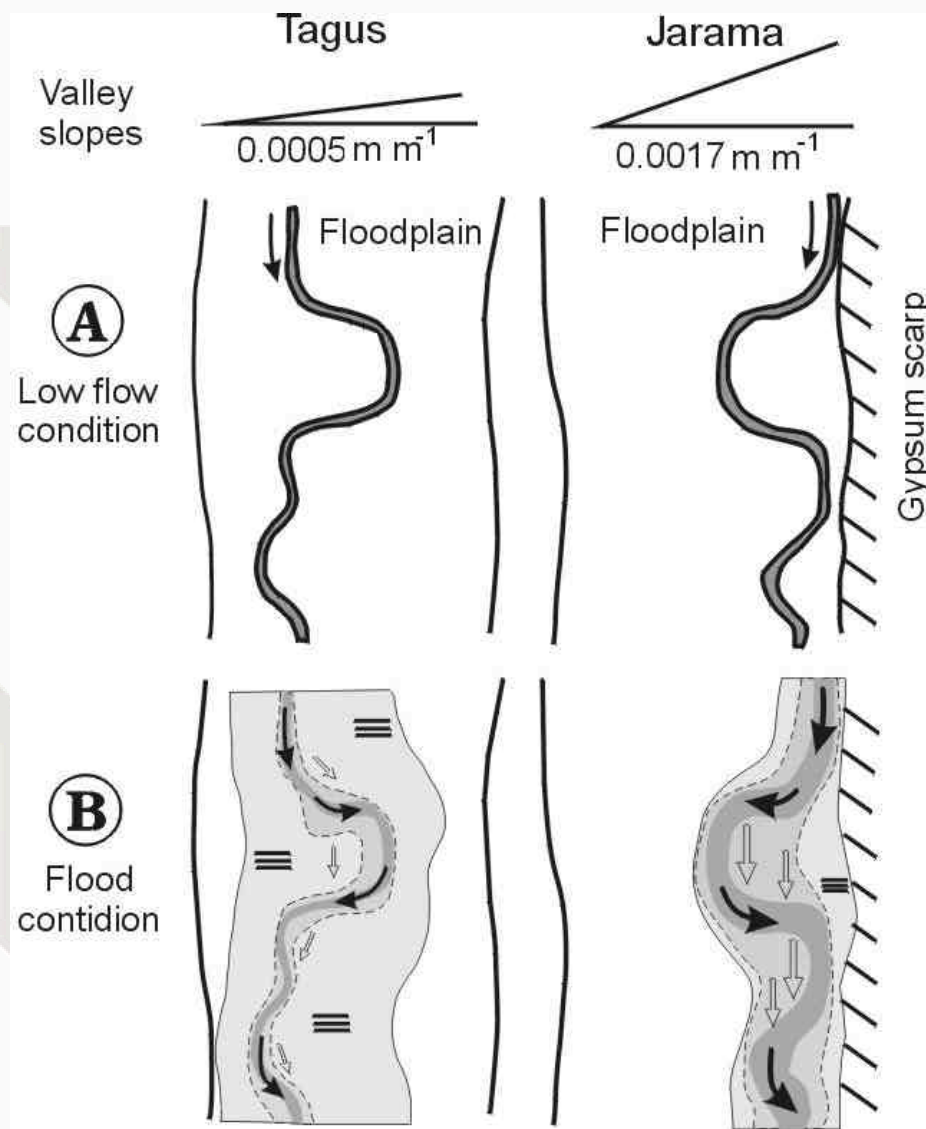
CRITERIOS DE INUNDABILIDAD:

- Tipo de forma
- Posición
- Tamaño
- Granulometría

- Estado de conservación
- Grado de revegetación



2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



Uribebarrea et al. (2003)

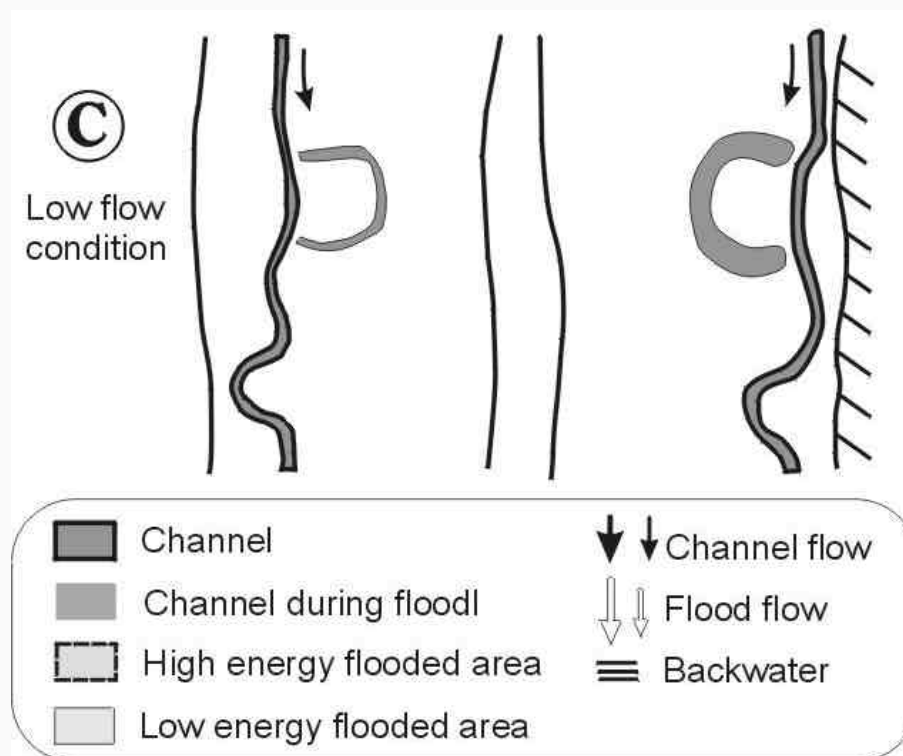


Figure 6. Proposed model of temporal channel evolution and meander cut-off in Tagus and Jarama rivers during a flood stage occurred in a drought period. The meander cut-off pattern and cross-section sizes are determined by the erosion produced during flood and therefore by the flood magnitude.

2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD

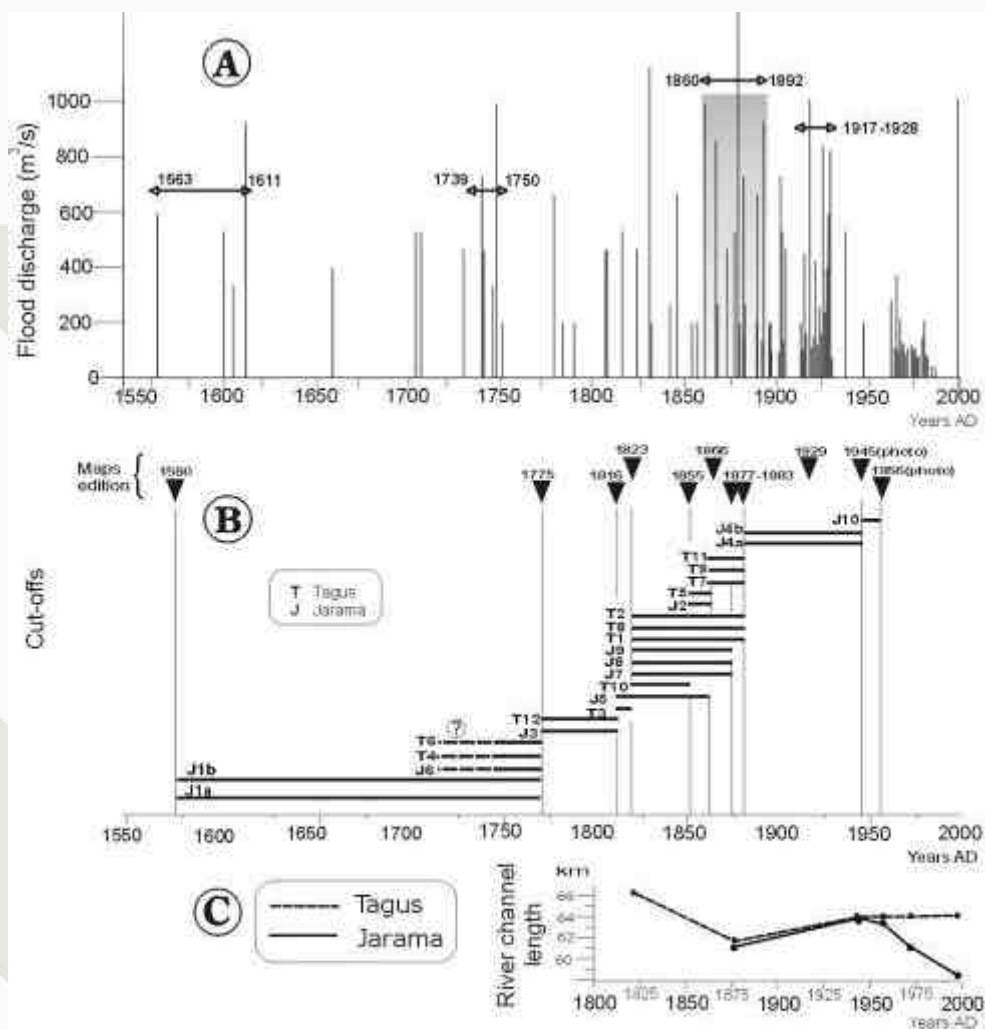
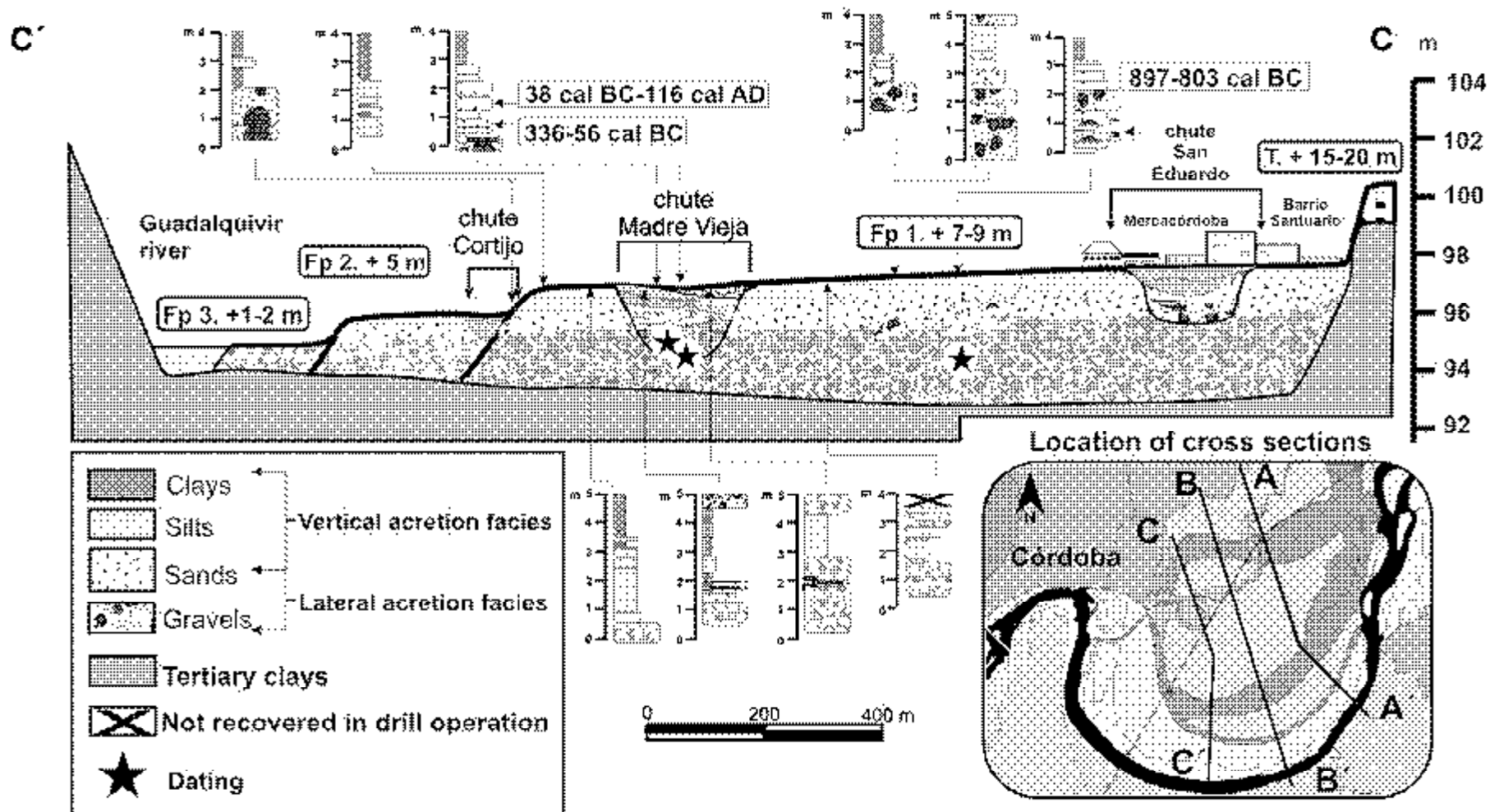


Figure 2.

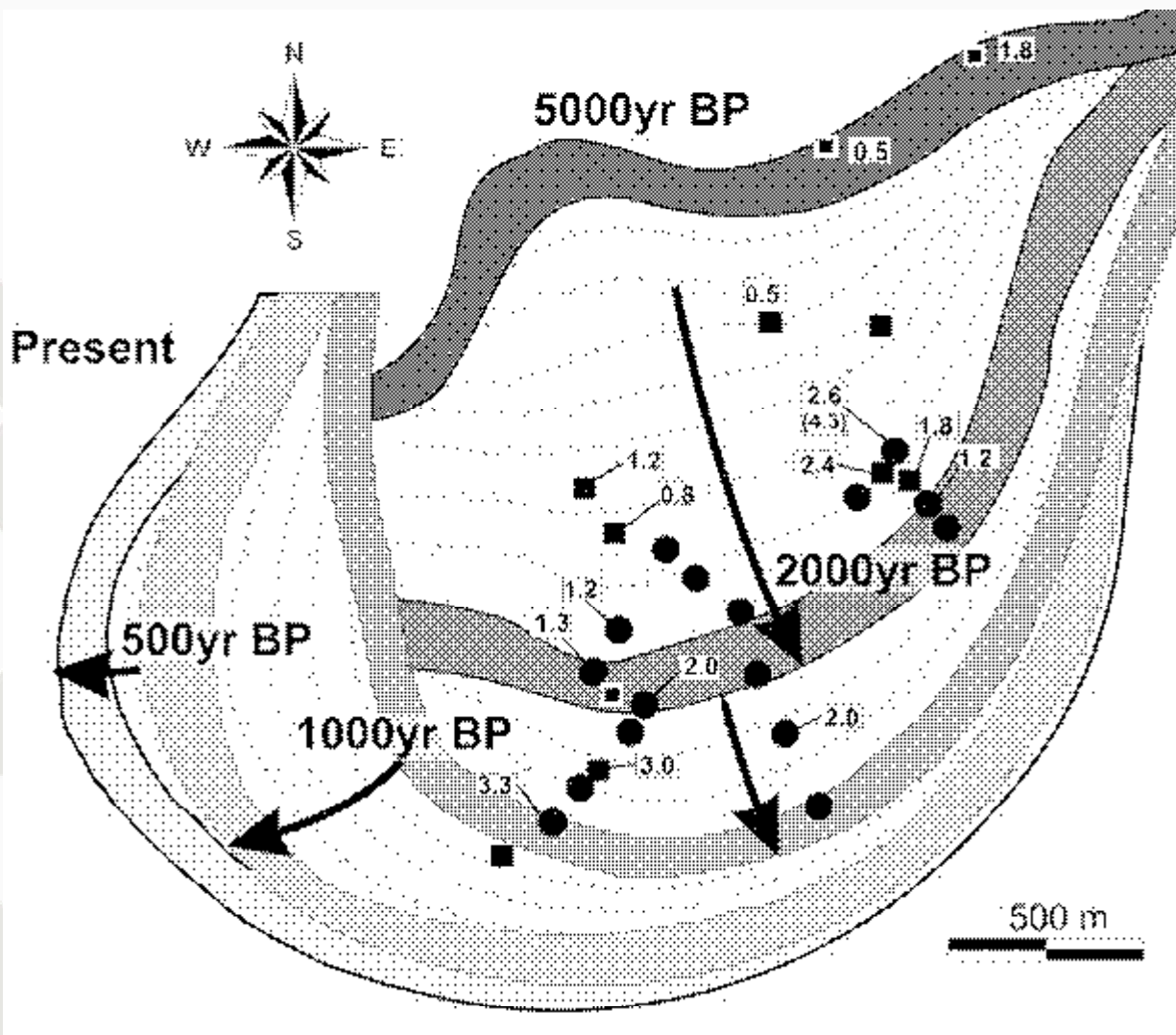
Figure 2. A, Floods in Aranjuez, minimum discharge. Historic record, 1550-1940 and gauge station record, 1940-1994. B, Cutoffs dating, plotted from older (J1) to younger (J10). Horizontal lines indicates only the time in which the cut-off has occurred. Above, the years of maps edition used to date the cutoffs. C, rivers channel length.

Uribebarrea et al. (2003)



Uribebarrea y Benito (2008)

2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD

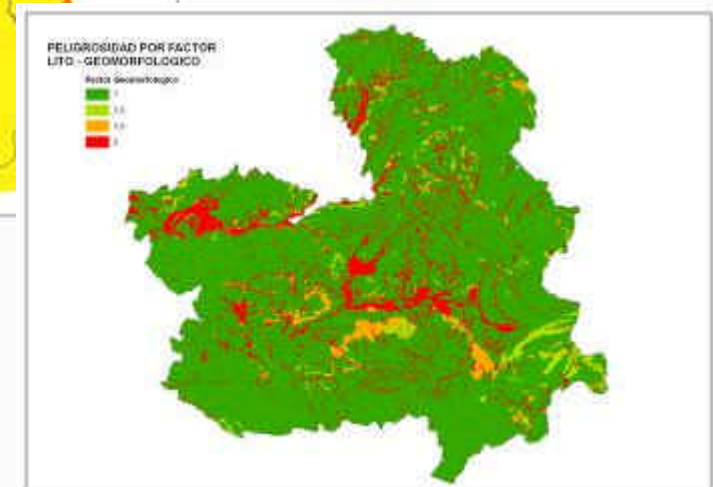
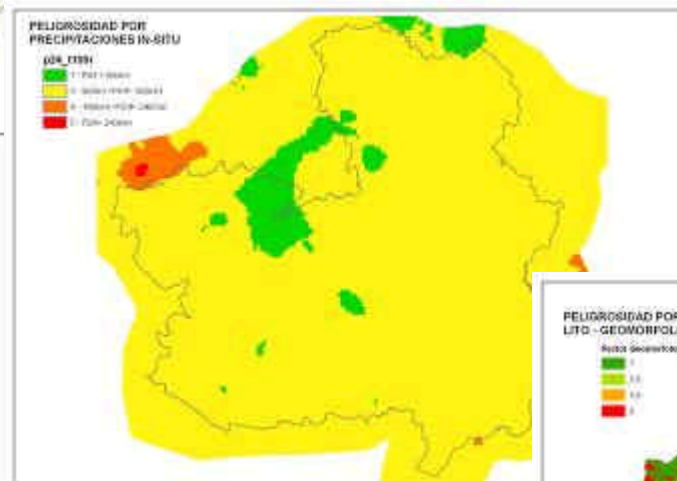
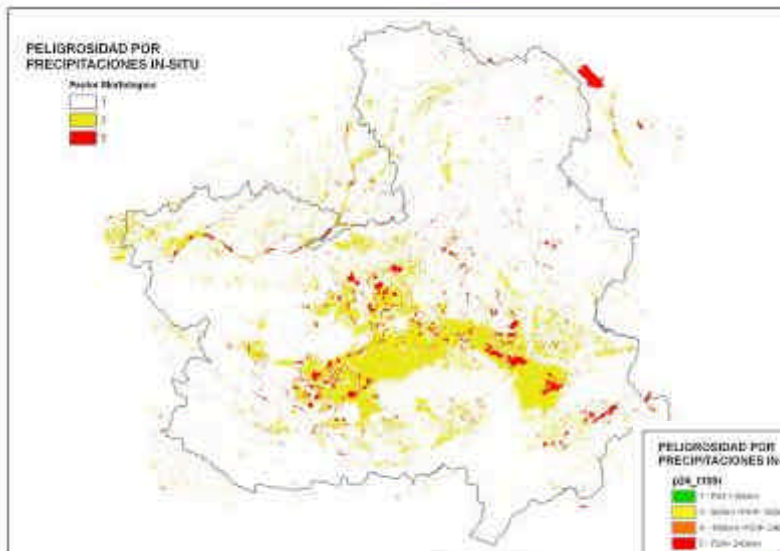


Uribelarrea y Benito (2008)

2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD





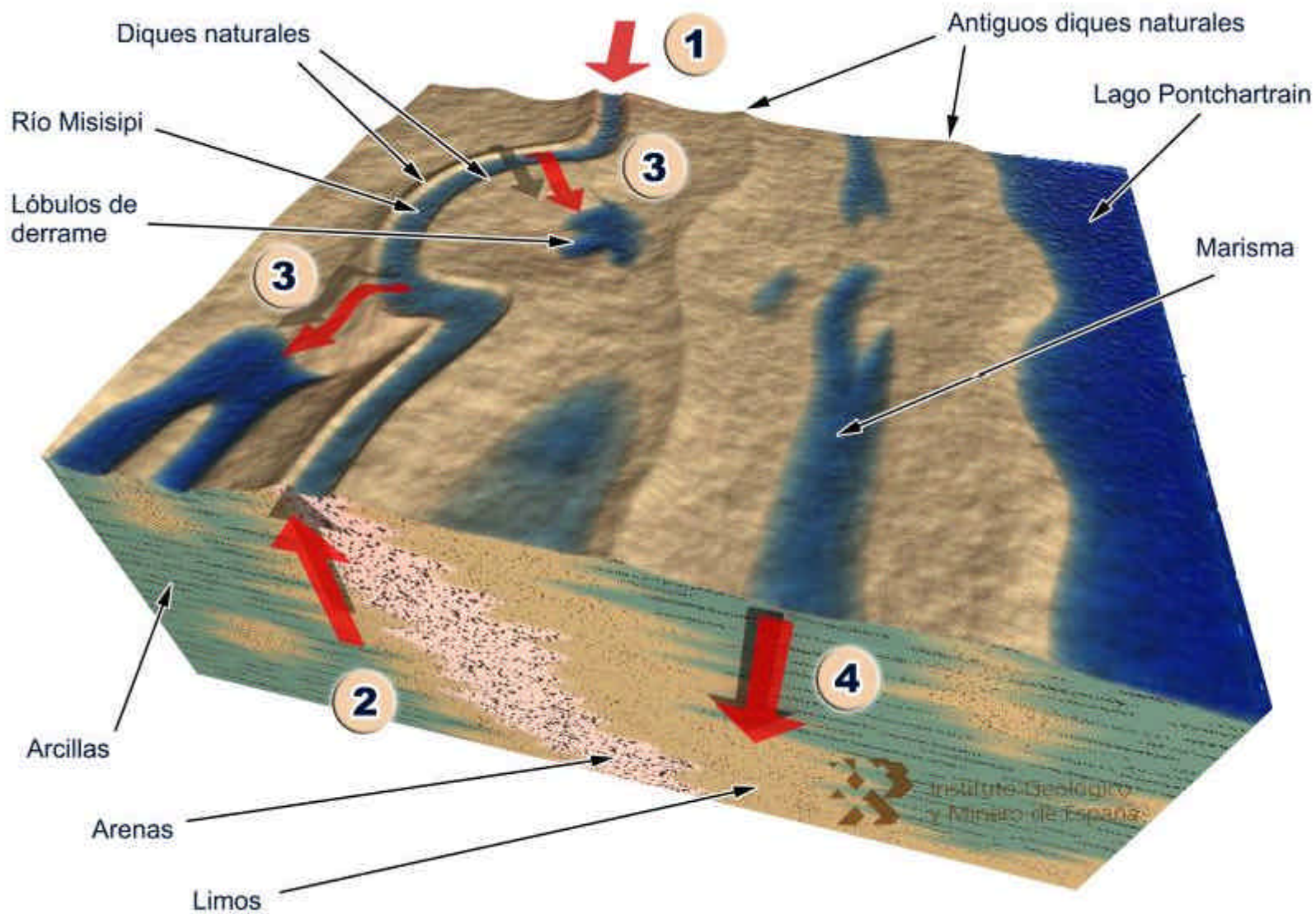
2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



