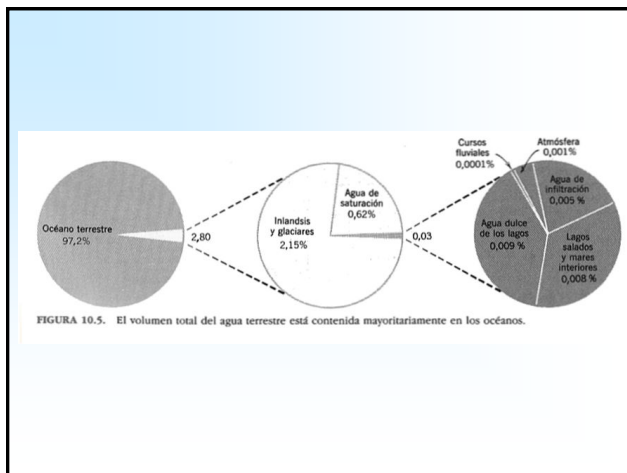




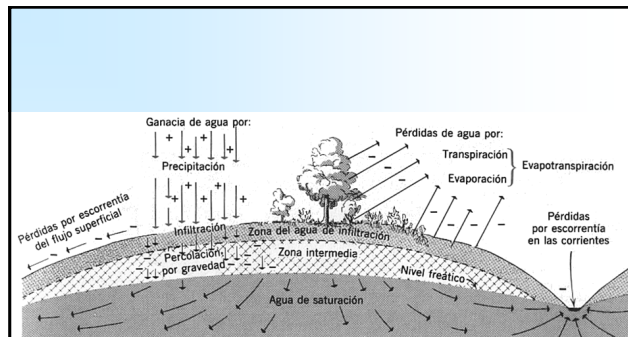
**Temas:**

- Dinámica del agua sobre la superficie de la tierra.
- Propiedades físicas del agua y tipos de flujo.
- El sistema fluvial. Tipos de cuencas. Procesos de erosión, transporte y de acumulación. Nivel de base y Perfil de equilibrio.
- Procesos aluviales en zonas de montaña, piedemonte y llanura; sistemas morfológicos resultantes .
- Los lechos fluviales y su trazado. Clasificación de los sistemas fluviales. Dinámica y morfologías resultantes en Ríos Rectos, Entrelazados y/o Anastomosado y Meandrosos. Variables y cambios en un sistema fluvial.
- Terrazas fluviales, génesis y clasificación.
- Abanicos Aluviales, morfología, tipos de depósitos, zonación interna, evolución y relaciones geomorfológicas.
- Lagos. Definición, clasificación y tipos de lagos. Elementos morfológicos principales.





**FIGURA 11.12.** Flujo superficial que desciende por las laderas de la cabecera de un sistema hidrográfico, aporta agua y sedimentos a la incipiente red de canales.



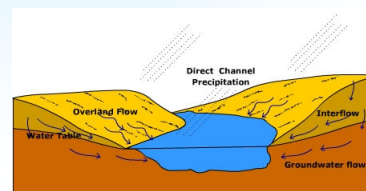
**FIGURA 10.6.** La zona del agua de infiltración ocupa una importante posición dentro del ciclo hidrológico.

## Agua de escorrentía superficial

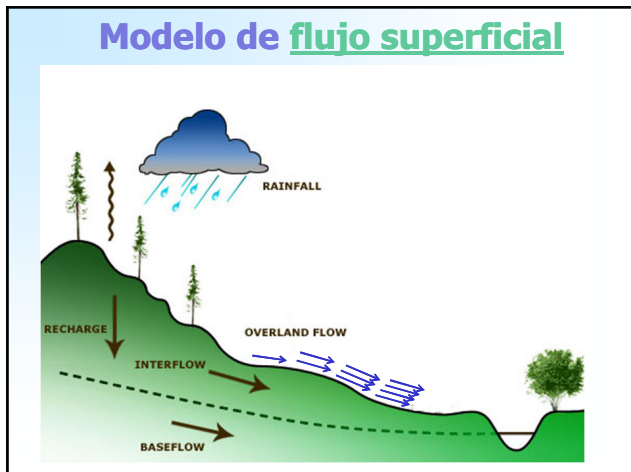
- Capacidad de infiltración suelo
  - Intensidad y duración de la precipitación
  - Estado de humedad previa del suelo
  - Textura
  - Pendiente del terreno
  - Cubierta vegetal

## Modelos de escorrentía

- Modelo de **flujo superficial** (overland flow). (*Horton, 1945*)
- Modelo de **flujo por exceso de saturación** (through flow). (*Kirkby, 1978*)



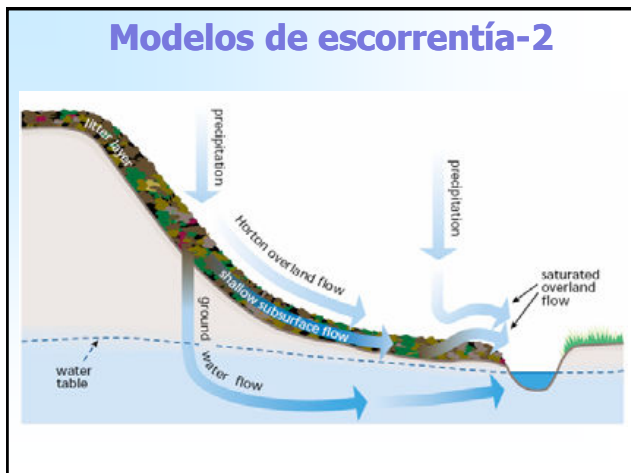
### Modelo de flujo superficial



### flujo por exceso de saturación



### Modelos de escorrentía-2



### Modelos de escorrentía - 3

- En las laderas de colinas sin vegetación y en la tierra utilizada para cultivos, la escorrentía tiende a ser de tipo hortoniano (Kirkby, 1980),
- Se produce cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la tasa de infiltración del suelo (Bergsma, 1996).
- Cuando el flujo es generado por la disminución de la tasa de infiltración por efecto de un nivel freático ascendente, se lo denomina "flujo superficial de saturación" (saturation overland flow).

## Tipos de circulación en la fase de ladera

- Fase de encharcamiento
- Fase de flujo en lámina (sheet flow), flujo en manto o escorrentía difusa
- Fase de escorrentía concentrada en microcanales móviles
  - Acanaladuras (rills)
  - Cordones o lazos (braids)

### Fase de encharcamiento



### Flujo "laminar" o escorrentía difusa

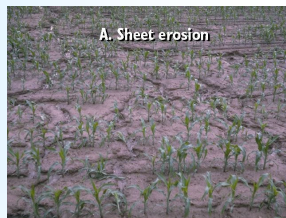


FIGURA 11.11. Flujo superficial distribuido por una suave pendiente poco después de una intensa tormenta. La agua fluye en pocas líneas entre la escorrentía y la cresta en dirección del flujo de la corriente (Foto: Soil Conservation Service).

### Escorrentía concentrada en microcanales móviles



Acanaladuras (rills)







Sistemas de cárcavas en La Carolina



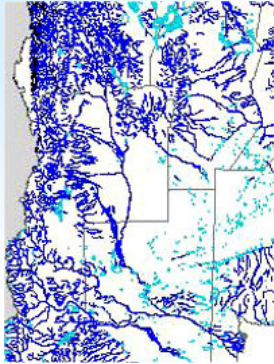
Figure 3. Idealised fluvial system, from Schumm (1977).

En un sistema fluvial se pueden diferenciar tres partes principales:

- 1) **Sistema colector:** consiste de una red de tributarios en la región de cabecera, que colecta y concentra el agua y los sedimentos al curso principal.
- 2) **Sistema de transporte:** el tronco principal de la corriente, el cuál funciona como desagüe a través de la cuál el agua y el sedimento se mueve hacia el océano.
- 3) **Sistema de dispersión:** Consiste de una red de distributarios en la desembocadura de un río, donde los sedimentos y el agua son dispersados en el océano, lago o cuenca interna.



