REFLEXIÓN SOBRE LOS POSIBLES EFECTOS DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO FLUVIAL SOBRE EL "DESARROLLO DE LA MOJANA"

ANDREA NARDINI

FREDDY LEONARDO FRANCO IDARRAGA

Asistentes

CAMILO NARANJO ARISTIZABAL

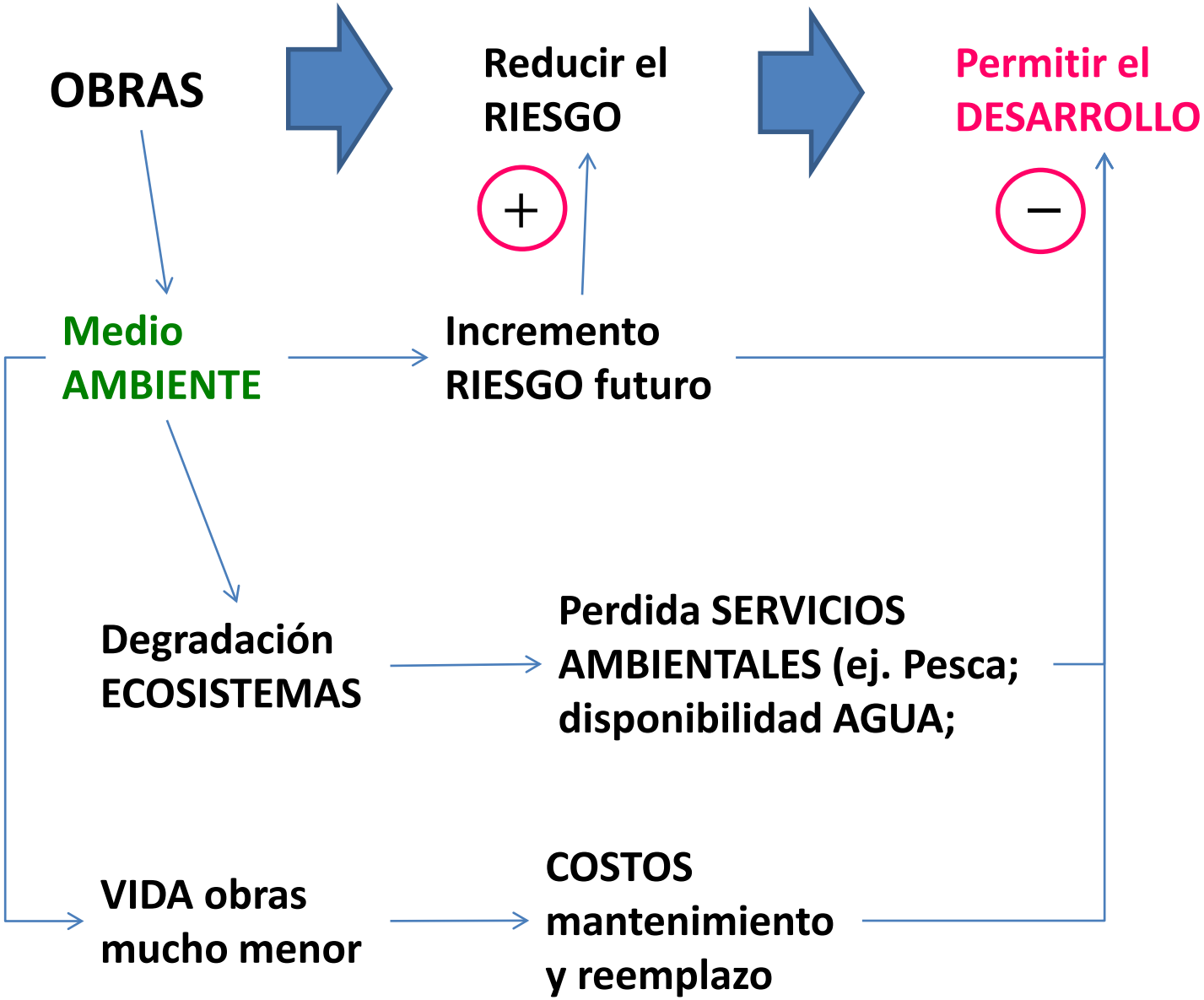
WILBER PIERRE SÁNCHEZ MURCIA

OBJETIVOS

- **Recordar que el sistema real es mucho más complejo que la simple relación**

  “obras → seguridad”

- **Estimular una reflexión critica**
- **Proponer una perspectiva más amplia que puede llevar a soluciones diferentes**


OBRAS
Reducir el RIESGO
Permitir el DESARROLLO
+
−
Medio AMBIENTE
Incremento RIESGO futuro
Degradación ECOSISTEMAS
Perdida SERVICIOS AMBIENTALES (ej. Pesca; disponibilidad AGUA;
VIDA obras mucho menor
COSTOS mantenimiento y reemplazo

