

TERCER SEMINARIO INTERNACIONAL DE POTAMOLOGIA



ORIGEN, PROPIEDADES E IMPORTANCIA DE LOS SEDIMENTOS



PARTE I

Fabián Rivera

Agosto 2011


TERCER
SEMINARIO
INTERNACIONAL DE
POTAMOLOGÍA
JOSÉ ANTONIO MAZA ÁLVAREZ

“JOSE ANTONIO MAZA ÁLVAREZ”



La importancia de los sedimentos **CASO: NEW ORLEANS**



EL PROBLEMA SE VOLVIO IMPORTANTE DEBIDO AL HURACAN KATRINA

Hasta Agosto 29, 2005,
New Orleans era una ciudad
vibrante.



**Conectada al Rio
Mississippi**



Y LUEGO EL HURACAN KATRINA IMPACTO SOBRE NEW ORLEANS



TERCER SEMINARIO INTERNACIONAL DE POTAMOLOGIA
RÍO MAZA ÁLVAREZ

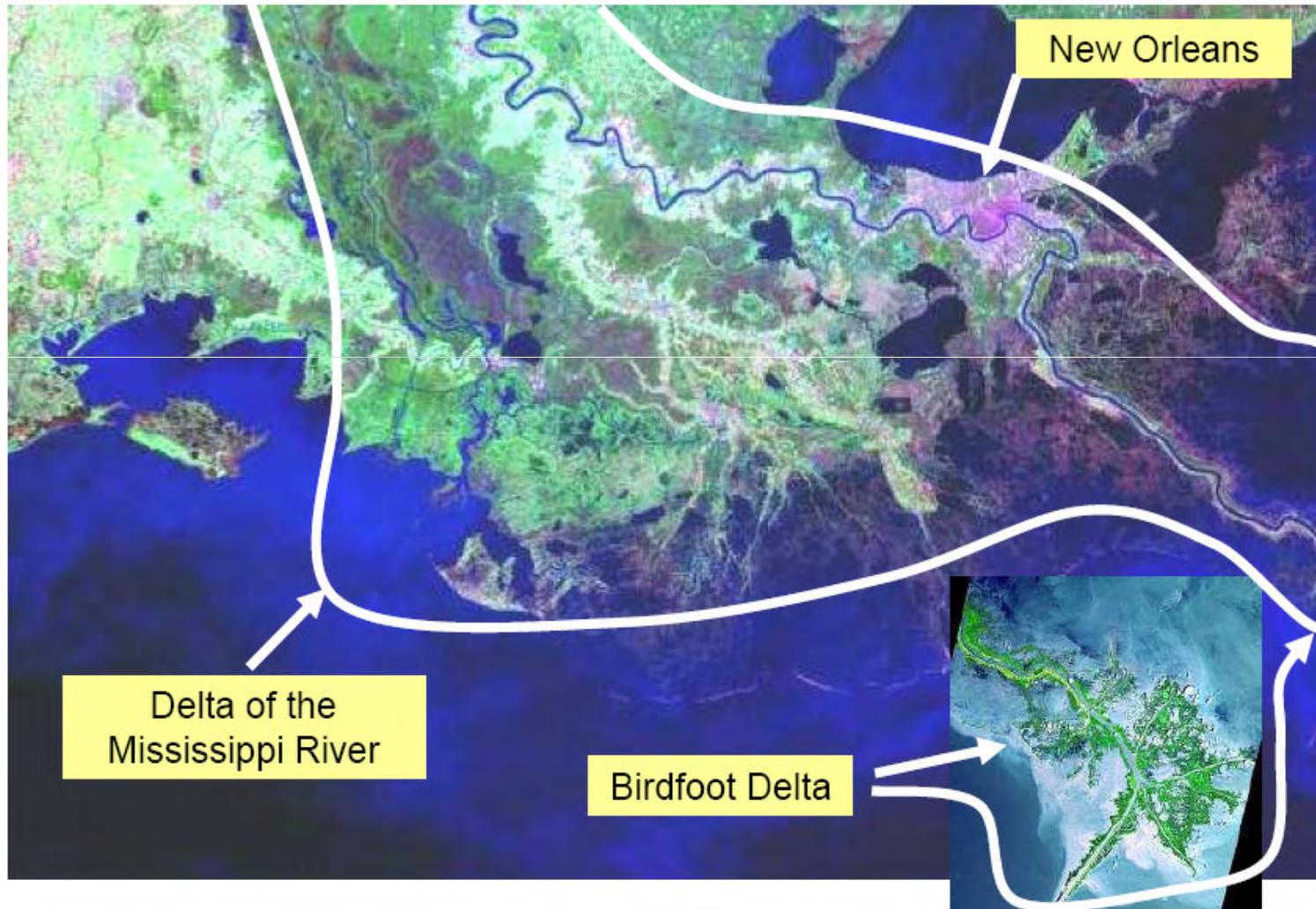


SUMERGIENDO GRAN PARTE DE LA CIUDAD Y CAUSANDO CUANTIOSAS PERDIDAS





CUAL ES EL PROBLEMA?





El 80% de la Producción Agrícola de EE.UU., se transporta por la Hidrovía del Mississippi