### Ejemplo de cuenca arreica Cuenca del Río Quinto (San Luis)



### Contexto canalizado

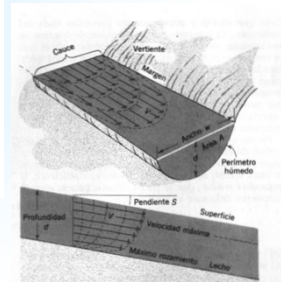
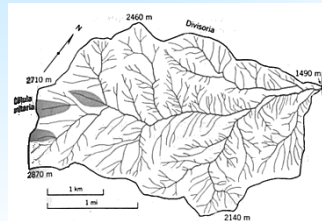


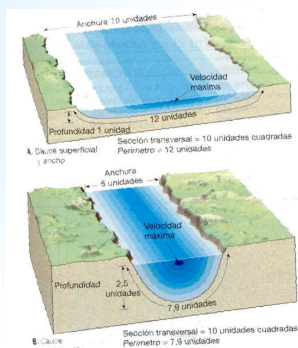
FIGURA 11.14. El movimiento de una corriente en su cauce, es más rápido en las partes centrales y en puntos próximos a la superficie.

### Contexto fluvial canalizado

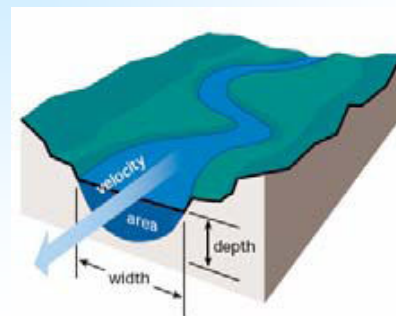
#### Caudal

Cantidad de agua que atraviesa un determinado punto en una unidad de tiempo concreto ( $m^3/seg$ ).

$$Q \text{ (m}^3\text{/seg)} = \text{anchura del cauce (m)} \times \text{profundidad (m)} \times \text{velocidad (m/seg)}$$



### Ecuación de continuidad





## Caudal y régimen hídrico

- Clima: precipitación y evaporación
- Vegetación: Intercepción y transpiración
- Suelo-substrato: capacidad de infiltración y almacenamiento



- Crecidas o avenidas
- Periodos de estiaje

Tomado de Ramonell y Amsler, 2000

## Tipos de cursos fluviales

Según persistencia del agua en superficie:

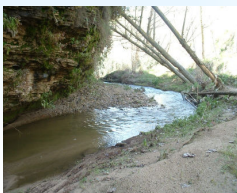
- **Permanentes o perennes:** cursos que tienen agua durante todo el año.
- **Estacionales:** cursos que dejan de fluir en períodos muy secos. Generalmente presentan lechos permeables y durante los períodos secos el agua se pierde a través de los poros pasando al agua subterránea
- **Intermitentes:** En algunos casos el agua se presenta por sectores, debido a obstáculos del subálveo que hace que el agua aflore.
- **Efimeros:** cursos que tienen agua durante la época de lluvias. Solo corre agua en respuesta a una precipitación.

## Propiedades físicas del agua Tipos de flujo

- Clasificación cinemática
  - Flujo estacionario o permanente
  - Flujo uniforme
  - Flujo variable y variado
- Clasificación estructural
  - Laminar, transicional y turbulento ( $N^{\circ}$  Reynolds)
  - Tranquilo o lento, crítico y rápido o supercrítico ( $N^{\circ}$  Froude)

### Acciones elementales en una corriente fluvial

- La erosión
- El transporte
- La sedimentación



### Erosión fluvial

“Arranque de los materiales debido al agua más la carga movilizada”

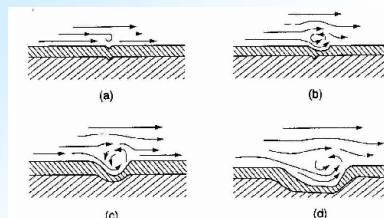
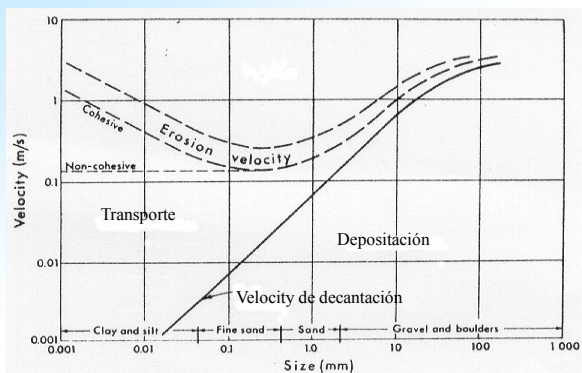


Figure 1. Schematic of barulent eddy mechanism for downstream undercutting of erosion-corrosion pits.

- El entrapamiento de las partículas ocurre solo si el esfuerzo cortante aplicado sobre la partícula es mayor que su resistencia al movimiento.
- El esfuerzo aplicado por el fluido depende principalmente de la velocidad del fluido

### Diagrama de Hjulstrom



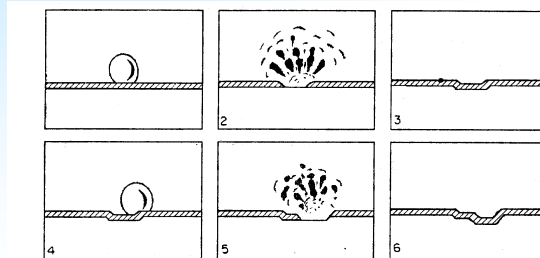
### Factores que determinan la eficacia de la erosión fluvial

- Propiedades del flujo (régimen de caudales, velocidad, tipo de flujos)
- Litología que forma el conducto (cohesión)
- Clima
- Condiciones del subsuelo (percolación, sufusión, humedad)
- Geometría del colector
- Actividad antrópica

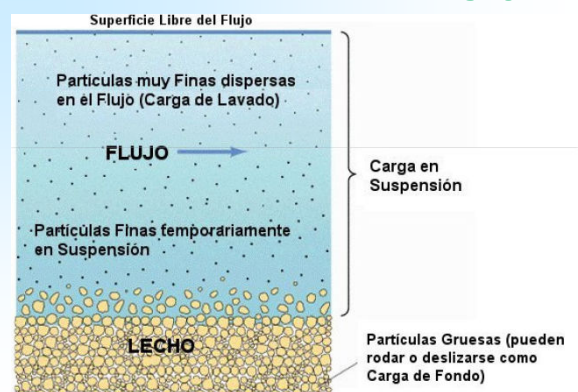
### Procesos de erosión fluvial

- **Acción del agua en "si misma":** roces o choques por interferencia con las paredes del lecho que dan lugar a tensiones de arrastre-empuje
  - **Acción hídrica:** tensión permanente del agua
  - **Cavitación:** sobrepresión debido a ondas expansivas
- **Acción del agua en conjunción con la carga**
  - **Acción Química (corrosión)**
    - ✓ Oxido reducción, hidrólisis, disolución
  - **Acción Física (abrasión-atricción)**
    - ✓ Roturas, desgastes y a veces arranques

### Cavitación



### TRANSPORTE

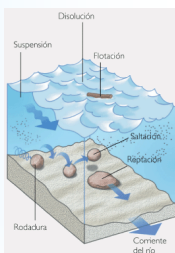


### Proveniencia del material transportado

Tipo de caudal sólido	Medio de transporte	Origen
Carga de lavado	Suspensión	Erosión en la cuenca Erosión en márgenes (partículas finas)
Carga de fondo	Acarreo Saltación	Erosión en el cauce Erosión en márgenes (partículas gruesas)

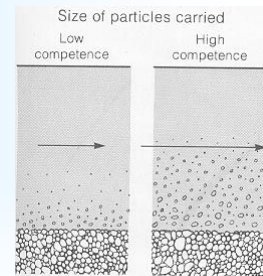
## TRANSPORTE

- **En solución:** como carga disuelta (iones) aportados por la meteorización ;( $\text{HCO}_3^-$ ),  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$
- **En suspensión:** normalmente corresponde a partículas orgánicas o minerales  $< 0,064$  mm (coloides, limo o arcilla). El tamaño máximo puede aumentar considerablemente con cambios en la velocidad, turbulencia, densidad y/o viscosidad del agua.
- Como **carga de fondo:** clastos que no pueden ser llevados en suspensión. Se mueven por rodamiento o rolido, arrastre-deslizamiento y saltación



## Competencia de un curso fluvial

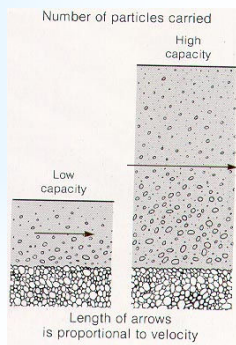
- El tamaño máximo de las partículas que puede transportar un río se denomina competencia y está en relación con la velocidad y refleja la máxima energía del flujo.
- La relación entre el aumento de la velocidad de erosión y el tamaño de las partículas está regida por la llamada ley de la sexta potencia. Según ésta, el incremento de la masa de las partículas será equivalente al de la velocidad elevada a la sexta potencia. Por ejemplo, si la velocidad se incrementa en cuatro, la masa de la partícula mayor que puede ser arrastrada, aumentará en 4 elevado a la sexta, es decir, 4.096 veces. Esta relación proporcional se emplea para determinar la competencia de un río, para cualquier velocidad crítica de erosión.