METODOLOGÍA

Recopilacion sistemática documentos (políticas, planes y estudios)	→	**Visión y opciones de solución propuestas**
Elaboración modelo conceptual «causa-efecto» con experiencias y analisis de la información disponible en la MOJANA	→	**Herramienta de información y predicción**
Concepción de ALTernativas a comparar	→	**Síntesis e interpretación docs oficiales**
Predicción cualitativa de efectos de estas ALTs con el modelo	→	**Reflexiones y recomendaciones**

Desarrollo de este documento

La estructura de este documento se aborda siguiendo tres temas clave: RIESGO (fondo azul), AMBIENTE (fondo verde) y COSTOS (fondo naranja) todos en relación a la dinámica morfológica del sistema fluvial, siendo complejos todo ellos, se procede así:

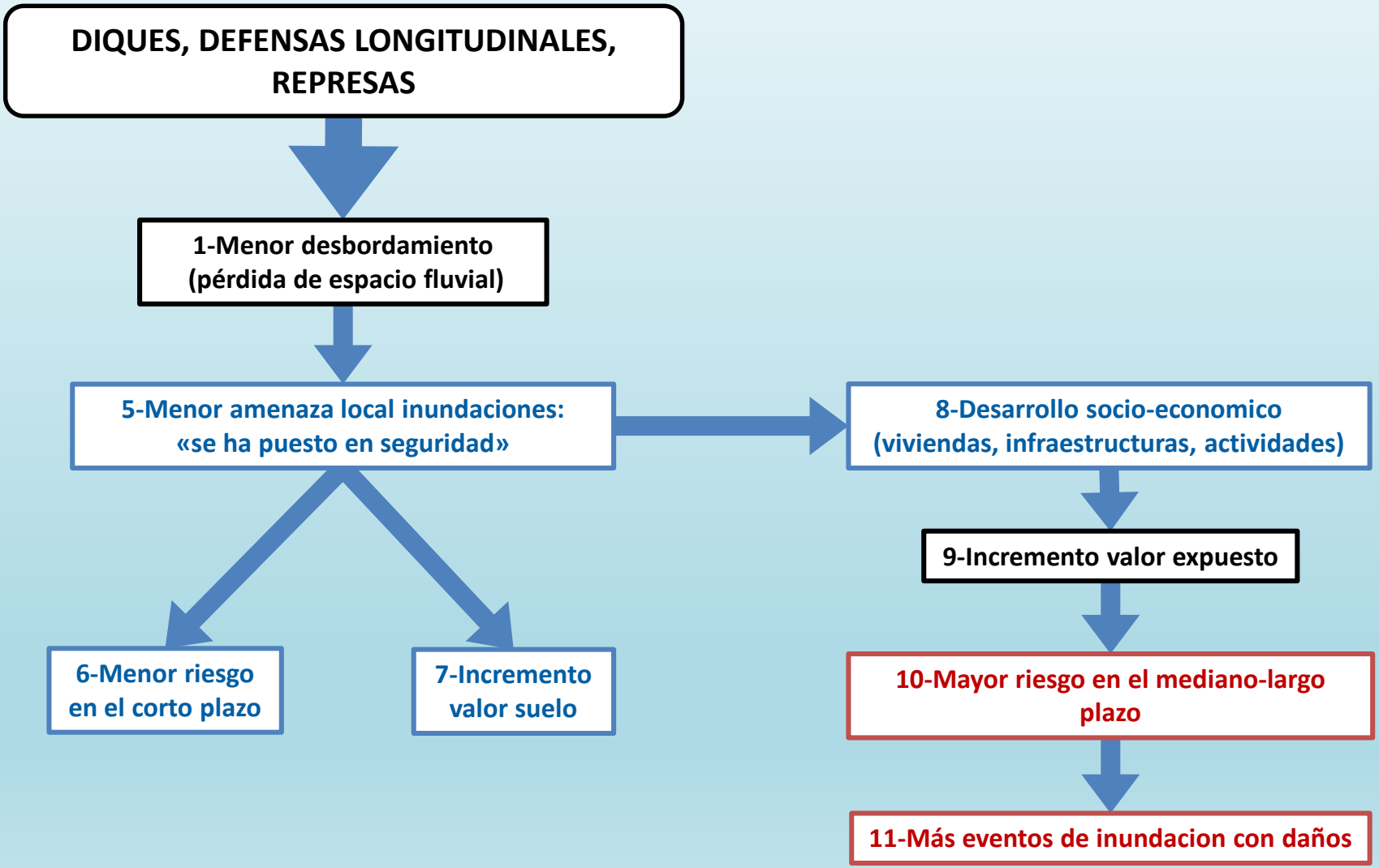
1) Se analizan las redes de relaciones causa-efecto, que para el componente RIESGO se trabajan en subredes que luego se reúnen en un esquema consolidado con el fin de recordar que al ser un sistema, todo debería ser considerado en conjunto.
2) Se abordan aclaraciones de tipo conceptual y mediante evidencias internacionales y nacionales de dichos fenómenos, se demuestra su existencia.
3) Finalmente se aportan informaciones acerca de cuanto de esto se sabe o se ha estudiado específicamente en La Mojana.