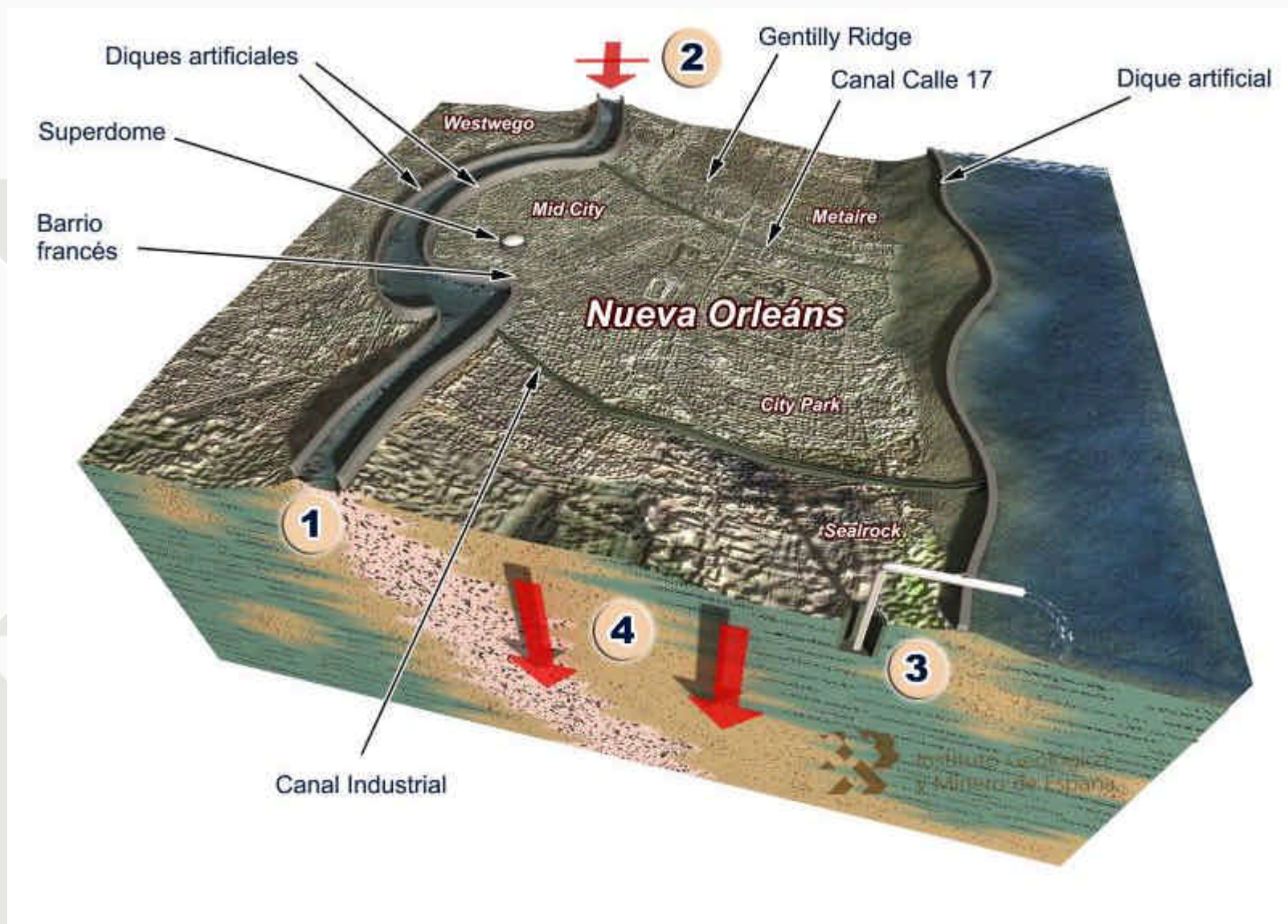
2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



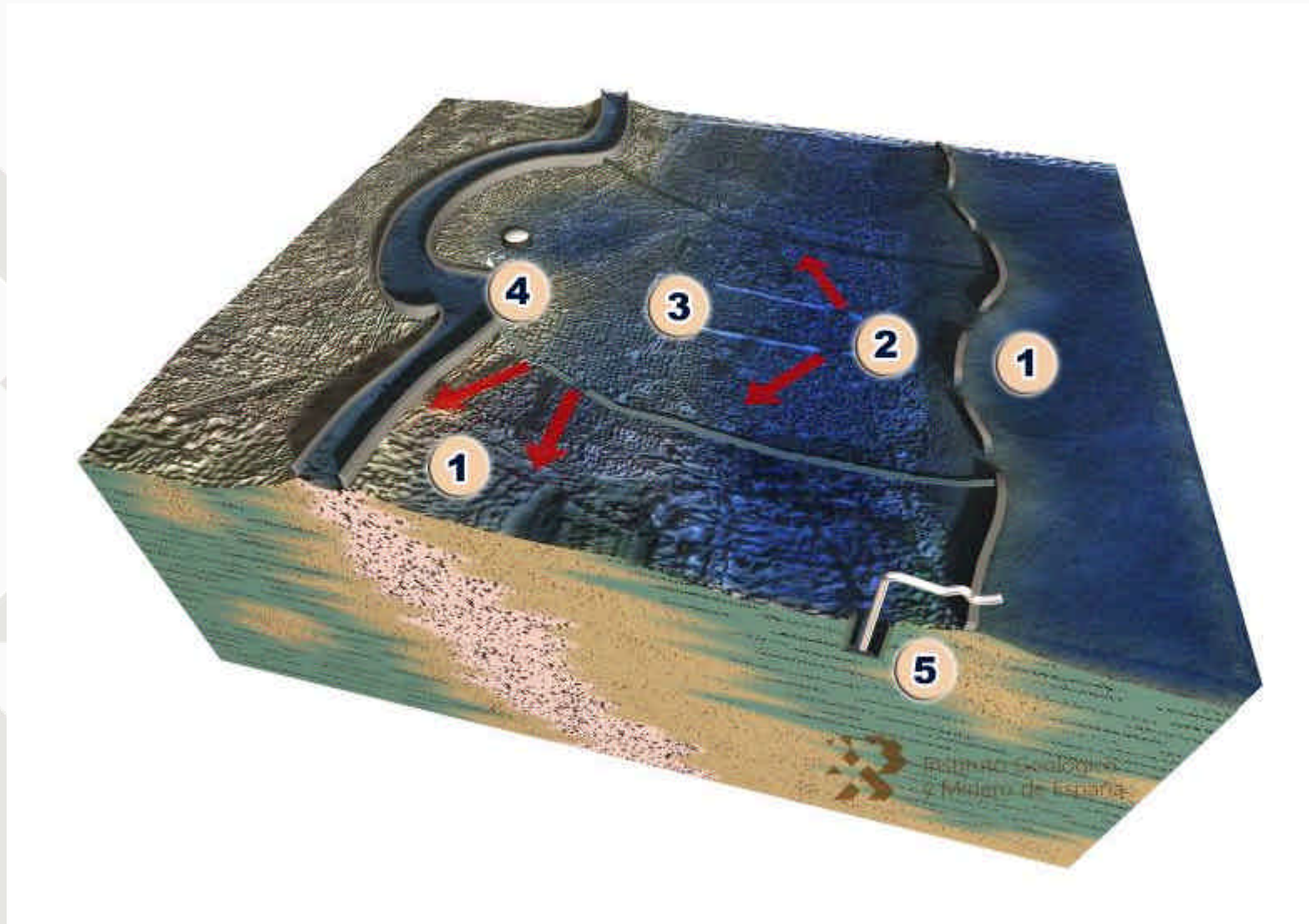
2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD

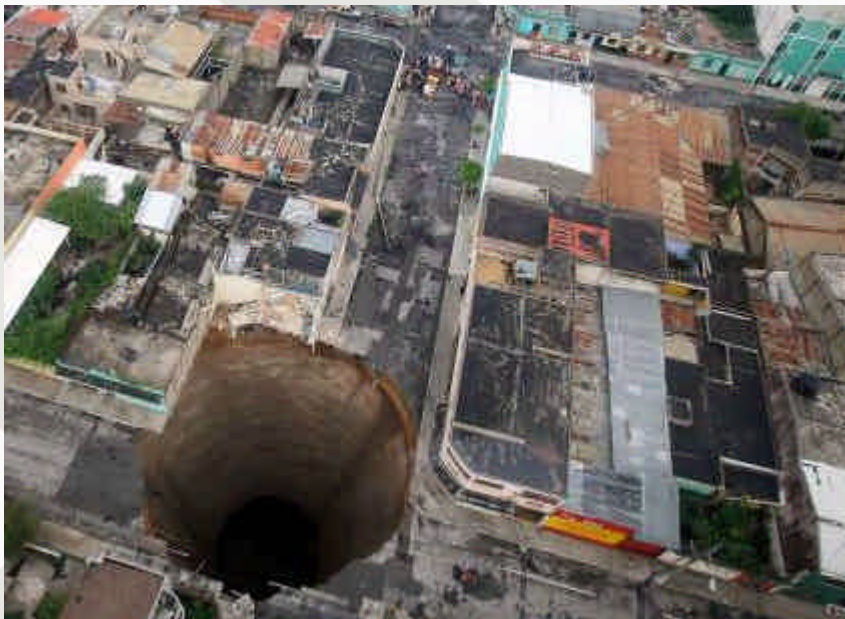


2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD





2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD



MAPAS DE PELIGROSIDAD PARCIALES O SECTORIALES

Elementos hidrológico-hidráulicos:

Inundabilidad:

Zonas inundables para diferentes periodos de retorno, T:



años: 10 25 50 100 200 500

Limite zona inundable con caudal n m³/s

Batimetría:

Modelo digital batimétrico continuo, h:



0,0 1,5 m

Zonas entre rangos batimétricos, h:



0,0 0,4 0,8 1,0 1,2 1,5 m

Isobata de n metros

Vía de intenso desagüe (VID)

Velocidad de la corriente:

Modelo digital de velocidades continuo, v:



0,0 2,0 m/s

Zonas entre rangos taquimétricos, v:



0,0 0,1 0,5 1,0 1,5 2,0 m/s

Isotaca o isovela de n m/s

Tiempos característicos:

Isocrona de n horas

Tiempo característico (t_c, t_p)

y valor del mismo en horas

Puntos de t_c fijo

0,5 h 0,5 h

Elementos geológico-geomorfológicos:

Carga sólida transportada:

Rango de porcentaje de carga sólida respecto al caudal total:



0 20 40 % 60 80 100

Fenómenos geológicos relacionados:



Zona susceptible a sufrir movimientos de ladera (desprendimientos, deslizamientos, reptación...)



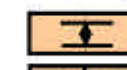
Zona susceptible a sufrir hundimientos y colapsos por sufusión (piping)



Zona susceptible a sufrir zapado de márgenes y/o extensión o traslación de meandros



Zona susceptible a sufrir avulsiones, capturas o cambios bruscos de trazado



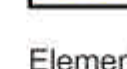
Zona susceptible a sufrir fenómenos de expansividad de arcillas y evaporitas



Zona susceptible a sufrir fenómenos de carstificación y disolución de rocas



Zona susceptible a sufrir aterramiento por depósito o movimiento de barras



Zona susceptible a sufrir acciones y procesos erosivos intensos en el lecho

Elementos históricos:



Limite de la zona inundada en el evento histórico del año n



Situación de placa o marca de nivel del evento histórico del año n

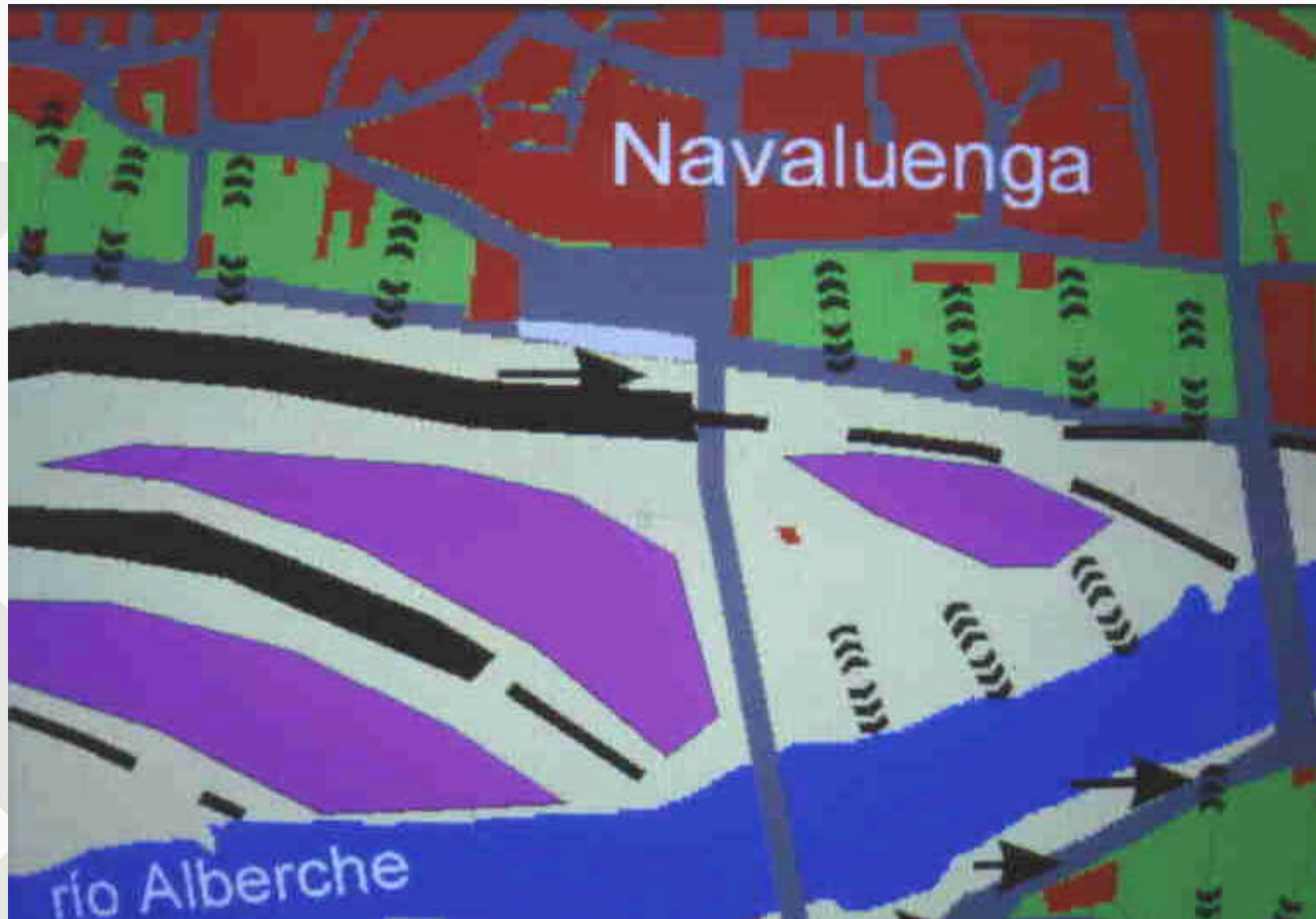


Punto conflictivo o peligroso durante el evento histórico del año n



Lugar con información sobre el/los evento/s histórico/s

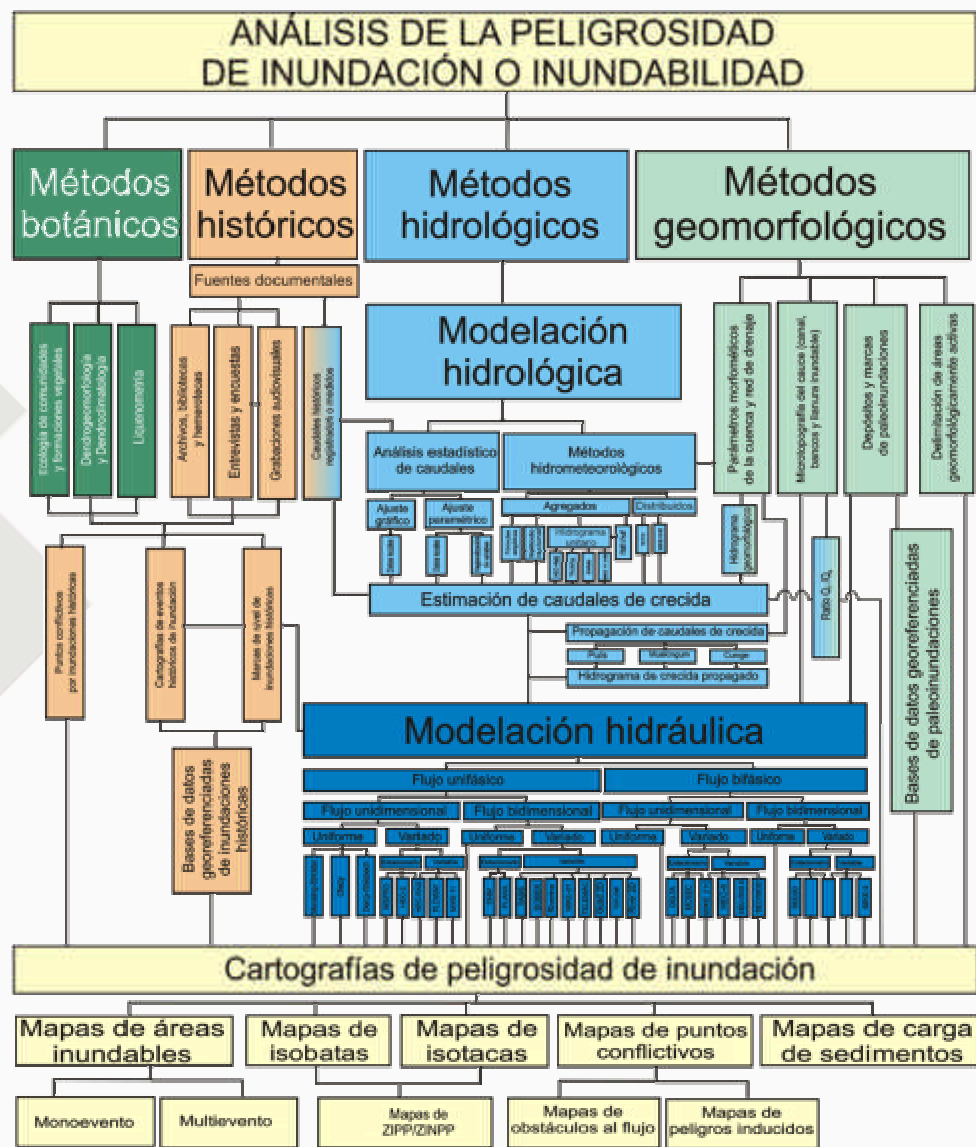
2. CARTOGRAFÍA DE PELIGROSIDAD

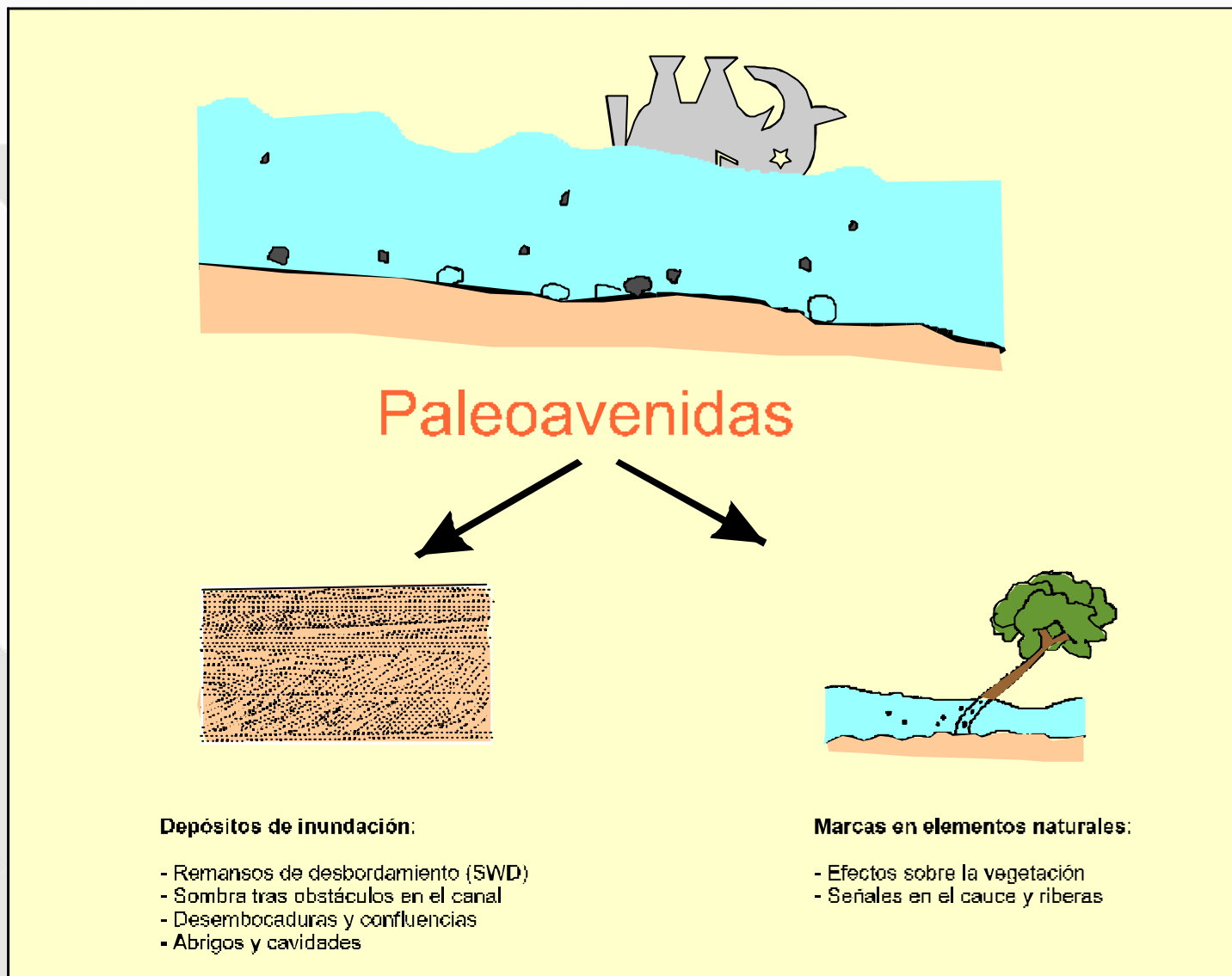


3. Geomorfología y mejora en el análisis de frecuencia de inundaciones

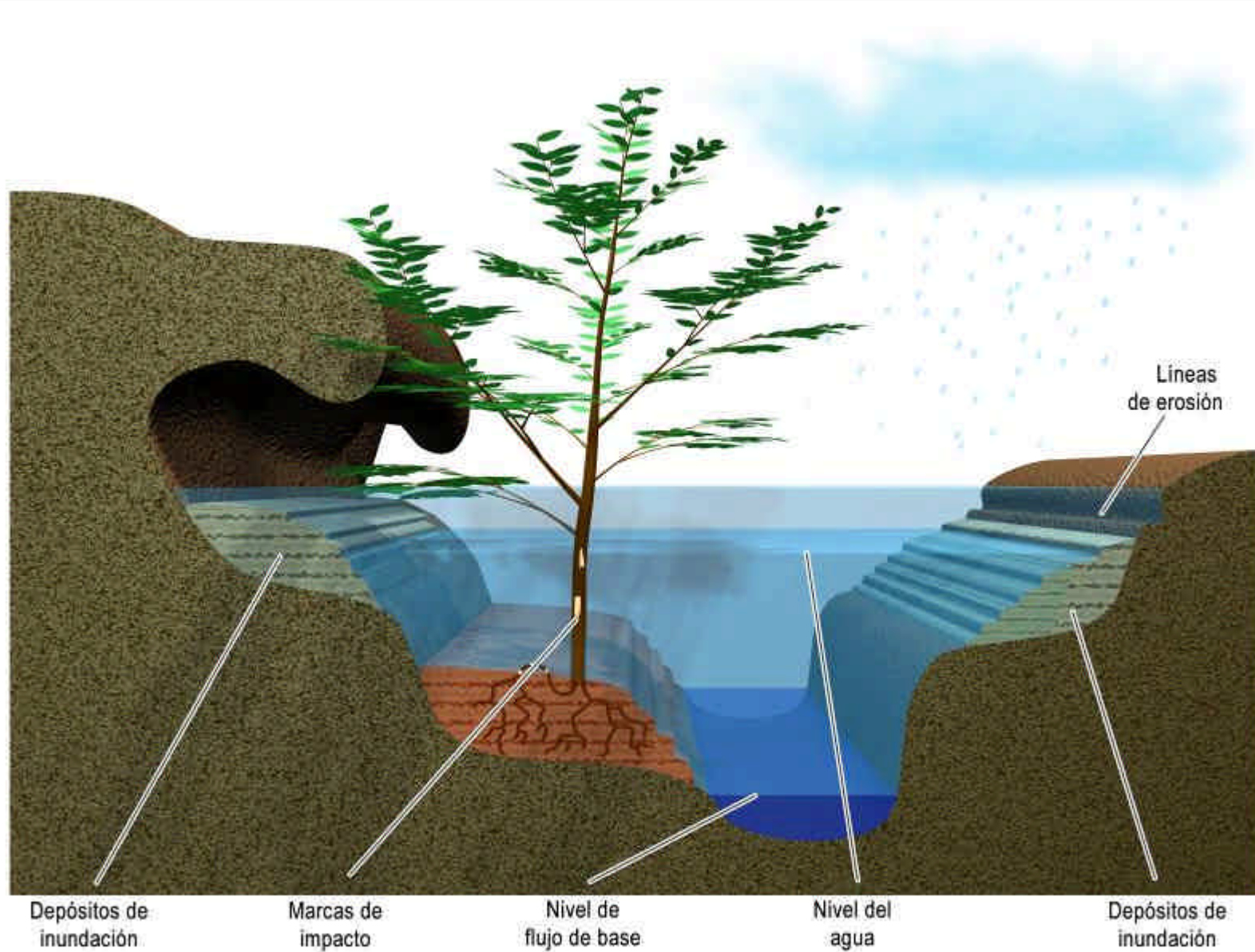
- Depósitos de paleoinundaciones:
 - Frecuencia
 - Magnitud
 - Cambio climático
- Dendrogeomorfología y liquenometría