## Capacidad de un curso fluvial

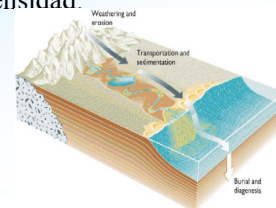
### Capacidad:

Es la máxima cantidad de detritos de un tamaño determinado que una corriente puede transportar en tracción como carga de fondo



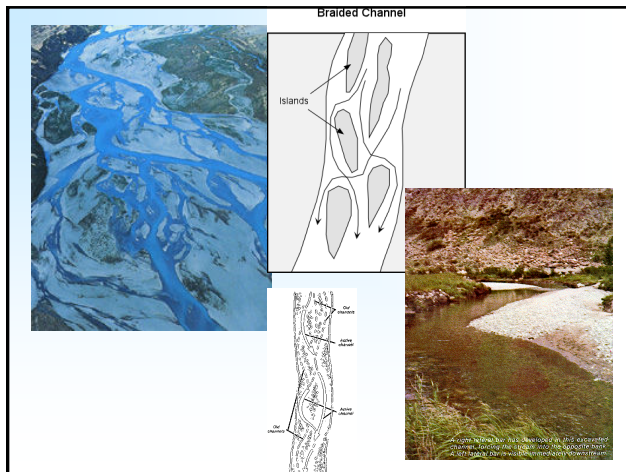
## Sedimentación

- Diferentes modos de transporte resultan en diferentes grados de movilidad de las diferentes fracciones de tamaños, lo que a su vez produce la clasificación de los sedimentos de acuerdo al tamaño de las partículas, forma y densidad.



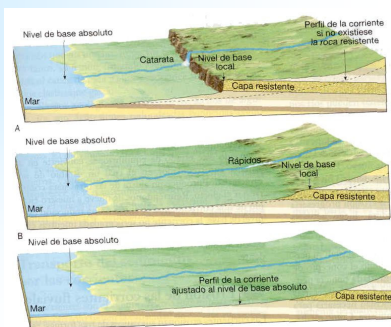
## Sedimentación

- **Precipitación:** cambios en el producto de solubilidad de las sustancias disueltas
- **Decantación:** pérdida de sustentación cuando la corriente disminuye la velocidad en remansos
- **Abandono de carga en el fondo:** descenso energético de la corriente



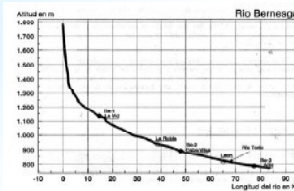
## Nivel de base

- “Nivel por debajo del cual la superficie terrestre no puede ser desgastada por la acción fluvial”

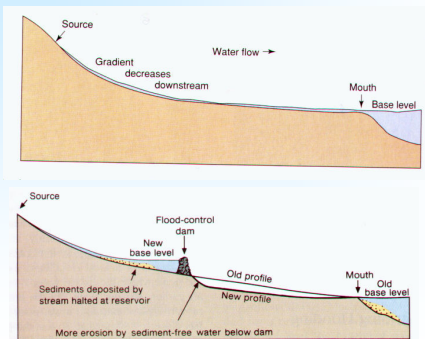


## Perfil longitudinal de un río

- Las aguas corrientes modelan, por ablación y deposición, un perfil longitudinal de su lecho cuya pendiente tiende a disminuir aguas abajo
- El perfil longitudinal de un río, describe la forma en el que éste varía su cota a lo largo de su longitud y recorrido; de tal modo que el perfil longitudinal reflejará la pendiente de cada tramo, determinada por las condiciones impuestas por el tramo aguas arriba.
- En general los perfiles longitudinales de los ríos presentan forma cóncava con una pendiente que va disminuyendo desde zonas con mayor erosión hasta zonas de mayor sedimentación de las zonas bajas.



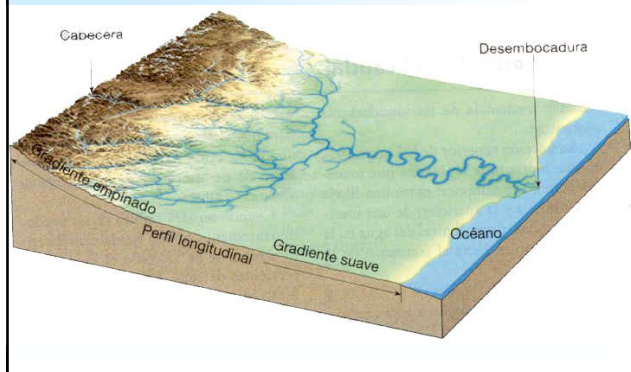
## Cambios en el nivel de base



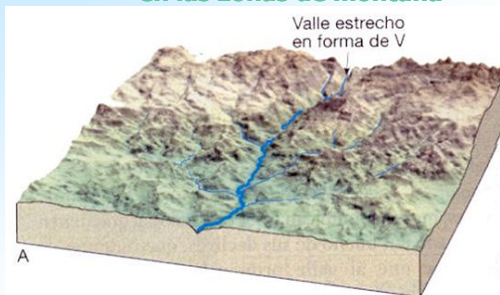
## Perfil de equilibrio

- La curva ideal se alcanzaría en un perfil en equilibrio, es decir en un río en el que no hubiese ni erosión ni acumulación.
- El perfil de equilibrio se define como una curva regularizada, de forma que en todos sus puntos la velocidad de la corriente asegura el transporte de la totalidad de la carga sólida procedente de la parte superior sin que haya excavación ni acumulación.
- El perfil real del río es mucho más complejo. En la práctica todos los ríos se apartan de este perfil ideal por diversos motivos: diferencias de caudal, la velocidad y la carga, diferencias de la naturaleza de la roca, cambios del nivel de base y la geometría del canal.
- Aunque el perfil de equilibrio no es posible en todo el río, sí que existen tramos concretos donde se alcanza, y es que estos son tramos homogéneos, donde las condiciones no varían

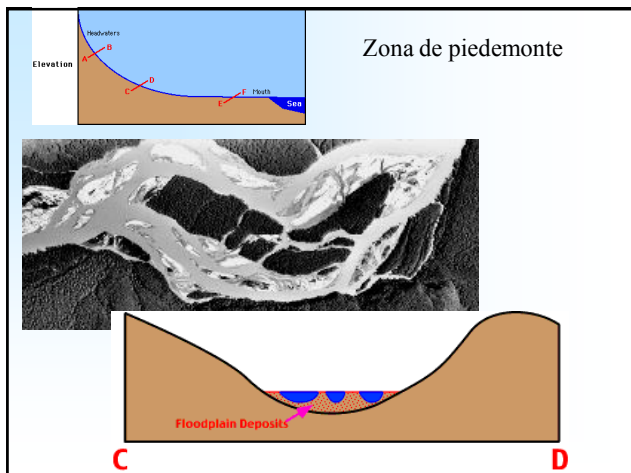
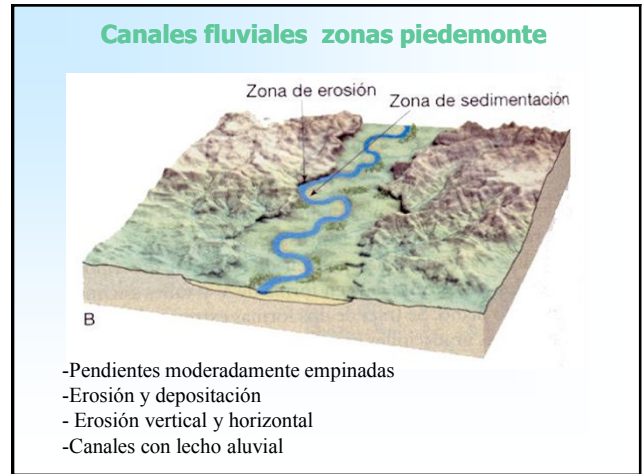
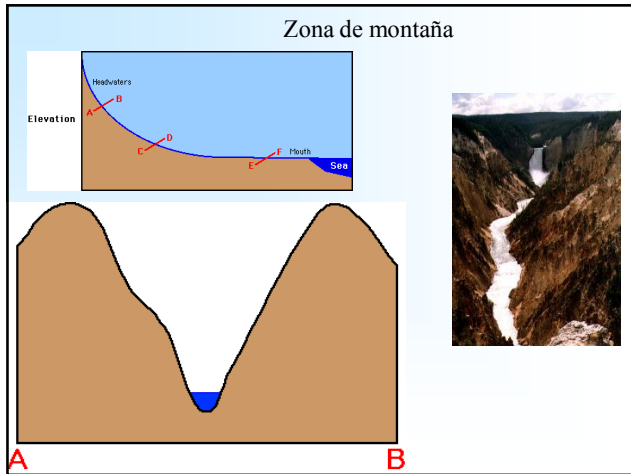
## Procesos fluviales en zonas de montaña, piedemonte y llanura