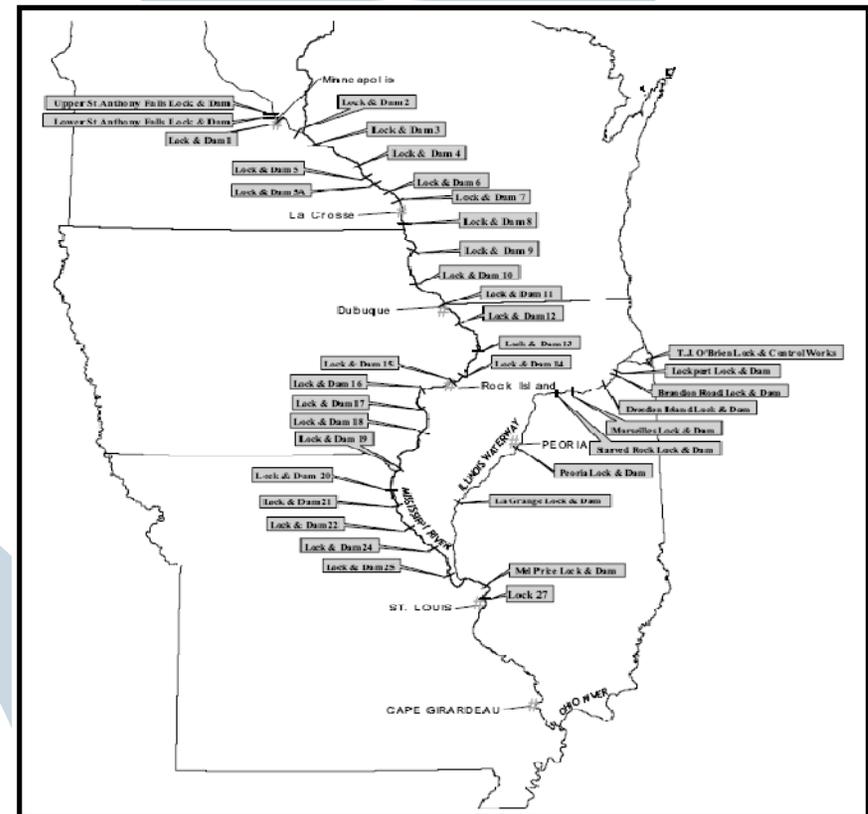


Figure 1-1. Upper Mississippi River-Illinois Waterway Navigation System



Lecciones aprendidas

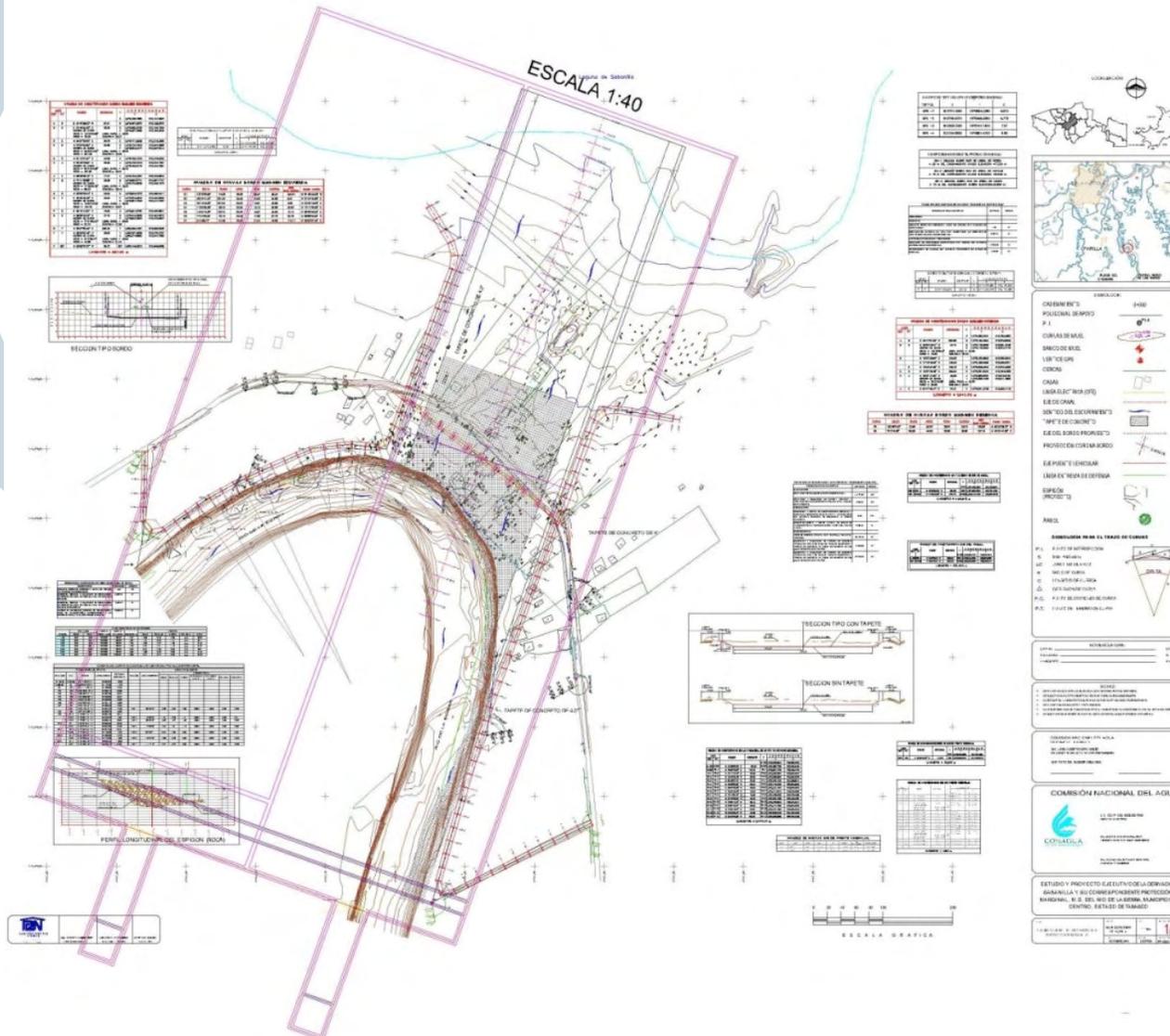


Actualmente los EUA, están legislando en materia hidráulica para empezar a crear “inundaciones” controladas que ayuden a equilibrar al sistema fluvial del río Mississippi





La importancia de los sedimentos CASO: TABASCO



TERCER
SEMINARIO
INTERNACIONAL DE
POTAMOLOGÍA
JOSÉ ANTONIO MAZA ÁLVAREZ



La importancia de los sedimentos en TABASCO





La REALIDAD



JOSE ANTONIO MAZA ALVAREZ



La REALIDAD



¿Cuánto fue la cantidad de sedimentos que aportó el río hacia la planicie?



