

CURSO BÁSICO DE HIDRÁULICA FLUVIAL

MORFOLOGÍA FLUVIAL

Presenta: Dr. Pedro A. Guido Aldana

pedroguido@tlaloc.imta.mx

CONTENIDO

1. Contexto geomorfológico de los ríos en:

- ✓ *Cuencas altas*
- ✓ *Cuencas medias*
- ✓ *Cuencas bajas*

2. Morfología de ríos

Reflexiones a lo largo de la presentación

MORFOLOGÍA FLUVIAL/DEFINICIÓN

morphé *lógos*

- ✓ “La ciencia de la estructura o forma de los ríos”.

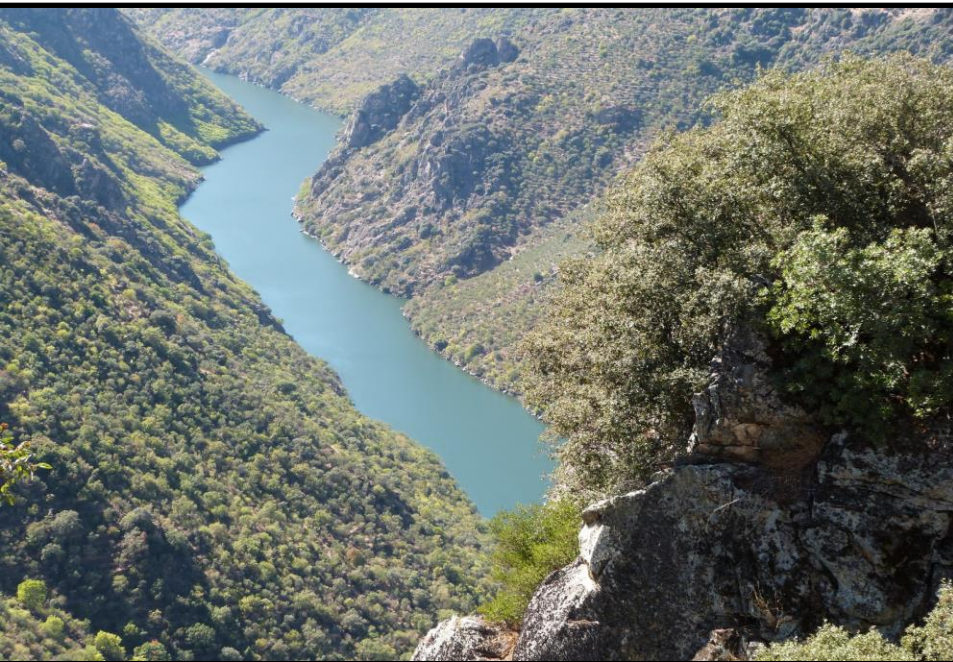
Asumiendo que los ríos tienen una estructura, es la ciencia que estudia la forma de los ríos.

Es una rama de la geomorfología (estudia las formas de la superficie terrestre).

- ✓ Estudia los mecanismos mediante los cuales los ríos han llegado a ellas.

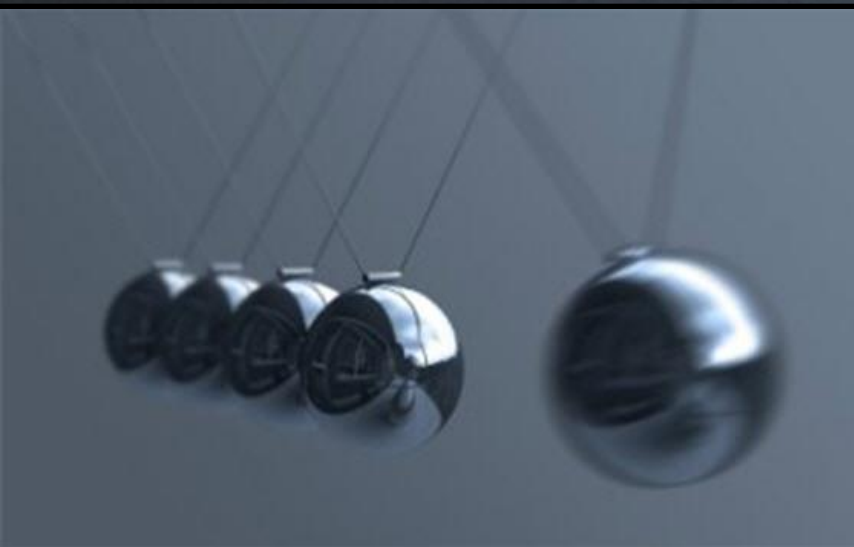


Erosión - Transporte - Sedimentación



A toda acción....

Enfoque u óptica...?



1. GÉNESIS/CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO



CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

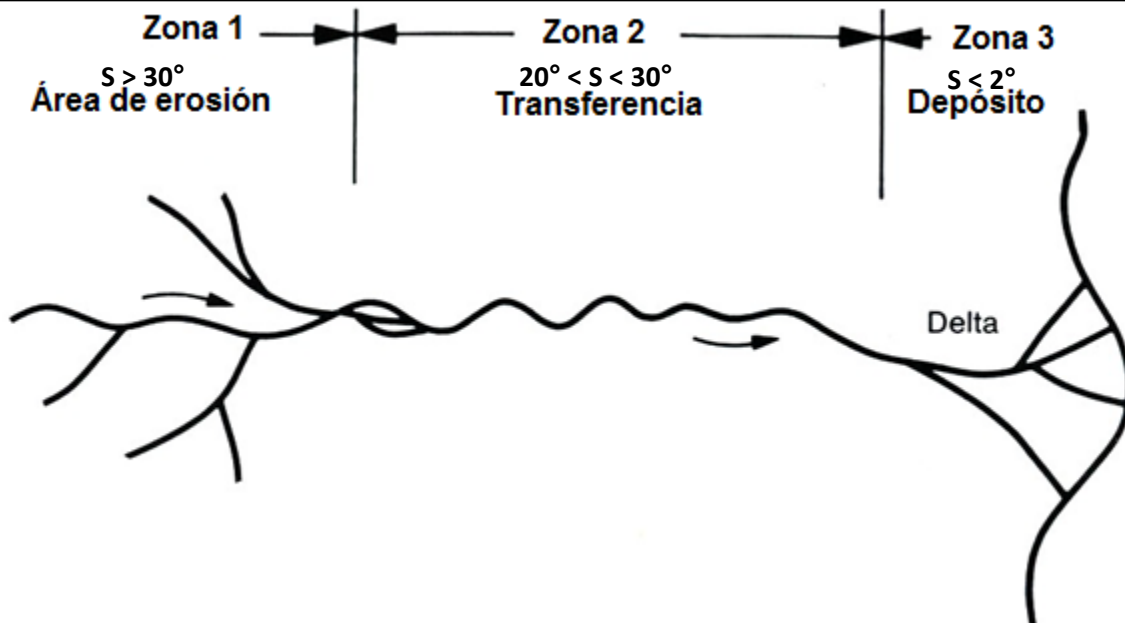
Zona 1: Partes altas de las cuencas, los ríos se forman por erosión de las rocas. El cauce se encañona progresivamente.

“Entregan los productos de la socavación y de la erosión de los suelos a las partes bajas de la cuenca”

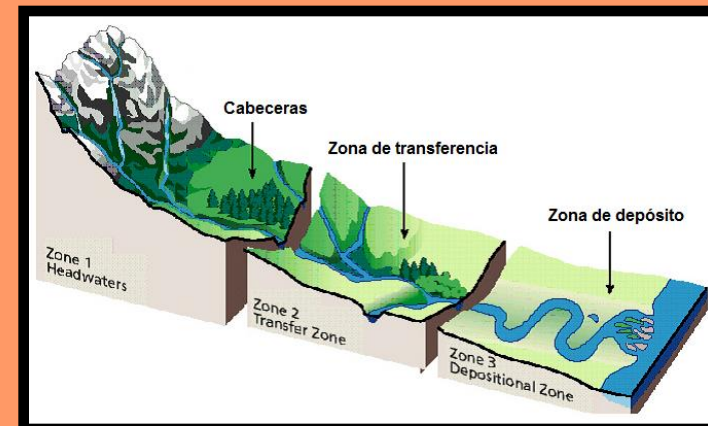
Zona 2: Existe un cierto equilibrio entre la capacidad de transporte del flujo y los aportes de sedimento.

“Es la zona de transferencia”

Zona 3: Los sedimentos se depositan por falta de capacidad de transporte, en **deltas o en estuarios**.



El sistema fluvial (Scumm, 1977)

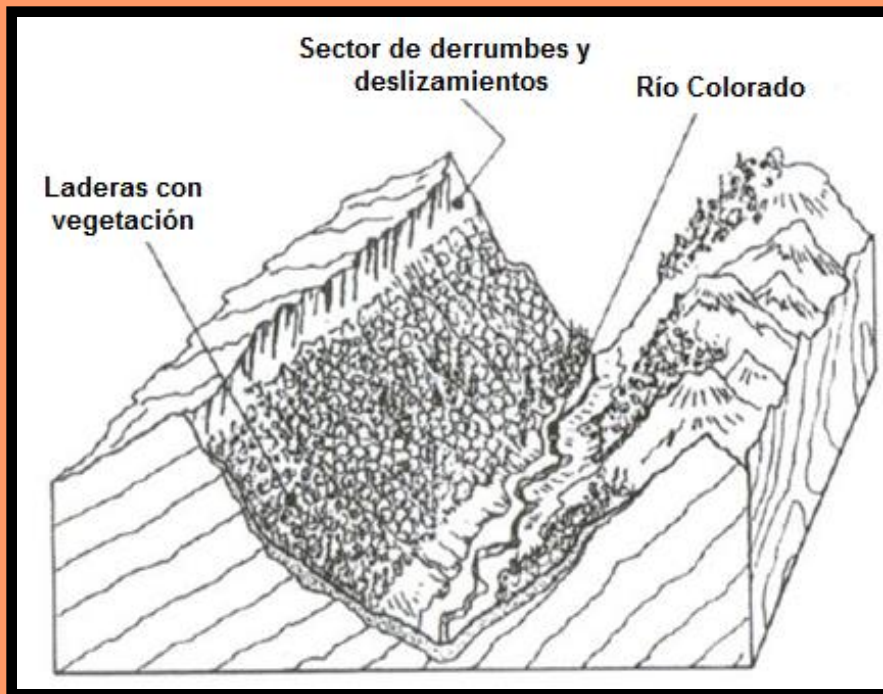


- ❖ En terrenos volcánicos, los cuales se encuentran comúnmente en México, la incisión del cauce puede ser muy fuerte, lo que ocasiona una alta producción de sedimentos.