## Canales fluviales (valles) en las zonas de montaña



- Pendientes empinadas
- Predominio de erosión sobre depositación
- Predominio de erosión vertical respecto horizontal (valles en V)
- Canales con lecho rocoso



### Canales fluviales en zonas de llanura

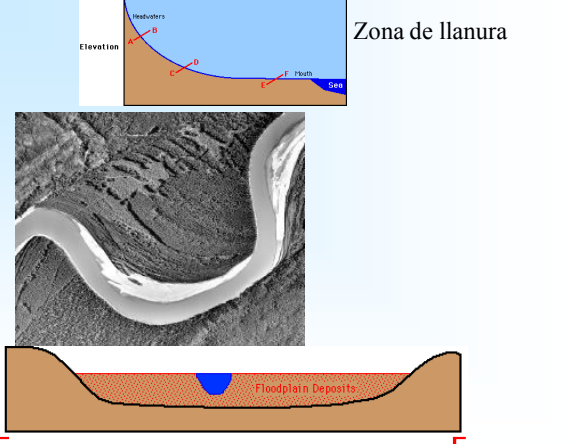


Llanura de inundación bien desarrollada

C

- Pendientes bajas
- Predominio de depositación sobre erosión
- Erosión horizontal > vertical
- Canales con lecho aluvial

### Zona de llanura

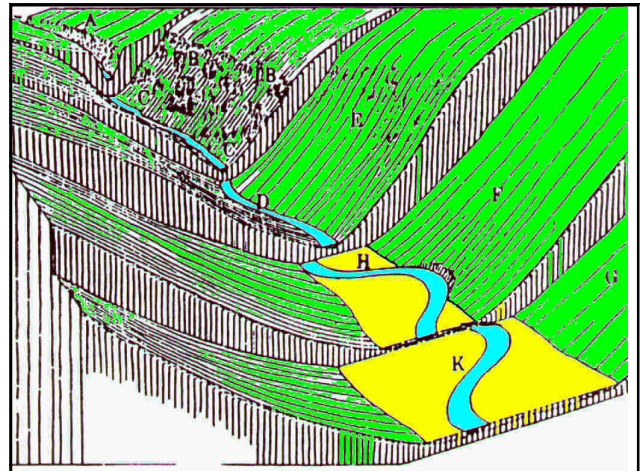


Elevation

Sea

Floodplain Deposits

E F





### Temas (2da- parte):

- Dinámica del agua sobre la superficie de la tierra.
- Propiedades físicas del agua y tipos de flujo.
- El sistema fluvial. Tipos de cuencas. Procesos de erosión, transporte y de acumulación. Nivel de base y Perfil de equilibrio.
- Procesos aluviales en zonas de montaña, piedemonte y llanura; sistemas morfológicos resultantes .
- Los lechos fluviales y su trazado. Clasificación de los sistemas fluviales. Dinámica y morfologías resultantes en Ríos Rectos, Entrelazados y/o Anastomosado y Meandrosos. Variables y cambios en un sistema fluvial.
- Terrazas fluviales, génesis y clasificación.
- Abanicos Aluviales, morfología, tipos de depósitos, zonación interna, evolución y relaciones geomorfológicas.
- Lagos. Definición, clasificación y tipos de lagos. Elementos morfológicos principales.

### Propiedades físicas del agua y tipos de flujo

#### • Clasificación cinemática

- Si  $\delta v / \delta t = 0 \Rightarrow$  Flujo estacionario o permanente
- Si  $\delta v / \delta x = 0 \Rightarrow$  Flujo uniforme
- Si  $\delta v / \delta t \neq 0$  y  $\delta v / \delta x \neq 0 \Rightarrow$  Flujo variable y variado

#### • Clasificación estructural

- Si  $R_e$  (número de Reynolds)  $< 20.000 \Rightarrow$  Flujo laminar
- Si  $20.000 < R_e < 30.000 \Rightarrow$  Flujo transicional
- Si  $R_e > 30.000 \Rightarrow$  Flujo turbulento

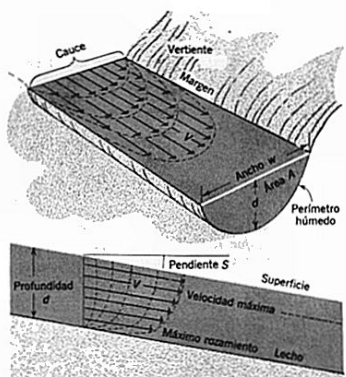
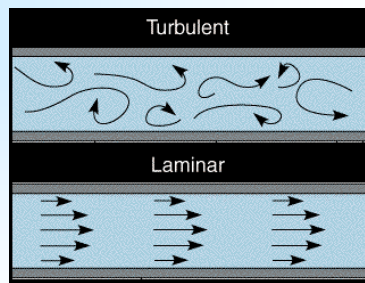


FIGURA 11.14. El movimiento de una corriente en su cauce, es más rápido en las partes centrales y en puntos próximos a la superficie.

### Flujo laminar y turbulento

$$Re = VL/n$$



•Flujo laminar: se caracteriza por una serie de hilos líquidos que se desplazan paralelamente con mayor o menor rapidez. El movimiento del conjunto es comparable al deslizamiento de láminas de agua superpuestas. Puede darse en el caso de ríos tranquilos que discurren en un lecho uniforme y plano.

•Flujo turbulento: se desarrolla plenamente durante las crecidas, los hilos líquidos describen entonces trayectorias complicadas en forma de torbellinos con ejes verticales que se desplazan con la corriente.

Isolinias de velocidad (m/s)

Velocidad media

- En el movimiento del agua intervienen dos factores o fuerzas: la gravedad que actúa en la dirección aguas abajo y la fricción que se opone a este movimiento. La relación resultante de ambas fuerzas determina la capacidad de la corriente para erosionar y transportar sedimentos.