3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA

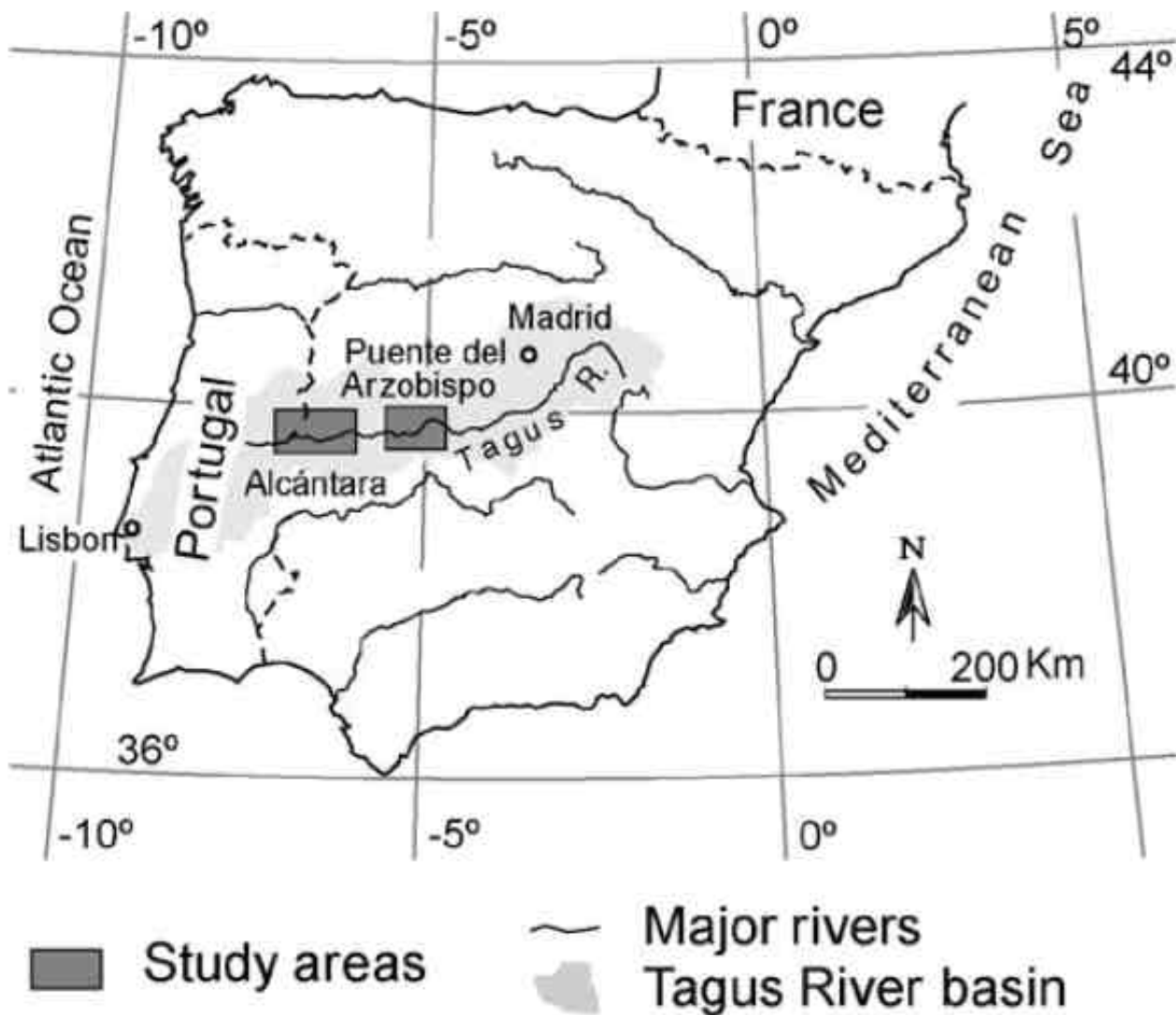




3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA



3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA

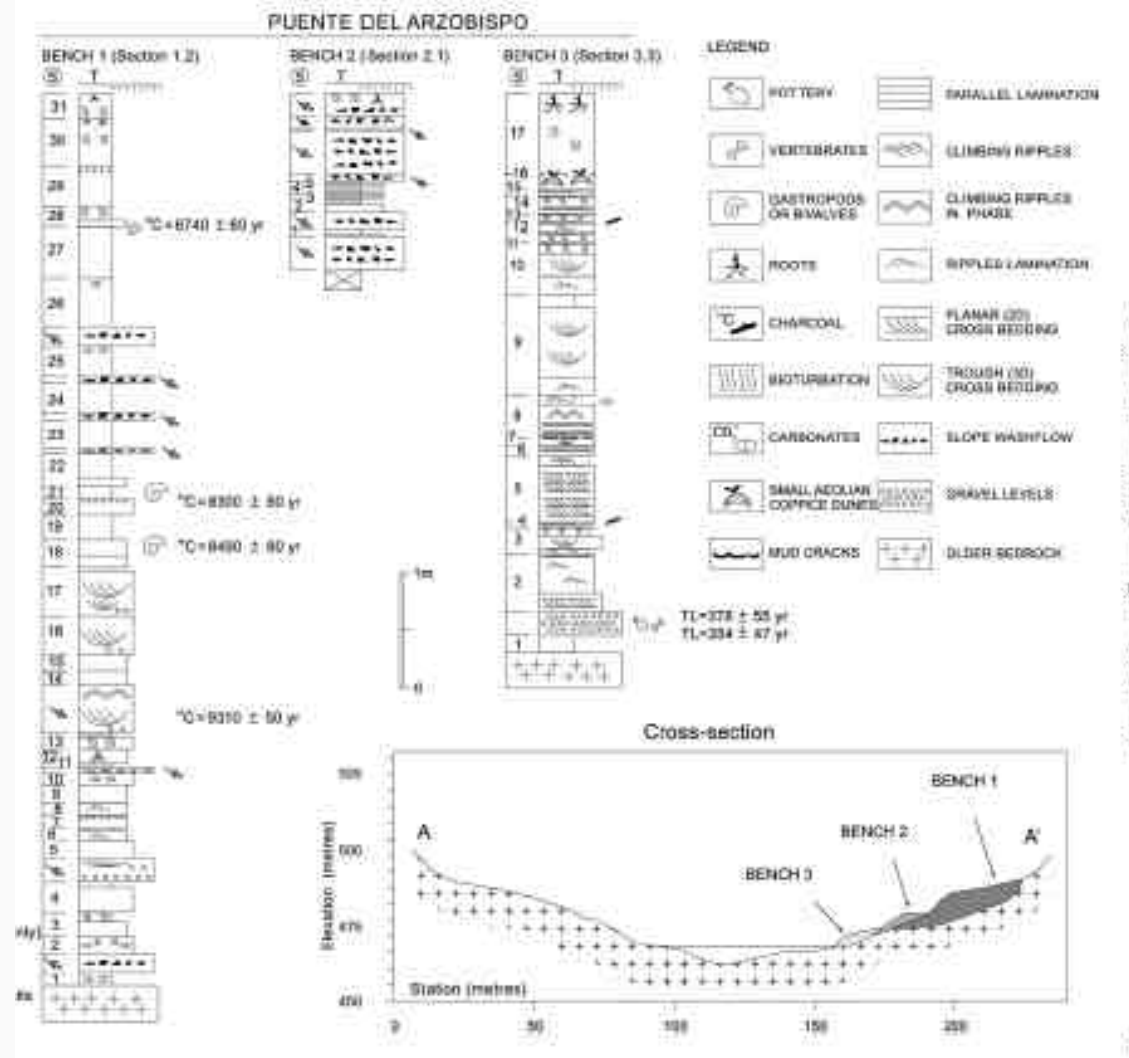


Fuente: Benito et al. (2003b) Sedimentary Geology





3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA



Fuente: Benito et al. (2003b) Sedimentary Geology

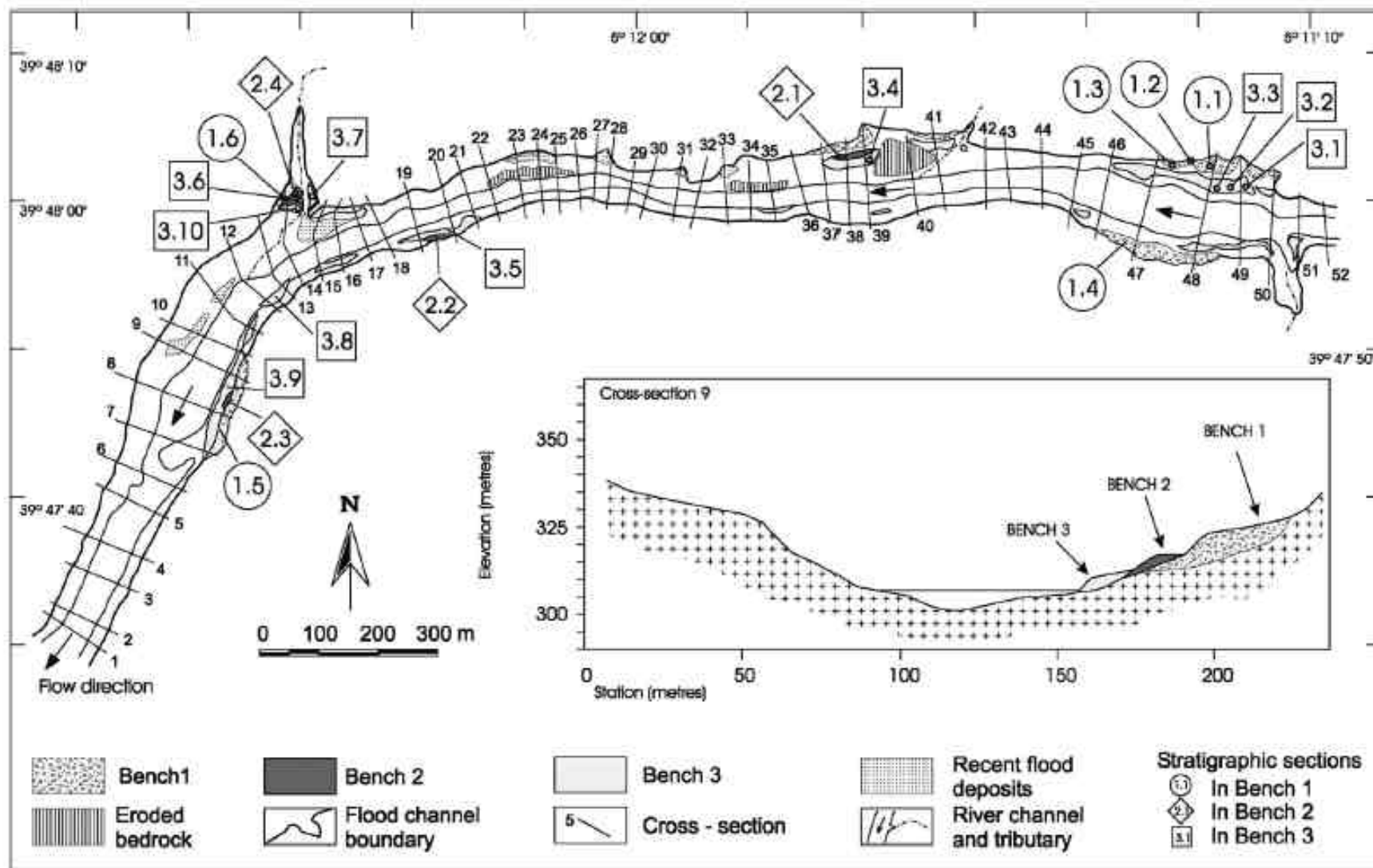
3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Lab No.	Profile No.	Sample No.	Material dated	Flood unit	Analysis	Age (yr B.P.) $\pm 1\sigma$	Calibrated age (1 σ) ^a
<i>El Puente del Arzobispo</i>							
AA-22452	1.1	TA-53	Po	1	AMS	14,090 \pm 100	BC 15,492–14,439
Beta-098317	1.1	28.F8	O	7	AMS	8040 \pm 30	BC 7025–7000
GrA-3000	1.2	TA-11-2	Ch	12–13	AMS	9310 \pm 50	BC 8628–8476
GrA-3177	1.2	TA-12-1	Sg	20	AMS	8300 \pm 80	BC 7517–7184
GrA-3178	1.2	TA-12-2	Sg	17	AMS	8490 \pm 80	BC 7587–7486
Beta-098317	1.2	TA-13.1	Sm	27	Conv	6740 \pm 60	BC 5055–4900
Beta-098314	1.5	24.3	Sm	1	AMS	9440 \pm 50	BC 8540–8420
Beta-098315	1.5	24.2	Sm	12	AMS	9210 \pm 50	BC 8250–8110
Beta-87423	2.4	TA-6-1	Ch	5	AMS	410 \pm 50	AD 1440–1505 AD 1595–1620
MAD-372	3.3		P	1–2	TL	354 \pm 47	
MAD-372a	3.3		P	1–2	TL	378 \pm 55	
Beta-87421	3.7	TA-4-2	Ch	1	AMS	170 \pm 50	AD 1665–1700, 1720–1820, 1855–1860, 1920–1950
GrA-1702	3.7	TA-4-3	Ch	3	AMS	165 \pm 50	AD 1664–1697, 1726–1812, 1842–1875, 1918–1950
Beta-87422	3.7	TA-4-8	Ch	8	AMS	150 \pm 60	AD 1670–1950
GrA-1679	3.7	TA-4-8	Ch	8	AMS	80 \pm 50	AD 1693–1727, 1815–1859, 1860–1920
GrA-1678	3.10	TA-17-2	Ch	5	AMS	110 \pm 50	AD 1689–1731, 1811–1901, 1904–1926
<i>Alcántara</i>							
Beta-119758	A.2	ALC-B.3	Ch	4	AMS	990 \pm 50	AD 980–1175
Beta-119757	A.2	ALC-B.2	Ch	6	AMS	940 \pm 40	AD 1015–1205
Beta-119756	A.2	ALC-B.1	Ch	8	AMS	410 \pm 40	AD 1445–1495
Beta-119759	A.4	ALC-E.1	Ch	2–3	AMS	1200 \pm 40	AD 785–885

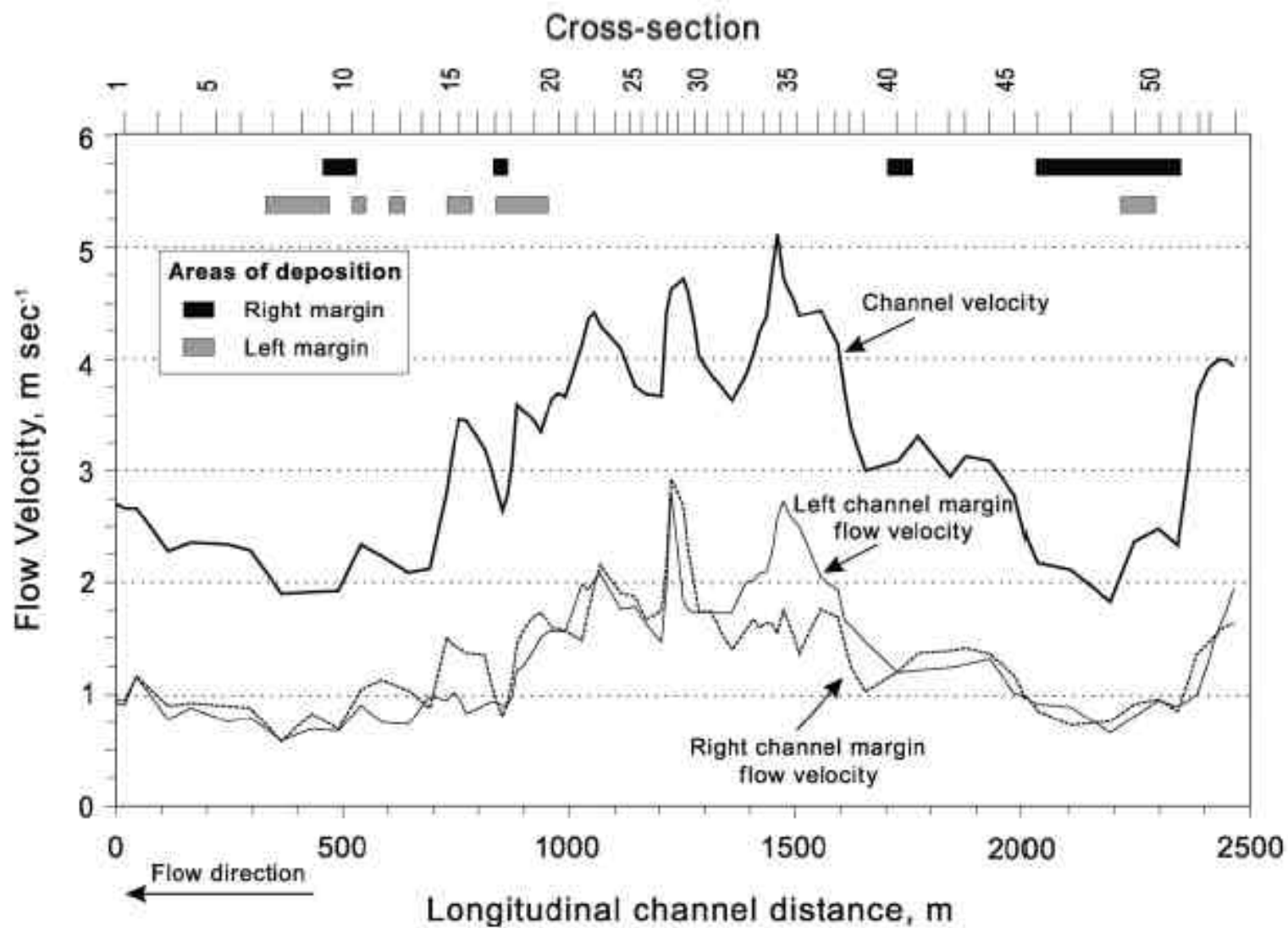
Note: P, pottery; Ch, charcoal; Sg, gastropod shell, Sm Mollusc shell; Po, Pollen extract O, organic sediment; Conv, radiometric standard; AMS, accelerator mass spectrometry; TL, thermoluminescence. Beta, Beta Analytic Inc., USA; AA, University of Arizona, NSF Arizona AMS Facility, USA; GrA, Centrum voor Isotopen Onderzoek, Rijksuniversiteit Groningen, the Netherlands; MAD, Laboratorio de Geología y Geoquímica, Universidad Autónoma de Madrid, Spain.

^aBased on Stuiver and Reimer, 1993.