R I E S G O

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

Convenciones:
Negro: Factores causales
Rojo: Problemas o impactos positivos
Azul: Resultado o impactos positivos

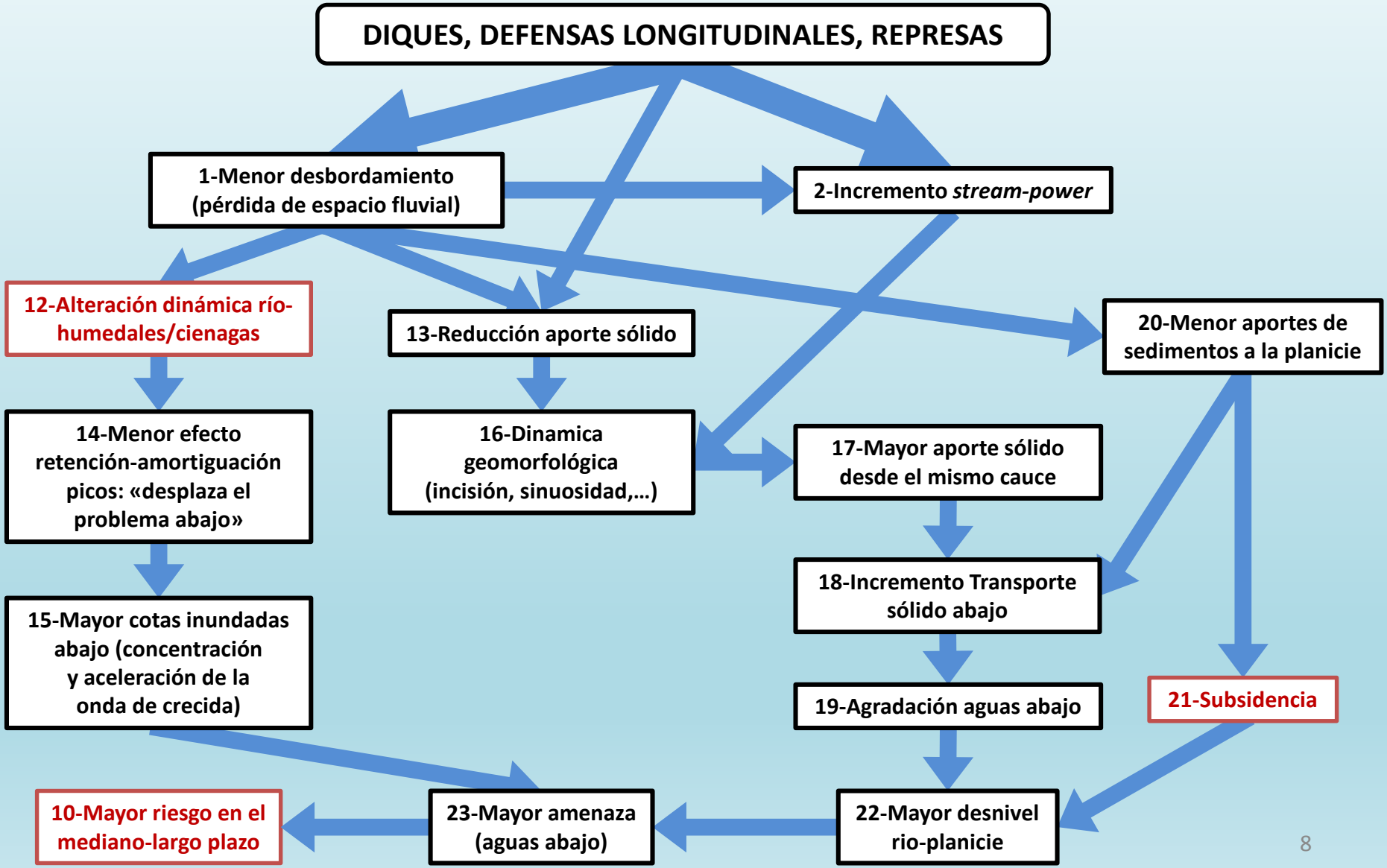
Obras que "a la larga" aumentan el riesgo



FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

Convenciones:
Negro: Factores causales
Rojo: Problemas o impactos positivos
Azul: Resultado o impactos positivos