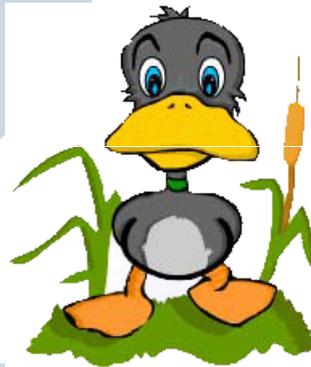

TERCER
SEMINARIO
INTERNACIONAL DE
POTAMOLOGÍA
JOSÉ ANTONIO MAZA ÁLVAREZ

¿Cómo se puede modelar este fenómeno?



Los sedimentos

EL PATITO FEO DE LA HISTORIA





LOS SEDIMENTOS VISTOS DESDE:



- Contexto geomorfológico y composición del sólido
- Carga sólida y mecanismos de transporte
- Inicio del movimiento de las partículas
- Resistencia al flujo (¿ rugosidad ?)
- Fórmulas de transporte de sedimento
- La aplicación de teorías en ingeniería fluvial





Contexto geomorfológico y composición del sólido



- La mayor parte de los sedimentos vienen de la transformación de rocas; la **geología** de la cuenca determina el tipo de mineral traído por los ríos.
- En las cuencas altas, la transformación de las rocas produce generalmente material de gran tamaño, aunque esa regla tiene bastante excepciones.
- A parte de los minerales, restos vegetales forman parte del sólido traído por las aguas.





Contexto geomorfológico y composición del sólido



- La erosión, el transporte y la sedimentación de las partículas sólidas dependen de varios factores: su dimensión, su densidad, su forma, ...
- La composición mineralógica es otro factor importante, en el comportamiento de los sólidos en contacto con sustancias disueltas; e.g., el fenómeno de floculación de los más finos (alumino-silicatos y coloides).
- Existe una clasificación estándar para el tamaño de las partículas.
- Debajo de cierto tamaño interviene la cohesión



TERCER SEMINARIO INTERNACIONAL DE POTAMOLOGÍA



Dimensiones de las partículas			Número de aberturas en el tamiz, por pulgada		Categoría
Milímetros	Milímetros	Micrones	Tyler	Estándar E.U.A.	
4000 - 2000					piedra redondeada muy grande
2000 - 1000					piedras redondeada grande
1000 - 500					piedra redondeada mediana
500 - 250					piedra redondeada pequeña
250 - 130					canto rodado grande
130 - 64					canto rodado pequeño
64 - 32					grava muy gruesa
32 - 16					grava gruesa
16 - 8					grava mediana
8 - 4				2 1/2	grava fina
4 - 2				5	grava muy fina
2 - 1	2.00 - 1.00	2000 - 1000		9	arena muy gruesa
1 - 1/2	1.00 - 0.50	1000 - 500		16	arena gruesa
1/2 - 1/4	0.50 - 0.25	500 - 250		32	arena mediana
1/4 - 1/8	0.25 - 0.125	250 - 125		60	arena fina
1/8 - 1/16	0.125 - 0.062	125 - 62		115	arena muy fina
1/16 - 1/32	0.062 - 0.031	62 - 31		250	limo grueso
1/32 - 1/64	0.031 - 0.016	31 - 16			limo mediano
1/64 - 1/128	0.016 - 0.008	16 - 8			limo fino
1/128 - 1/256	0.008 - 0.004	8 - 4			limo muy fino
1/256 - 1/512	0.004 - 0.0020	4 - 2			arcilla gruesa
1/512 - 1/1024	0.0020 - 0.0010	2 - 1			arcilla mediana
1/1024 1/2048	0.0010 - 0.0005	1 - 0.5			arcilla fina
1/2048 1/4096	0.0005 - 0.00024	0.5 - 0.24			arcilla muy fina

Material granular

Material cohesivo





Contexto geomorfológico y composición del sólido



Comentarios:

- Expertos no concuerdan sobre la definición del “sedimento” y de las características esenciales de esto a considerar en estudios.
- En muchos estudios se requieren estudios petrográficos para conocer el origen de las partículas. [\(ver caso del sitio piloto Grijalva\)](#)
- Muy pocos ingenieros hidráulicos tienen suficiente interés o conocimiento en la geología, la petrografía y la mineralogía.