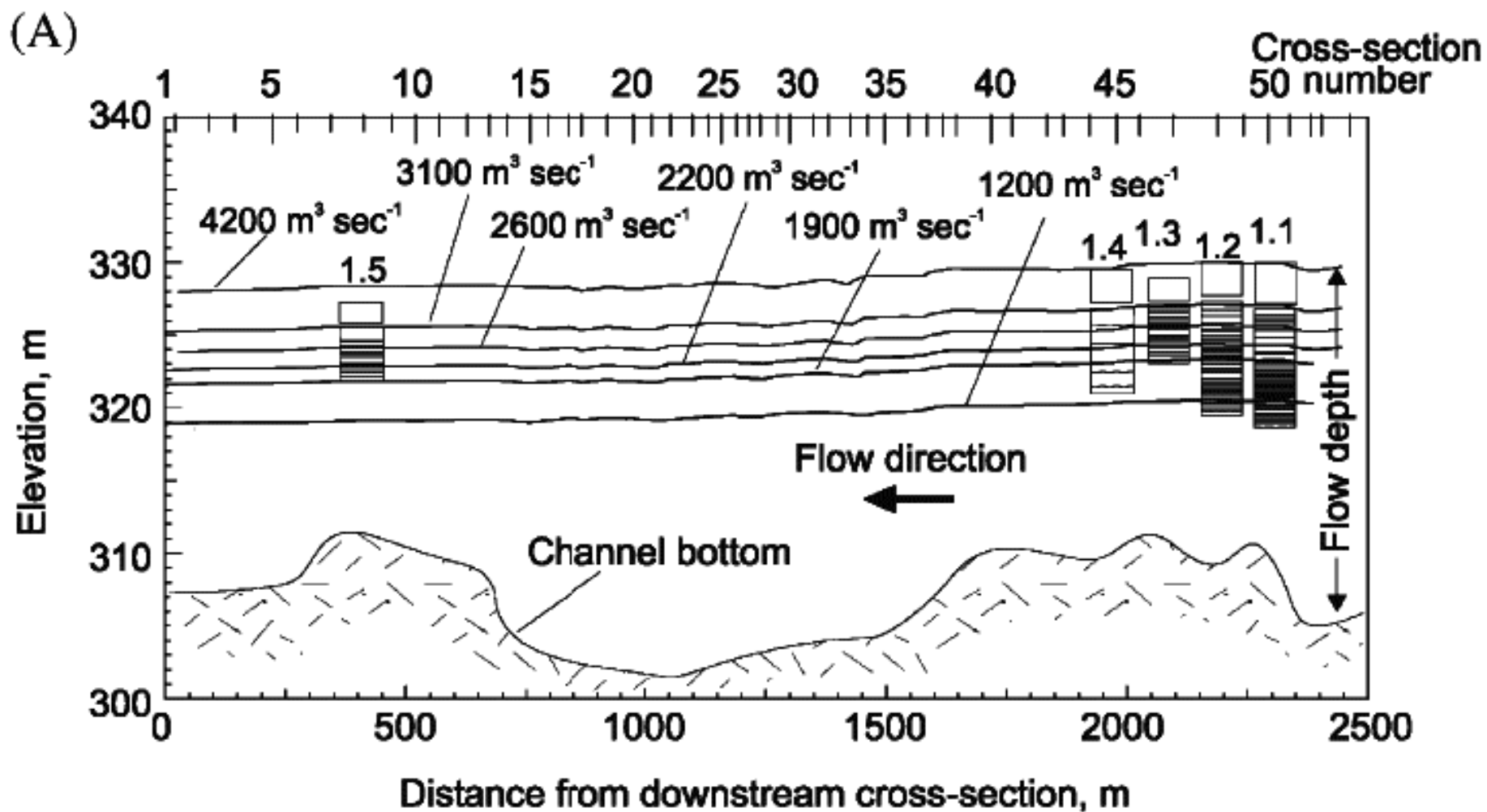
Fuente: Benito et al. (2003c) Quaternary Science Reviews



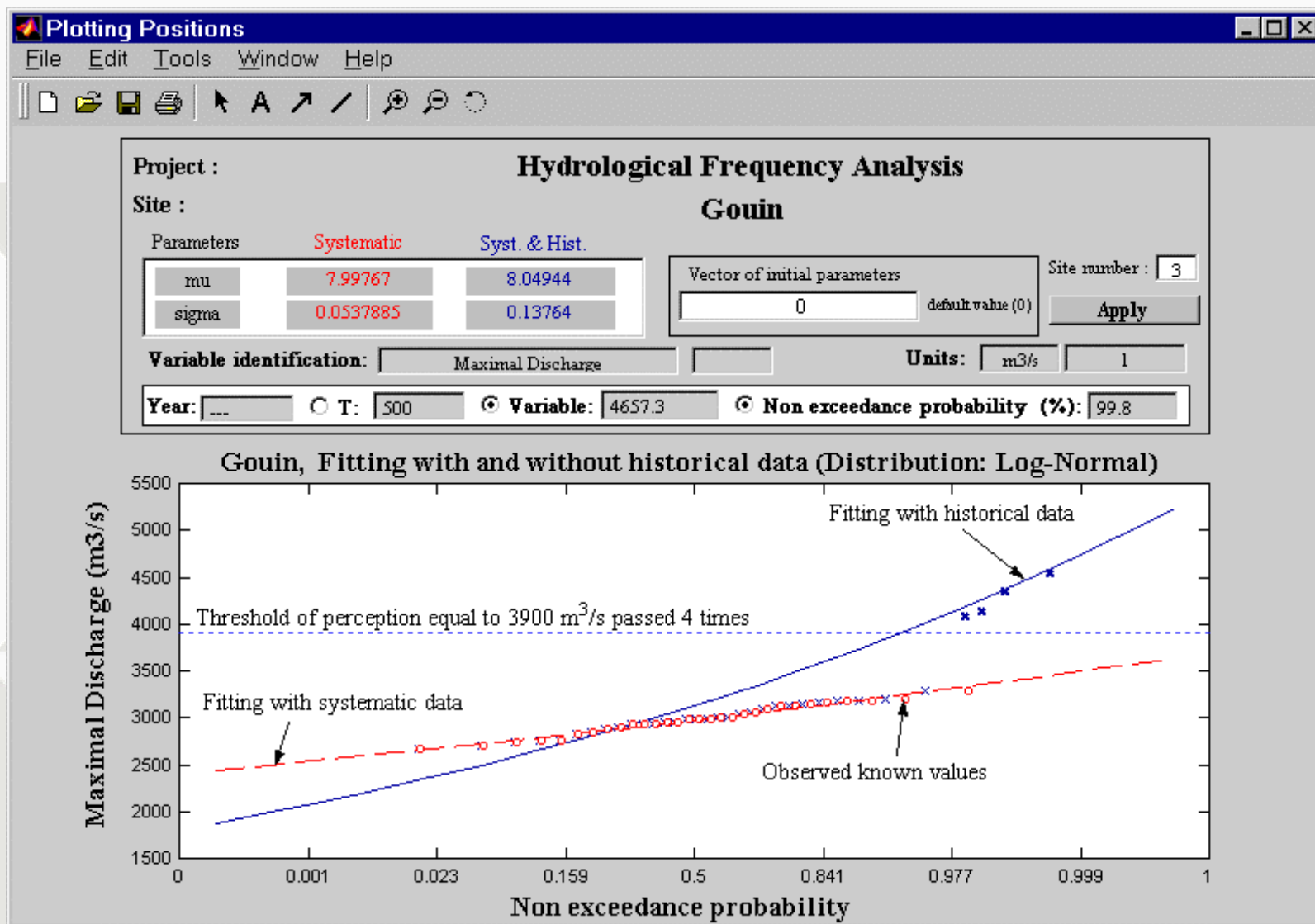
Fuente: Benito et al. (2003c) Quaternary Science Reviews



Fuente: Benito et al. (2003b) Sedimentary Geology



Fuente: Benito et al. (2003c) Quaternary Science Reviews

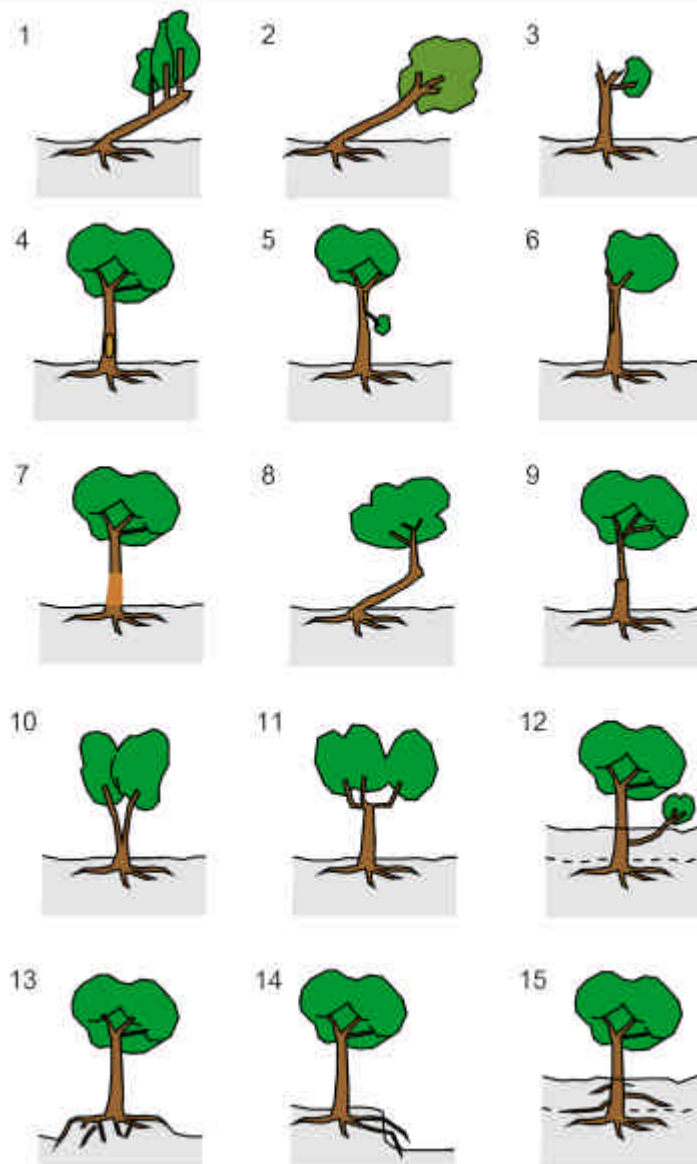


Métodos botánicos

Ecología de comunidades
y formaciones vegetales

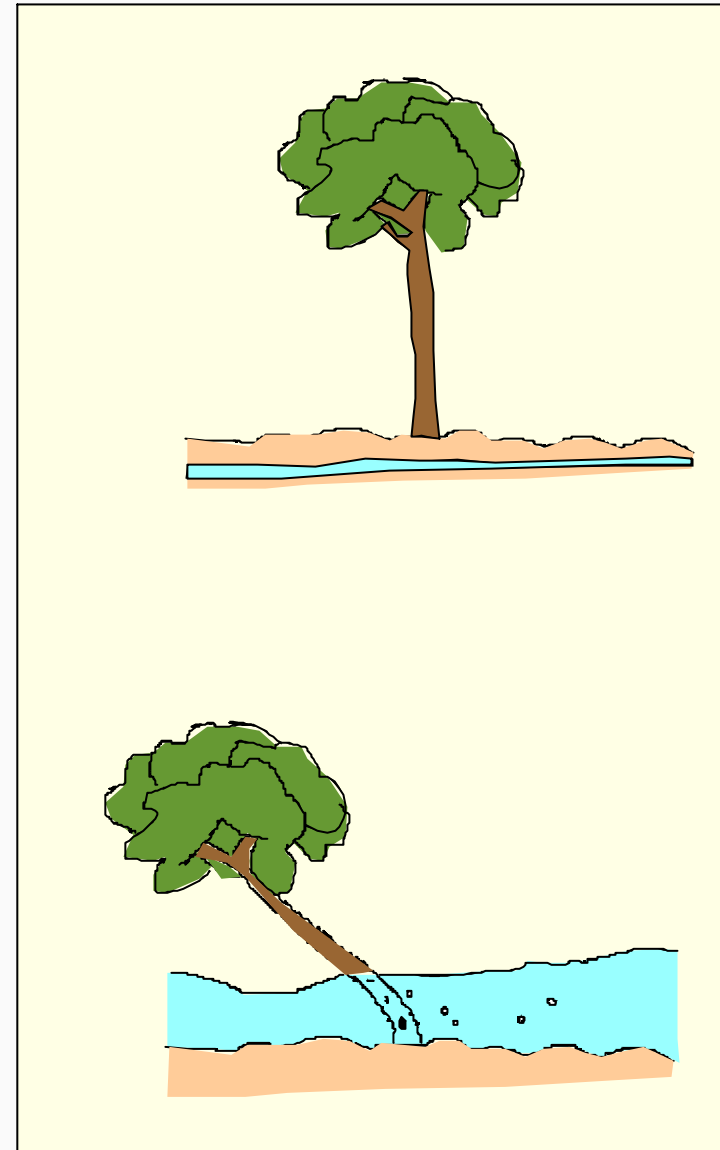
Dendrogeomorfología
y Dendroclimatología

Liquenometría

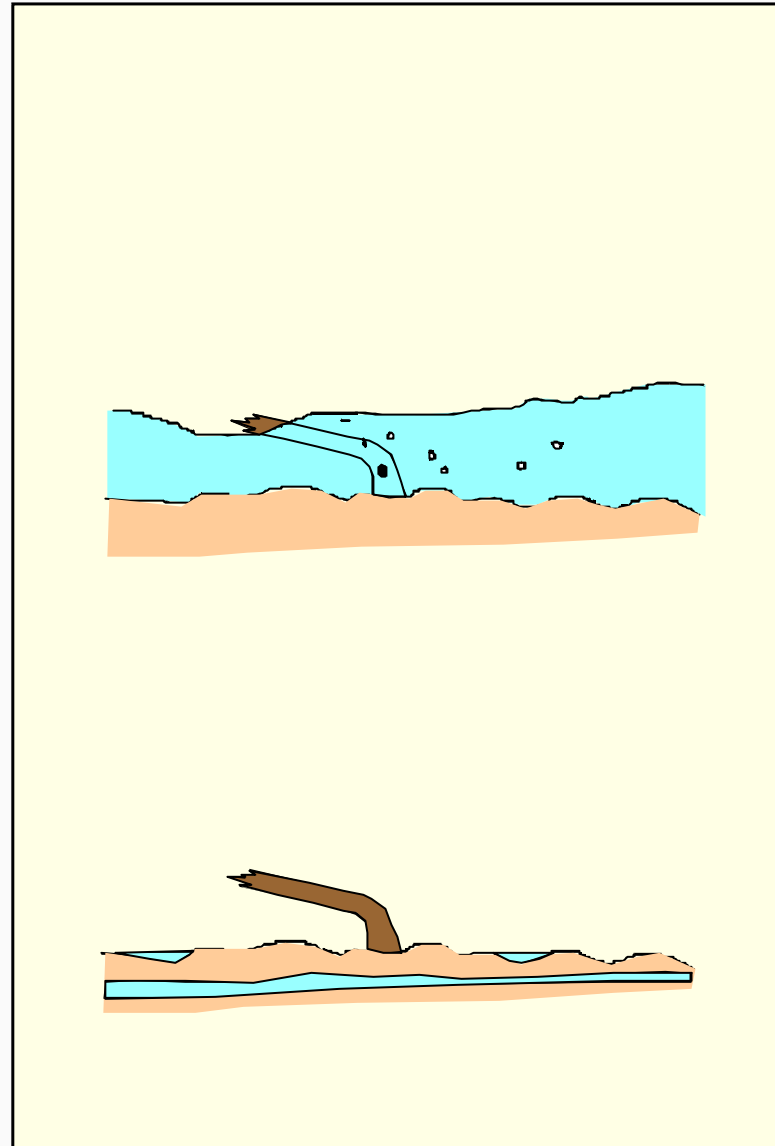




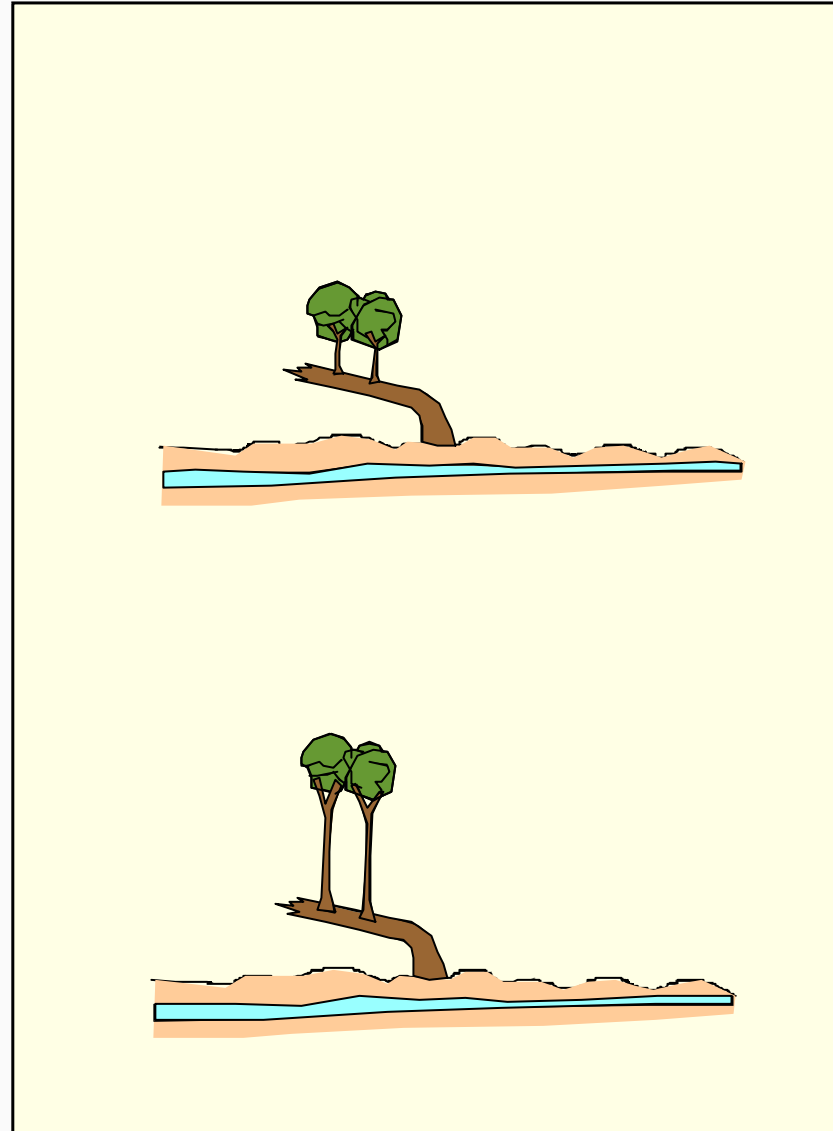
3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA



3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA



3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA



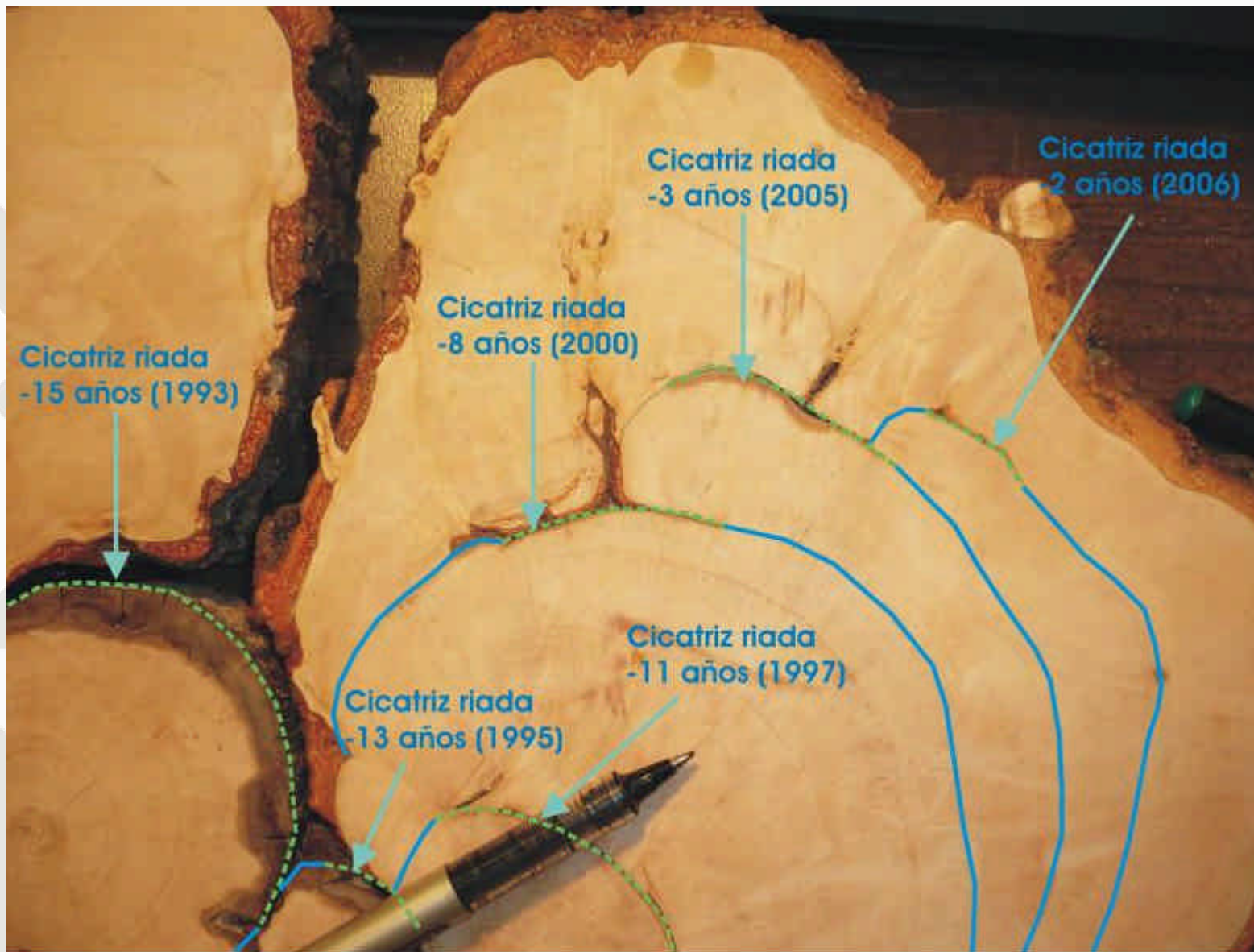
3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA

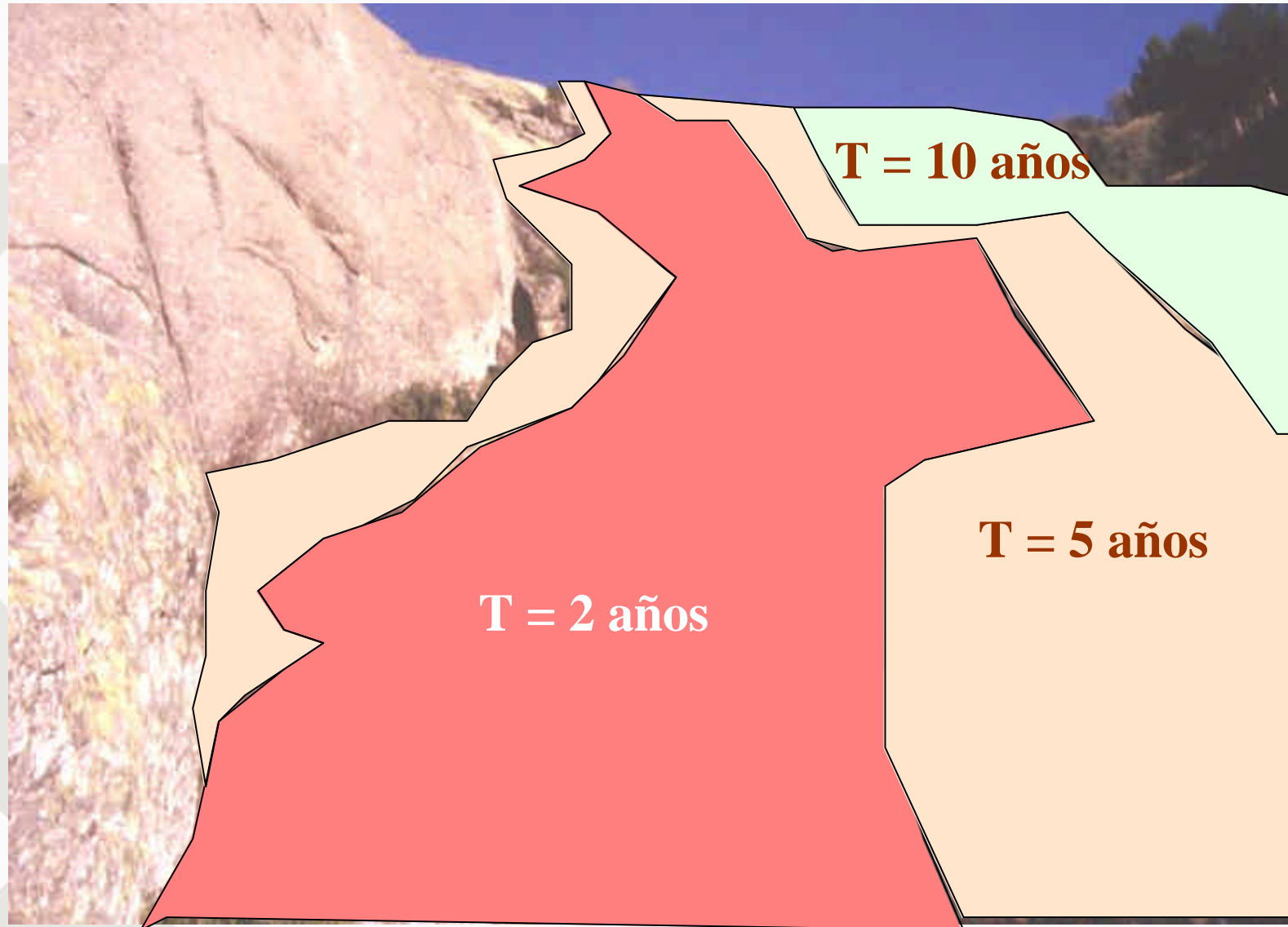


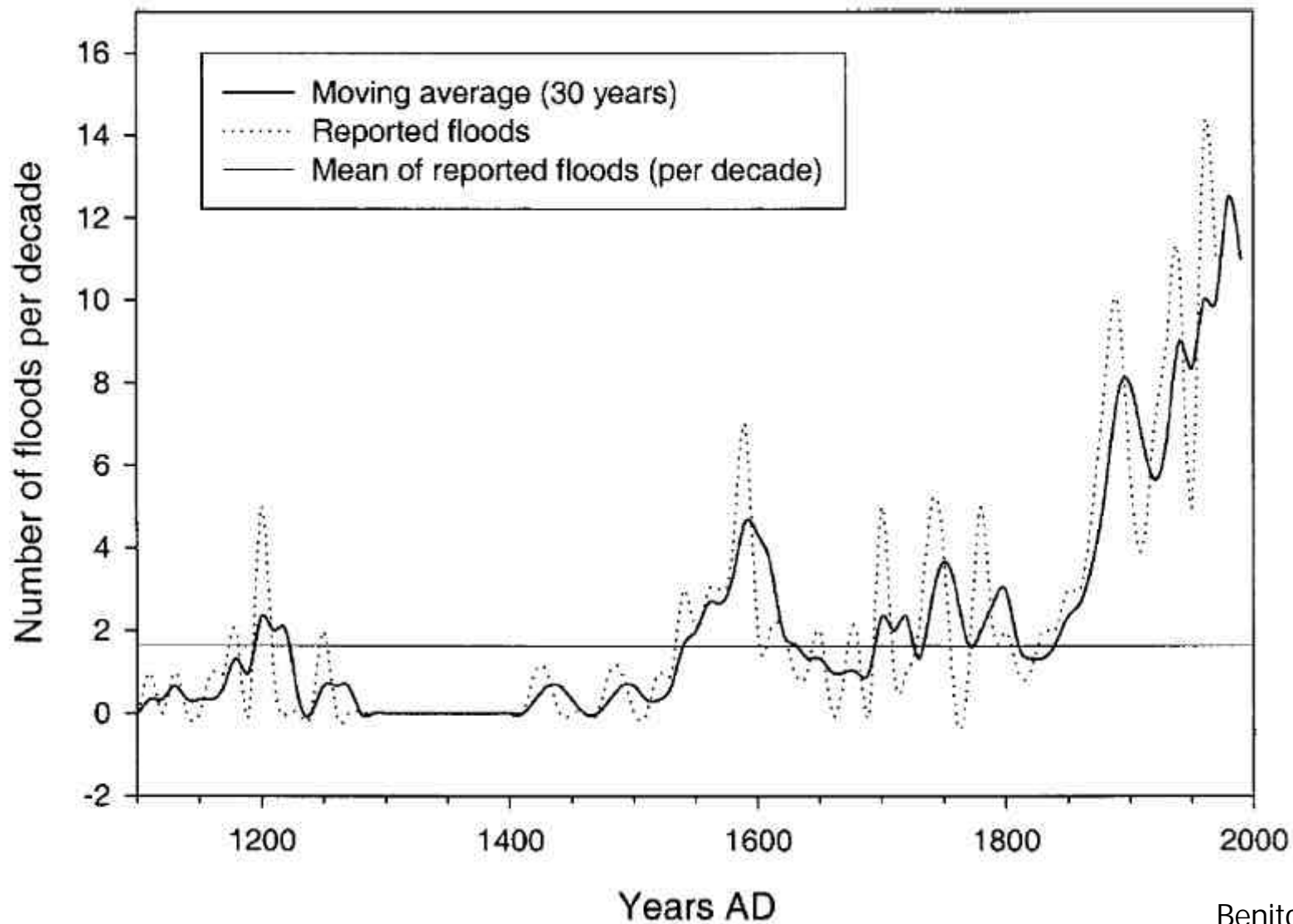
3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA