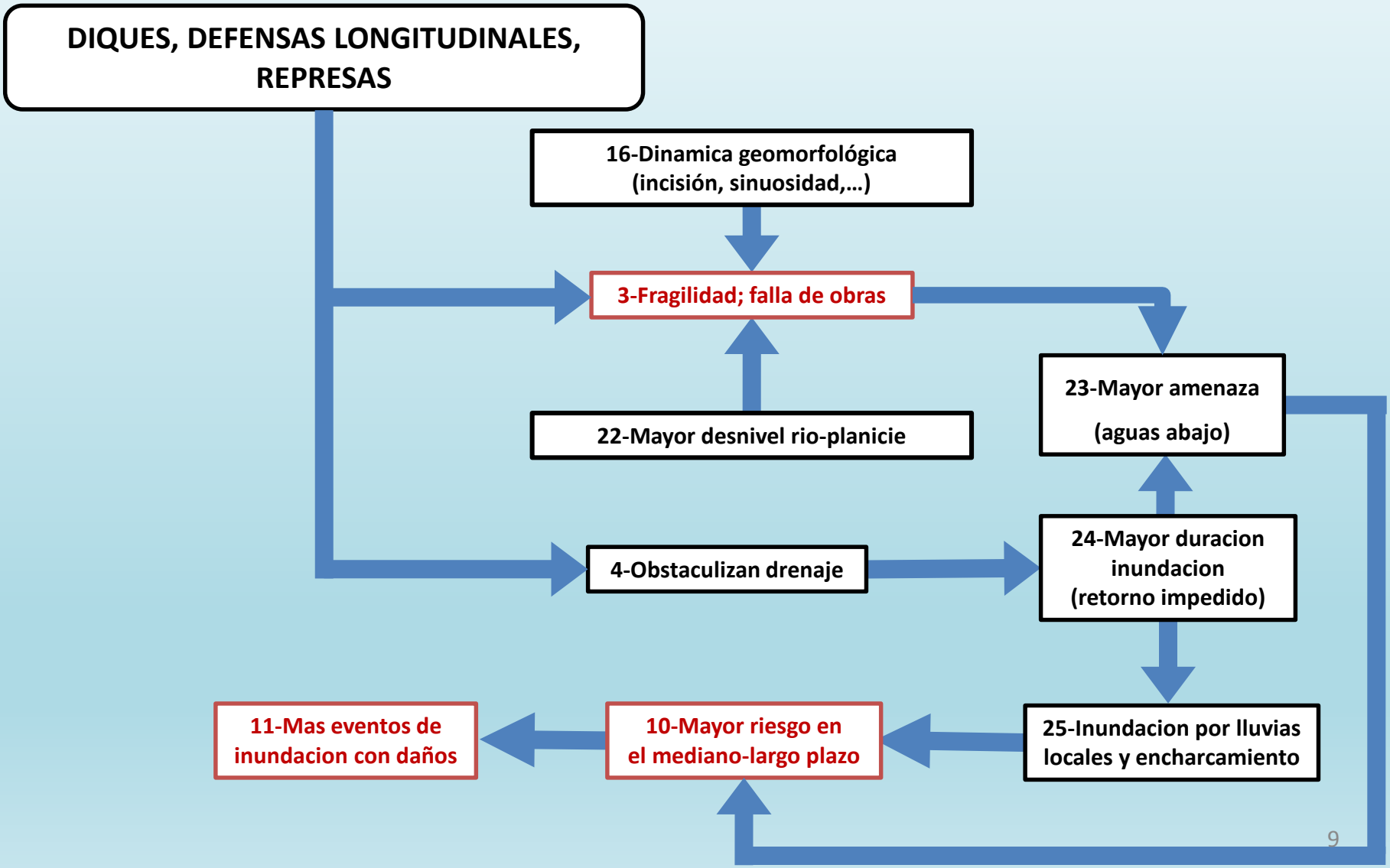
Obras que alteran la dinámica geomorfológica



FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

Convenciones:
Negro: Factores causales
Rojo: Problemas o impactos positivos
Azul: Resultado o impactos positivos