### Numero de Froude

$$Fr = \frac{v_f}{\sqrt{g \cdot h}}$$

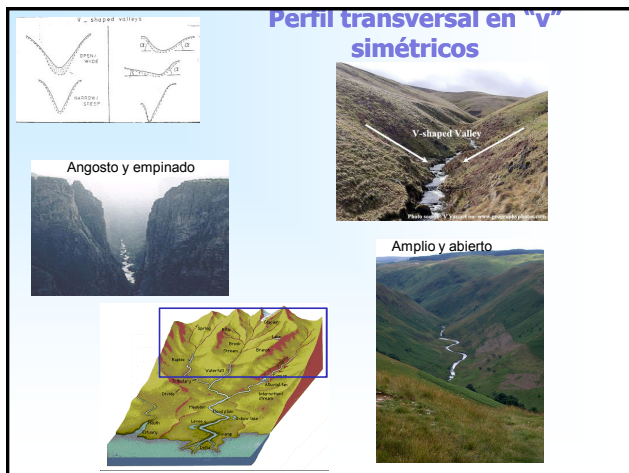
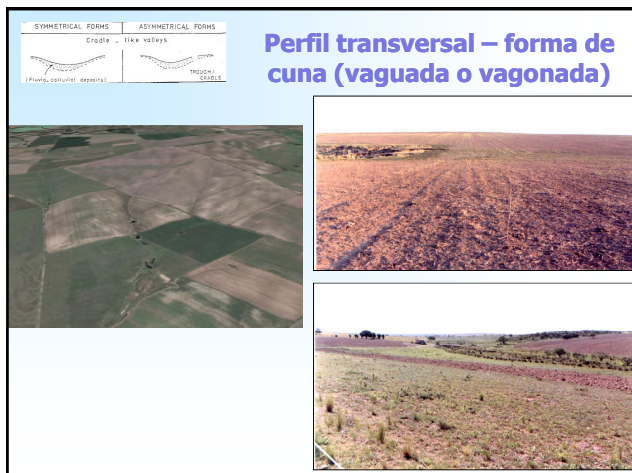
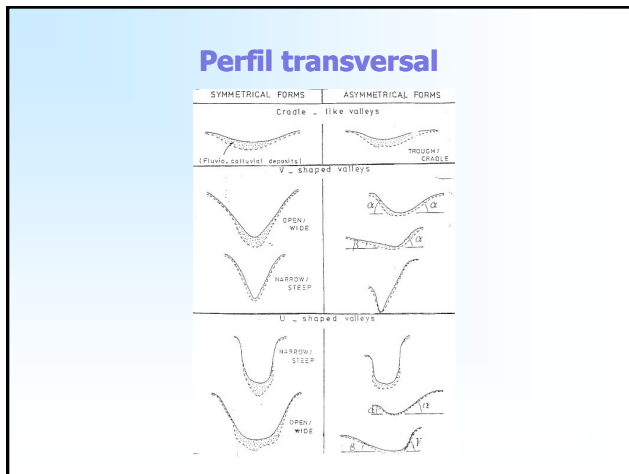
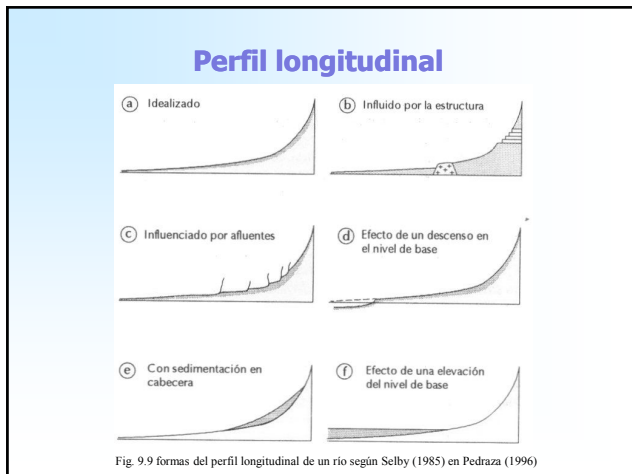
- El número de Froude (Fr) es un número adimensional que relaciona el efecto de las fuerzas de inercia y la fuerzas de gravedad que actúan sobre un fluido.
  - Si  $F_e$  (número de Froude)  $< 1 \Rightarrow$  Flujo tranquilo o lento (subcrítico)
  - Si  $F_e = 1 \Rightarrow$  Flujo crítico
  - Si  $F_e > 1 \Rightarrow$  Flujo rápido (supercrítico)

Número de Froude			
$< 1$ Subcrítico o flujo lento	Fuerzas inerciales son sobrepasadas en importancia por las gravitacionales	velocidades y pendientes bajas	Profundidad de la lámina del agua $>$ que en el flujo supercrítico
$= 1$ Crítico	Combinación de fuerzas inerciales y gravitacionales que lo hacen inestable	intermedias	
$> 1$ Supercrítico o flujo rápido	Fuerzas inerciales presentan una influencia mucho mayor que las fuerzas gravitacionales	velocidades y pendientes altas	profundidades más pequeñas

### Los lechos fluviales y sus trazados

- Las morfologías elementales asociadas a las corrientes fluviales están definidas por sumideros o colectores lineales que sirven como conducto de la escorrentía.
- Su clasificación geométrica y genética se hace a partir del análisis bidimensional (Perfiles transversales, longitudinales y vista en planta)

Figura 9.15. Elementos característicos en el canal de un río rectilíneo simple. Obsérvese cómo describe el valle. Los métodos pueden transformarse al trazado en múltiple (anastomosado).







Cárcava o Barranco



Cárcava joven

Arroyo La Petra



Quebrada de los Cóndores

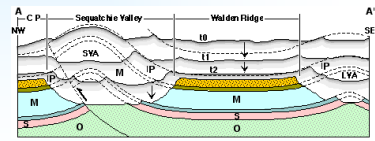
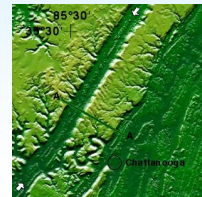
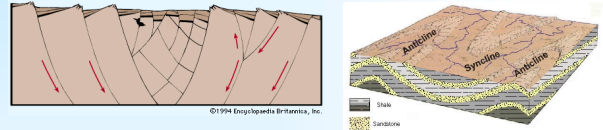
CARACTER GENERAL		DENOMINACIÓN FISIOGNÓMICA			PERFIL TIPO, DESCRIPCIÓN Y RELACIONES MORFOMÉTRICAS					
FORMAS DE ENCAJAMIENTO	Simples	Vaguada	$\alpha = \beta$		Vagonada	$\alpha > \beta$		$\alpha$ : pendiente de las laderas $\beta$ : inclinación del talweg		
		Vagonada Barranquera Hondonada Limahoya Hoyada								
	Complejos confluentes	Barranco/a	$45^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ $h = l$		Garganta (vale en U)	$60^\circ \leq \alpha \leq 80^\circ$ $h > l$		Cañón (hoz ó foz)	$\alpha > 80^\circ$ $h \gg l$	
		Complejos confluentes	vale glaciar vale fluvial		vale tectónico (grabén) vale fluvial		vale tectónico (sinclinal) vale fluvial			

Perfil transversal en "U"



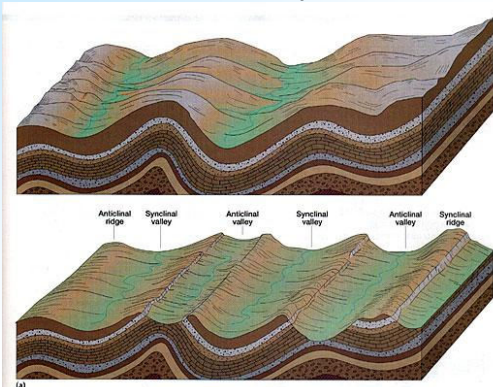
Figure 3.20. Zezere glacial valley, with cross-sectional U-shaped profile. Serra da Estrela, Portugal, constituting the western end of the Central System of the Iberian Peninsula.

Valles compuestos: tectónicos



Sequatchie Valley

Valles sinclinales y anticlinales



CARACTER GENERAL	DENOMINACIÓN FISIOGNÓMICA		PERFIL TIPO, DESCRIPCIÓN Y RELACIONES MORFOMÉTRICAS
	FORMAS MIXTAS	VALLÉS FLUVIALES	
En arena	Sencilla	<p>Llanura aluvial encajada: replano que, a modo de cinta o franja, ocupa la parte más deprimida de un valle previamente excavado en el sustrato; es una morfología típica de depresiones con gran control estructural (fosas, plataformas encajadas, etc.) y valles simples con atenuación del encajamiento. Su anchura varía entre apenas unos metros y varios hectómetros.</p>	
	Múltiple	<p>Sistema de aterrazamiento: morfología escalonada (en gradá, cingla, o bancales) característica de curvos medios sin gran control estructural. Su desarrollo oscila entre centenares de metros y decenas de kilómetros. La numeración de los replanos puede hacerse desde la llanura hacia arriba o a la inversa.</p>	



### Parametro de Braiding

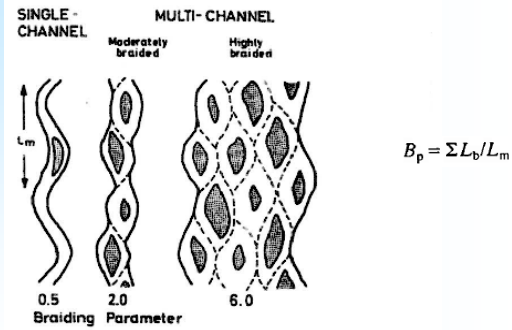


Fig. 371. Schematic diagram showing single-channel and multi-channel (moderately and highly braided) streams. (After Rust 1978a)