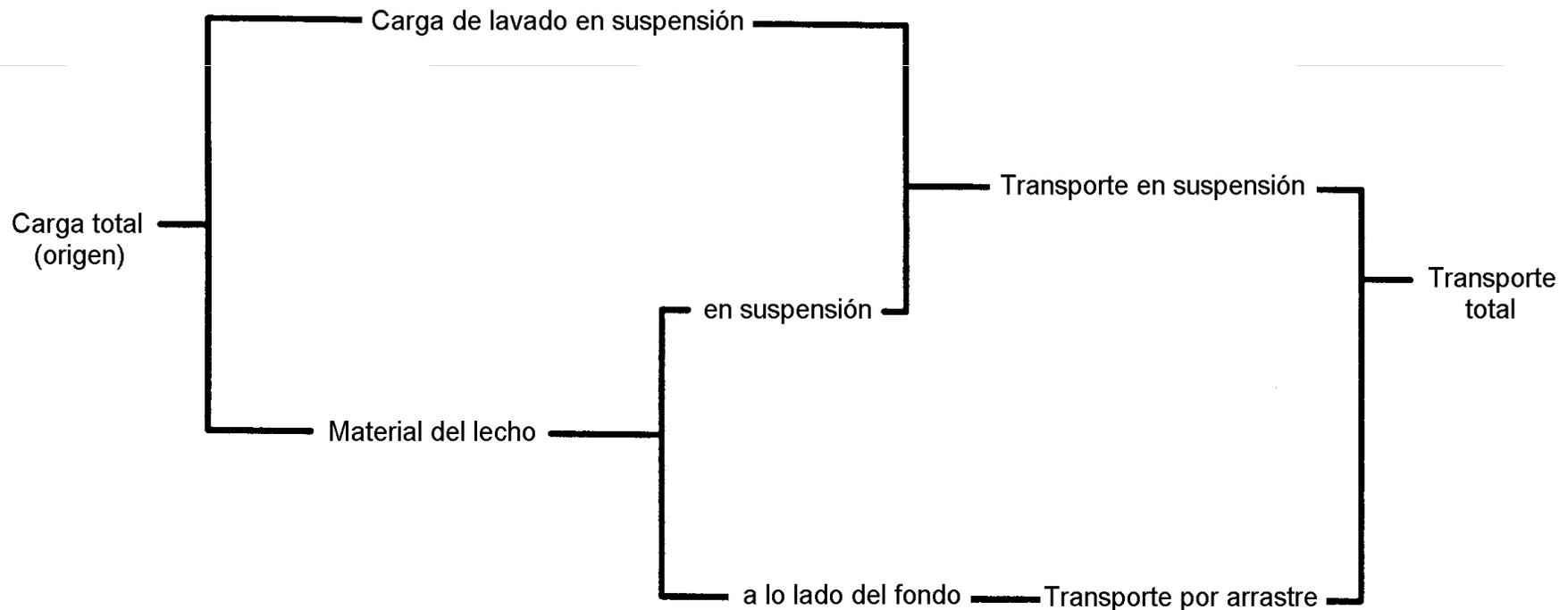




Carga sólida y mecanismos de transporte



- La **norma ISO** presenta una clasificación de cargas y de modos de transporte del sedimento.
- Estudios muestran que esta clasificación no se aplica a todos los ríos, tal como en ríos arenosos.





Carga sólida y mecanismos de transporte



- La mayoría de las teorías consideran de forma simplista que la composición del material sólido transportado por los ríos es sencilla, y no toman en cuenta la **distribución de la granulometría**, tampoco la **variabilidad de la densidad** o de la **composición mineralógica**.
- Las teorías reducen la complejidad de los procesos para poder utilizar fórmulas y modelos simples.
- **Faltan** suficientes **pruebas de campo** para averiguar las teorías.





Carga sólida y mecanismos de transporte



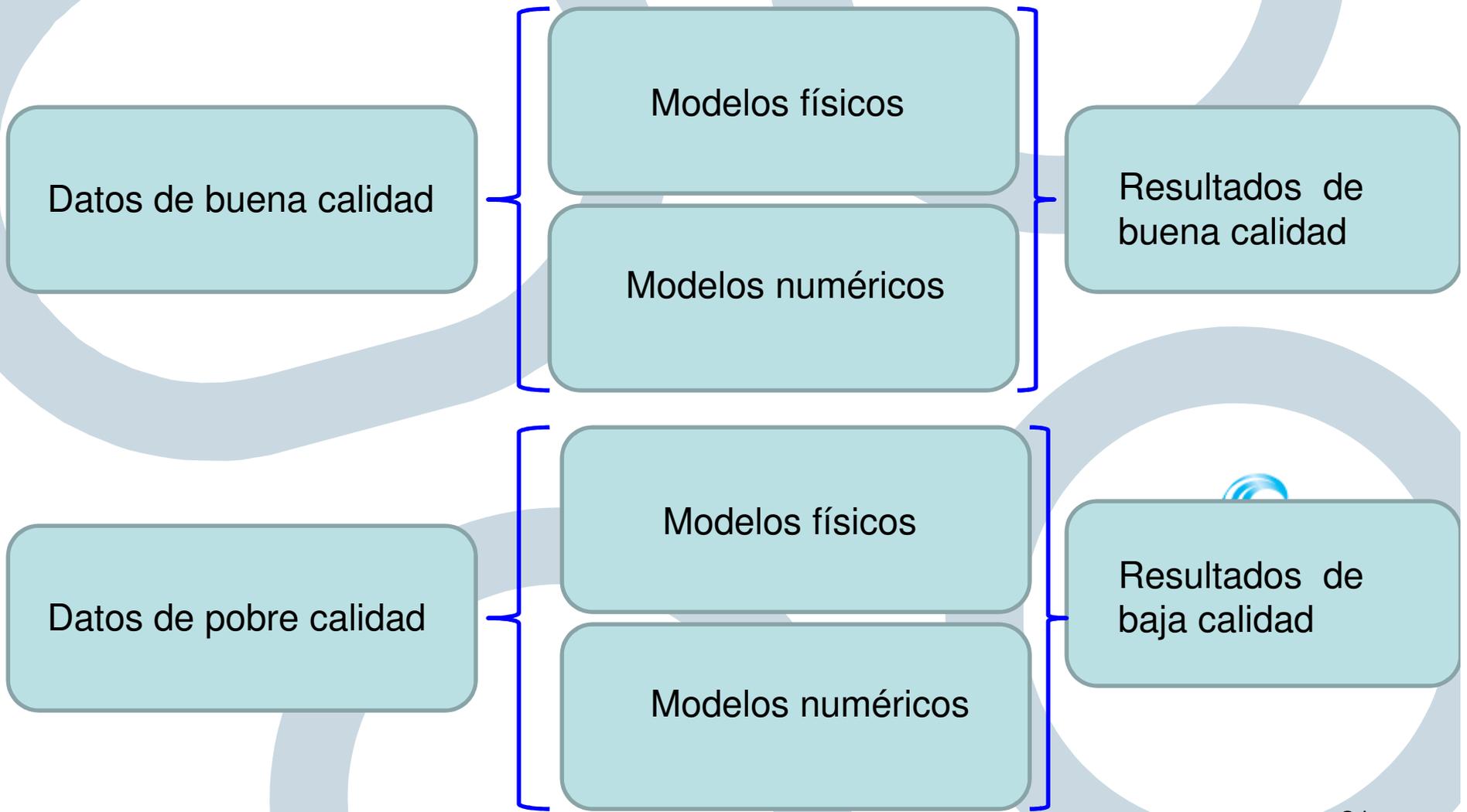
Comentarios:

- México tiene una gran variedad de ríos, con ambientes fluviales y sedimentos bastante diferentes. Los múltiples problemas de ingeniería fluvial y de manejo de sedimento en los sistemas hídricos necesitan una aproximación cuidadosa, con una visión crítica de las teorías.
- Se recomienda, antes de empezar con estudios y modelos, organizar investigación aplicada sobre los procesos.