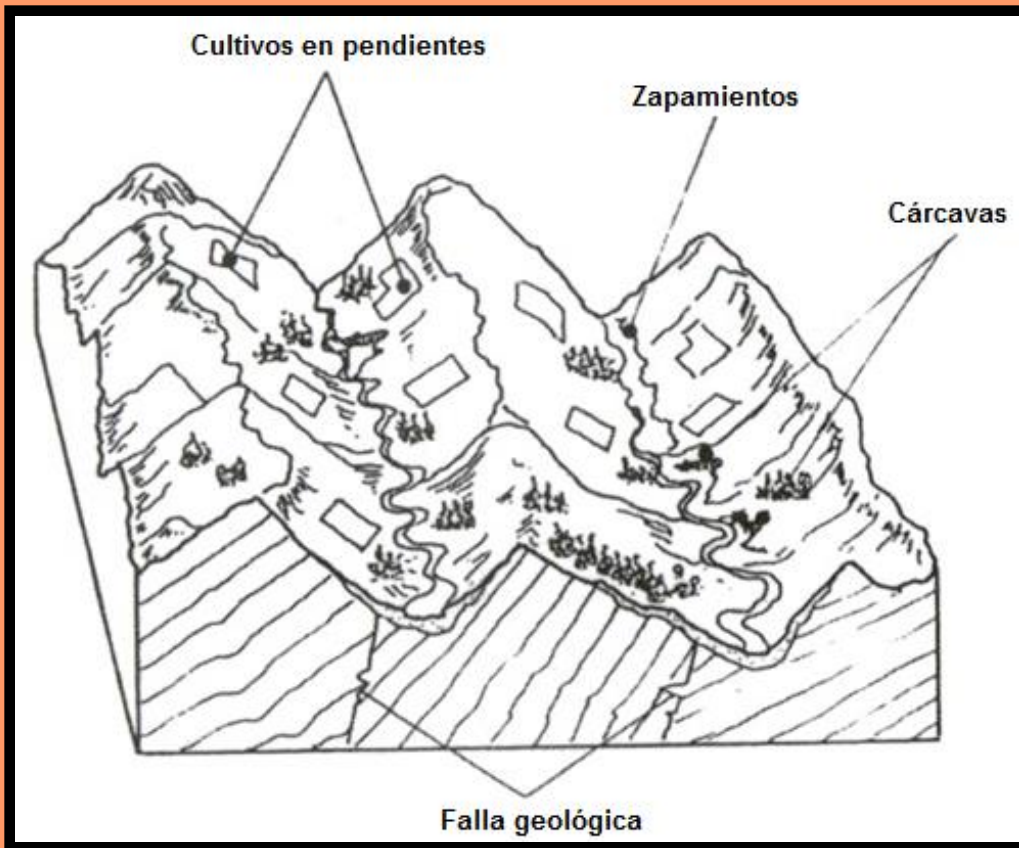
El Citlaltépetl (en náhuatl: cītlal-tepē-tl, 'Monte de la estrella') o Pico de Orizaba. Límites Puebla y Veracruz.

- La producción de sedimento depende de la naturaleza de las rocas: geología y tectónica.
 - Derrumbes y deslizamientos contribuyen apreciablemente con la producción de sedimentos.
- *La vegetación ayuda a controlar la erosión de los suelos.*




Fuente: Programa de Protección Contra las Inundaciones -
Santa Cruz. SEARPI - CEE 1990.

- Cultivos en pendientes, erosión al pie de talud, zapamientos, cárcavas... :
aportan material sólido al río



Fuente: Programa de Protección Contra las Inundaciones -
Santa Cruz. SEARPI - CEE 1990.

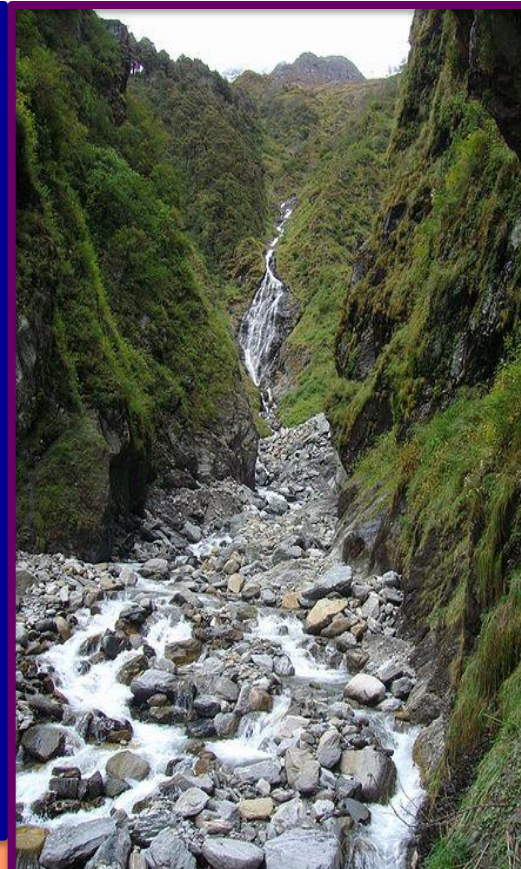


**La pared del cerro ha sido
destabilizada por lluvias
intensas, y un deslizamiento
obstruyó el cauce del río El
Novillero (Chiapas)**

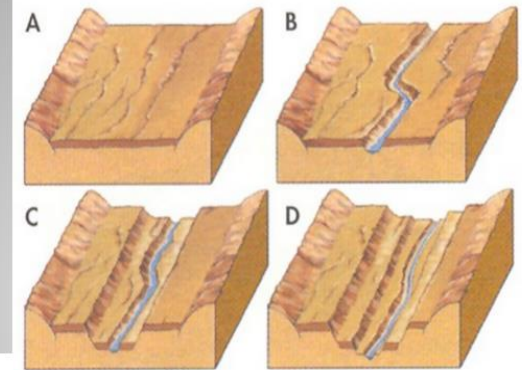
- En las cuencas altas la geología y la tectónica determinan la forma de los cauces, donde el río se encañona en los montes. (Movimientos tectónicos, fallas y pliegues).
 - Sin embargo, en los tiempos geológicos, se podían formar terrazas, en las cuales los flujos cortan nuevos cauces.
- Estos procesos dependen de varios factores naturales: cambios climatológicos, tectónica, ...



Río Brahmaputra, India



Proceso de formación de las terrazas fluviales



- Los cauces se desarrollan en terrenos variados, en materiales erosionables pero con zonas donde formaciones resistentes pueden controlar el movimiento del lecho.
 - No sólo la geología determina la forma, también la mecánica de suelos
- “Diferencias en la composición de los suelos pueden afectar el comportamiento del lecho”*



CANAL ENCAÑONADO

Aquel con márgenes arriba de los niveles máximos de crecida.

Este tipo de canal puede degradarse cuando el lecho de roca es erosionable, es decir, la incisión siempre profundiza su curso en el valle.

CANAL PARCIALMENTE ENCAÑONADO

Canal con márgenes ocasionalmente formadas por segmentos discontinuos de una llanura de inundación, el nivel del lecho puede descender, planicie de inundación ocasional.

Puede ocurrir degradación y desplazamientos laterales.

EL CONTROL DE LOS CAUCES

CANAL CONFINADO

Es bien estable (verticalmente).