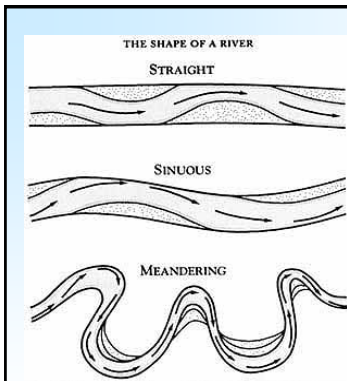
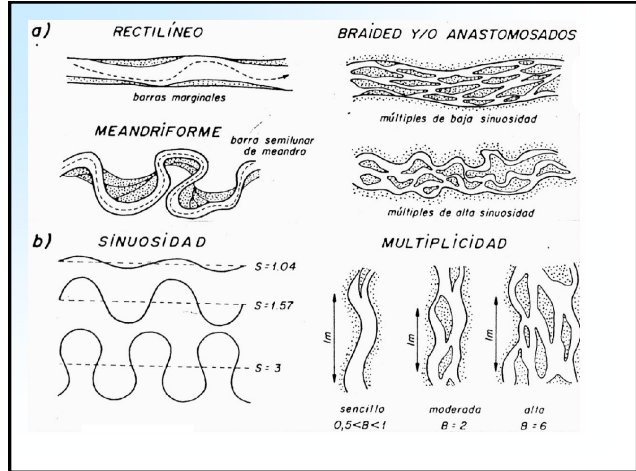


Fig. 4.7. Three general classes of single channel rivers based on their sinuosity index. Arrows indicate location of highest-velocity flows within each channel. Stippled area indicates development of lateral and point bars within channel. (Modified from Miall 1977.)

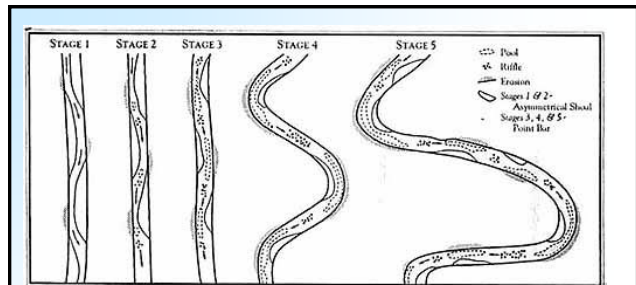
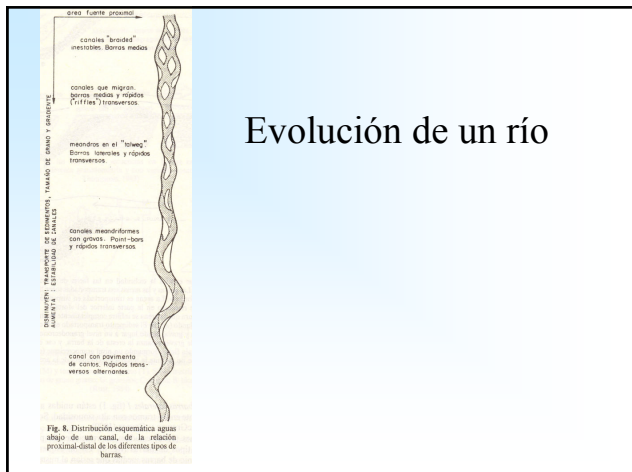


Fig. 4.8. Development of a meandering river, based on flume experiments. Establishment of asymmetric shoals along walls of straight channel deflects secondary flow cells and initiates bank erosion. Accelerated erosion along cut banks of meander bends leads to expansion of meander amplitude. (Based on experiments of Keller 1972.)





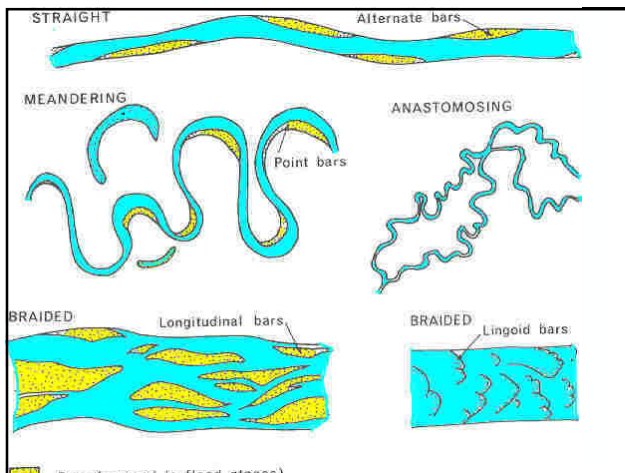
## Evolución de un río

### Clasificación de canales fluviales

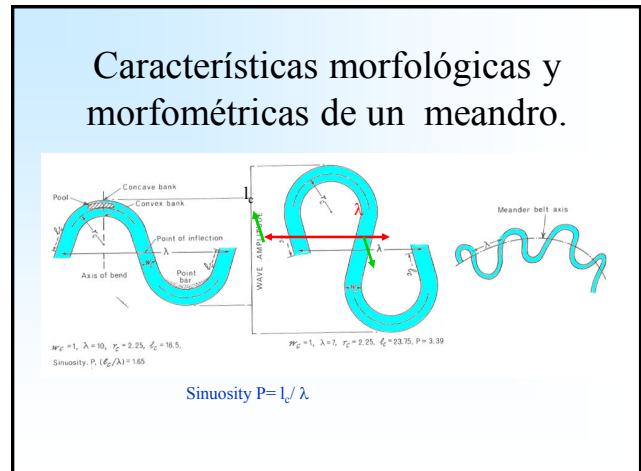
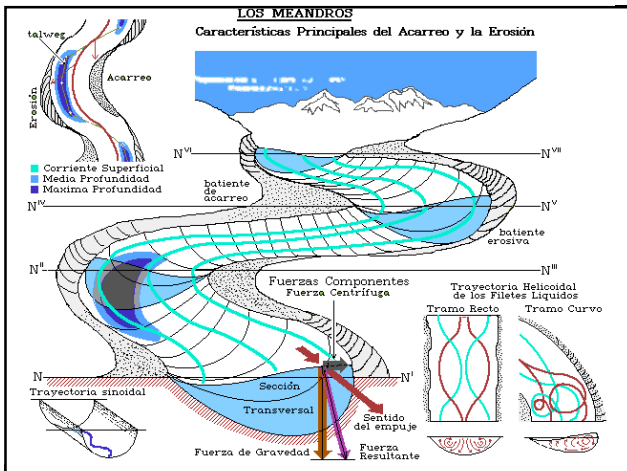
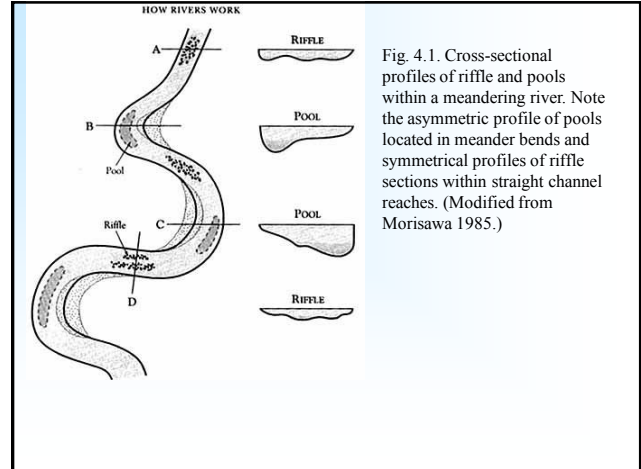
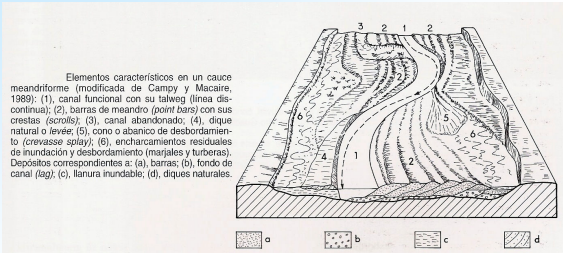
Tipo	Morphology	Sinuosity	Load type	Bedload (% of total load)	Width/depth ratio	Erosive behaviour	Depositional behaviour
Meandriforme	single channels	> 1.5	suspension or mixed load	< 11	< 4	channel incision, meander widening	point bar formation
Braided	two or more channels with bars and small islands	< 1.3	bed load	> 11	> 4	channel widening	channel aggradation, mid-channel bar formation
recto	single channel with pools and riffles, meandering thalweg	< 1.5	suspension, mixed or bedload	< 11	< 4	minor channel widening and incision	side-channel bar formation
Anastomosado	two or more channels with large, stable islands	> 2.0	suspension load	< 3	< 1	slow meander widening	slow bank accretion