Carga sólida y mecanismos de transporte





Inicio de movimiento de las partículas



- El transporte del sedimento se inicia bajo ciertas condiciones del flujo, pero el mecanismo exacto se desconoce todavía.
- El **proceso** del transporte sólido es en esencia **estocástico**, pero usualmente **tratado como determinístico**.
- Investigadores intentaron de relacionar el inicio del movimiento de las partículas con algunas variables hidráulicas, tales como la **velocidad** o la **fuerza de arrastre**.
- La turbulencia es un factor mal conocido.





Inicio de movimiento de las partículas

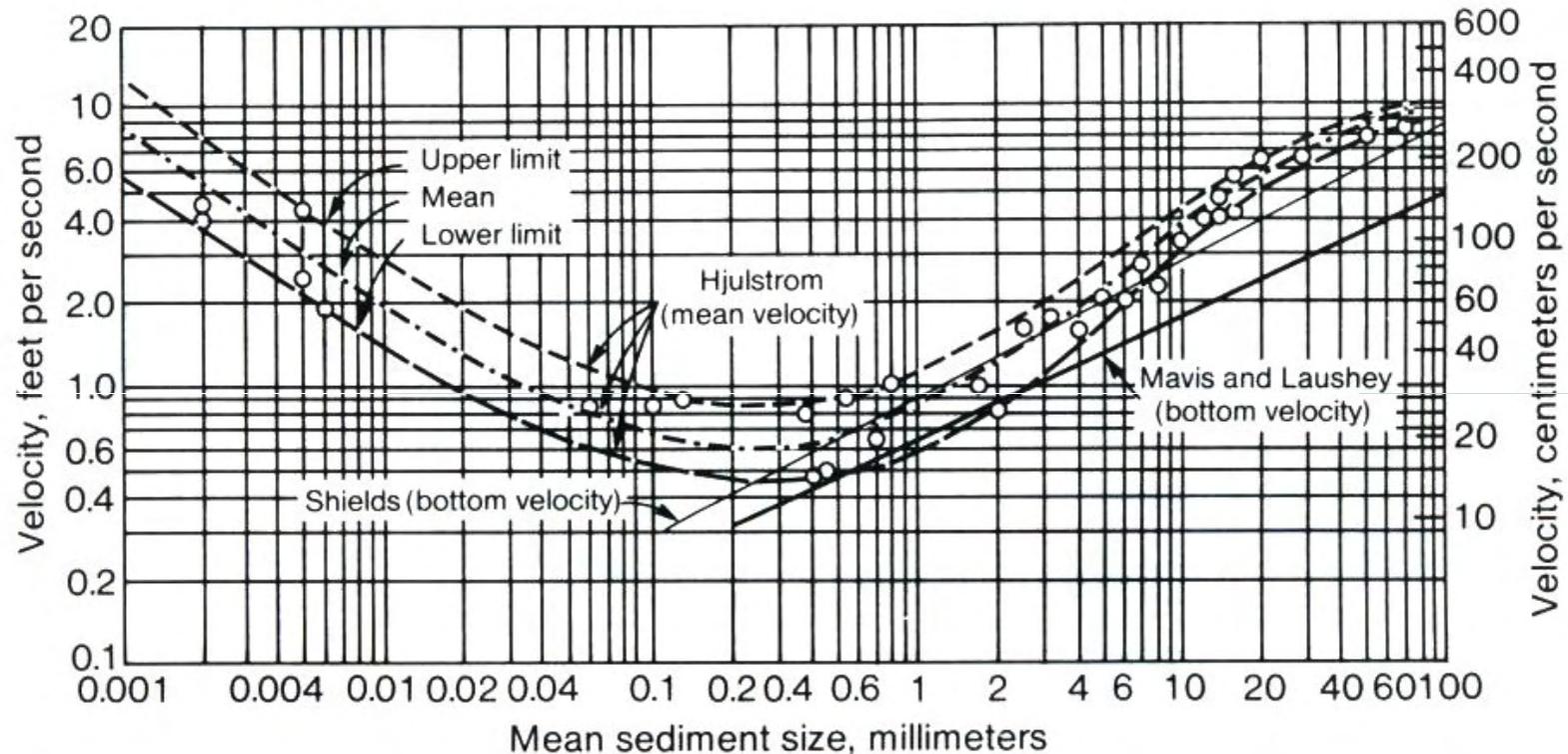


- Una “escuela” relaciona el inicio del movimiento con una **velocidad** del flujo.
- La primera relación fue la de **Hjulstrom** (1935), utilizando la velocidad al fondo; esta no puede determinarse fácilmente, existe una variante usando la velocidad promedio.
- La relación de Hjulstrom es muy práctica para dimensionar obras tales como tanques de sedimentación, pero no se recomienda para estimar, en los ríos, el gasto crítico para iniciar el movimiento del fondo.





Inicio de movimiento de las partículas



Critical water velocities for quartz sediment as function of mean grain size (after ASCE Task Committee, 1967).