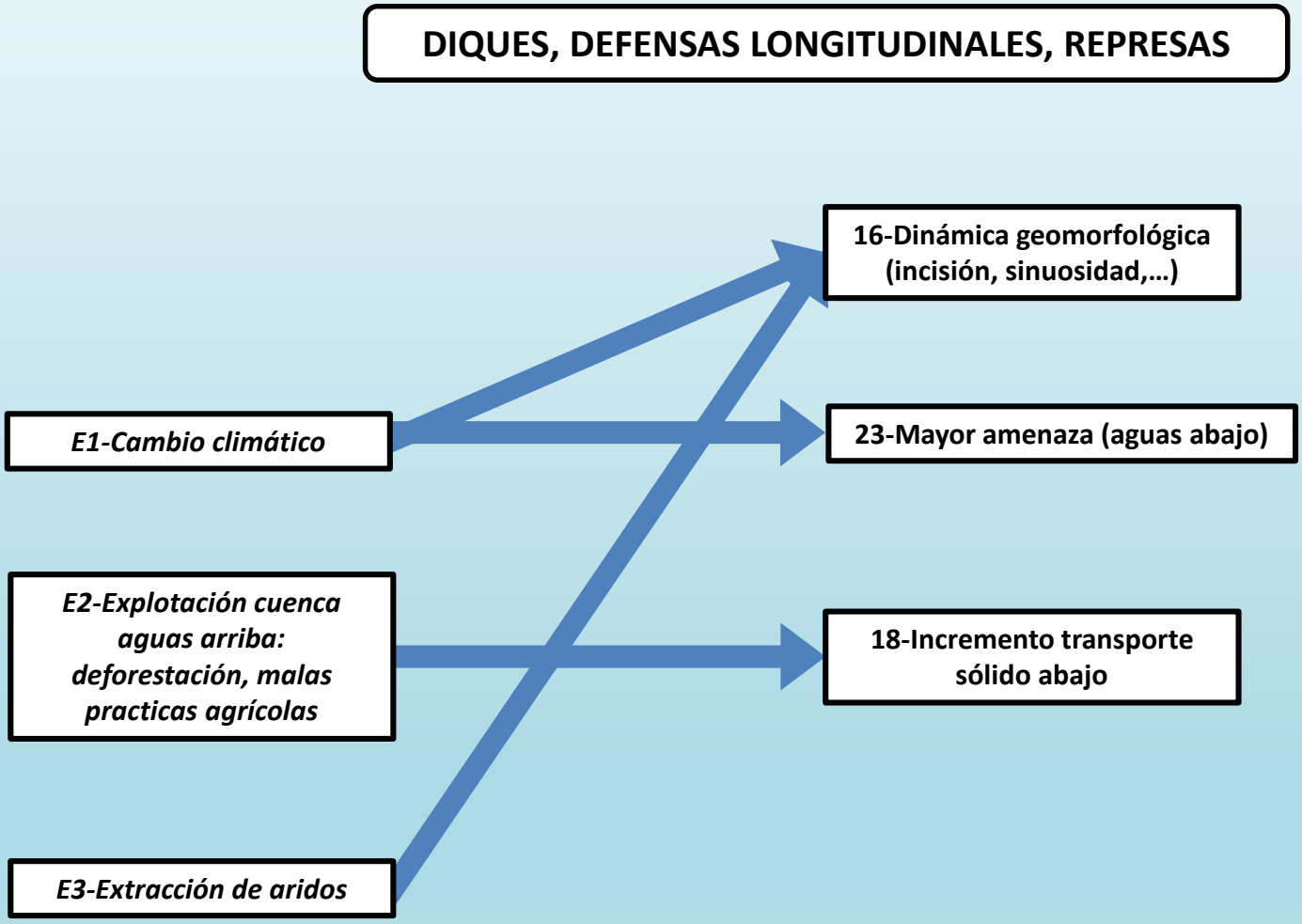
Obras "frágiles" que generan desastres



FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

Convenciones:
Negro: Factores causales
Rojo: Problemas o impactos positivos
Azul: Resultado o impactos positivos