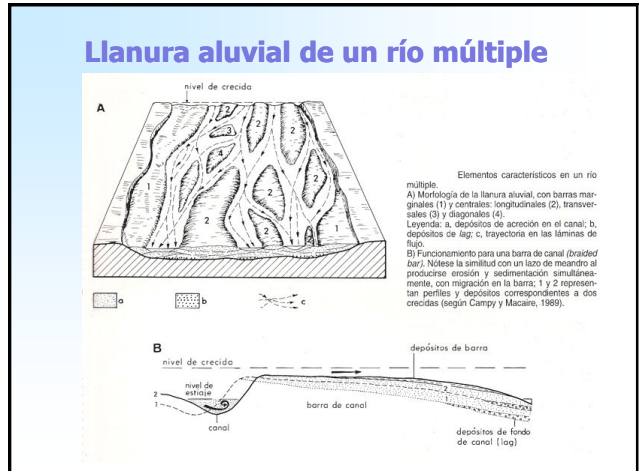
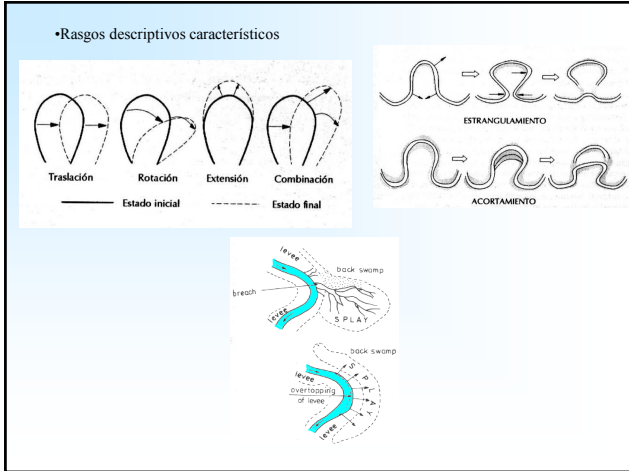
### Meandering - Braiding - Anastomosing

Degree of Sinuosity	Degree of Braiding	Degree of Anabranching
1 1-1.05	0 <5%	0 <5%
2 1.06-1.25	1 5-34%	1 5-34%
3 >1.26	2 35-65%	2 35-65%
	3 >65%	3 >65%

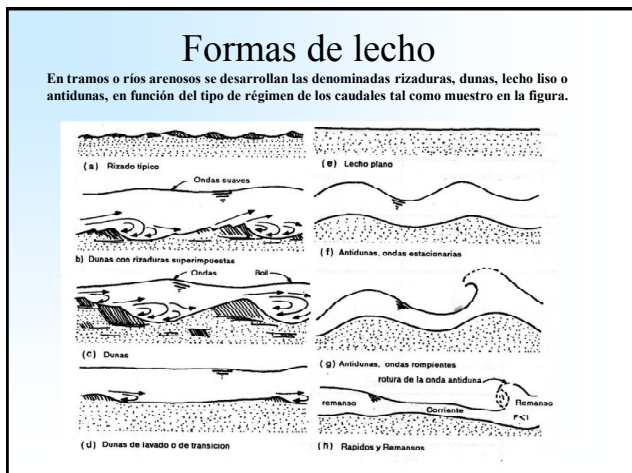
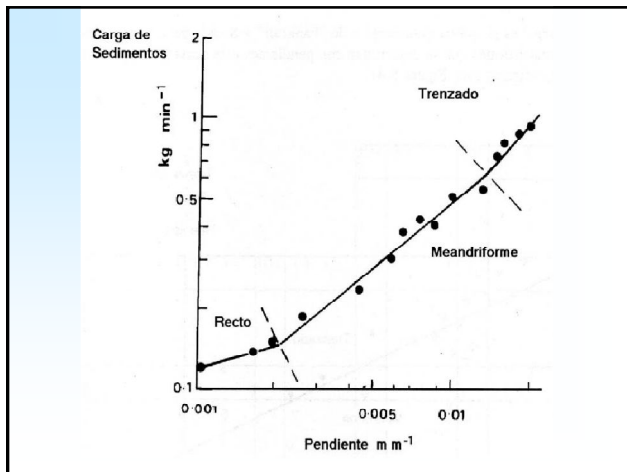
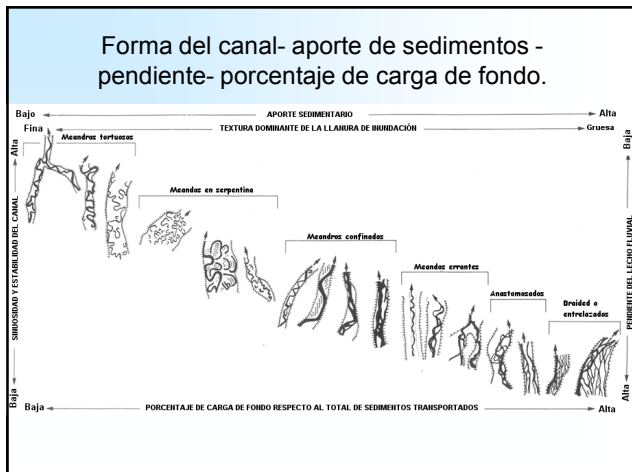


### Llanura aluvial de un río meándrico









- Terrazas fluviales, génesis y clasificación.
- Abanicos Aluviales, morfología, tipos de depósitos, zonación interna, evolución y relaciones geomorfológicas.
- Lagos. Definición, clasificación y tipos de lagos. Elementos morfológicos principales.

### Terrazas fluviales

de erosión

A

de acumulación

B

117

### Terrazas fluviales

Controladas por cambios de nivel de base:

- Eustáticos
- Tectónicos
- Climáticos

### Terrazas fluviales

Mapeo:

Utilización de números:  
1 para la más antigua  
2  
3  
etc

Utilización de letras:  
t terraza de acumulación  
T terraza de erosión

Tipologías más frecuentes de terrazas según sus perfiles transversales (sección a)

a) Agradadas: niveles que se corresponden a ambos lados del cauce, sean o no simétricos.  
b) No agredadas: situación contraria a la anterior.  
c) Simétricas: apareadas con el mismo desarrollo o extensión desde la línea central del cauce.  
d) Asimétricas: apareadas o no, situación contraria a la anterior.

a. aggradational terraces

degradational terraces

b. paired terraces

unpaired terraces

c. strath terrace

aggradational terrace 1

aggradational terrace 2

degradational terrace 3

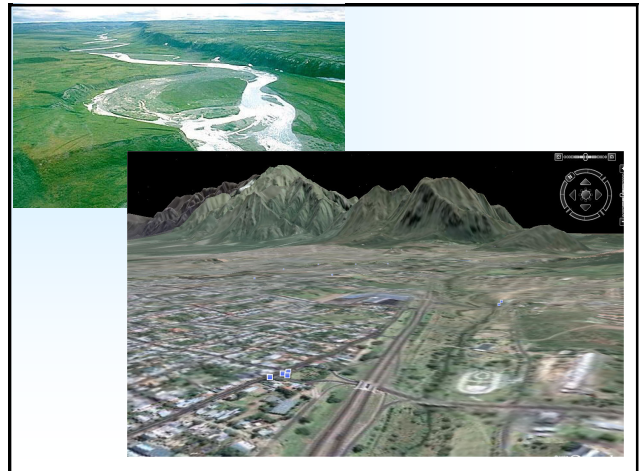
cut-and-fill history

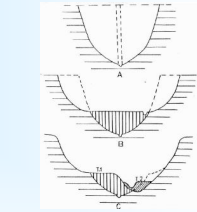
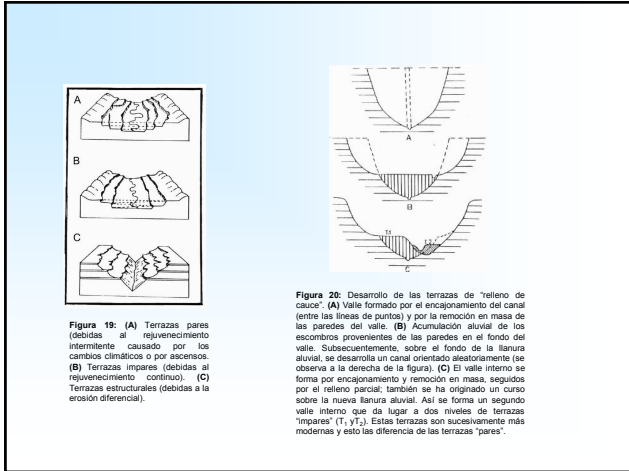
erosion