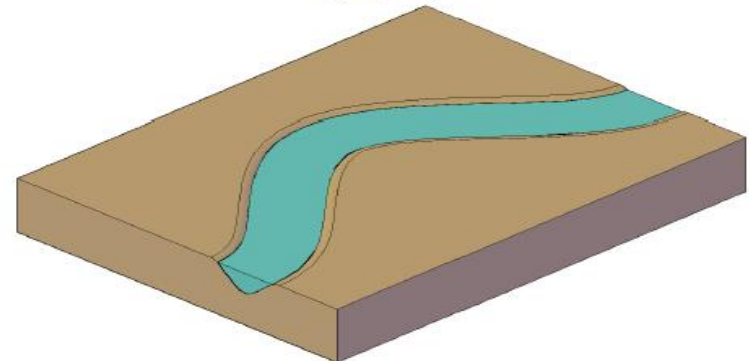
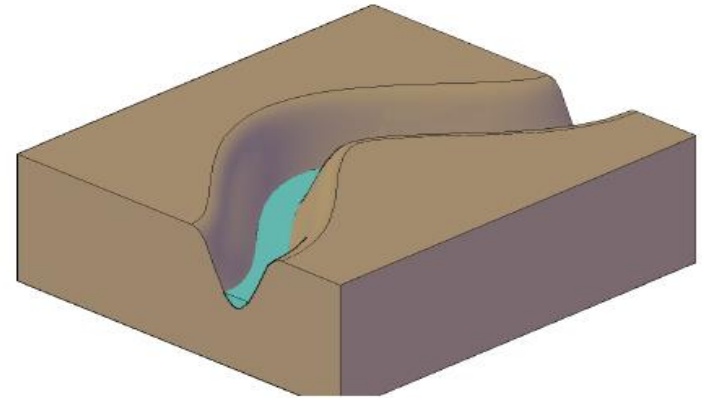
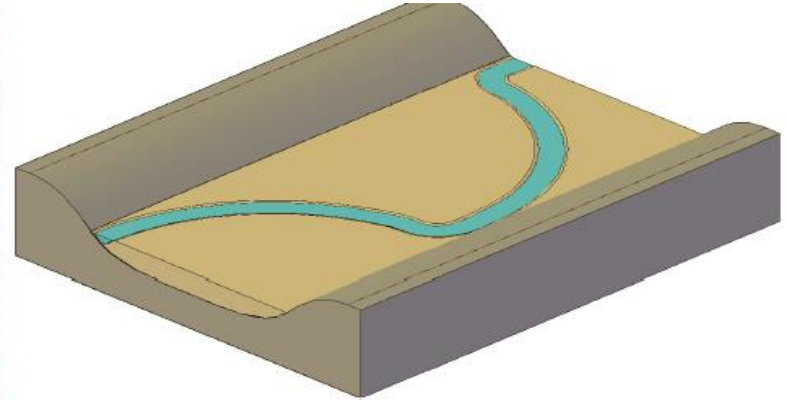
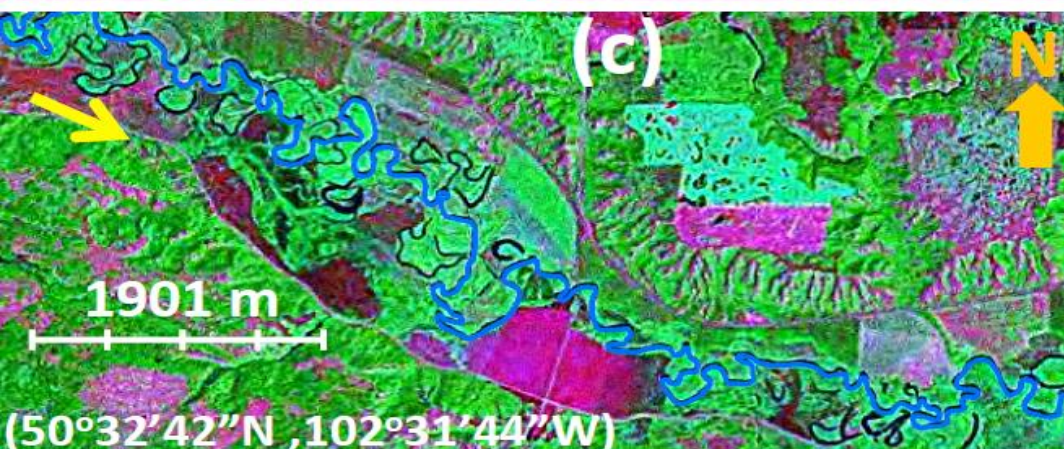
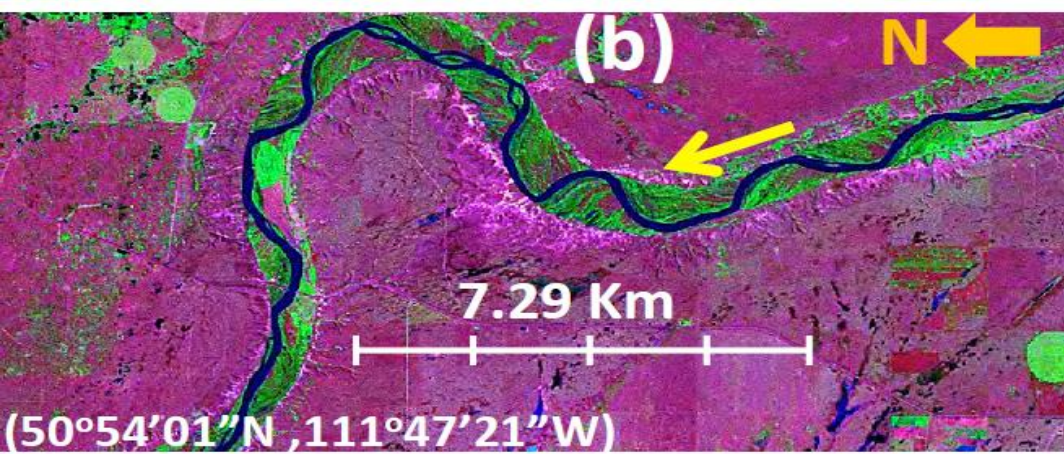
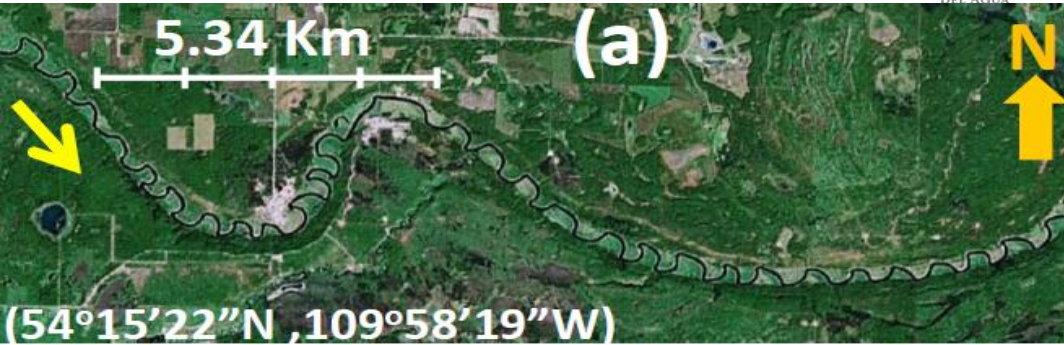
Las paredes del valle controlan el cauce.

CANAL PARCIALMENTE CONFINADO

Las paredes del valle controlan ocasionalmente el desarrollo del cauce.

Por lo general hay suficiente espacio para el desarrollo completo del patrón del canal.

La geología: Frontera natural de los ríos.





Prof. JJ Peters

Cauce parcialmente confinado por formaciones geológicas.

Ejemplo de cauce en zona 2, con deslizamiento.

- El tipo de desembocadura depende de la intensidad de la acción del mar y la acción del río.
- Ríos que llevan grandes cantidades de material sólido hacia el mar forman **DELTA**S.
- Cuando el mar tiene mareas y/u ondas fuertes, el material será erosionado y transportado al lado de la costa, formando lagunas separadas del mar por una barra.
- Ríos con aporte sólido débil, en mares con fuertes mareas, forman **ESTUARIOS**.

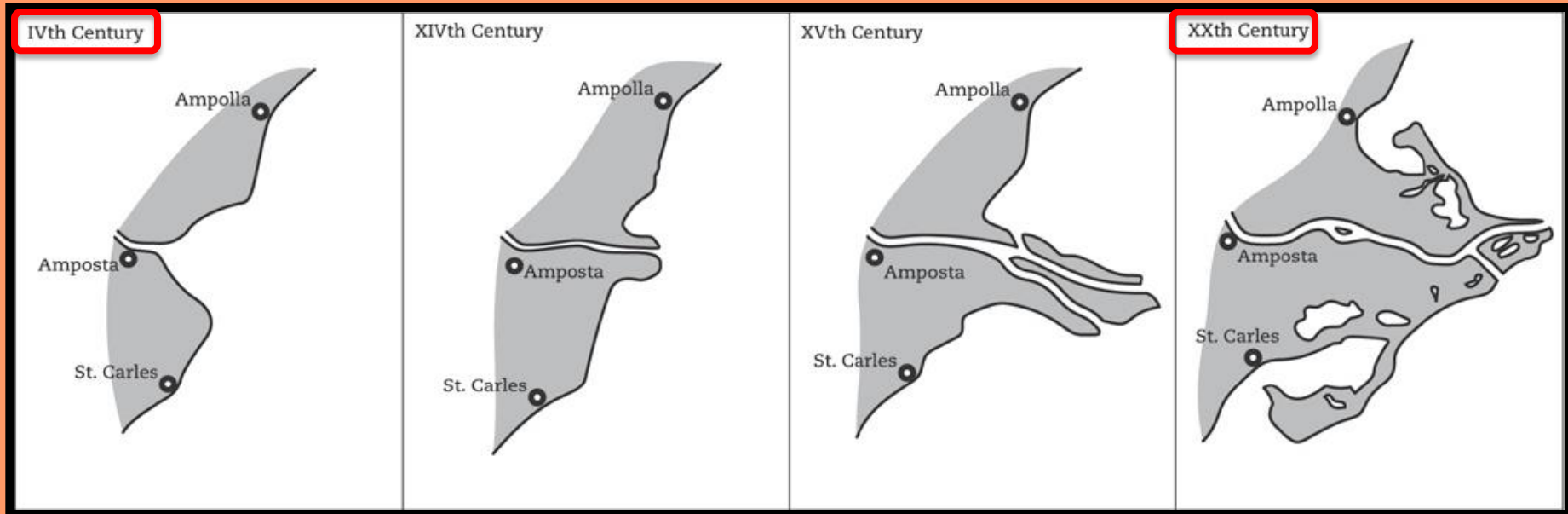
Formación De Delta En Un Embalse de Presa

Volcán El Chichonal



Presa Peñitas, Río Grijalva, Chiapas. Prof. JJ Peters

- **Ríos con alta carga de sedimentos:** en una primera fase llenan el valle ahogado.
- Entonces los depósitos de sedimento detrás de la línea de costa crean el **DELTA** (de la letra griega Δ)



Evolución de la desembocadura del río Ebro (España), de estuario a delta. Prof. JJ Peters

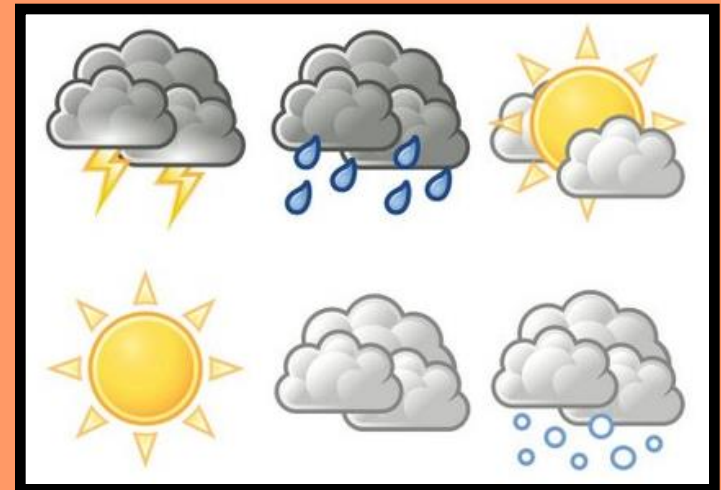
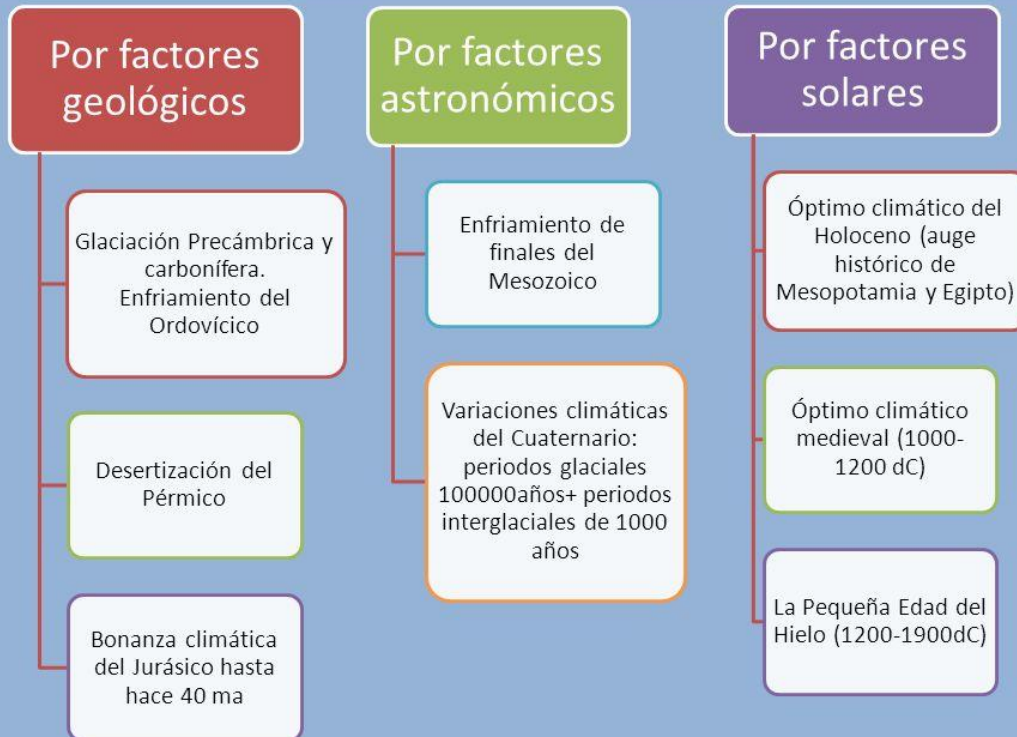
❖ Cuando la carga de sedimentos es baja, los estuarios permanecen sin modificaciones.