3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA

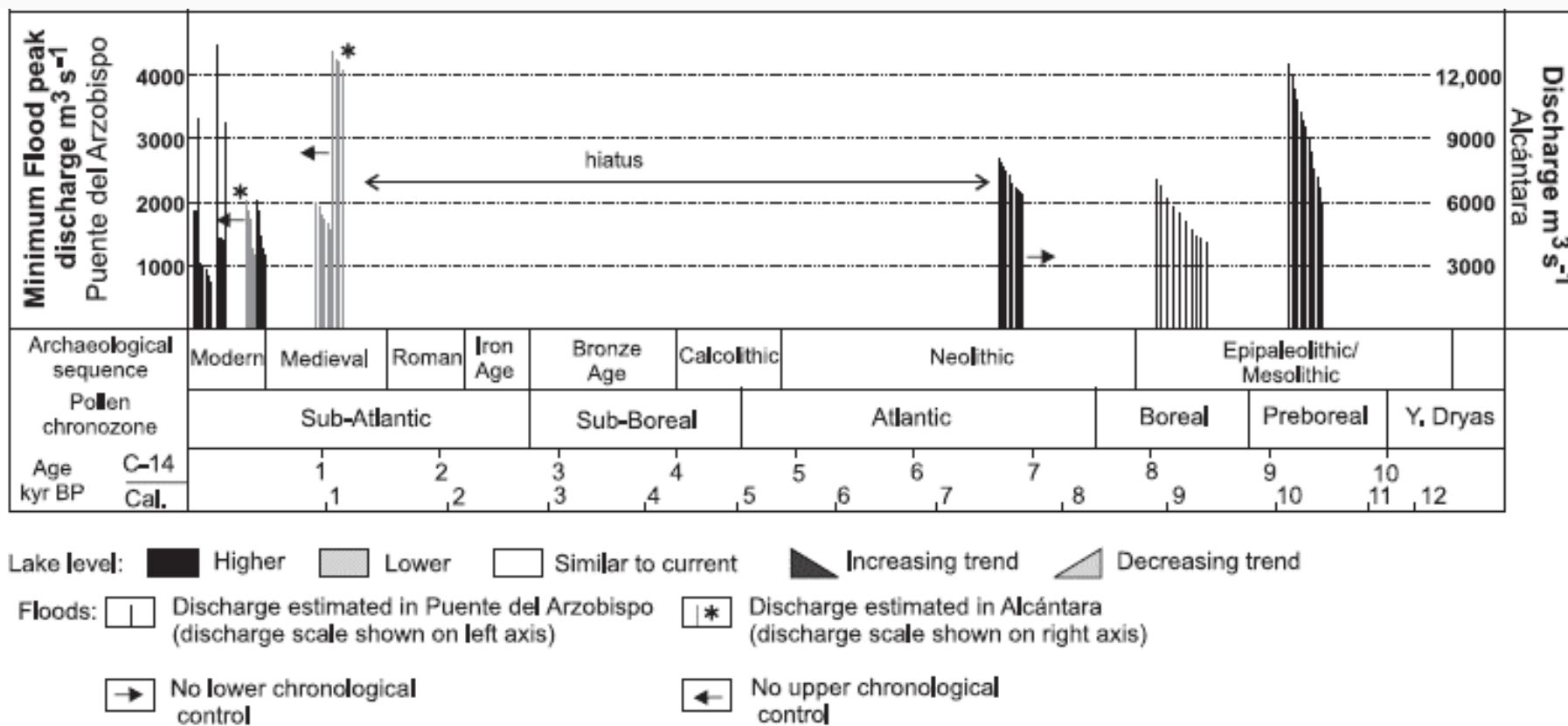




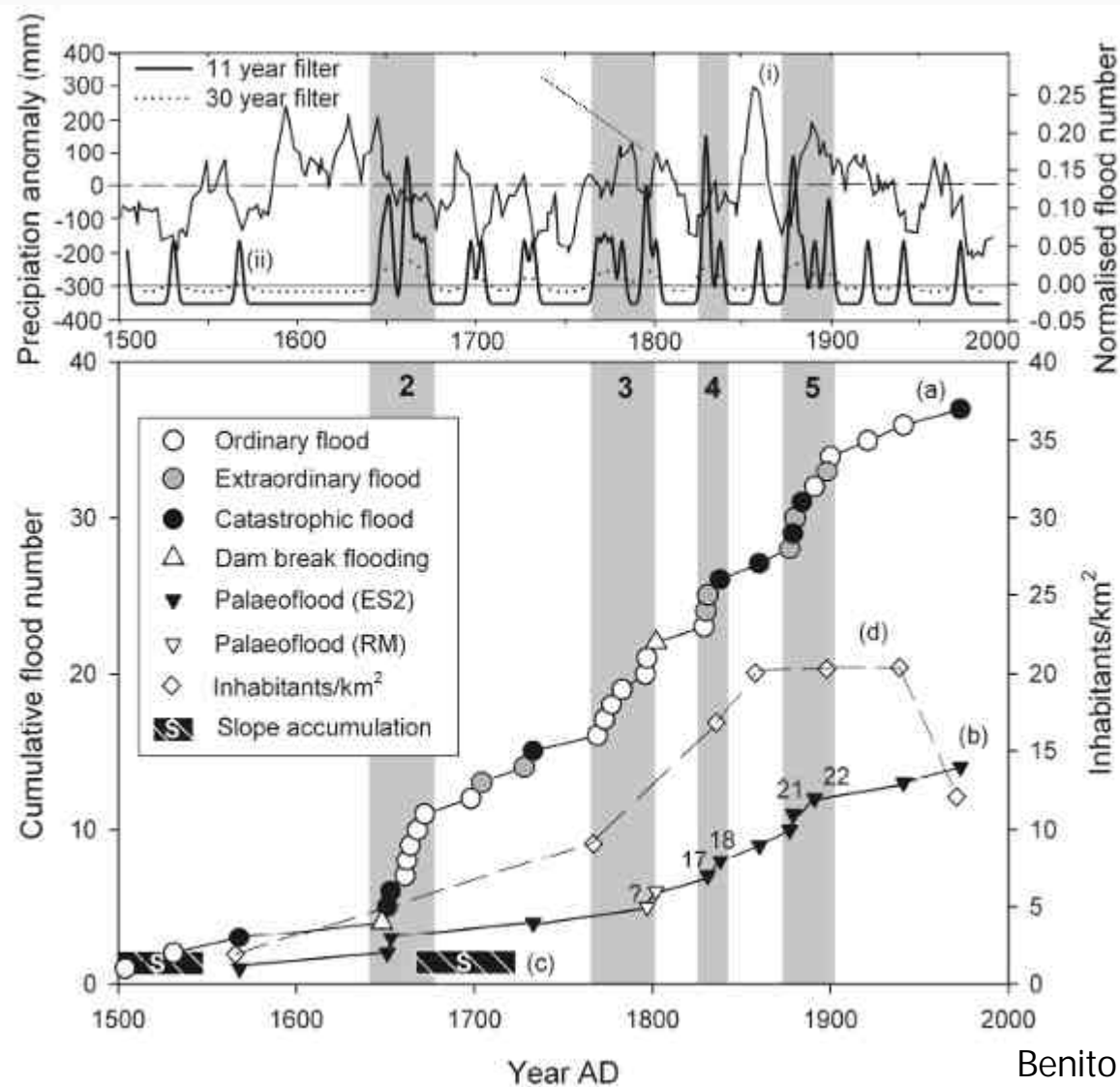


Benito et al. (2003)
Climatic Change

3. ANÁLISIS DE FRECUENCIA



Fuente: Benito et al. (2003c) Quaternary Science Reviews



Benito et al. (2009)
Global and Planetary Change

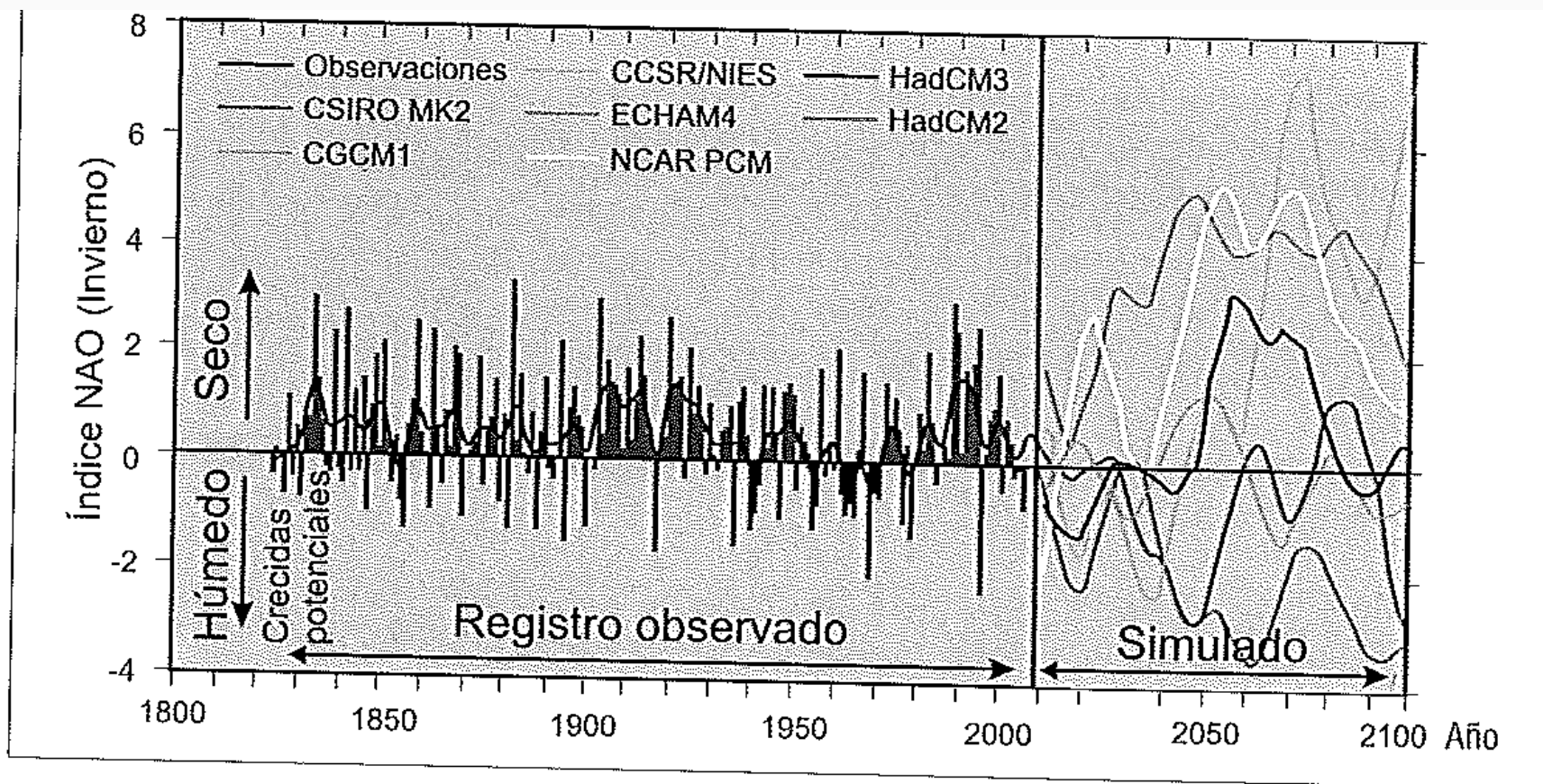


Fig. 10. Series temporales del índice NAO (hPa) de los meses invernales observadas (negro) y simuladas bajo valores crecientes de concentración de gases invernadero según Osborn (2004). (CCSR/NIES: azul, CGCM1: verde, CSIRO Mk2: rojo, ECHAM4: naranja, HadCM2: marrón, HadCM3: pupura, NCAR PCM: amarillo). Patrón basado en el índice de presión del nivel del mar entre Gibraltar e Islandia. Las series se han suavizado con un filtro de 30 años.

Enseñanza CC. de la Tierra

4. Geomorfología para la elaboración, calibración y validación de modelos hidrológicos e hidráulicos

- Modelos hidrológicos:
 - Morfometría de la cuenca y red de drenaje
 - Abstracciones iniciales
- Modelos hidráulicos:
 - Carga sólida transportable
 - Calibración de la rugosidad
 - Parámetros hidráulicos desde formas efímeras

Problemas del uso de métodos hidrológico-hidráulicos en dinámica torrencial

- Ausencia de información de precipitaciones:
 - Zonas torrenciales, montañosas, con escasos pluviómetros
 - Dificultades para interpolar y correlacionar las precipitaciones con la altura
 - Series cortas de datos, sin representatividad estadística
 - Falta de estacionaridad de las series (cambio climático)
 - Carácter puntual o localizado de las precipitaciones intensas en zonas montañosas
- Inadecuada comprensión del proceso precipitación-escorrentía:
 - Métodos de estimación de abstracciones iniciales cuestionados
 - Aplicación de fórmulas muy simples para la propagación del hidrograma
- Dificultades para modelar un flujo rápido, turbulento y supercrítico:
 - Falta de aplicaciones informáticas adecuadas para altas pendientes
 - Flujos absolutamente tridimensionales
 - Inadecuada consideración del papel de la carga transportada
 - Variabilidad espacio temporal del canal de flujo (abanicos y avulsiones)

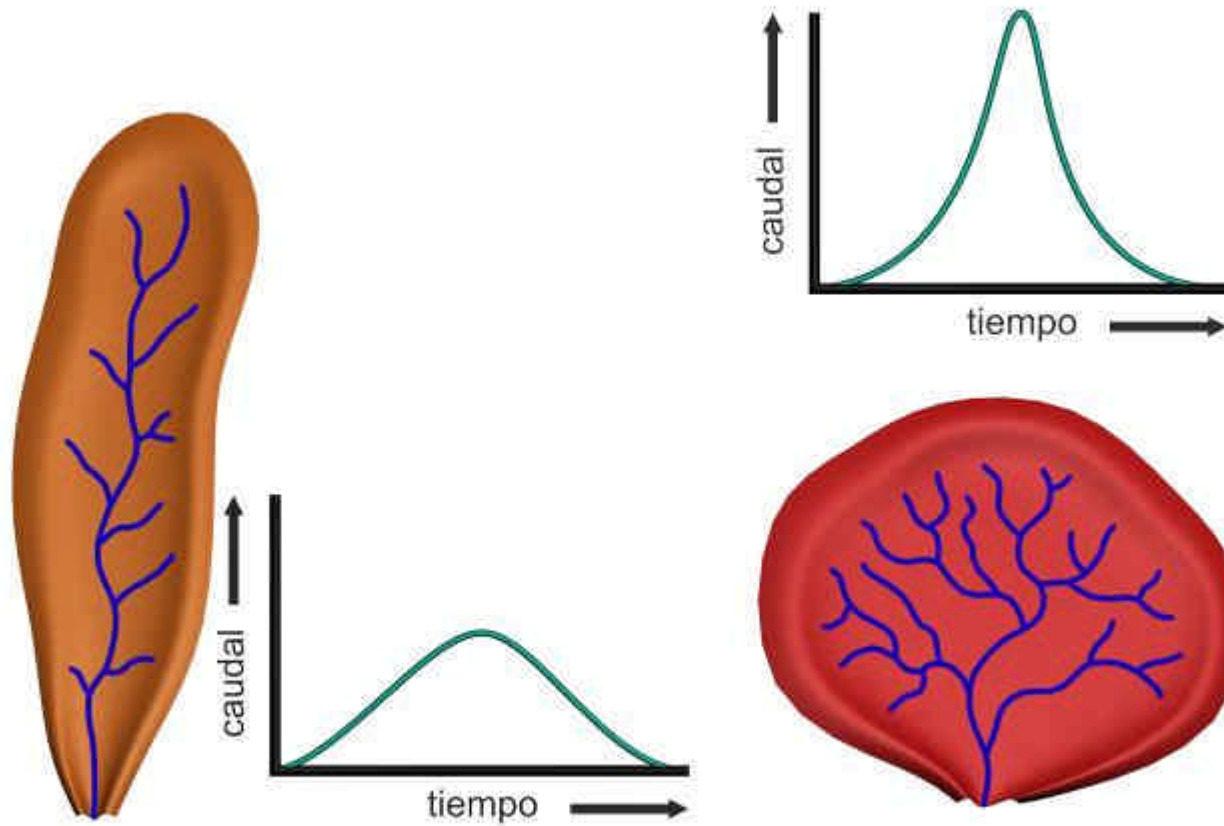
Problemas del uso de métodos hidrológico-hidráulicos en dinámica torrencial

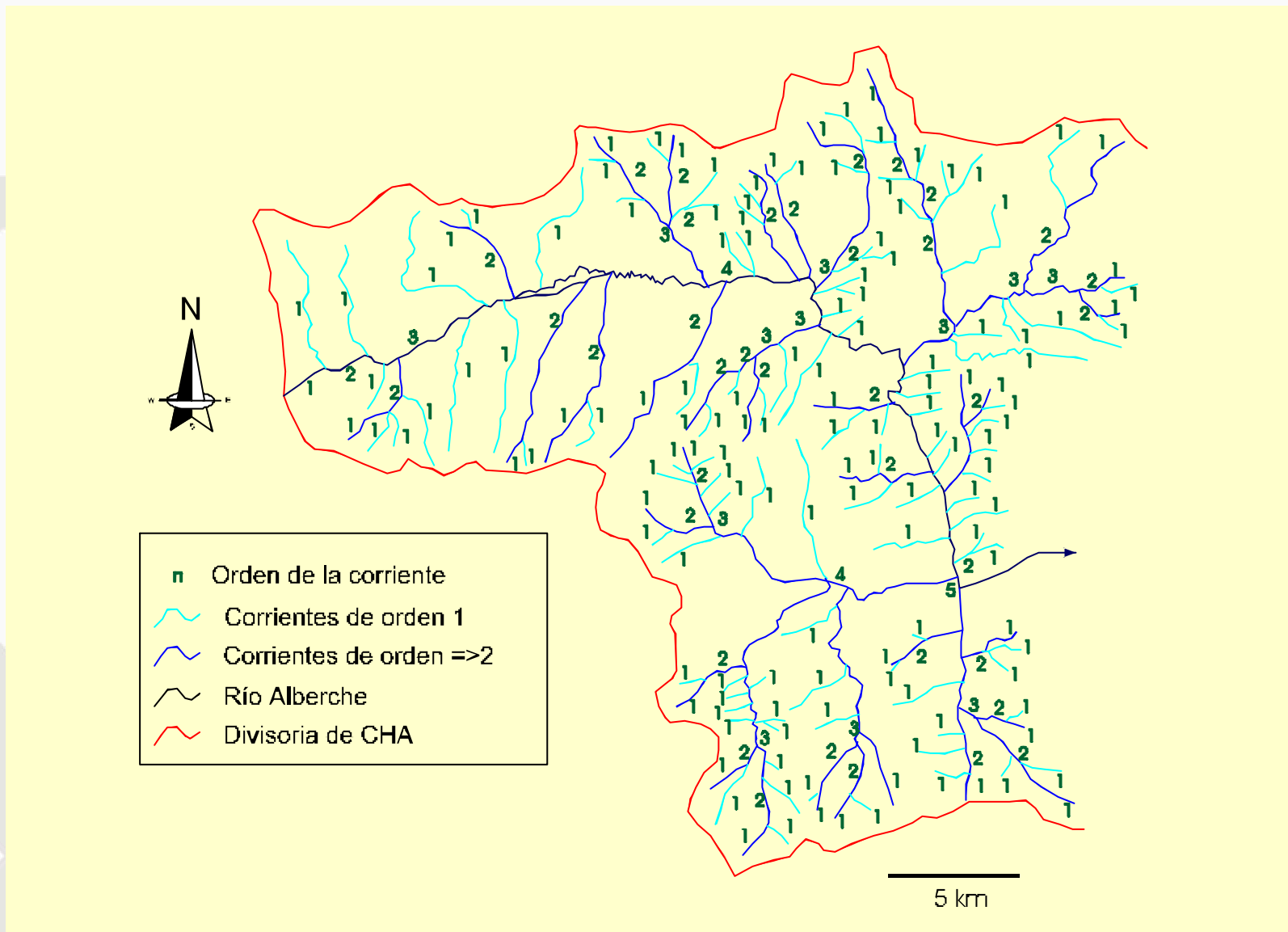
Tabla 3. Periodos de retorno (años) para lluvias de distinta intensidad en 24 horas, en diferentes estaciones pirenaicas.