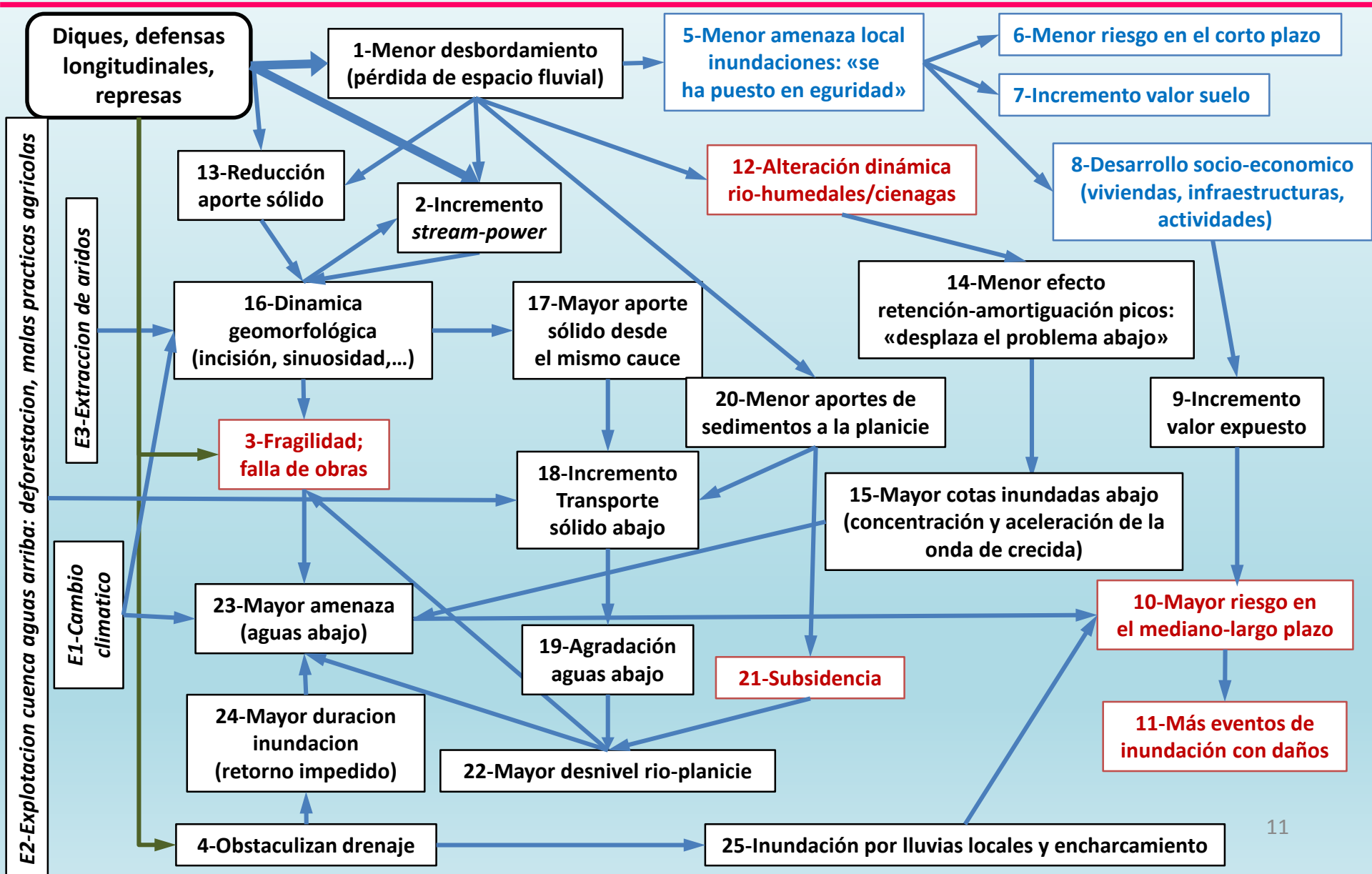
Obras en escenarios impredecibles



FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

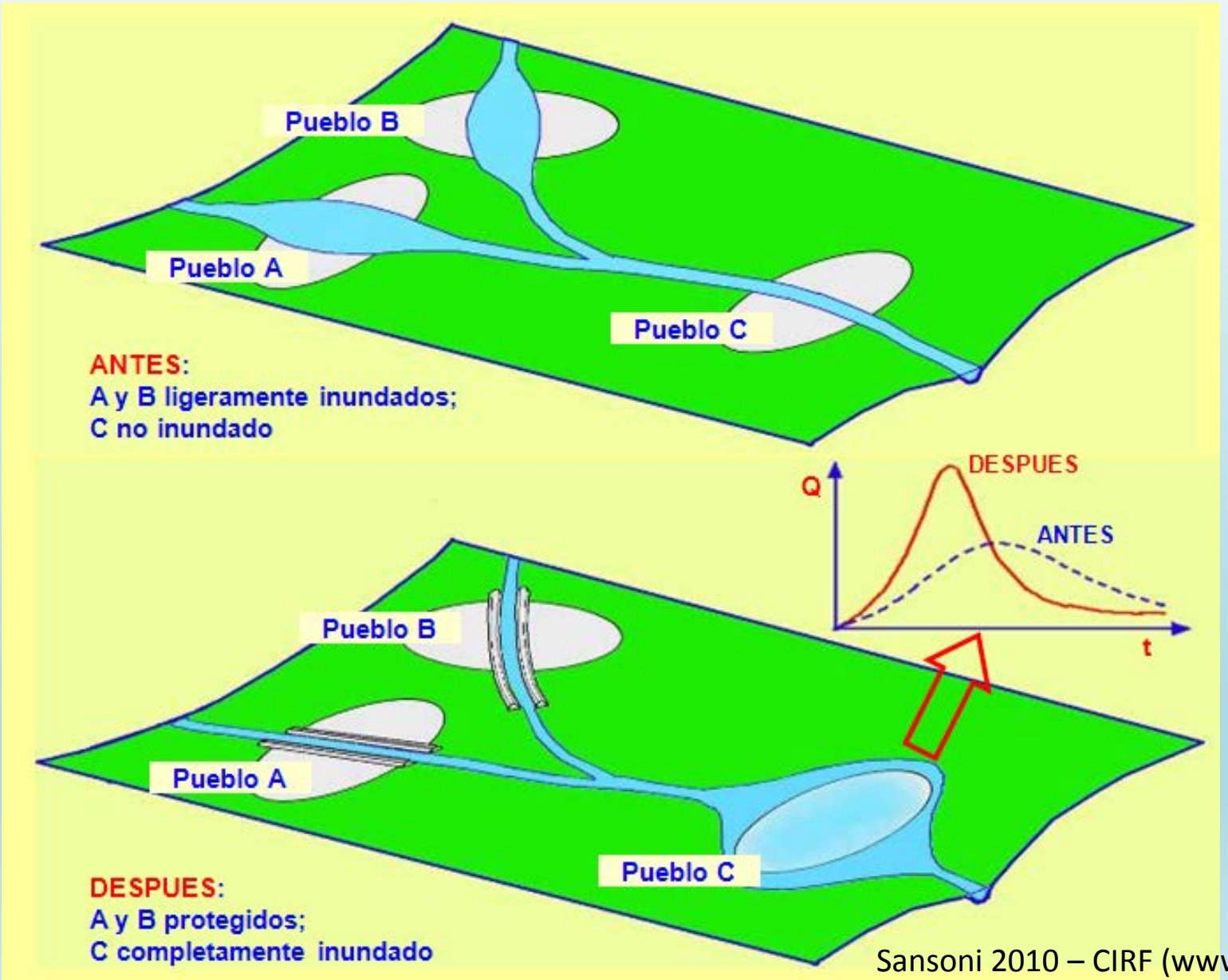
Convenciones:
Negro: Factores causales
Rojo: Problemas o impactos positivos
Azul: Resultado o impactos positivos