➤ El clima ha tenido siempre variaciones. Diversos factores...

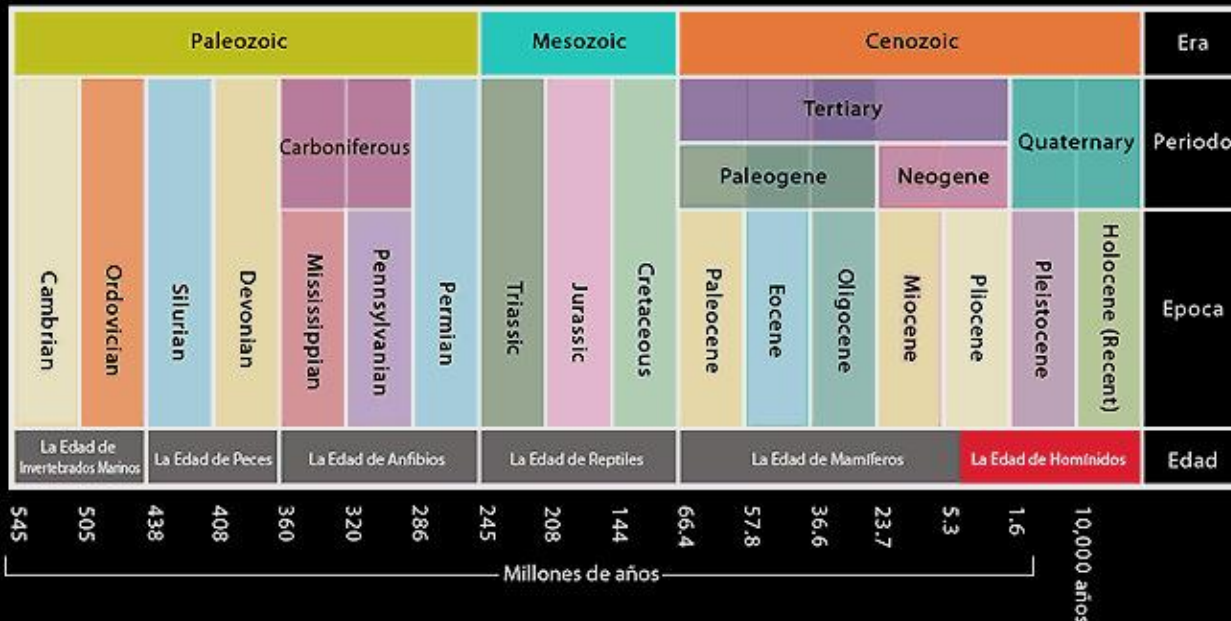
❖ Actualmente – en los últimos 3000 años, al final del Holoceno – se ha tenido una época de estabilidad climática excepcional.

CAMBIOS CLIMATICOS



CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

- En el corto plazo, la influencia de los recientes cambios climáticos (naturales) afecta más las cuencas altas de los ríos.
- Cambios en el clima y en la hidrometeorología contribuyen con la erosión de los suelos, cambian el régimen hidráulico (gastos y transporte de sedimentos) y afectan la evolución del curso de los ríos.
- Durante el Holoceno, la variación del nivel del mar ($\pm 125\text{m}$) afectó la Zona 3.



El Holoceno, en griego significa "del todo reciente" es la época geológica actual...

...inició hace 11,650 años, cuando la Edad de Hielo llegó a su fin...

....se encuadra dentro del Periodo Cuaternario, que empezó hace 2,588 millones de años, dentro de la Era Cenozoica....

...es su limite inferior, su fecha de inicio, lo que define a las edades geológicas...

...¿antropoceno....?

Escala geológica

❖ Hoy en día, la mayoría de los ríos y corrientes experimentan aún la influencia de los cambios morfológicos inducidos por factores naturales:

Tectónicos – Climáticos – Hidrológicos – Sedimentológicos...

❖ Ciertos ríos han llegado a una situación de madurez, otros todavía no llegan a un equilibrio.

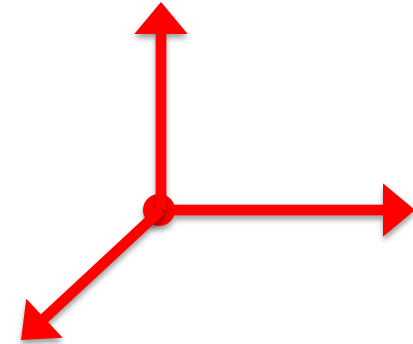
✓ En consecuencia, debemos reconocer (en particular los ingenieros de ríos) que no se pueden manejar los ríos sin tomar en cuenta o reconocer apropiadamente su evolución natural.

LOS CAUCES....

- *Sistemas dinámicos complejos.*

- *Procesos físicos y biológicos ocurren en el tiempo.*

- Longitudinal, lateral y verticalmente
 - ***Variables involucradas:***
 - **Gobernantes:** hidrogramas de flujo y sedimento.
 - **Características de fronteras:** pendiente del valle, materiales en márgenes y fondo, vegetación ribereña.
 - **Forma del cauce:** geometría de secciones transversales, perfil longitudinal, planicie.



Río Ucayaly, Perú.

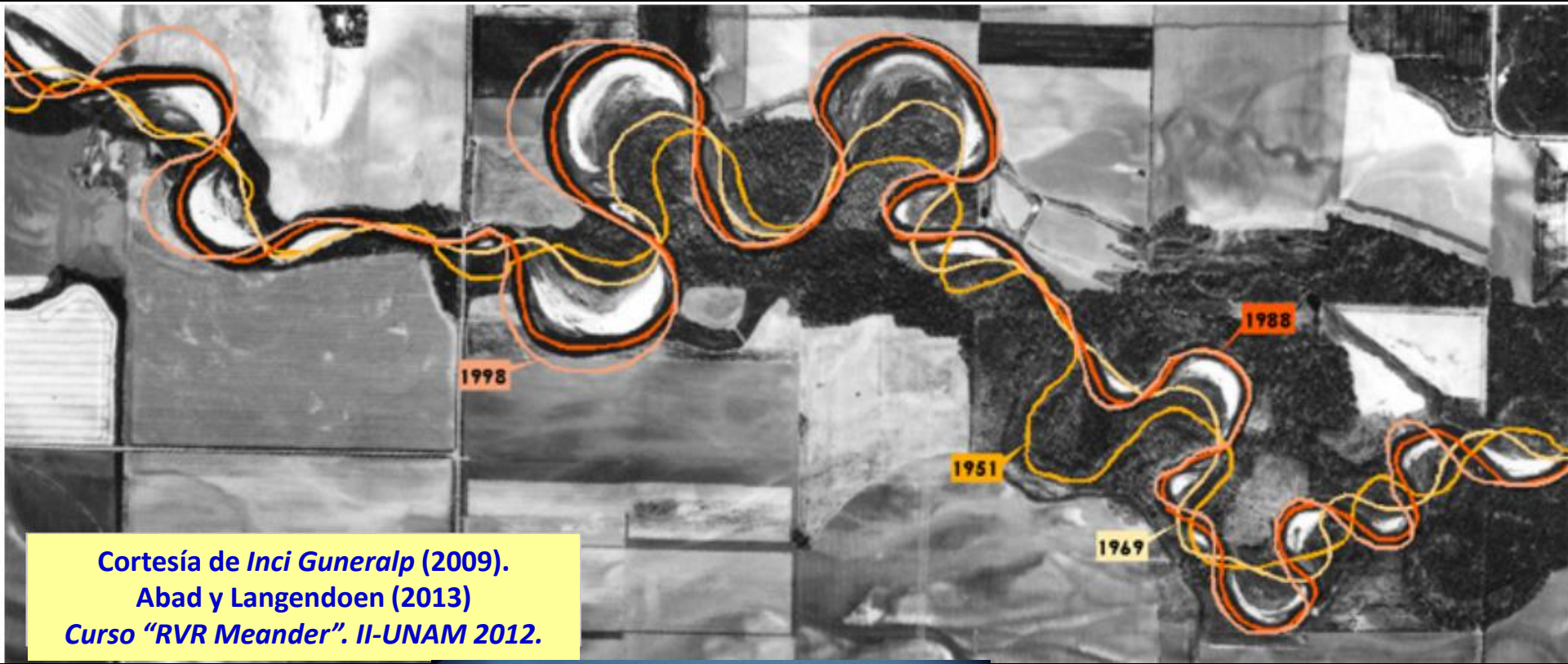
Variaciones en planta entre los años 1990 y 2000.



Dr. Jorge Abad. Univ. de Pittsburgh. 2013.

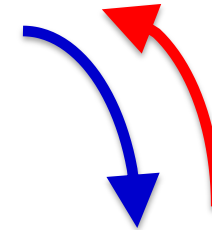


Río Mackinaw, Illinois, EE.UU.