Estación	Altitud (m)	Lluvia anual (mm)	Lluvia máx. (mm)	Años de datos	Periodos de retorno (años) para una lluvia de:			
					50 mm	100mm	150mm	200mm
Agüero	696	1093.2	146.7	19	1.8	9	58	398
Ainsa	589	903.2	106.3	22	1.5	29	886	26631
Aisa	1043	1010.3	72.2	7	2.3	100	5583	310689
Ansó	860	1197.3	105	25	1.2	15	363	8934
Aragües del Pueñto	970	1315.0	102.5	24	1.5	18	335	6300
Artieda	652	739.6	85	22	2.3	229	29799	4194304
Aso de Sobremonte	1264	1259.6	98	24	1.1	51	5482	578525
Bescós de la Garcipollera	932	1074.3	82.1	21	1.4	109	13573	1677721
Biel	760	874.1	103	23	1.4	12	184	2719
Biescas	890	1166.3	165	21	1.5	9	91	883
Boltaña	643	1038.4	146.5	27	1.2	8	84	926
Broto	1005	1188.8	133.3	30	1.1	8	151	2729
Búbal	1100	1416.4	118.7	15	1.0	9	232	5893
Candanchú	1600	1774.9	118.5	6	1.0	4	87	2199
Capdella	1270	1212.9	252	30	1.2	4	23	145
Fiscal	770	1074.9	135.3	22	1.2	7	74	792
Gistain	1422	1410.3	214.8	21	1.1	3	18	100
Graus Sta. Lucia	498	689.3	78	24	2.8	374	59918	8388608
Hecho	833	1271.9	116.6	21	1.2	11	213	4055
Jaca	818	905.0	84	21	1.8	104	8050	621378
Javierrelatre	709	695.1	140	19	1.5	10	103	1038
Lasarra	1450	1348.4	167	19	1.0	3	21	162
Pineta "presa"	1150	1399.1	160.5	30	1.0	3	21	166
Sabiñánigo	790	842.0	124	28	2.2	37	805	17623
Sarvisé	863	1178.6	158.1	21	1.2	5	49	446
Sin	1218	1247.9	517.4	21	1.7	2	5	11
Sta. Cruz de la Serós	780	662.8	180	12	1.6	6	31	164
Urdiceto "central"	1920	1182.1	307.2	23	1.4	3	10	33

García Ruiz *et al.* (1996)

4. CALIBRACIÓN DE MODELOS





Relaciones e índices morfométricos de la red de drenaje de interés en la hidrología de crecidas fluviales

Subcuencas	N_w					R_{Bw}				CB
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	R_{B1}	R_{B2}	R_{B3}	R_{B4}	
Embalse	31	6				5,2				5,17
Río Gaznata	57	15	2	1		3,8	7,5	2		4,43
A° Arrejondo	11	2	1			5,5	2			4,84
A° del Puerto	14	2	1			7	2			6,21
A° del Chorreón	16	5	1			3,2	5			3,60
G ^a de Arremoro	25	7	1			3,6	7			4,26
G ^a de Navalacruz	32	8	3	1		4	2,7	3,0		3,66
A° de la Garganta	54	13	3			4,2	4,3			4,19
A° del Molinillo	17	5	1			3,4	5,0			3,74
Cabecera Alberche	82	22	5	2	1	3,7	4,4	2,5	2,0	3,76

4. CALIBRACIÓN DE MODELOS

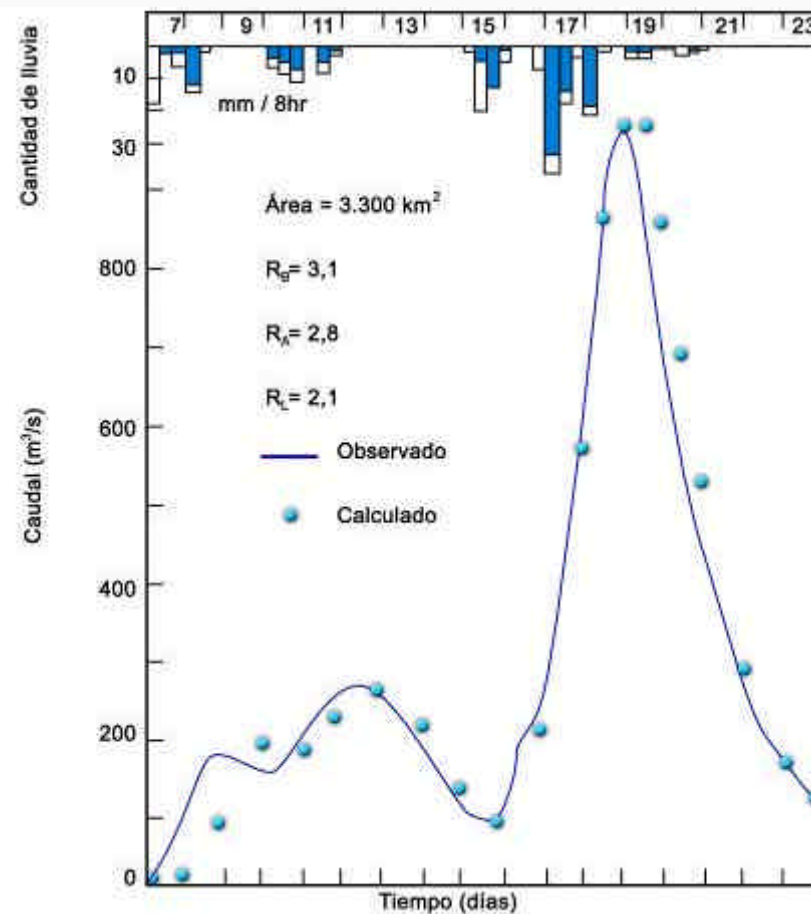
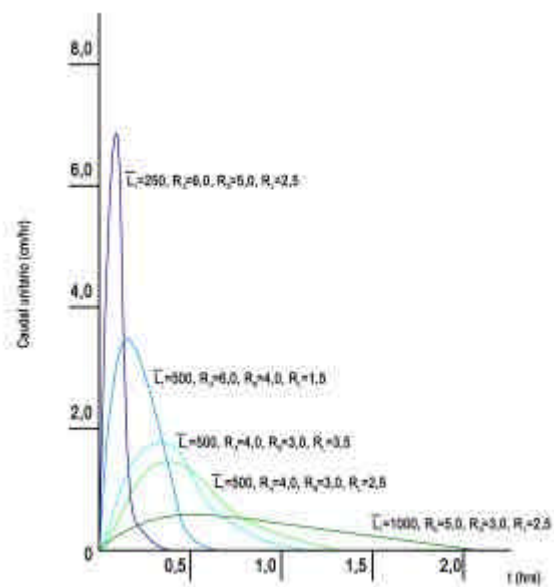
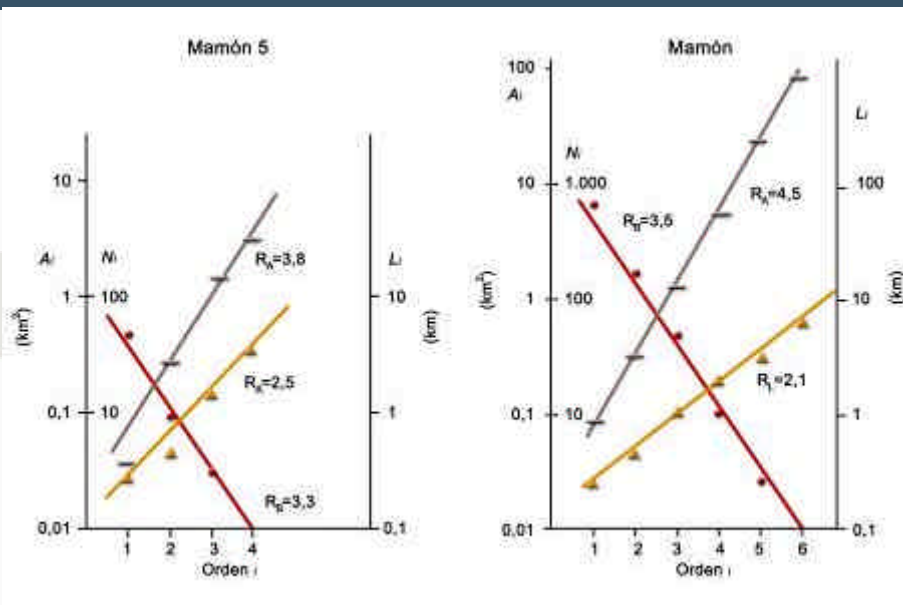


Tabla 05. Fórmulas de regresión para predicción de las magnitudes de caudales de avenida a partir de la morfometría de la cuenca de drenaje, en diversas regiones hidrogeomorfológicas de EE.UU. Simbología: M, magnitud de la cuenca; HD, número de rugosidad; F_1 , frecuencia de canales de primer orden; Dd, densidad de drenaje; RR, relación de relieve. Traducido y modificado de Patton y Baker (1976).

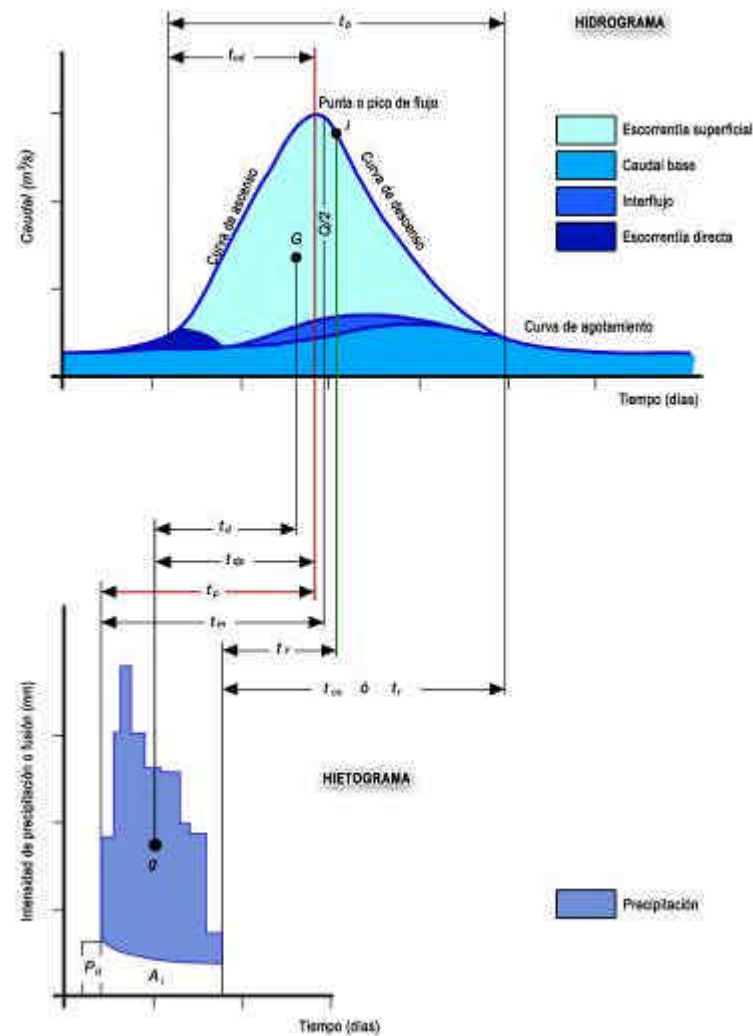
Región	Ecuación para calcular Q_{max}	R ²	Probabilidad
Texas Central	$17,369 \cdot M^{0,43} \cdot HD^{0,54} \cdot F_1^{-0,06}$	0,85	0,001
	$36,650 \cdot M^{0,64} \cdot RR^{0,54} \cdot Dd^{-1,68}$	0,74	0,01
California meridional	$155 \cdot M^{1,04} \cdot HD^{-0,03} \cdot F_1^{-0,73}$	0,85	0,001
	$380 \cdot M^{0,49} \cdot Dd^{-1,07}$	0,86	0,0001
Utah centro-septentrional	$23 \cdot M^{0,80} \cdot HD^{1,19} \cdot F_1^{-1,38}$	0,72	0,005
	$38,618 \cdot M^{2,20} \cdot RR^{2,51} \cdot F_1^{-4,73}$	0,83	0,005
Indiana	$424 \cdot M^{0,46} \cdot HD^{0,73} \cdot F_1^{0,21}$	0,67	0,01
	$424 \cdot M^{0,02} \cdot RR^{0,67} \cdot Dd^{0,56}$	0,66	0,05
Meseta de los Apalaches	$100 \cdot M^{0,79} \cdot HD^{0,19} \cdot F_1^{-0,29}$	0,92	0,0001
	$38 \cdot M^{0,02} \cdot Dd^{-0,50}$	0,91	0,0001

4. CALIBRACIÓN DE MODELOS



Estimación de cuantiles en puntos no aforados
Modelos de regresión múltiple para las regiones

MODELO DE REGRESIÓN	R ² _{adj}	SEr(%)
Región Tajo Occidental		
$Q_2 = 10^{-4.5483} A^{0.8846} P_2^{2.0408} H^{0.2406}$	0.95	40.63
$Q_5 = 10^{-3.7796} A^{0.8623} P_5^{1.5003} H^{0.3545}$	0.96	37.99
$Q_{10} = 10^{-3.3602} A^{0.8419} P_{10}^{1.1913} H^{0.4451}$	0.97	37.25
$Q_{25} = 10^{-3.0472} A^{0.8317} P_{25}^{0.9589} H^{0.5261}$	0.96	37.89
$Q_{100} = 10^{-2.7851} A^{0.8231} P_{100}^{0.8521} H^{0.5424}$	0.96	38.47
$Q_{500} = 10^{-2.5743} A^{0.8148} P_{500}^{0.7780} H^{0.5565}$	0.94	38.94



GEOMORFOLOGÍA

Tabla 3.1
Valores medios del parámetro Po (mm)

Uso de la tierra	Pendiente %	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
	< 3	N	17	11	8	6
		R/N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6
	< 3	N	25	16	11	8
		R/N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
	< 3	N	32	19	12	10
		R/N	34	21	14	12
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
	< 3	N	28	17	11	8
		R/N	30	19	13	10







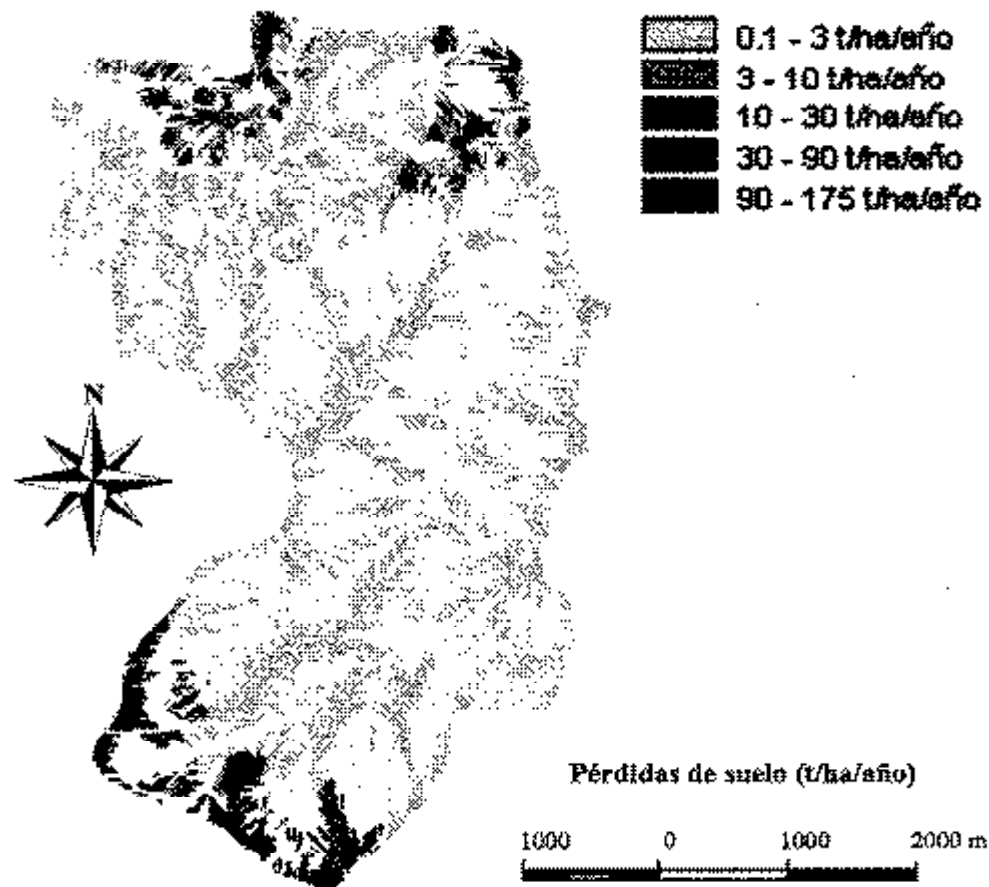
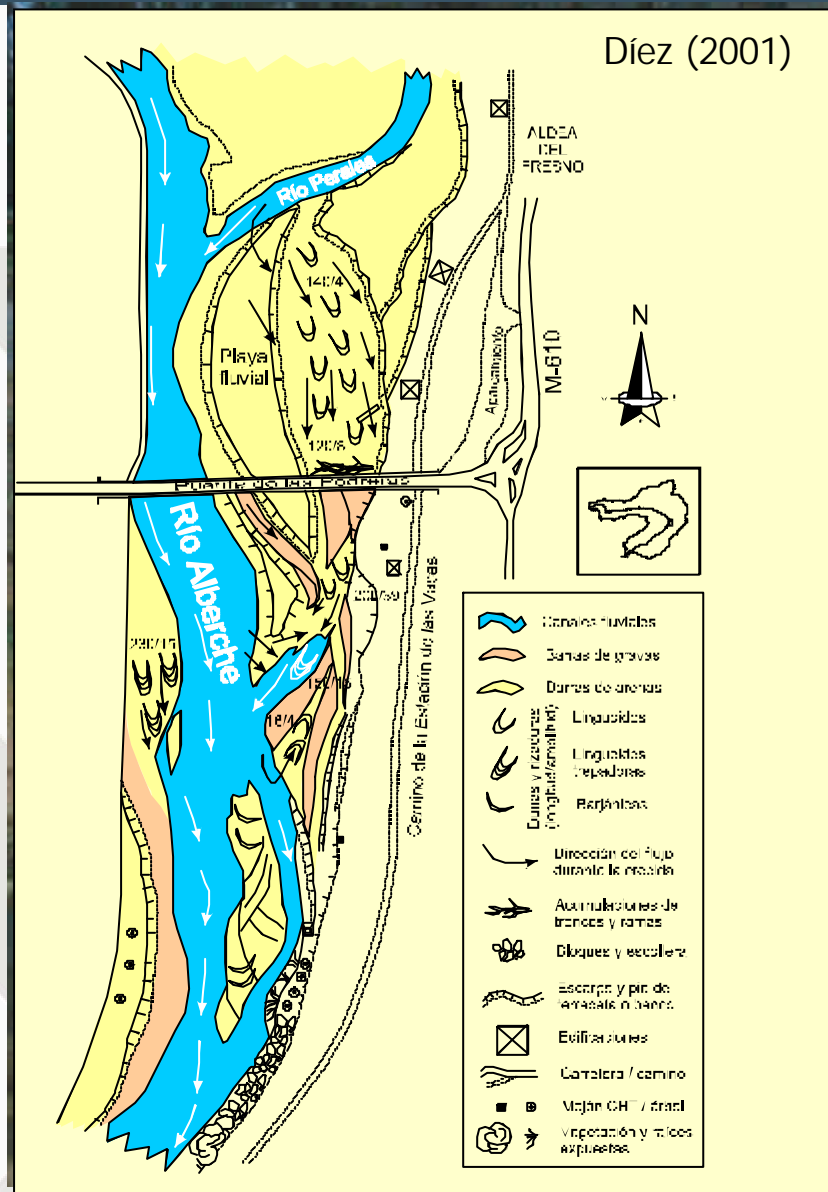


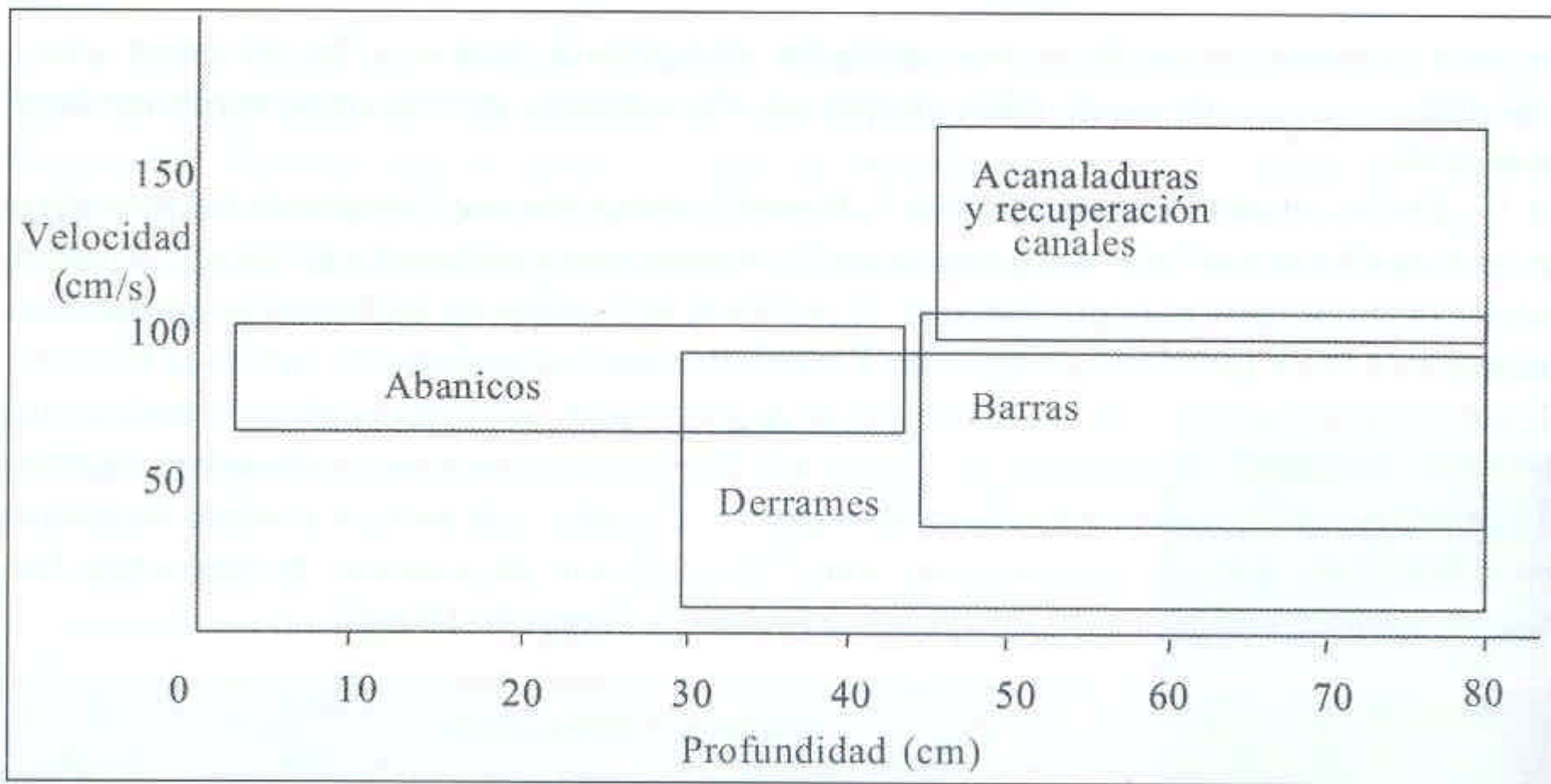
Figura 7. Pérdidas medias anuales de suelo (resultados en t/ha/año) por erosión potencial bruta para la cuenca vertiente al embalse de Puente Alta

Figure 7. Average annual soil loss (t/ha/year) by gross erosion for the drainage basin to the Puente Alta reservoir

Bodoque et al. (2001)







Ortega y Garzón (2006)

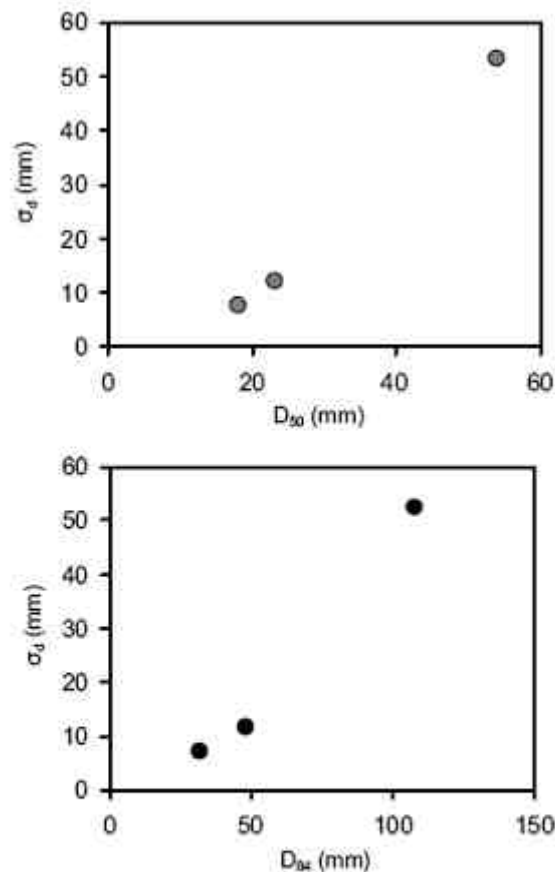
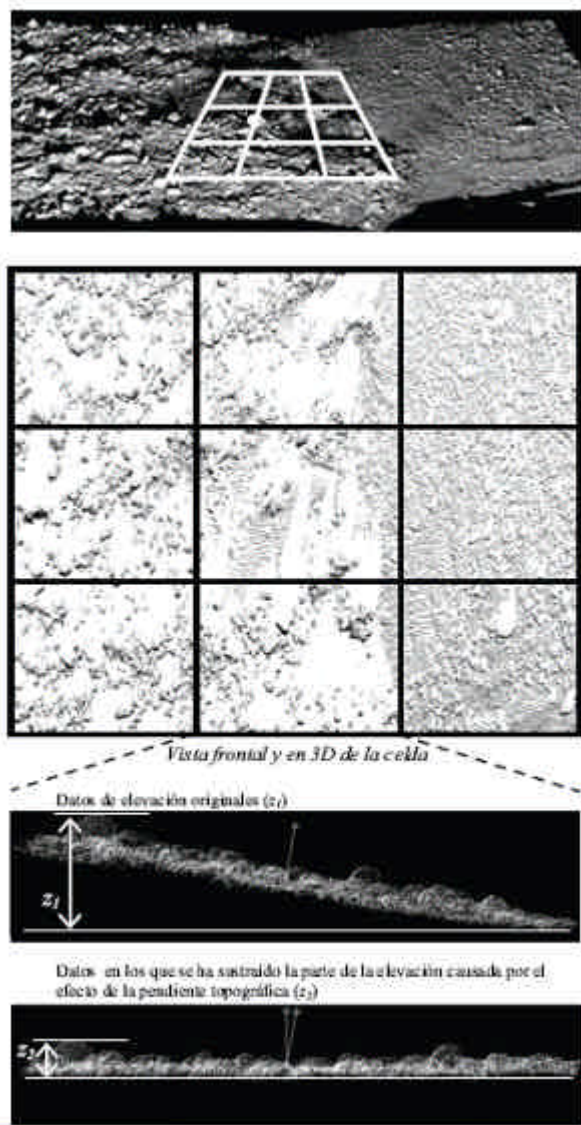


Fig. 4. Relación entre la desviación estándar corregida (σ_d) y los percentiles granulométricos (50 diagrama superior y 84 diagrama inferior) de las zonas de control/mesura.