aggradation

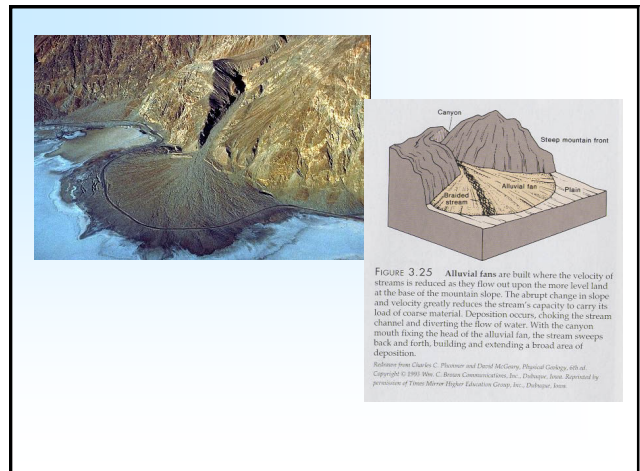
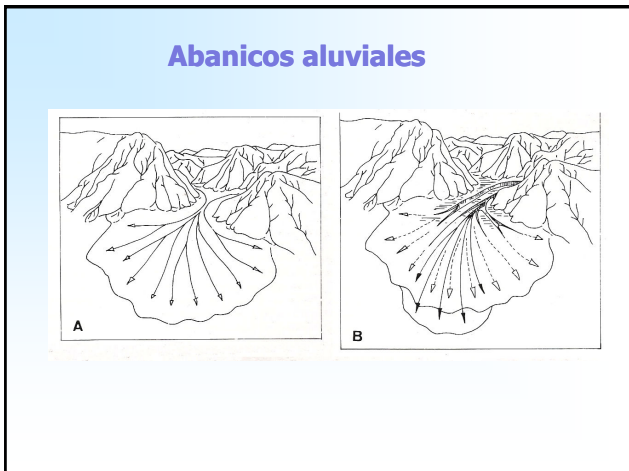
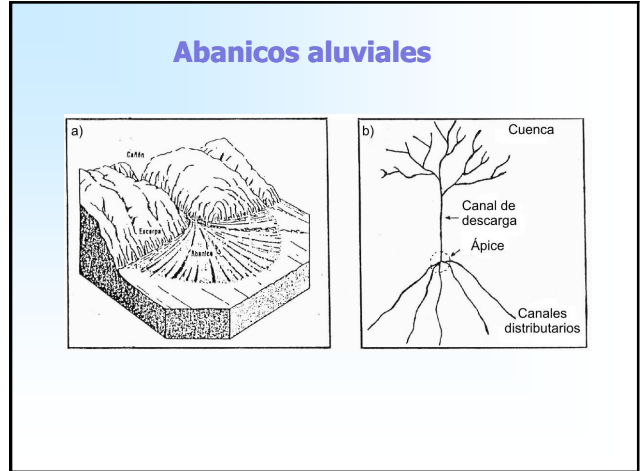
time

Terrazas fluviales



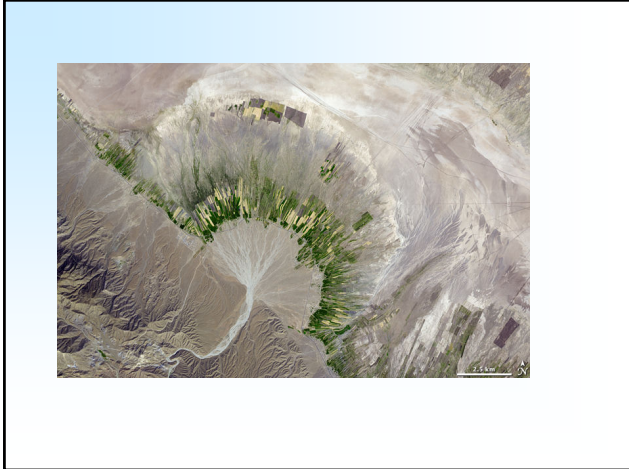


**Figura 20:** Desarrollo de las terrazas de "relleno de cauce". (A) Valle formado por el encanamiento del canal (entre las líneas de puntos) y por la remoción en masa de las paredes del valle. (B) Acumulación aluvial de los escombros provenientes de las paredes en el fondo del valle. Subsecuentemente, sobre el fondo de la llanura aluvial, se desarrolla un canal orientado aleatoriamente (se observa a la derecha de la figura). (C) El valle interno se forma por encanamiento y remoción en masa, seguidos por el relleno parcial; también se ha originado un curso sobre la nueva llanura aluvial. Así se forma un segundo valle interno que da lugar a dos niveles de terrazas "impares" (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>). Estas terrazas son sucesivamente más modernas y esto las diferencia de las terrazas "pares".

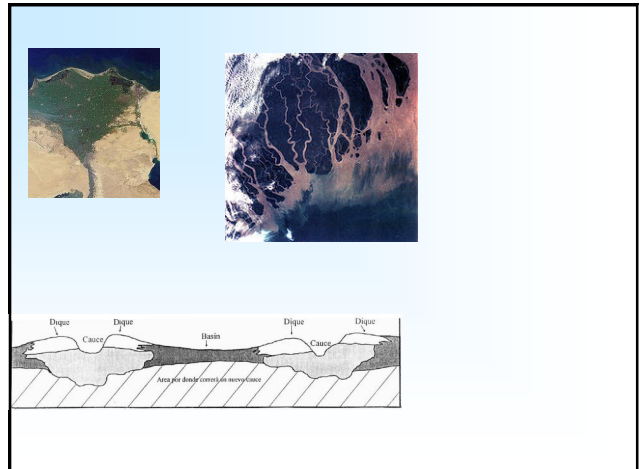








DELTA





## Procesos fluviales

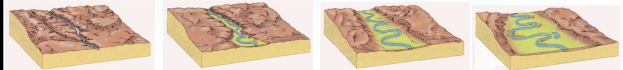
*“Los procesos fluviales están relacionados a flujos de agua encauzados o semiencauzados, con colector sencillo o múltiple, sean efímeros, estacionales, intermitentes o perennes y tengan dinámica propia de alta, media o baja energía”*

*Pedraza Gilsanz, 1996*

## Geometría en planta

- Las morfologías elementales asociadas a las corrientes fluviales están definidas por sumideros o colectores lineales que sirven como conducto de la escorrentía.
- Su clasificación geométrica y genética se hace a partir del análisis bidimensional.

Fig. 9.8A



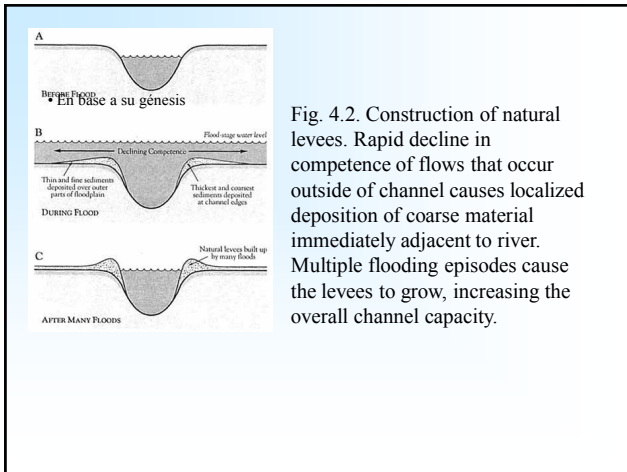


Fig. 4.2. Construction of natural levees. Rapid decline in competence of flows that occur outside of channel causes localized deposition of coarse material immediately adjacent to river. Multiple flooding episodes cause the levees to grow, increasing the overall channel capacity.