Red consolidada de relaciones causa-efecto



FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

a) Menores desbordamientos aguas arriba → más riesgo aguas abajo



Sansoni 2010 – CIRF (www.cirf.org)

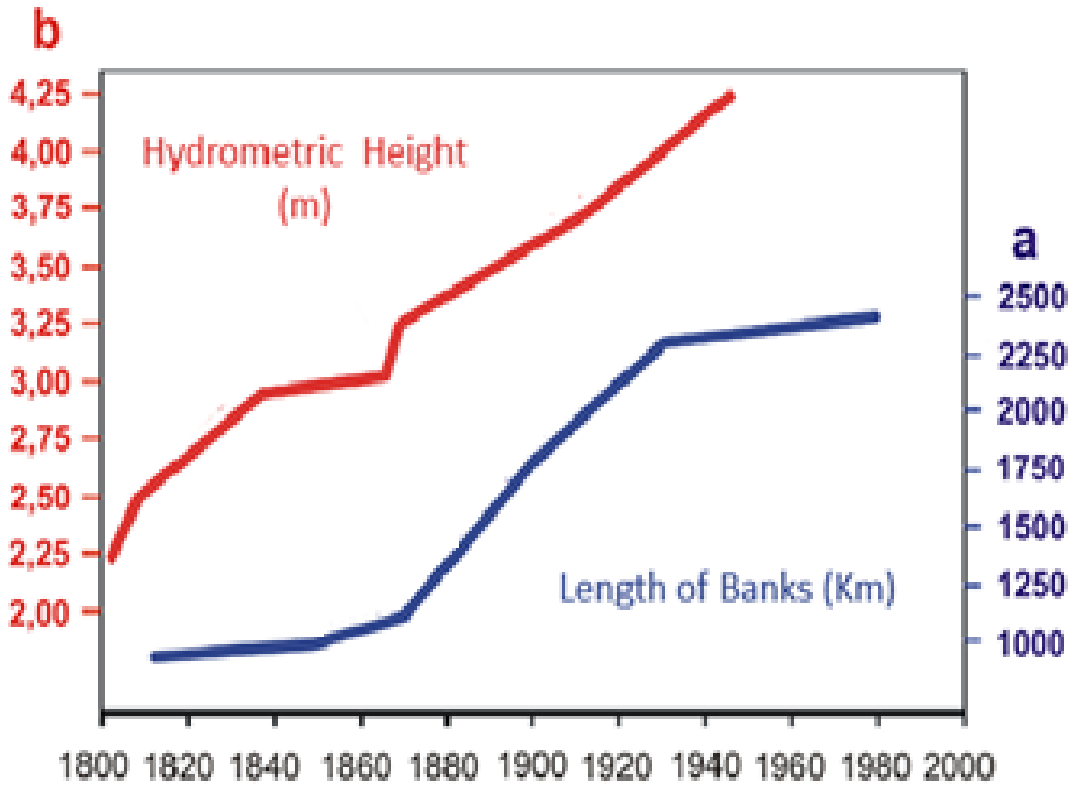
FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