Inicio de movimiento de las partículas

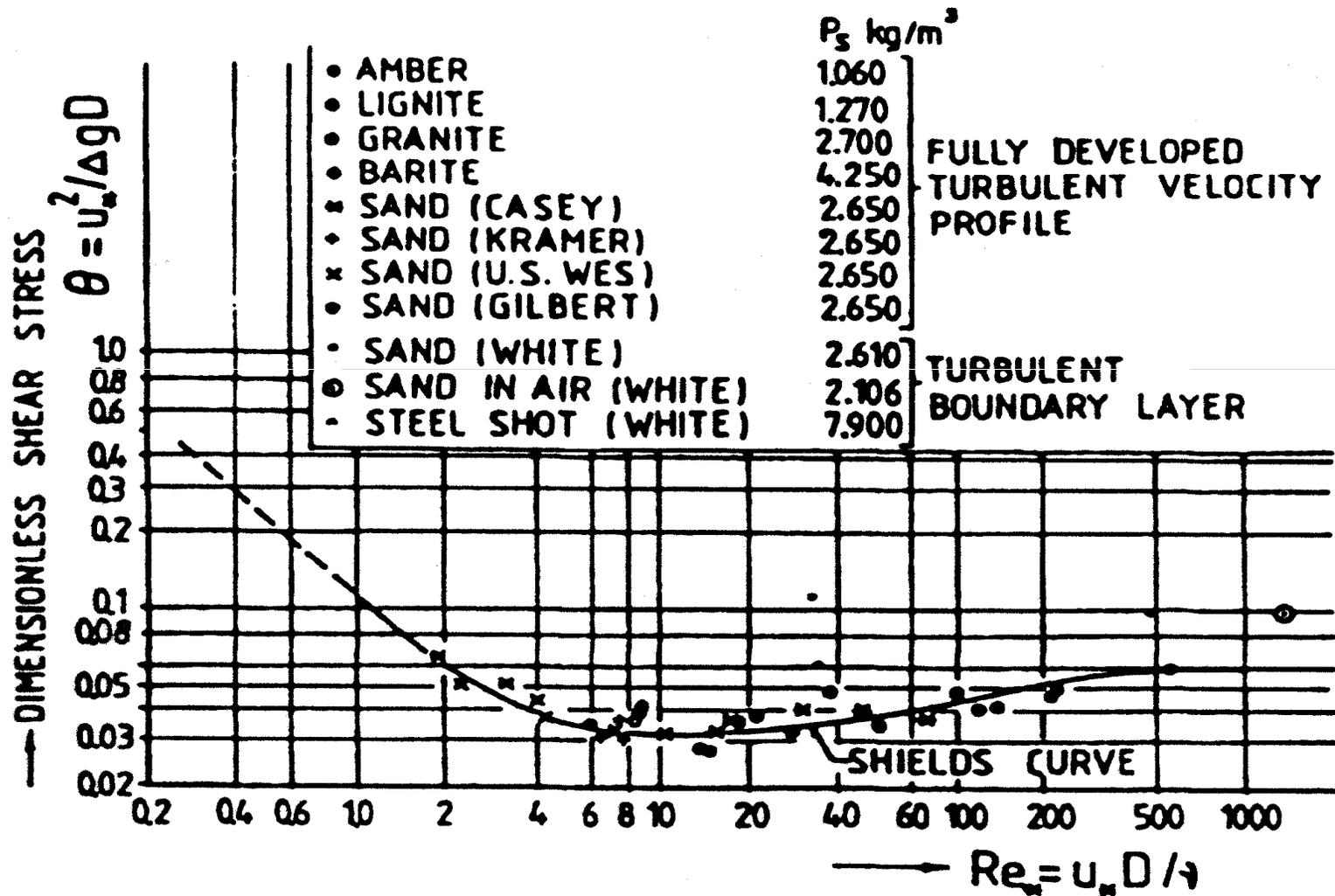


- Otra “escuela” utiliza como parámetro el esfuerzo cortante (**fuerza de arrastre**), lo que es ya más lógico para un proceso dinámico.
- Los intentos para utilizar directamente el esfuerzo cortante no fueron muy exitosos, finalmente fue **Shields** quién logró el éxito, relacionando parámetros adimensionales: el **esfuerzo cortante “ τ_0 ”** y un **número de Reynolds “ Re^* ”** para la partícula.
- El diagrama de Shields es el más usado - y más recomendado (existe en diferentes versiones).





Inicio de movimiento de las partículas



DE

..



Inicio de movimiento de las partículas



Comentarios:

- No hay todavía una sola teoría “universal” para la condición del inicio del transporte.
- En vez de la velocidad o de la fuerza de arrastre, habría que buscar una formula utilizando el poder disponible en el flujo
- *El poder es un trabajo (para mover una partícula cierta distancia) por unidad de tiempo, lo que es igual al producto de una fuerza (la de arrastre) por una velocidad (del flujo).*



Falta una buena definición de la fuerza de arrastre



Resistencia al flujo o rugosidad?



- Las **teorías** sobre la resistencia al flujo en canales de fondo móvil han sido desarrolladas **con base en ensayos en laboratorio**.
- Una primera **clasificación de las formas del lecho** fue elaborada en el laboratorio de Fort Collins (Colorado State University, EUA) desde los años cincuenta.
- Los pocos estudios con mediciones de campo han mostrado los límites de las teorías.