$\Sigma [1] + [2] + [3] + [4] + \dots = \text{DINÁMICA DE LOS RÍOS}$

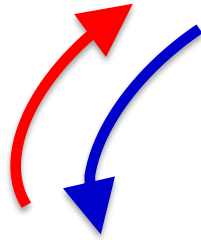
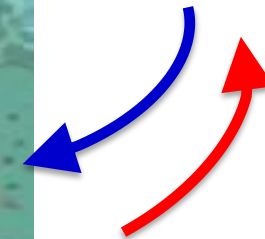
[1] Dinámica en planta



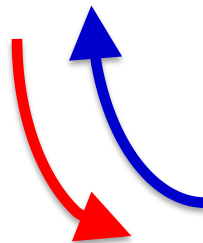
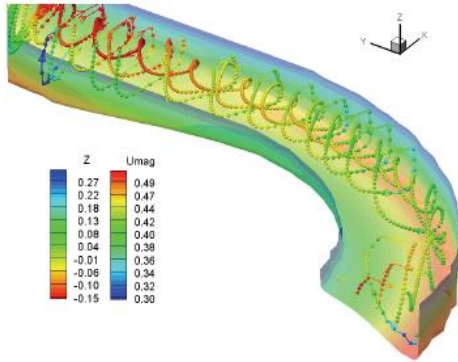
[2] Morfología del fondo



[3] Transporte de sedimentos



[4] Movimiento del fluido



*La diversidad de ríos es virtualmente infinita...
no existen dos lugares iguales en clima, relieve, geología, hidrología,*

Meandreantes



Río Purus, Brasil. ($Q_m \sim 5521 \text{ m}^3/\text{s}$)

Con ramales



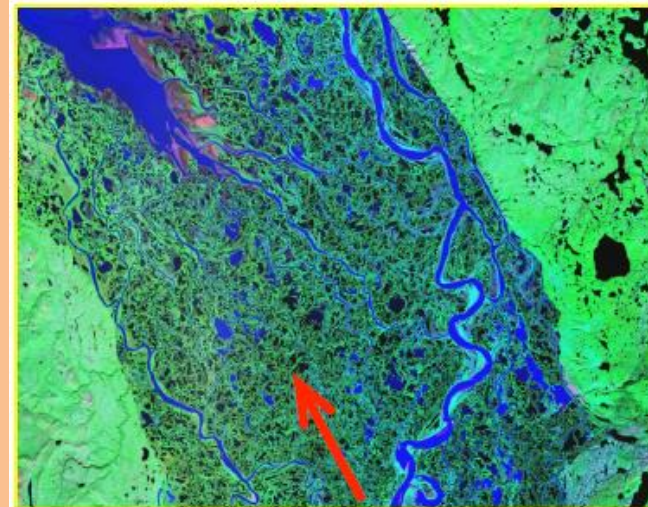
Solimoes-Amazonas, Brasil.
($Q_m \sim 55,600 \text{ m}^3/\text{s}$)

Trenzados (islas inestables)



Río Brahmaputra, Asia.
 $Q_m \sim 21,261 \text{ m}^3/\text{s}$

Anastómicos (islas estables)



Río Mackenzie, Canadá.
 $Q_m \sim 10,700 \text{ m}^3/\text{s}$



Criterios usuales:

- **RÉGIMEN HIDROLÓGICO** : EFÍMEROS, ALUVIALES
- **PENDIENTE** : MONTAÑA, LLANURA, GRAVA, ARENA
- ✓ **ASPECTOS MORFOLÓGICOS**

Ingeniería de ríos. JP Martín Vide.

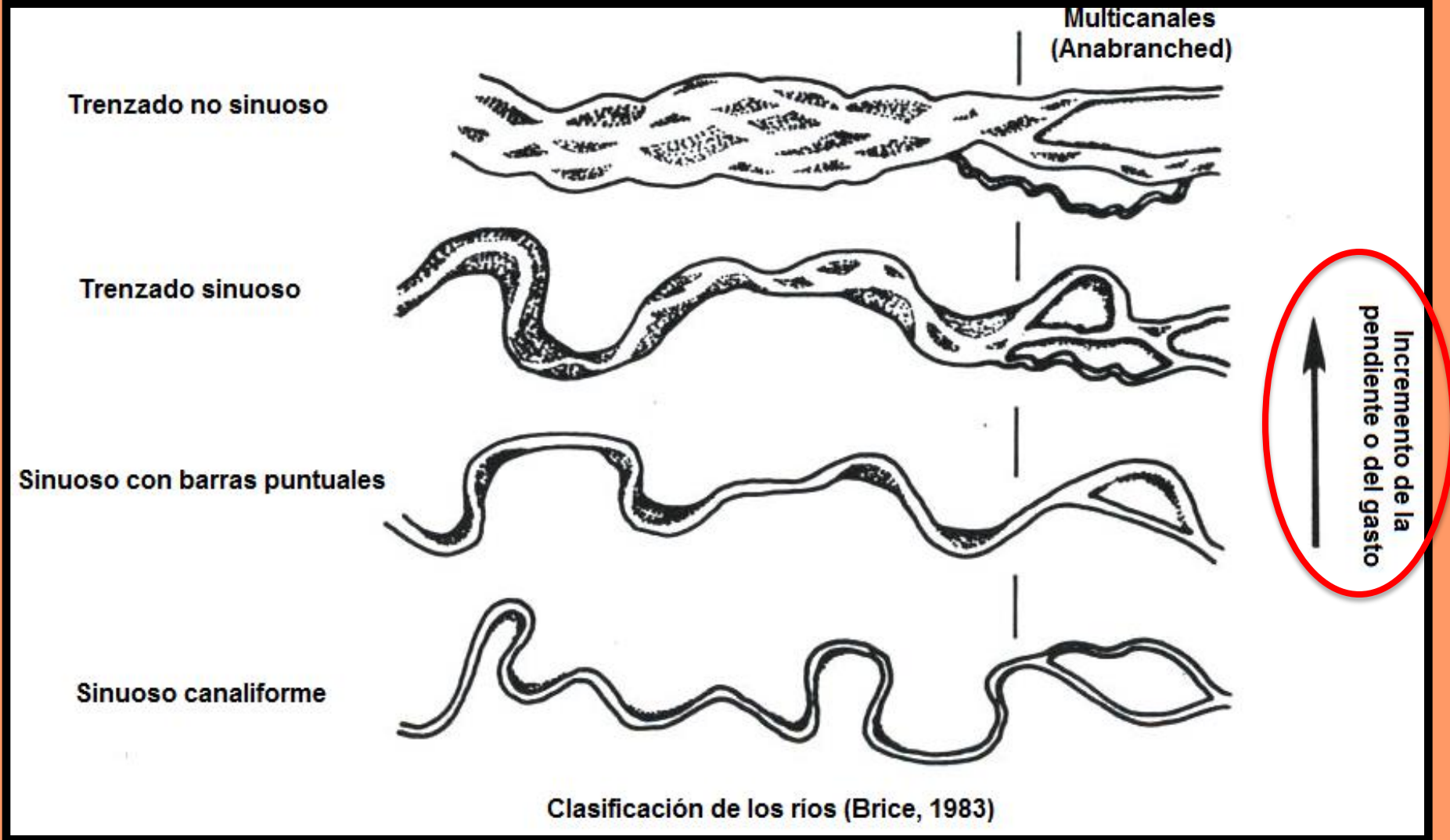
ÁSPECTOS MORFOLÓGICOS

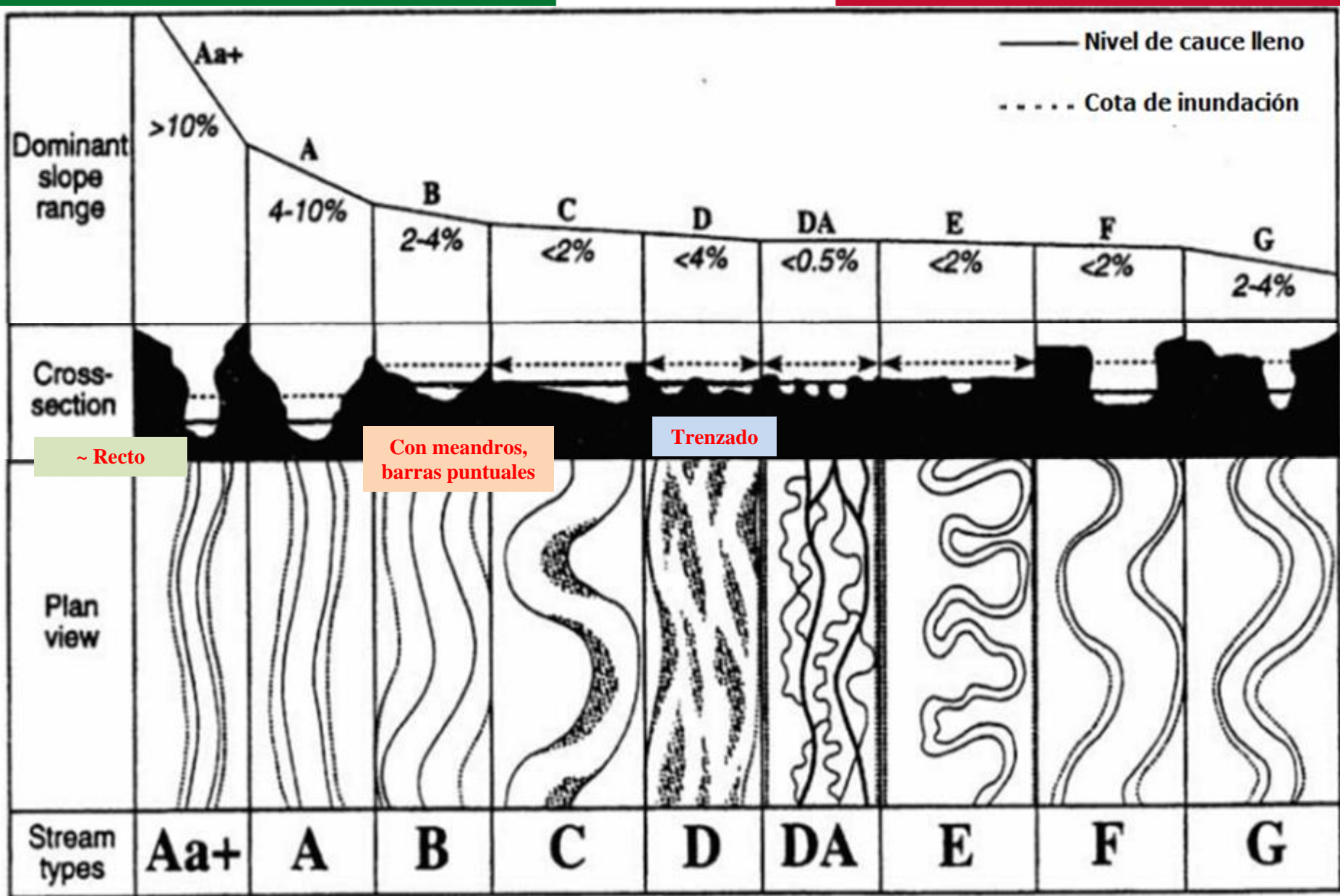
EDAD	CONDICIÓN DE ESTABILIDAD	MATERIAL DE MÁRGENES Y FONDO	GEOMETRÍA	CONDICIÓN DE TRANSPORTE
<p><u>JÓVENES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Cauces de montaña • Pendientes altas • Sección transversal en “v” 	<p><u>ESTÁTICA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrastra sedimentos, pero no mueve los elementos de las orillas. 	<p><u>COHESIVOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Alojados en material arcilloso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Rectos sinuosos, con meandros. • Trenzados, con islas, en estuario, pantanos o deltas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los tramos de los ríos pueden estar sujetos a un proceso de erosión, sedimentación o en equilibrio.
<p><u>MADUROS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • En valles amplios • Pendientes interm. a bajas 	<p><u>DINÁMICA</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Arrastra sedimentos del fondo y de las orillas. 	<p><u>NO COHESIVOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Partículas sueltas; acorazados (capa gruesa en su superficie). 		
<p><u>VIEJOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • En planicies cuyo ancho del río es 15 a 20 veces mayor que el ancho de los meandros. • Pendientes <<< 	<ul style="list-style-type: none"> • La pendiente y la sección no cambian apreciablemente año con año. 			