Fig. 5. Rio Feshie (2006-2007): mapas de rugosidad relativa derivados a partir de la relación presentada en la figura 5 (i.e. D_{50}).

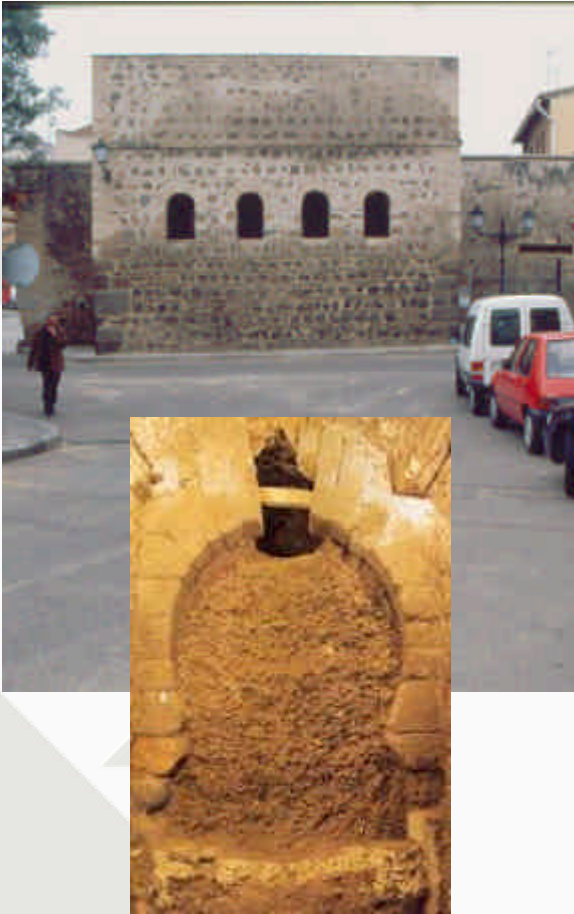
Vericat et al. (2008)

5. Integración de fuentes de datos y métodos geomorfológicos con otros métodos

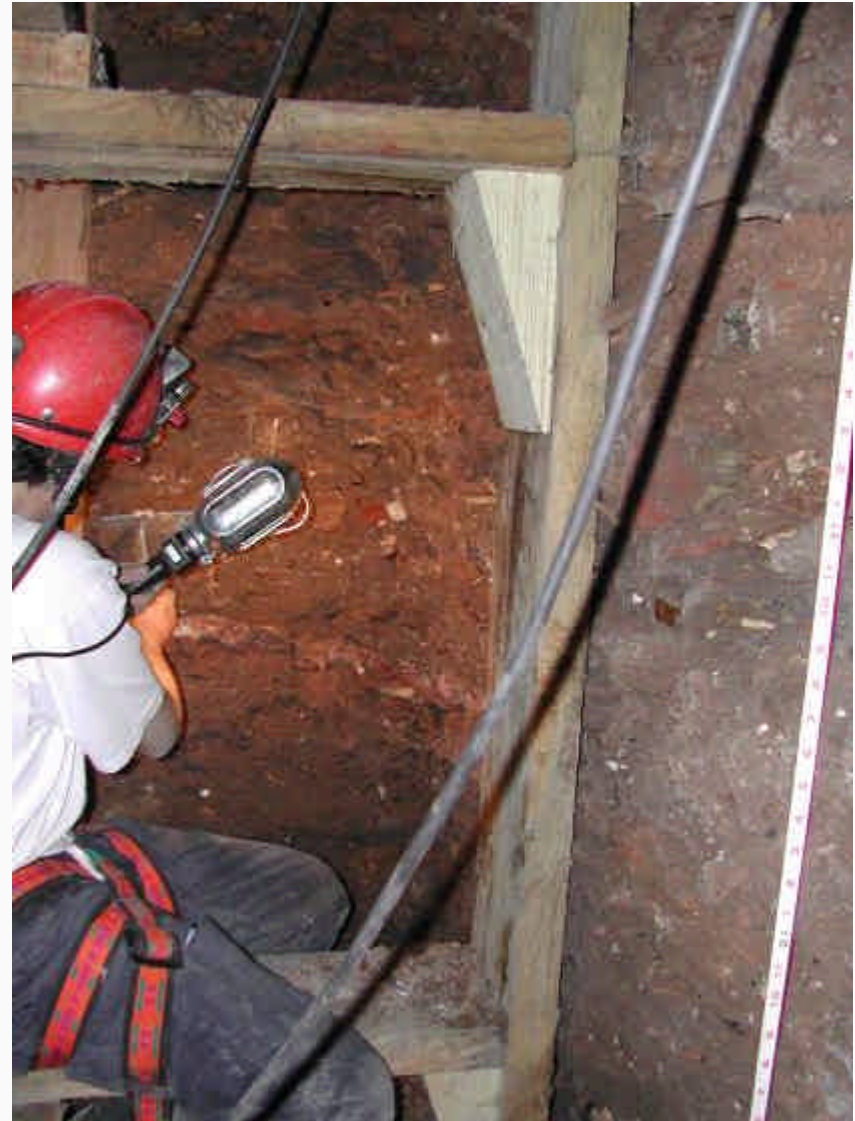
- Integración métodos geomorfológico e histórico
- Integración métodos geomorfológico e hidrológico-hidráulico
- Tablas utilidad-método-elementos vs escala



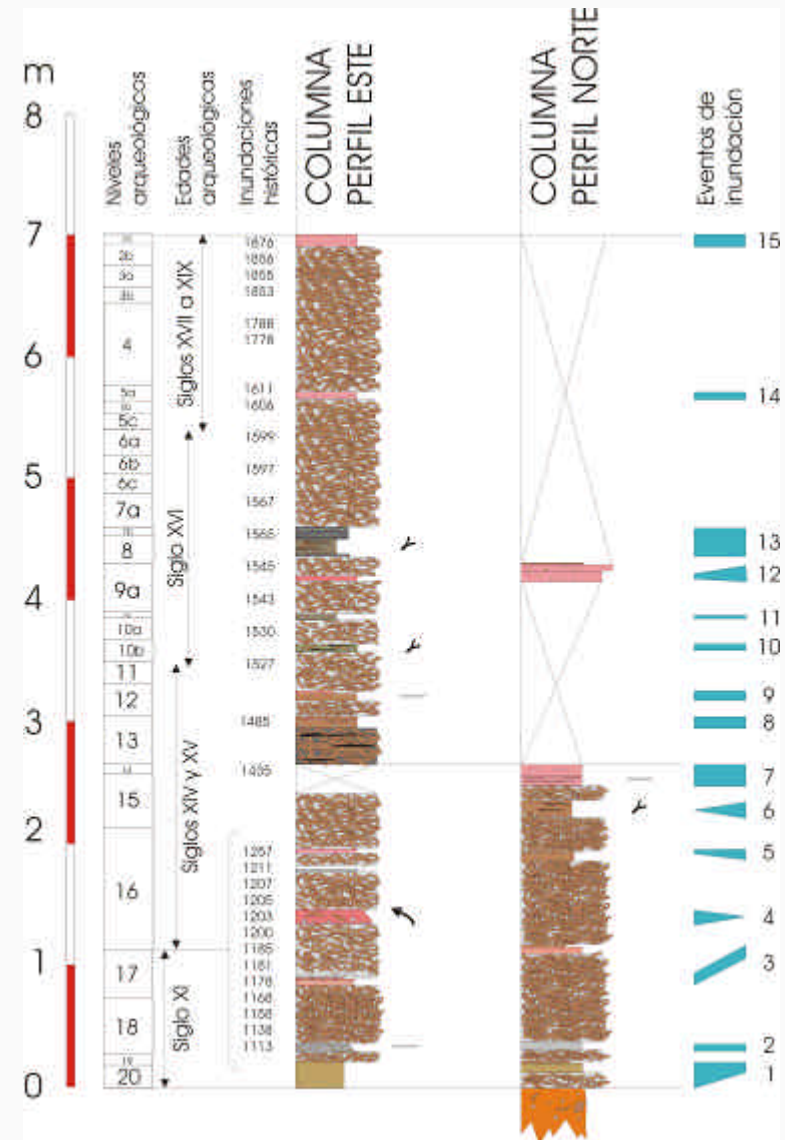
5. INTEGRACIÓN DE MÉTODOS





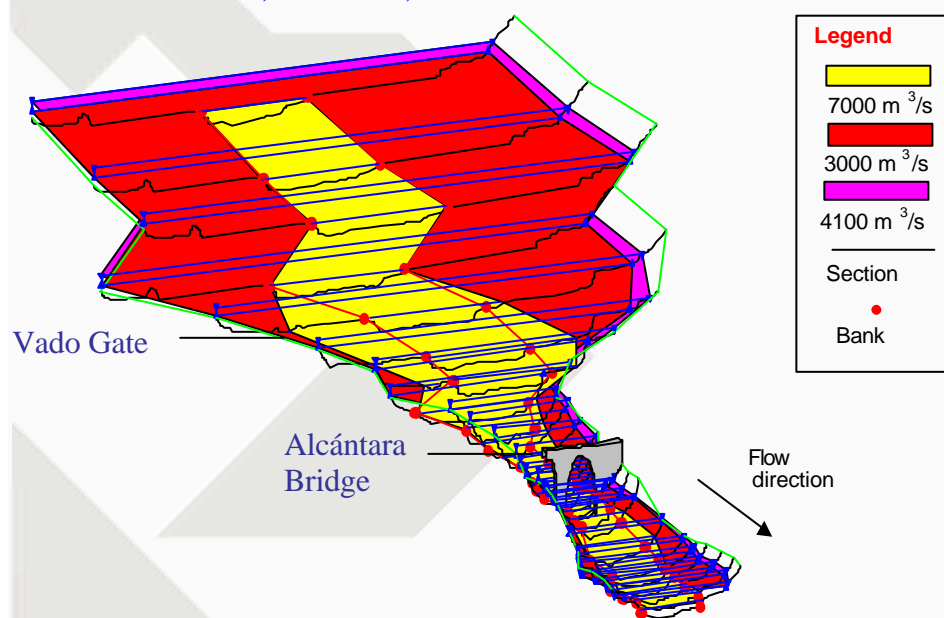


5. INTEGRACIÓN DE MÉTODOS

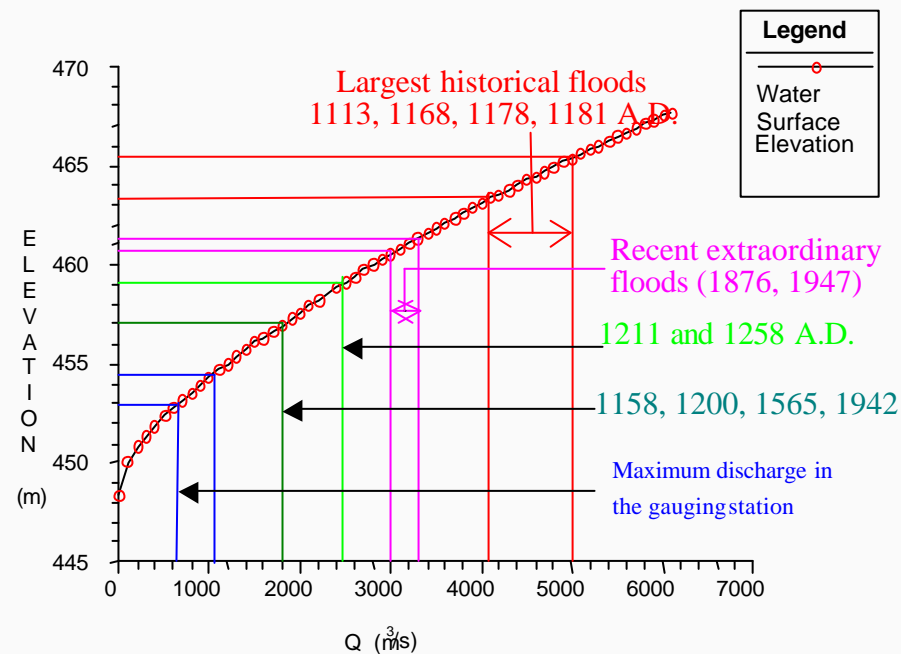


Fuente: Uribe Larrea et al. (2004) y Díez-Herrero et al. (2005)

TAJO RIVER, TOLEDO, ALCÁNTARA BRIDGE



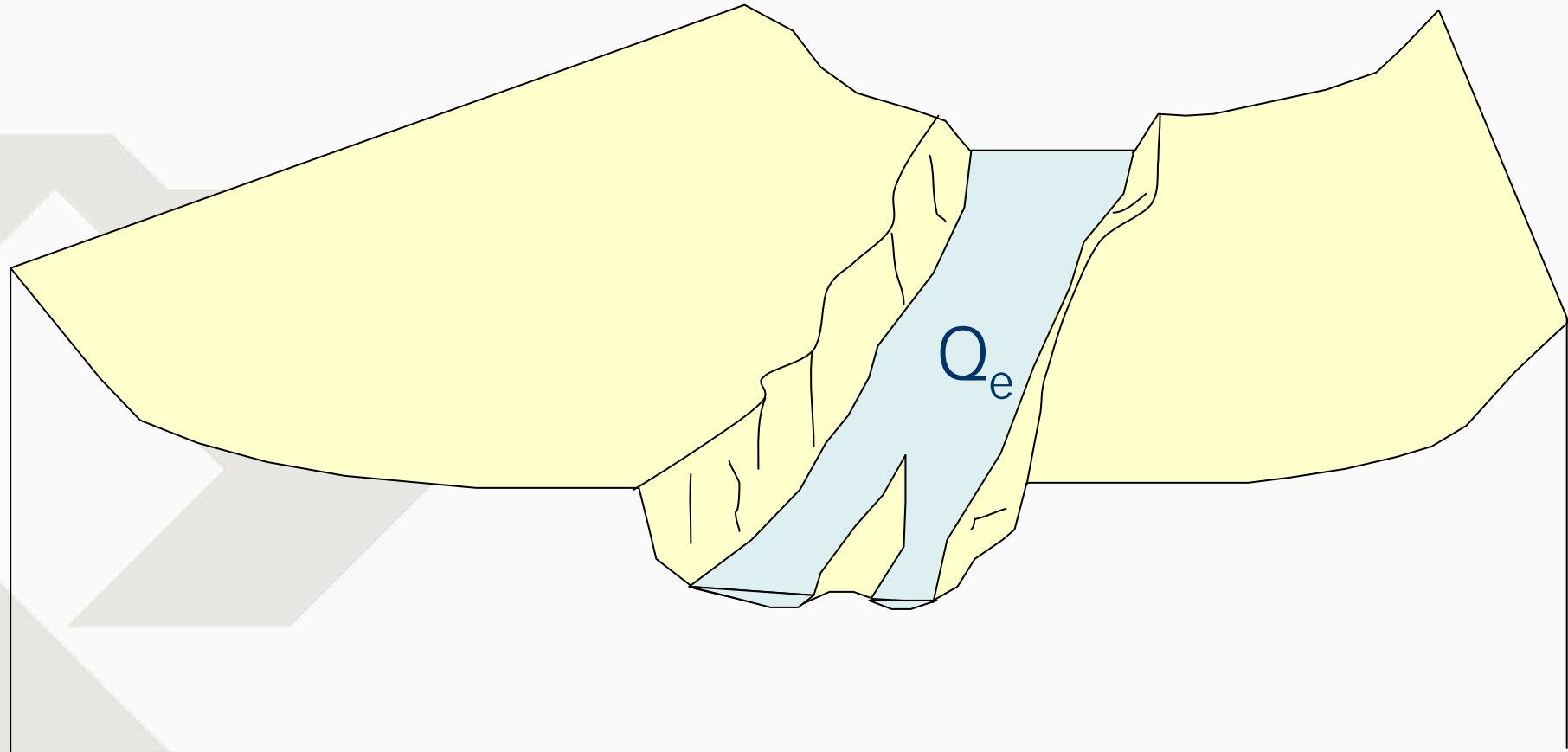
RATING CURVE, TAJO RIVER, TOLEDO, VADO GATE



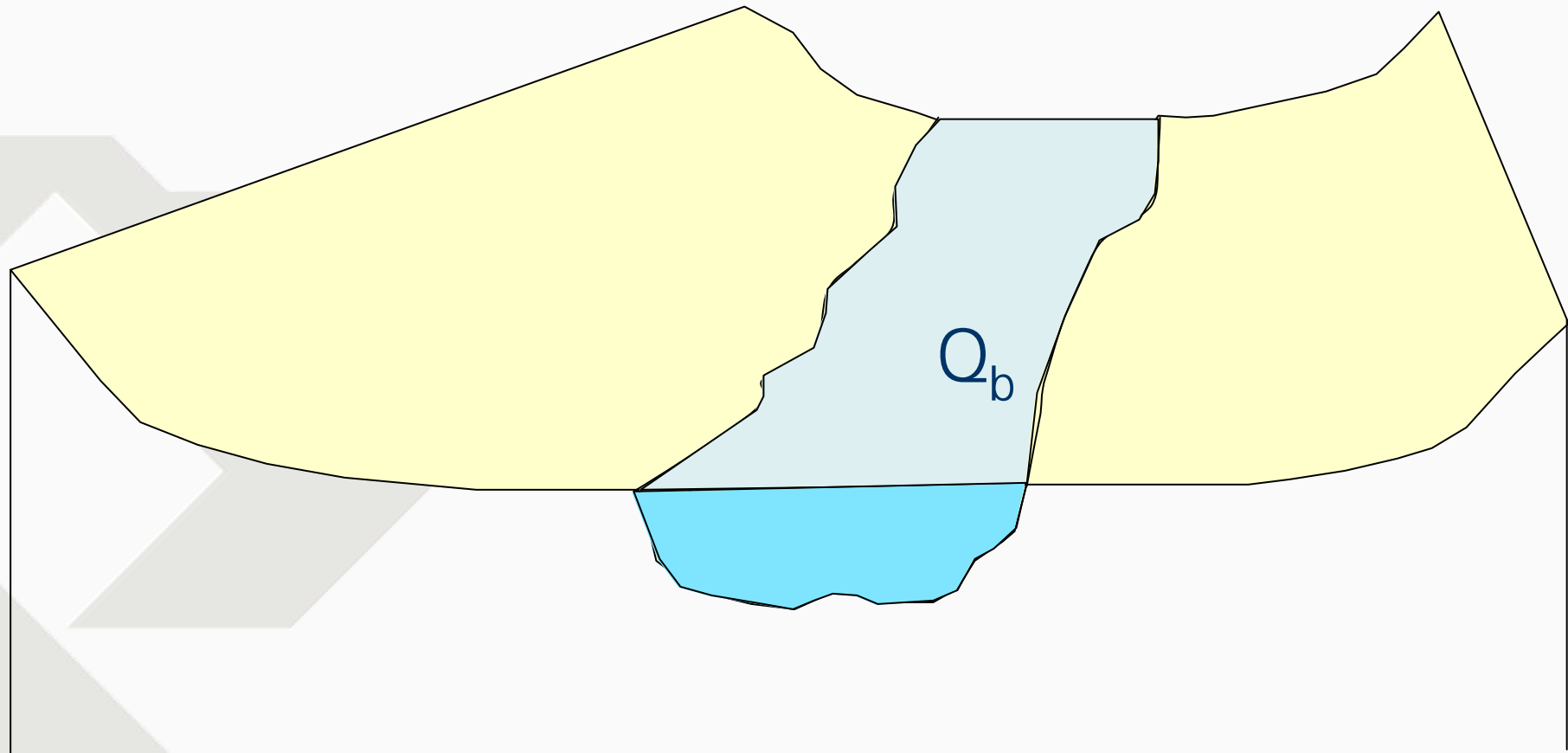
Fuente: Uribe Larrea et al. (2004) y Díez-Herrero et al. (2005)