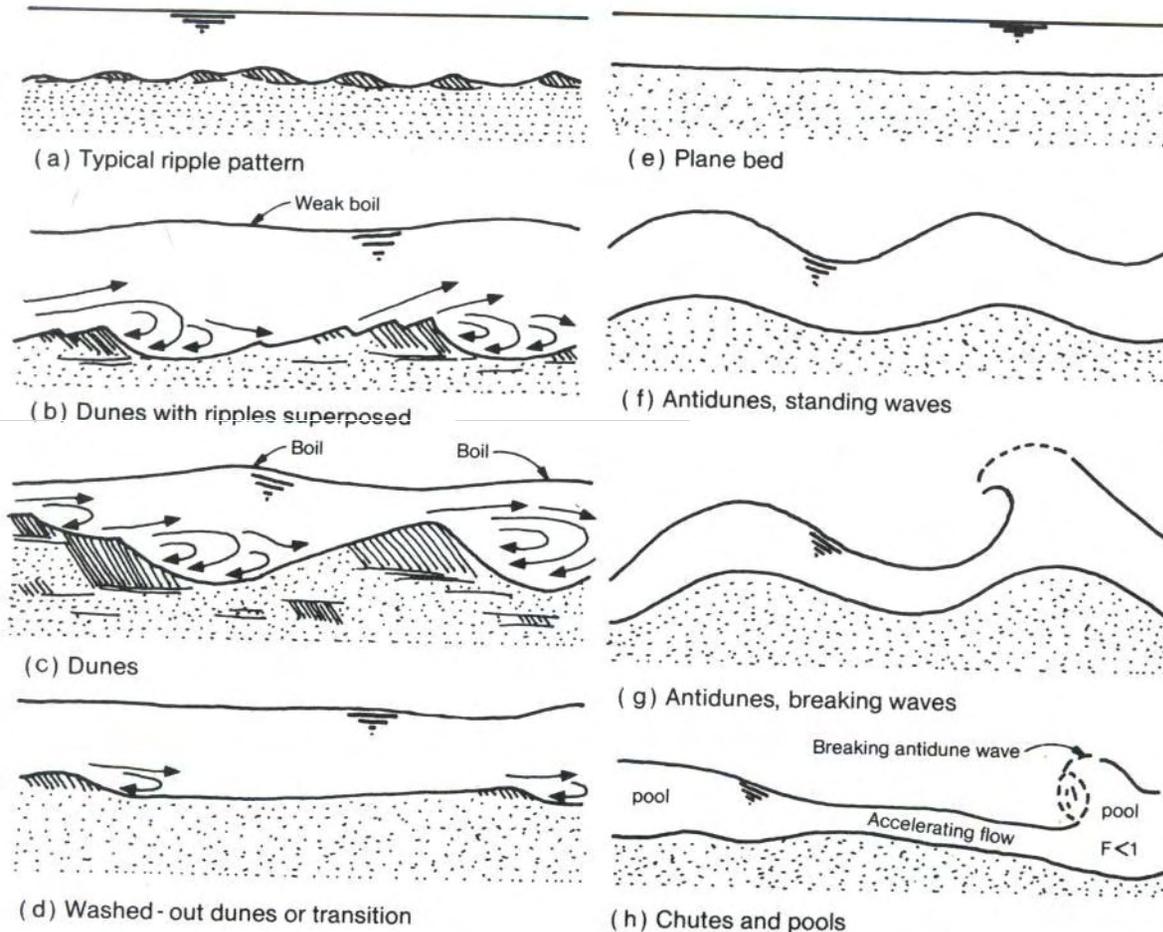
Resistencia al flujo o rugosidad?

- No hay todavía **fórmulas satisfactorias** para predecir formas del lecho o para calcular la resistencia al flujo.
- Formas del lecho se adaptan en permanencia a los cambios de flujo y, más, al desequilibrio entre la capacidad de transporte de sedimento y la disponibilidad del sólido.
- Además, el fondo se adapta con cierto retraso, induciendo **efectos de histéresis**, lo que complica el análisis de las observaciones (de campo)





Resistencia al flujo o rugosidad?



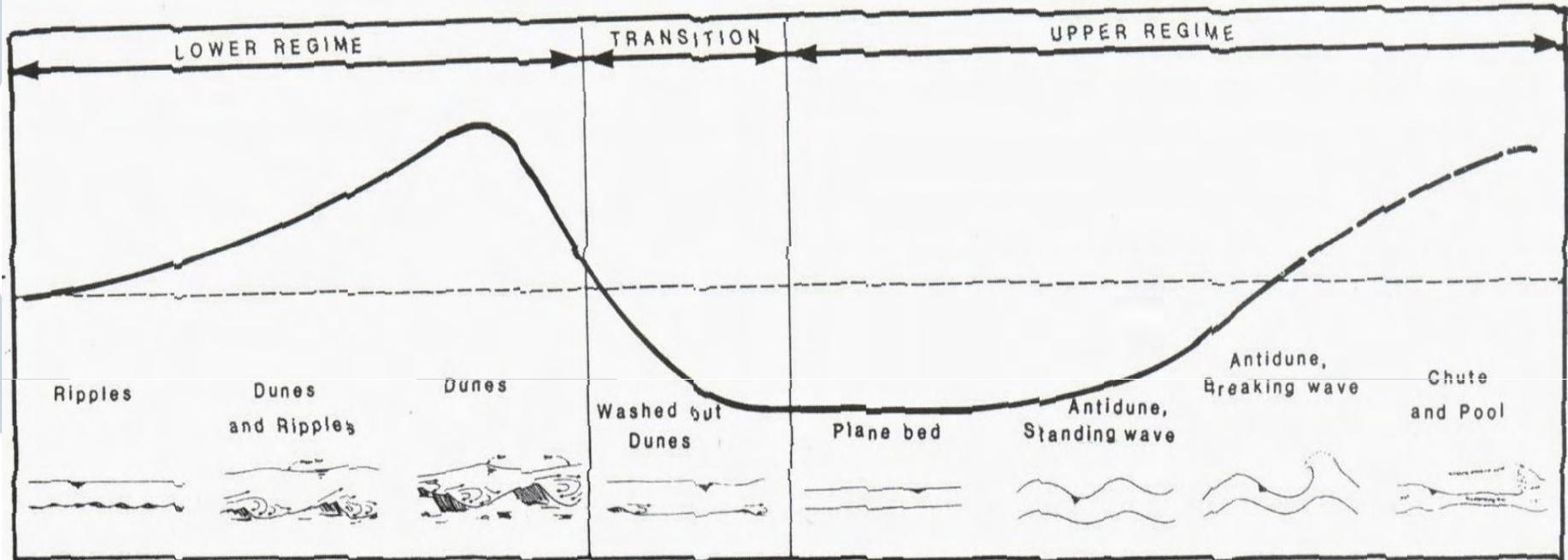
Idealized bed forms in alluvial channels (after Simons et al., 1966).

- Rizos (a)
- Rizos sobre dunas (b)
- Dunas (c)
- Dunas suavizadas (d)
- Fondo plano (e)
- Antidunas (f)
- Antidunas con rompimiento de la onda (g)
- Rápidos y remansos (h)





Resistencia al flujo o rugosidad?