- La tipología de los ríos se puede basar en:
 - ✓ Forma de la vista en planta del curso del río
 - ✓ Existencia y tipos de bancos de arena e islas
- Los **procesos físicos** responsables del desarrollo de uno u otro tipo **aún no se entienden**. Sin embargo, la ingeniería no puede esperar hasta que este conocimiento esté disponible.
- **Además de (o en lugar de) clasificar los ríos morfológicamente, se debe comenzar con un diagnóstico, basado en todos los datos y la información disponibles.**

TIPOLOGÍA DE RÍOS CON BASE EN LA VISTA EN PLANTA

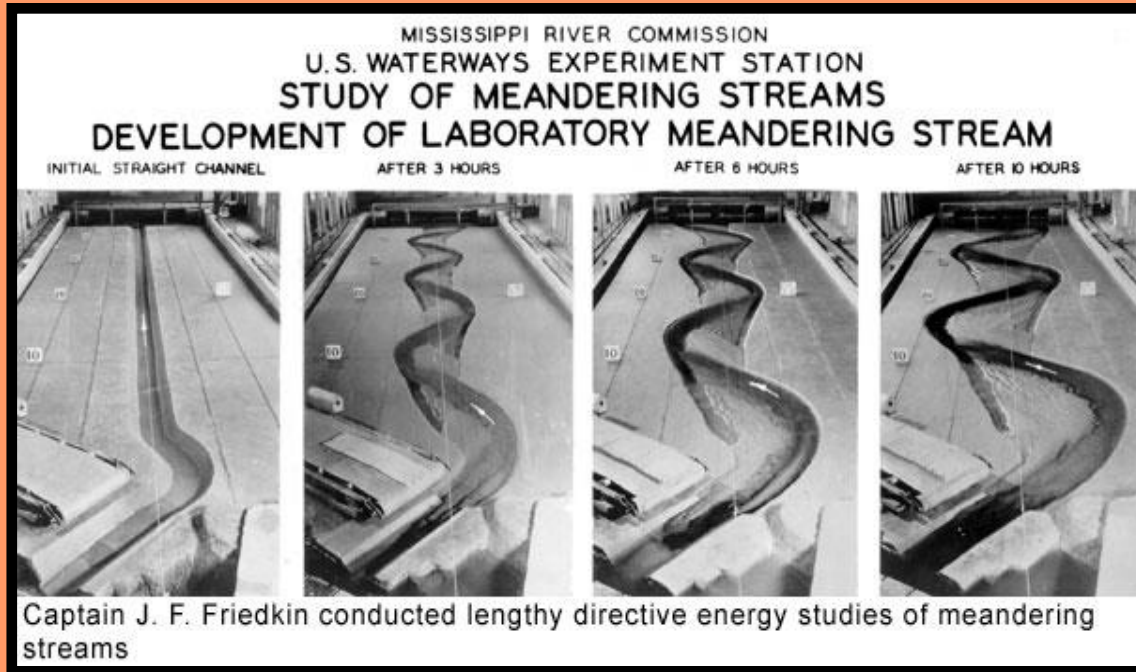




Vistas longitudinal, secciones y en planta de los tipos de corrientes más importantes, considerando el método de Rosgen. (Abad 2013).

Trenzado o con meandros?

- No hay teorías universalmente aceptadas para explicar las razones del trezado y la formación de los meandros en los ríos.



...se forman por erosión de la margen externa (convexa) y sedimentación en la margen interna (cóncava)...

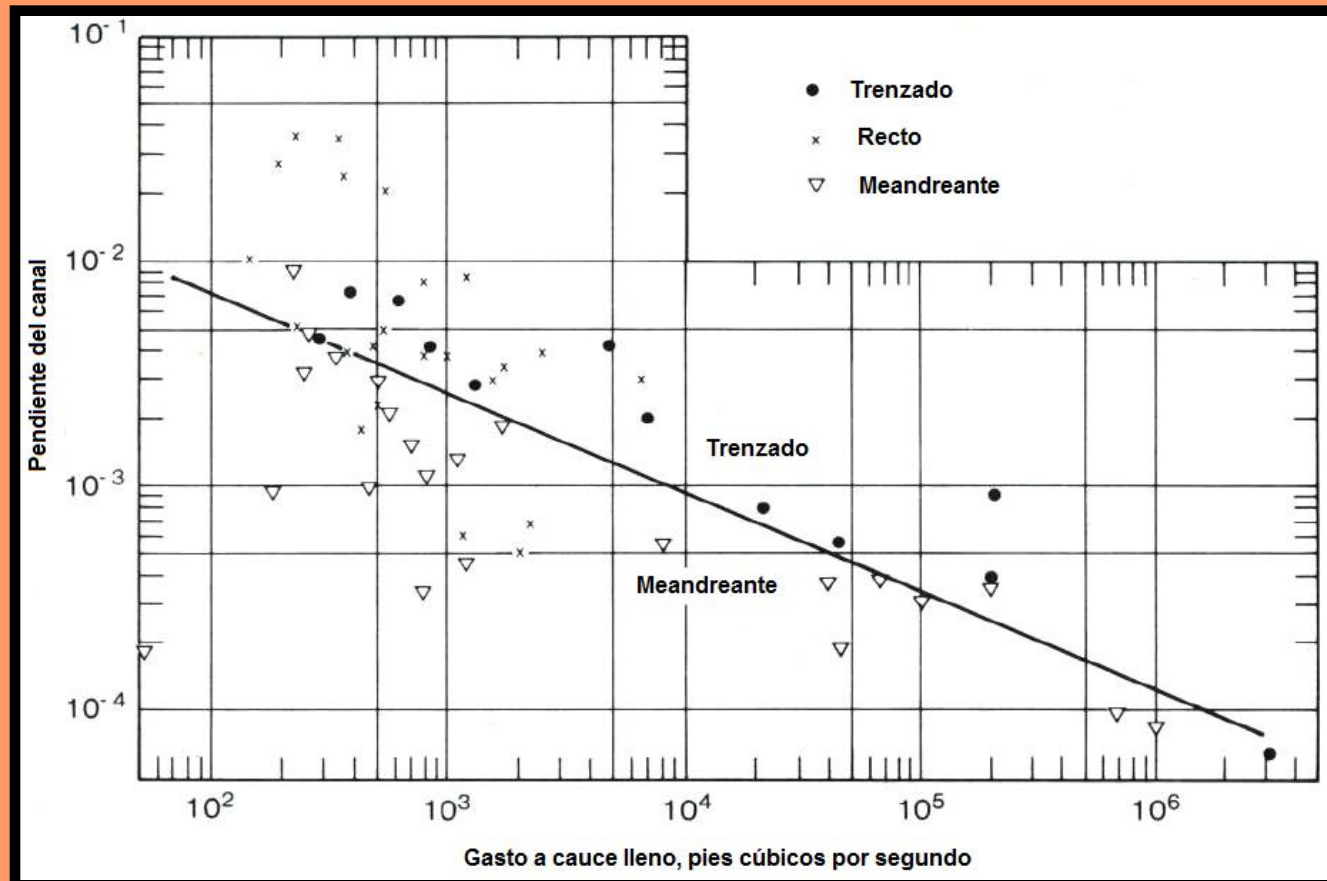
...pueden ocurrir cortes de meandro, que dejan brazos muertos: ("oxbow lakes")....

- **La influencia del gasto y la pendiente** en los patrones de los ríos son bien aceptados, mientras que el papel del transporte de sedimentos no está claro aún.

Trenzado o con meandros?

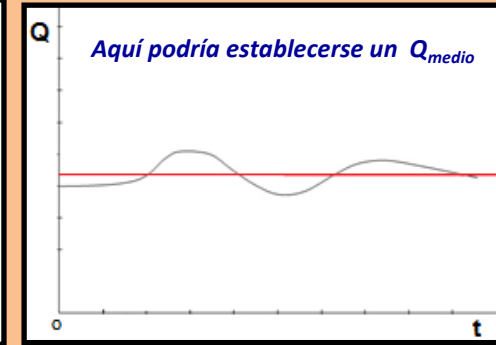
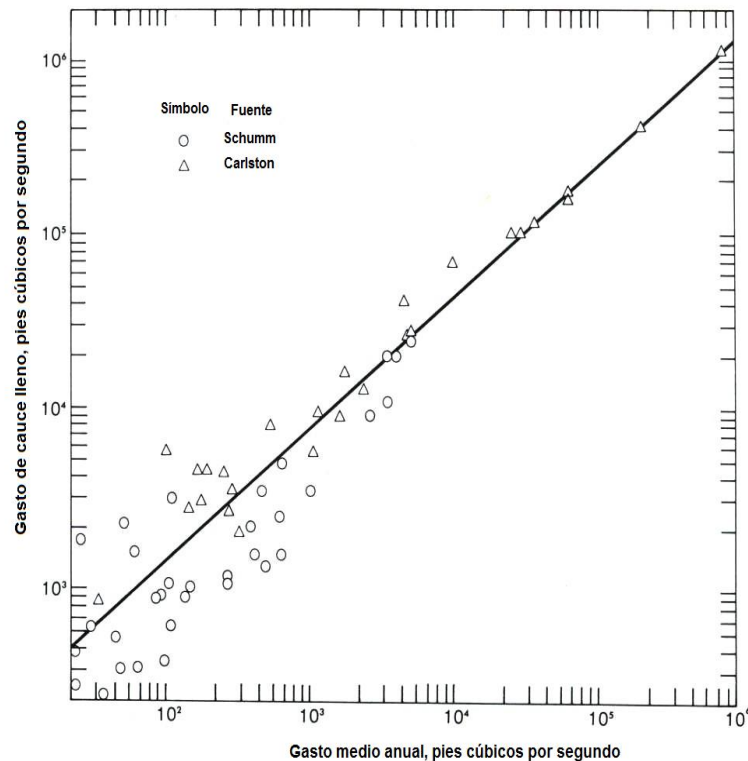
- Leopold y Wolman (1957) realizaron el análisis de un gran número de ríos en términos de la pendiente del canal y de la condición de cauce lleno.
- Sin embargo, ríos rectos, como se indica en el gráfico, sólo pueden existir debido a la configuración geomorfológica.