5. INTEGRACIÓN DE MÉTODOS

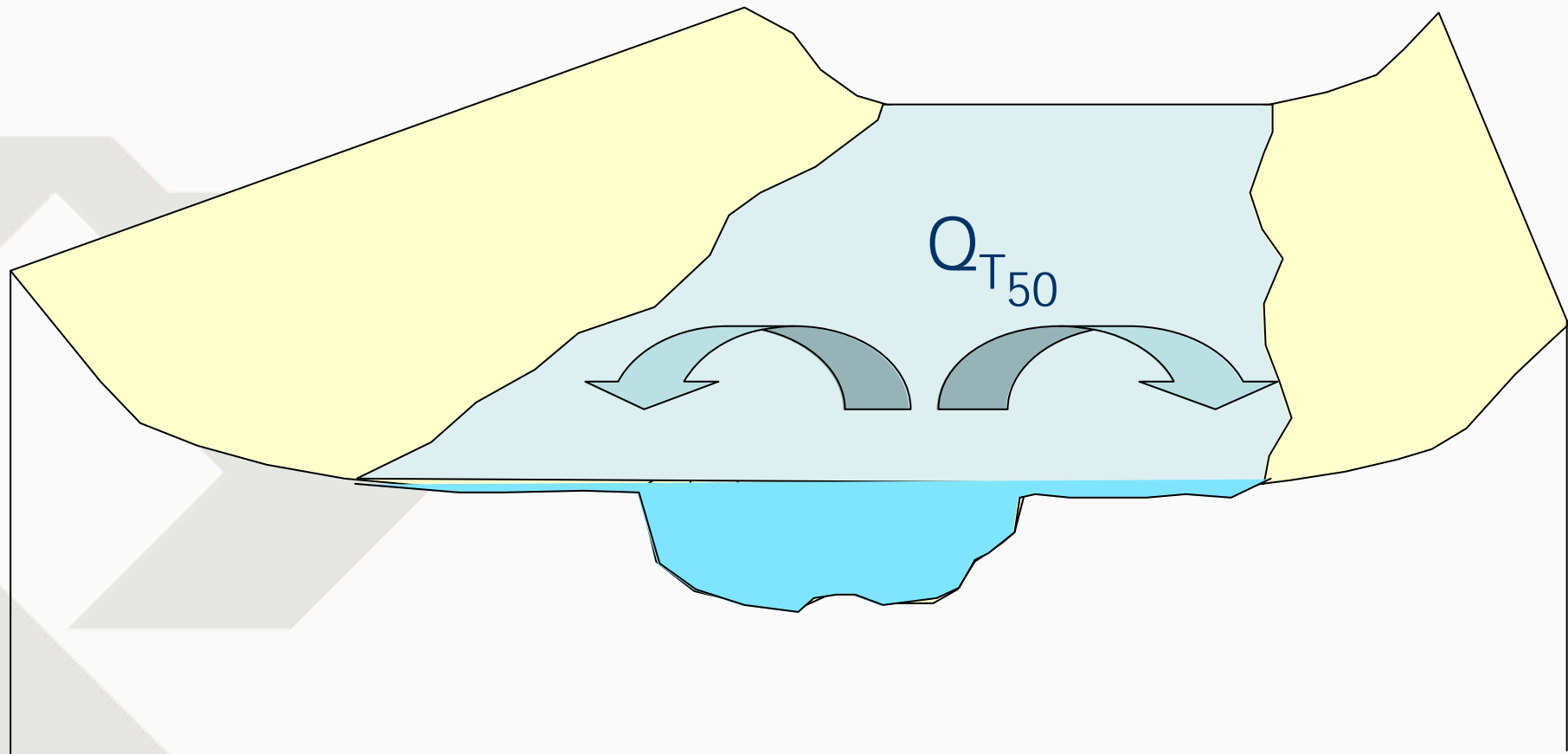


Caudal base
Caudal de estiaje
Caudal de aguas bajas



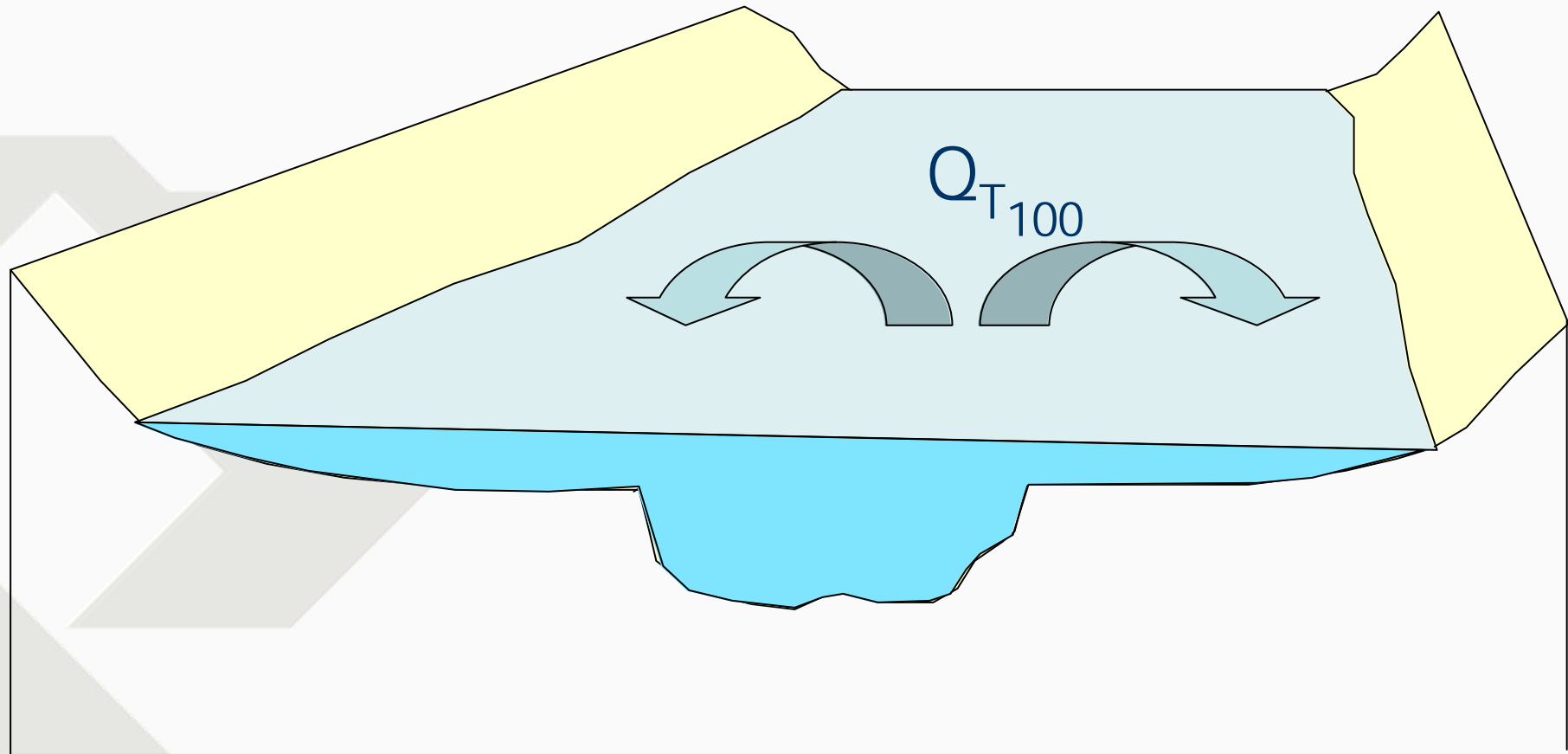
Caudal de bancos llenos (*bankfull discharge*)
Caudal formador o generador
Caudal de aguas altas

Caudal de desbordamiento
Máxima crecida ordinaria (MCO)



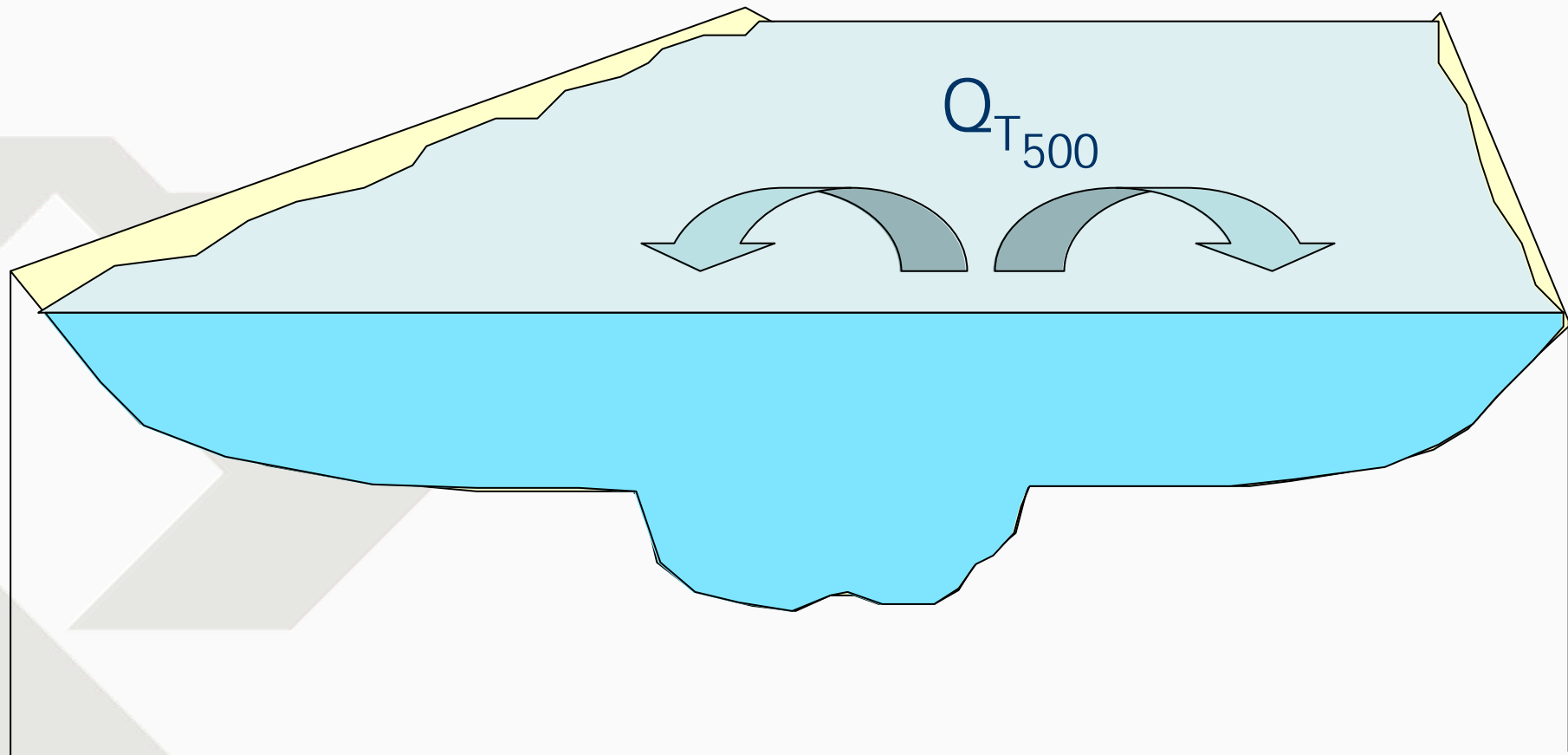
Caudal de periodo de retorno de 50 años

Avenida frecuente



Caudal de periodo de retorno de 100 años

Avenida ocasional

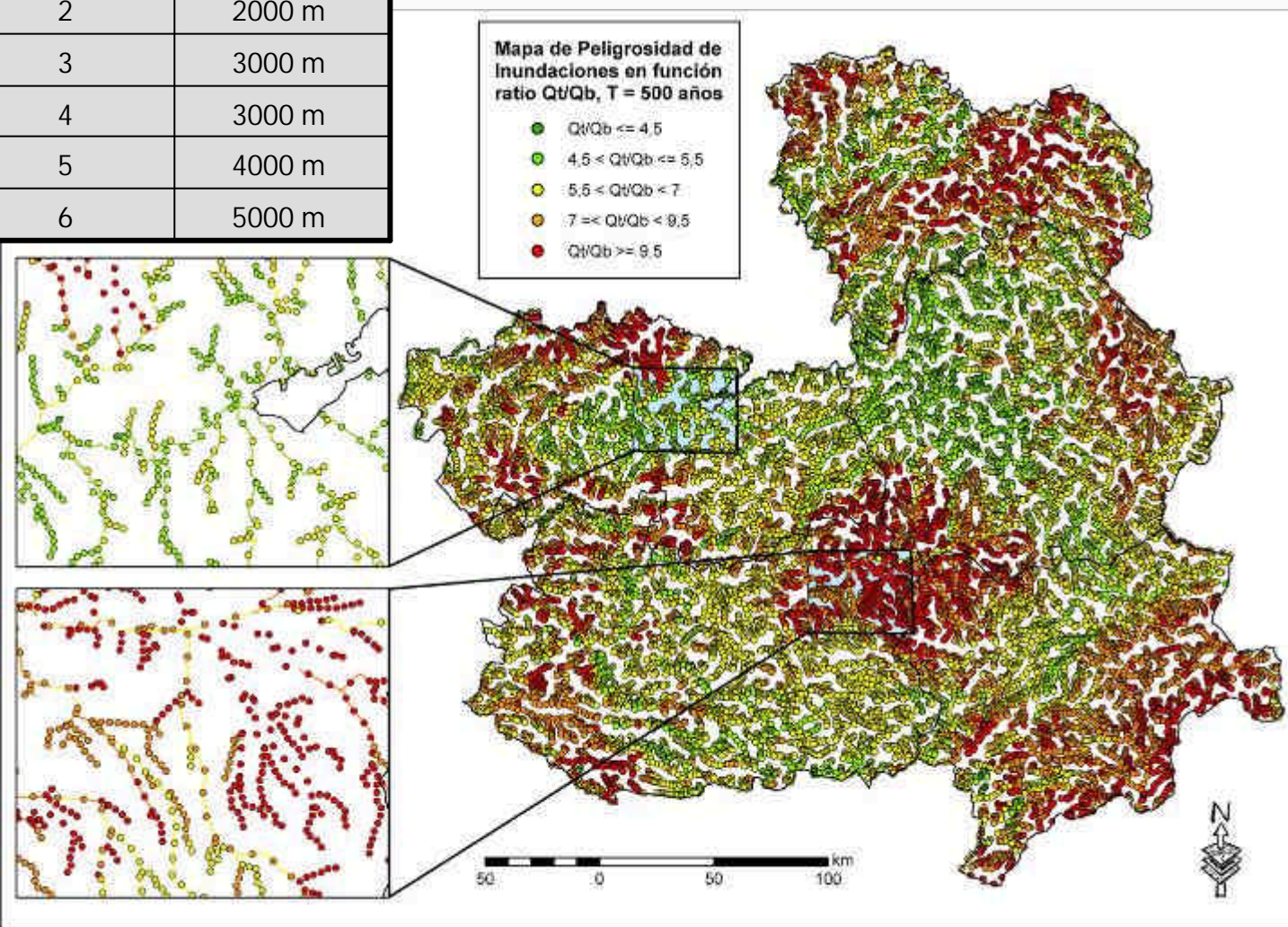


Caudal de periodo de retorno de 500 años






Avenida excepcional

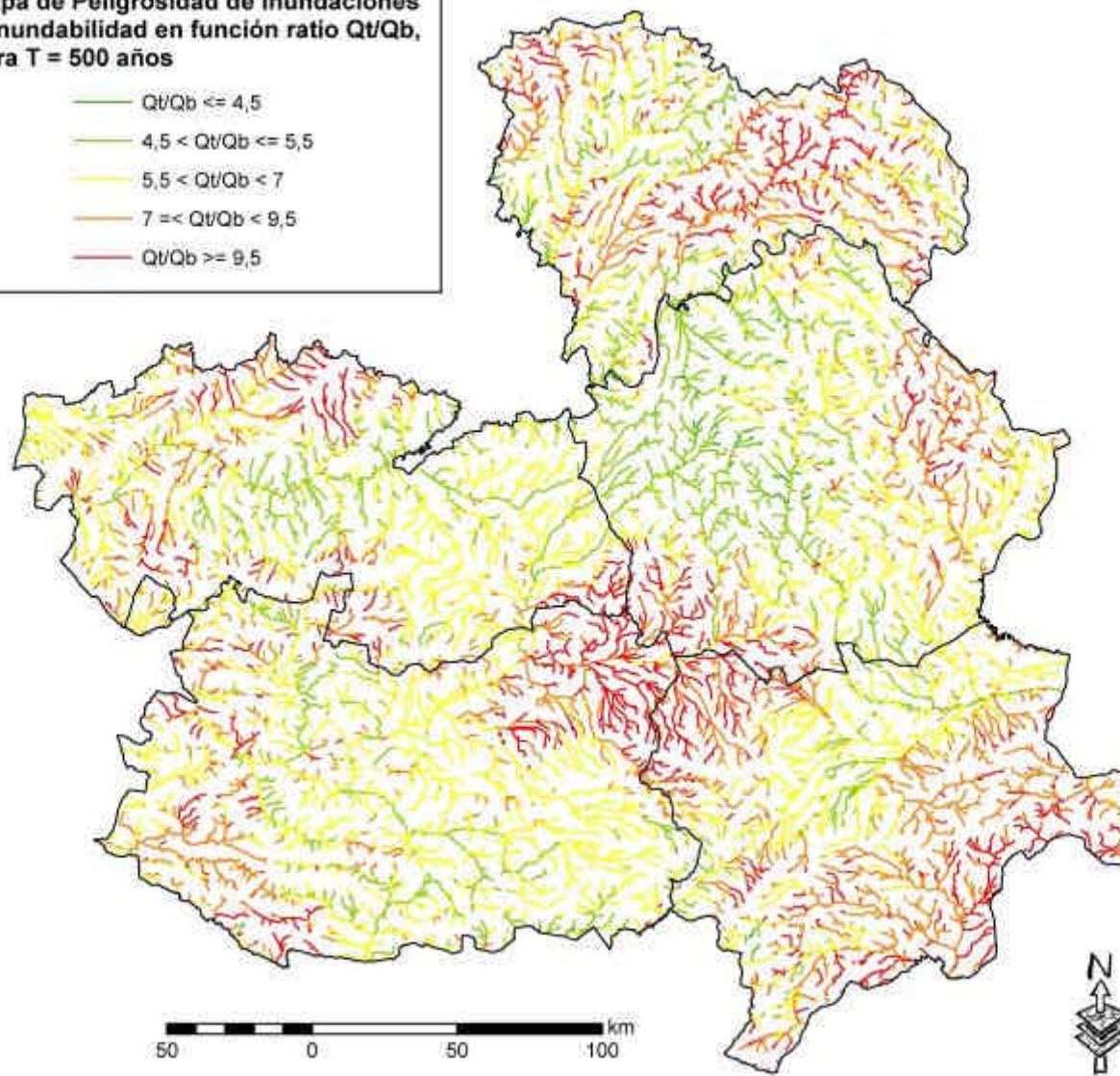
5. INTEGRACIÓN DE MÉTODOS

Orden	Distancia
1	1000 m
2	2000 m
3	3000 m
4	3000 m
5	4000 m
6	5000 m

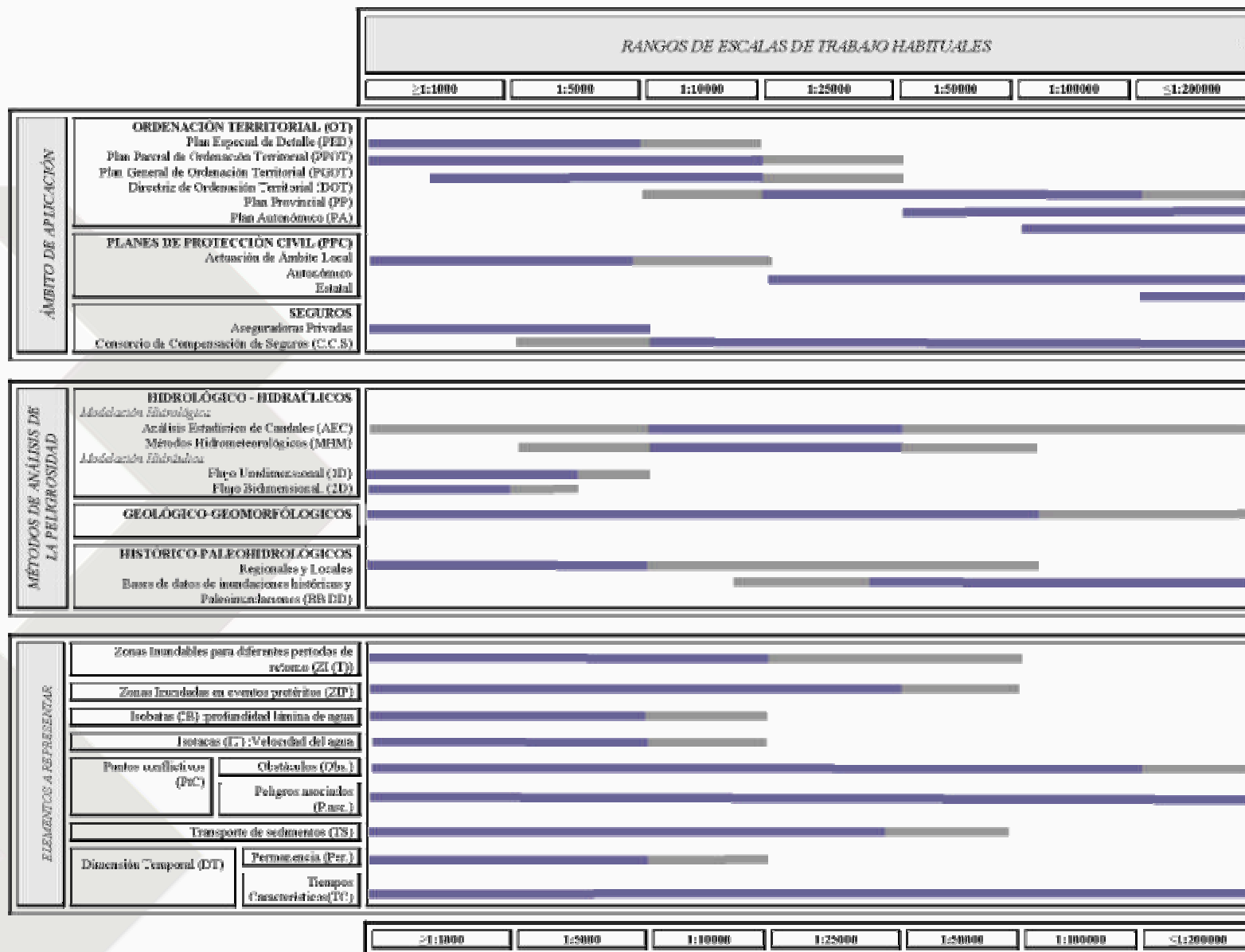


**Mapa de Peligrosidad de Inundaciones
o Inundabilidad en función ratio Q_t/Q_b ,
para $T = 500$ años**

-  $Q_t/Q_b \leq 4,5$
-  $4,5 < Q_t/Q_b \leq 5,5$
-  $5,5 < Q_t/Q_b < 7$
-  $7 \leq Q_t/Q_b < 9,5$
-  $Q_t/Q_b \geq 9,5$



5. INTEGRACIÓN DE MÉTODOS

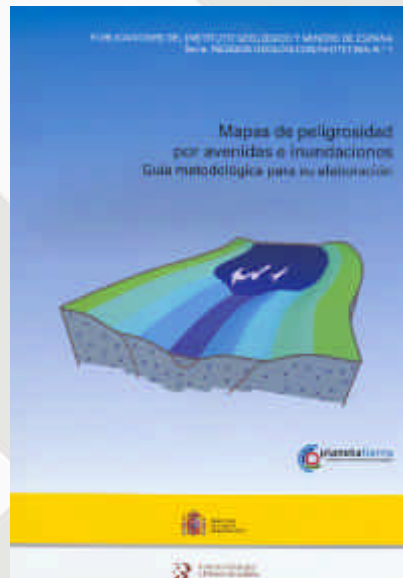


1. Las fuentes de datos y criterios geomorfológicos, lejos de la imagen de métodos cualitativos y subjetivos que tenían antaño, se muestran ahora como herramientas imprescindibles para complementar, calibrar y validar el resto de criterios técnicos de análisis de la peligrosidad por avenidas e inundaciones.
2. La Directiva Europea de evaluación y gestión de los riesgos de inundaciones, la modificación del Reglamento del Dominio Público Hidráulico y las Guías del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, se hacen eco de la necesidad de incorporar estas fuentes de datos y criterios geomorfológicos.
3. Los criterios geomorfológicos son los únicos capaces de contemplar la evolución espacio-temporal de los sistemas fluviales, la morfodinámica y el papel del cambio global sobre el riesgo de inundaciones.

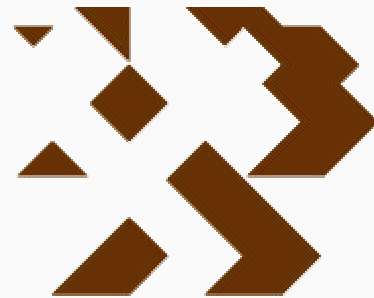


F.J. AYALA-CARCEDO y J. OLCINA CANTOS (Coords.) (2002), **Riesgos Naturales**. Editorial Ariel, Ariel Ciencia, 1ª edición, 1512 págs., Barcelona. ISBN 84-344-8034-4. D.L.: B 40.944-2002.

DÍEZ HERRERO, A. (2002): Condicionantes geomorfológicos de las avenidas y cálculo de caudales y calados.



DÍEZ, A.; LAIN, L. y LLORENTE, M. (2008). **Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones. Guía metodológica para su elaboración**. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Serie Riesgos Geológicos/ Geotecnia nº 1, 190 págs., Madrid.



Instituto Geológico
y Minero de España