La resistencia al flujo (“n” de Manning):

- aumenta en el régimen inferior (risos hasta dunas),
- cae en la transición (dunas suavizadas y fondo plano)
- aumenta nuevamente en el régimen superior (antidunas hasta rápidos & remansos)



Resistencia al flujo o rugosidad?



Comentarios:

Falta todavía bastante entendimiento en los procesos de formación de formas del lecho y de su relación con el flujo y el transporte de sedimento.

En muchos estudios se utilizan predicción de formas del lecho y de resistencia al flujo (**rugosidad**), aunque estas teorías no han sido confirmadas por estudios de campo.





Fórmulas de transporte de sedimentos



- Hay bastante fórmulas de transporte de sedimento : para transporte en suspensión, para transporte de fondo, para transporte total.
- Hay las fórmulas “físicas” (basadas en principios de la física), y las “experimentales” (basadas en resultados de estudios de laboratorio).
- **No hay** fórmulas establecidas con base en resultados de campo.
- Hay fórmulas muy completas, aunque bastante complejas, tal como la de Einstein, basada en un aproximaciones físicas.





Fórmulas de transporte de sedimentos



- Pocas fórmulas fueron fundadas en un razonamiento físico desde conceptos de disponibilidad de energía y poder.
- La aproximación de Bagnold es un ejemplo de una buena tentativa para relacionar la capacidad de transporte sólido al poder disponible en el flujo
- Cabe notar que de manera general, fórmulas han sido desarrolladas para aplicación en condiciones particulares (ríos de montaña o de planicie)





Fórmulas de transporte de sedimentos



Comentarios:

- No tenemos todavía fórmulas “ideales”, que puedan servir en todas los ríos.
- La aplicación fórmulas diferentes llega usualmente a resultados bastante diferentes (rangos de 1 a 100 no es excepcional)
- Una conclusión escuchada frecuentemente, cuando los resultados del cálculo no cumple con las mediciones es que **!las mediciones no se hicieron con suficiente precisión!**





Fórmulas de transporte de sedimentos



Comentarios:

La experiencia es que algunas fórmulas cumplen **mejor que otras** comparadas con mediciones **bien hechas**.

Las fórmulas calculan la capacidad de transporte, y no el transporte real (**resultado de esa capacidad y de la disponibilidad de sedimento**).

La única manera de elegir una fórmula conveniente para un estudio fluvial es a partir de las mejores mediciones posibles de transporte sólido.





La aplicaciones en POTAMOLOGÍA



- Resolver un problema de ingeniería fluvial requiere: (1) el mejor **entendimiento** posible del funcionamiento dinámico del sistema fluvial (en general) y del transporte de sedimento (en particular); (2) buenos **datos** de campo y (3) la utilización de un conjunto de **herramientas** (tales como modelos matemáticos o físicos) adecuados al “ambiente fluvial” y al tipo de problema a resolver.
- Adquirir datos confiables no está sencillo; utilizar modelos sin datos no es aceptable.





Cuestiones de aplicación de las teorías



Sobre los datos de sedimento:

- El sedimento puede tener **varias fuentes** - erosión de los suelos en el valle, derrumbes y deslizamientos, erosión de las márgenes (antiguos depósitos) - de características muy diferentes (tamaño de las partículas, densidad, ...)
- Los procesos de transporte pueden producir una **segregación de la carga sólida**: material del lecho más fino en estiaje que en avenidas, material más fino sobre los bancos que en el canal activo, ...





Cuestiones de aplicación de las teorías



Sobre el inicio del movimiento de las partículas:

- En realidad, no existe un límite bien definido entre la inmovilidad y el movimiento de las partículas del lecho; es un **aspecto estocástico**.
- También en caudales bajos, el flujo puede concentrarse en “canales” poco anchos, donde el sedimento se mueve, aunque un cálculo daría inmovilidad; sin embargo, hay que estimar cual es la importancia de este movimiento para el problema que se tiene...





Cuestiones de aplicación de las teorías



Sobre el inicio del movimiento de las partículas:

- Cuando el cauce tiene una gran variabilidad en la granulometría del lecho, se complica el análisis del inicio del movimiento.
- A veces (*en aspectos de fluviomorfología*), no tiene sentido medir transporte de sedimentos en aguas bajas cuando la contribución es débil; se debe hacer en la época, donde exista transporte total y cambios en la forma del lecho.
- Existe un fenómeno de “acorazamiento” (*“armouring”*) que impide la erosión del lecho.





Cuestiones de aplicación de las teorías



Sobre la resistencia al flujo (rugosidad)

- Observaciones en los últimos años han confirmado que no se puede predecir la “rugosidad” con las formas del lecho (rizos, dunas,...), excepto en un rango muy limitado de condiciones fluviales.
- La resistencia al flujo depende de más factores que las formas del lecho (meandros, cimas)
- La geometría del río se adapta continuamente a los cambios de flujo, con cierto retraso.





Cuestiones de aplicación de las teorías



Sobre las fórmulas de transporte:

- La partición del transporte sólido en dos cargas (de suspensión y de transporte de fondo) es conveniente para el cálculo, pero bastante artificial; puede aceptarse únicamente en algunos casos cuando el fondo está compuesto de material bastante grueso
- En ríos arenosos, no existe una separación muy clara entre transporte de fondo y de suspensión (tal como en el Bajo Grijalva)





Cuestiones de aplicación de las teorías



Sobre las fórmulas de transporte:

- **Curvas de gasto sólido** existen en algunos casos (ríos principalmente con carga de lavado).
- Sin embargo, en muchos casos, el transporte es “pulsante” (por “ondas”), y el **transporte real** (medido) **no corresponde a la capacidad de transporte**.
- Además, el sedimento puede acumularse durante temporadas en una zona, para ser movilizado después, en este caso es difícil establecer **balances de sedimento**.





FIN A LA PRIMERA PARTE DE SEDIMENTOS



GOLDEN SWAN

G.N.