Valores de pendiente y gasto a cauce lleno para canales naturales así como el umbral para distinguir entre ríos trezados y meandreantes (Leopold y Wolman, 1957).

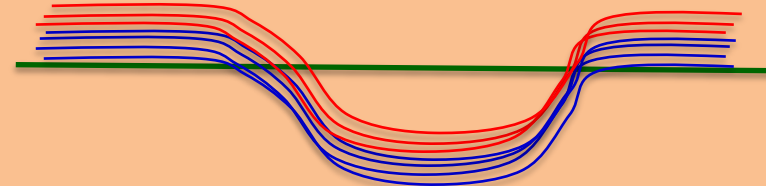


Trenzado o con meandros?

- Muchos expertos creen que existe un gasto que forma el canal, el cual por lo general se toma como aquel que llena el cauce, que de alguna manera se relaciona con el gasto anual promedio.
- Sin embargo se cree que en la mayoría de los casos, la morfología de los ríos depende de la **variación con el tiempo (tipos de inundaciones y la historia)....**



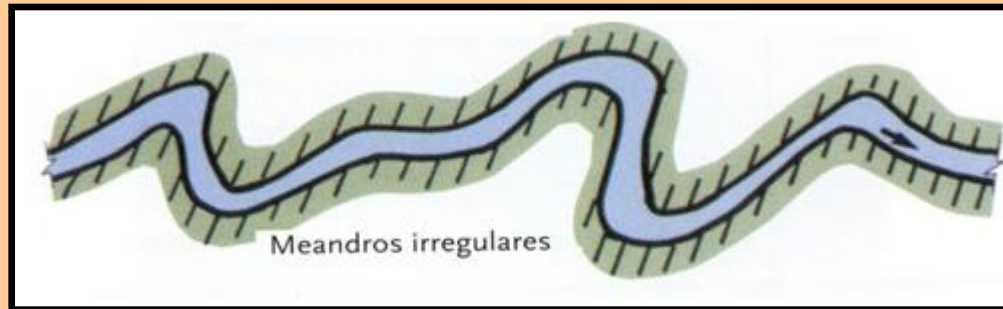
Enfoque Geomorfológico: "equilibrio"
erosión cauce + sedimentación llanuras



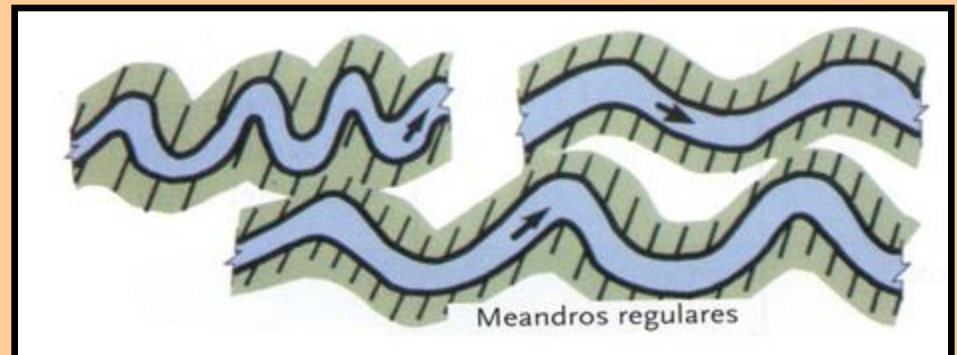
✓ Los ríos pueden ser clasificados en función de la regularidad de los meandros.



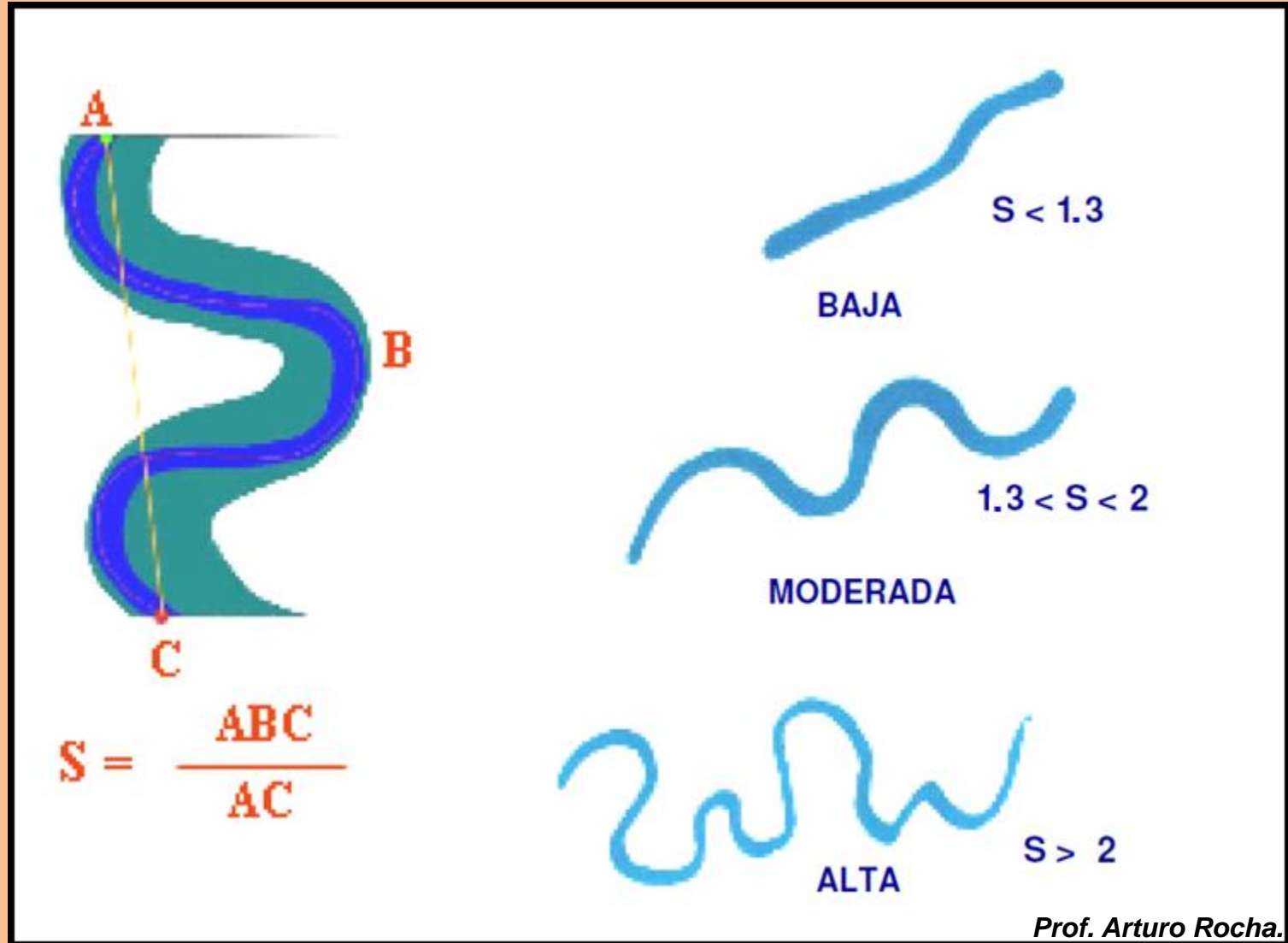
- *Meandros tortuosos e irregulares tiene su origen principalmente por diferencias entre el fondo del cauce y la composición de los bancos (geología y relieve).*



- *Existen meandros regulares, a pesar de que son la excepción.*



Cálculo del índice de Sinuosidad de un río



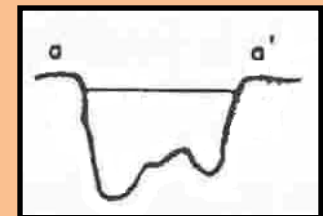
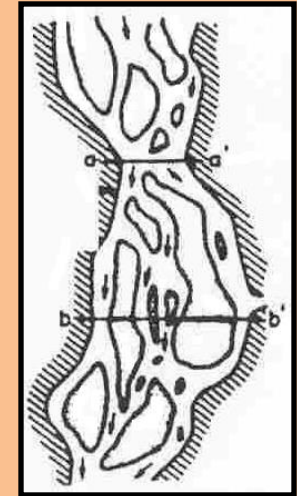
DE LLANURA, MEÁNDRICOS, CON BARRAS E ISLAS...



**Ríos de la Amazonía boliviana,
regulares, meandros tortuosos,
tramos trenzados.**

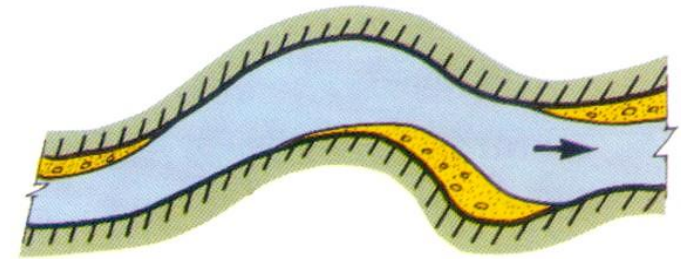


- ✓ **Islas inestables - cambian de forma en cada inundación.**
- ✓ Presencia de varios canales en todas las secciones transversales.
- ✓ **Algunas barras se mantienen estables durante suficiente tiempo para permitir que crezca vegetación.**
 - ✓ Las riberas de los ríos tienen formas irregulares.



Barras

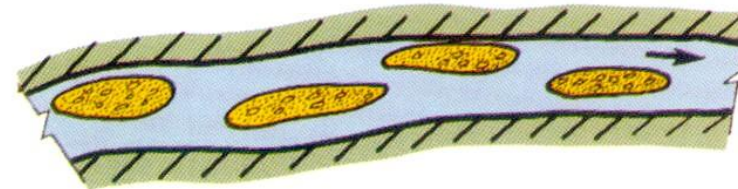
- **Puntuales:** se encuentran en el interior de las curvas.
- **Laterales:** se localizan junto a los bancos, por lo general en canales rectos.
- **En la mitad del canal:** sin conexión con otras.
- **Diagonales:** se extienden a través de un canal a un ángulo definido con respecto a la orilla del río; el flujo se derrama sobre la barra en forma de una rápida.



Barras puntuales



Barras laterales



Barras intermedias



Barras diagonales

(Fuente: "Erosion and Sedimentation in the Nepal Himalaya" Vic Galay, 1987)

Ríos de grava



RÍOS DE GRAVAS

↓
 σ_{ALTA}

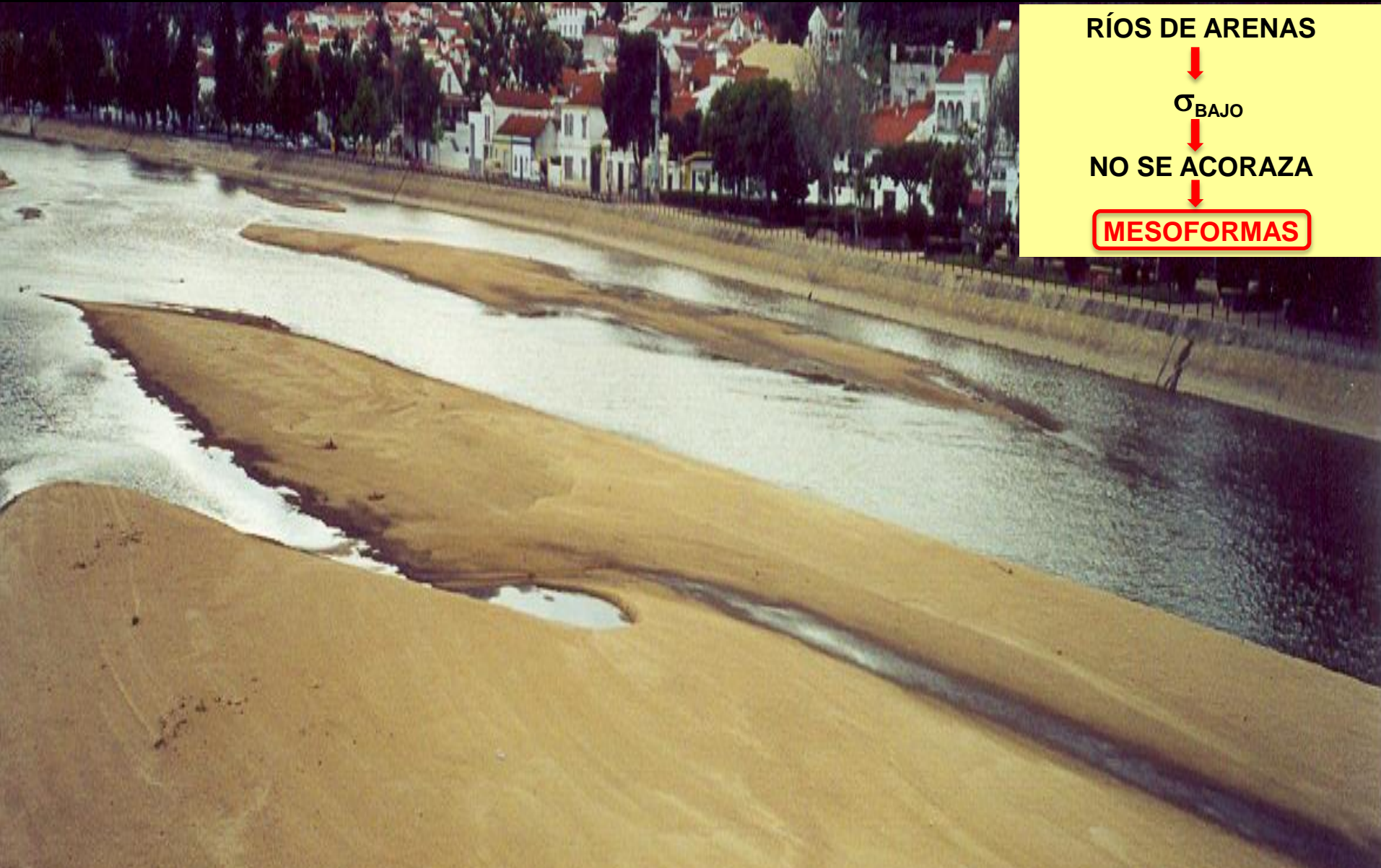
↓
ACORAZAMIENTO

↓
BARRAS





Ríos de arena



RÍOS DE ARENAS



σ_{BAJO}

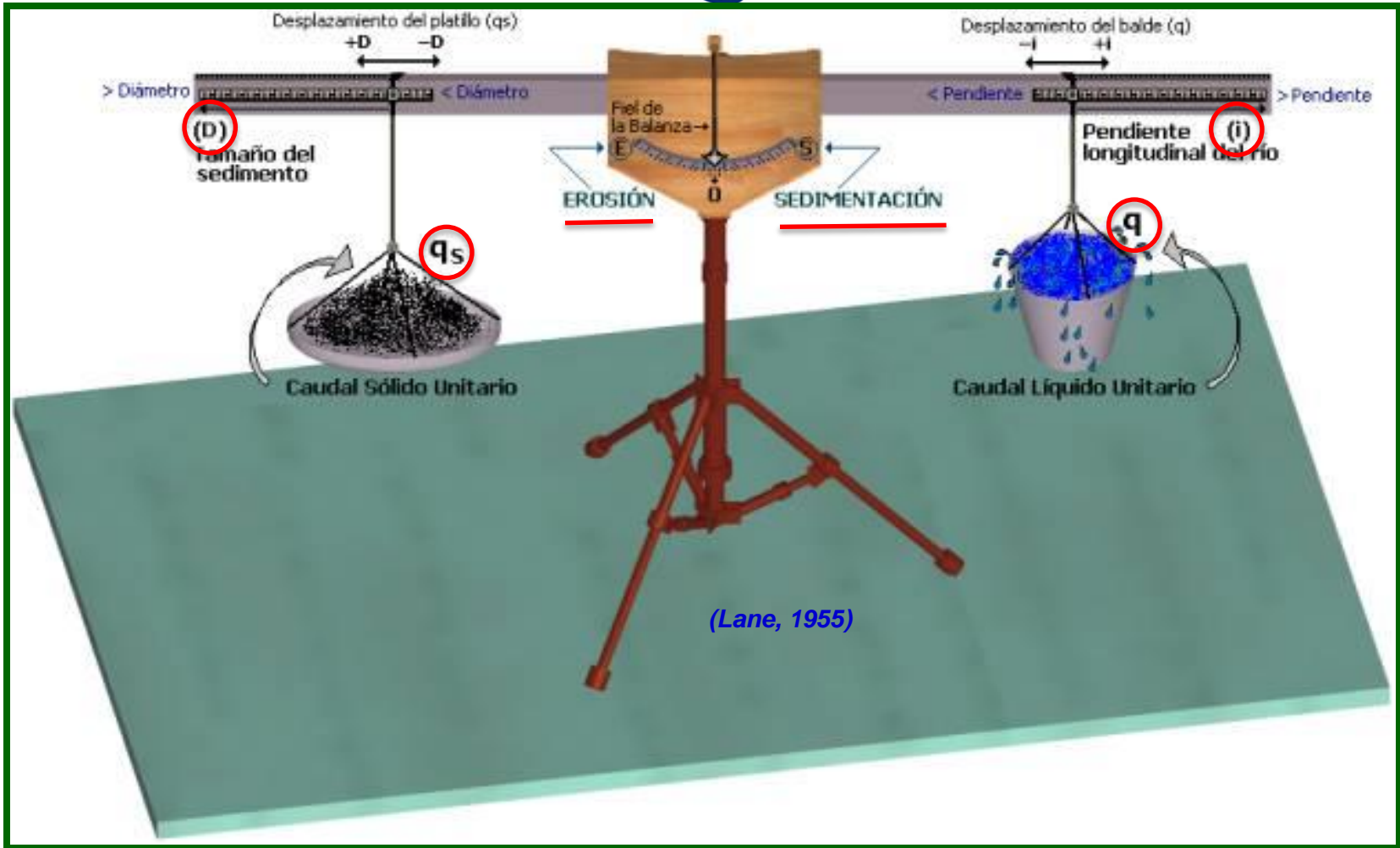


NO SE ACORAZA



MESOFORMAS

EQUILIBRIO DE FONDO – ANALOGÍA DE LANE



❖ Hay una adaptación a largo plazo de la morfología del río al flujo y a los sedimentos.

- ✓ Lane mostró que el producto del caudal por la pendiente es proporcional al producto de la carga de sedimentos por el tamaño del sedimento.
- ✓ Puede emplearse para evaluar la respuesta de río a cambios en el régimen hidrológico y sedimentológico de un río.

ASPECTOS MORFOLÓGICOS

EXTRACCIÓN ILEGAL...



- ✓ **La geomorfología de los cauces es el resultado de muchos factores: hidráulicos, sedimentológicos, geológicos, tectónicos, resistencia a la erosión del lecho ...**
- ✓ **Lo más importante es comprender cómo se creó la morfología del río observado, por lo que podría tenerse un buen concepto, antes de construir modelos físicos o numéricos.**
- ✓ **Para comprender los procesos fluviales, no necesitamos conocer todas las formulaciones matemáticas, ni entender todos los procesos físicos. La experiencia práctica es muy importante.**
- ✓ **La comprensión de los mecanismos que rigen el comportamiento de un río debe pasar por los estudios de campo, observaciones y mediciones que se han hecho muy poderosas con las nuevas tecnologías.**
- ✓ **Los proyectos en ríos deberían comenzar con una fase de diagnóstico en el que la situación **geomorfológica** debe que ser central.**

- ✓ La influencia de las actividades humanas sobre los **cambios morfológicos** debe ser evaluada (evaluación de impacto morfológico).
- ✓ La Ingeniería de Ríos debe tener en cuenta la probable respuesta del río al proyecto, lo que sigue siendo eficaz incluso cuando aparecen nuevos **cambios morfológicos**.
- ✓ Los Ingenieros de Ríos deben reconocer todos los procesos responsables de los **cambios morfológicos**, no sólo los hidráulicos sino también aquellos relacionados con el transporte de sedimentos.
- ✓ **La morfología** del curso de un río debe entenderse a través de los procesos, no haciendo categorías de ríos.
- ✓ El desarrollo de herramientas específicas por categoría o tipo de río es “peligroso”, porque la realidad es mucho más compleja que la teoría.

DISTURBIOS EN EL CAUCE...

✓ Naturales

Avenidas, incendios, cárcavas, sequías, tormentas, fallas geológicas...

✓ Humanos

Uso y manejo del suelo, modificación del cauce, presas y derivaciones. **Puede acelerar fuertemente las evoluciones naturales.**

Cadena causal de alteraciones a la estructura y funciones del corredor del cauce.



Cambios en el uso del suelo o del corredor fluvial



GRACIAS POR SU ATENCIÓN !



Chalchiuhtlicue