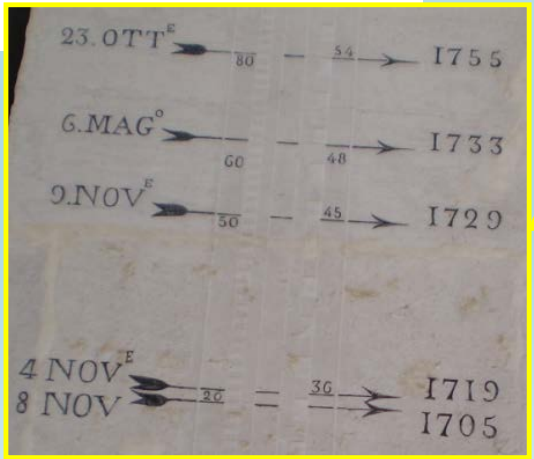
a) Menores desbordamientos aguas arriba → más riesgo aguas abajo

Río Po (Italia)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

a) Menores desbordamientos aguas arriba → más riesgo aguas abajo

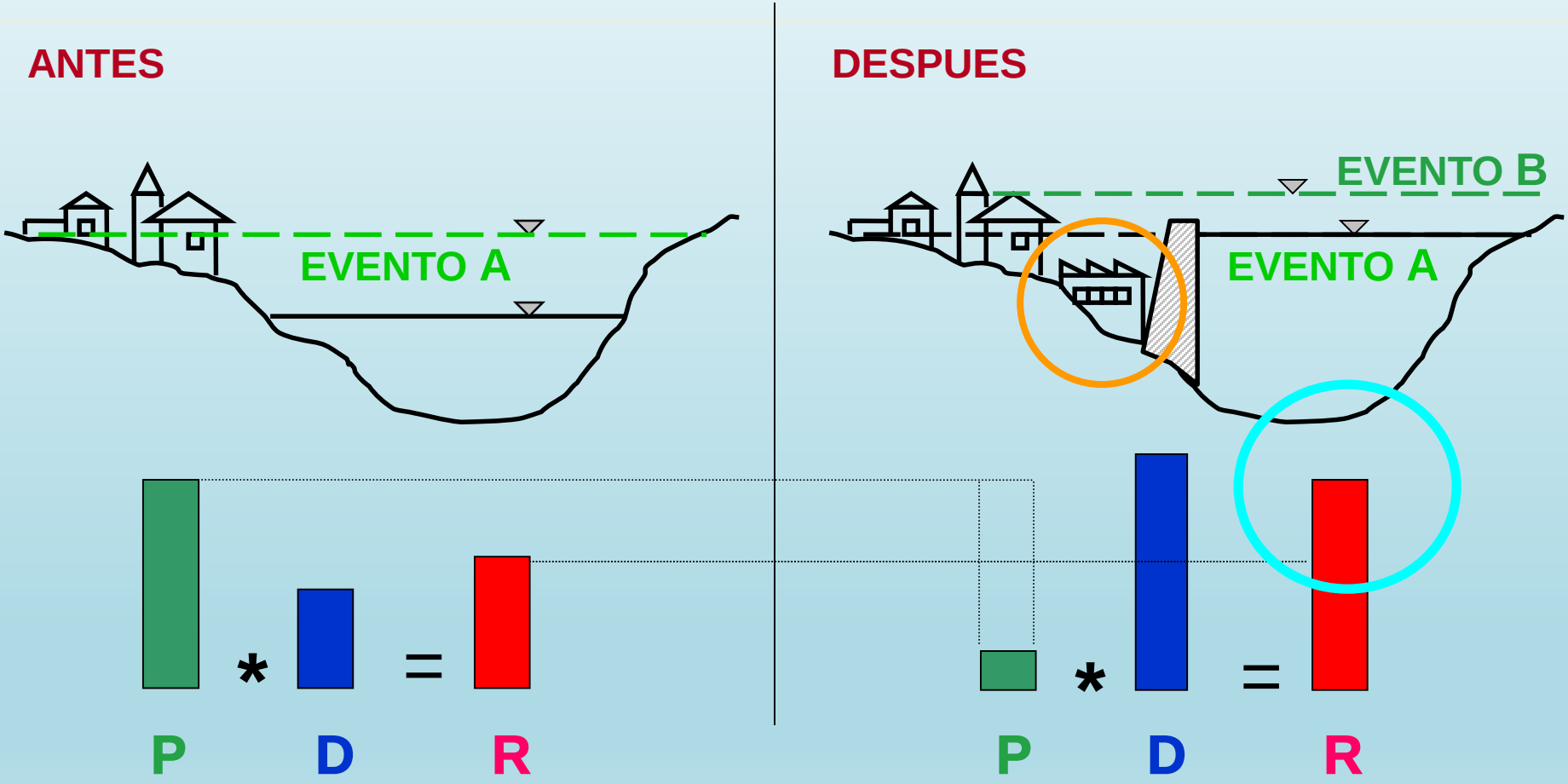




Río Po (Italia)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

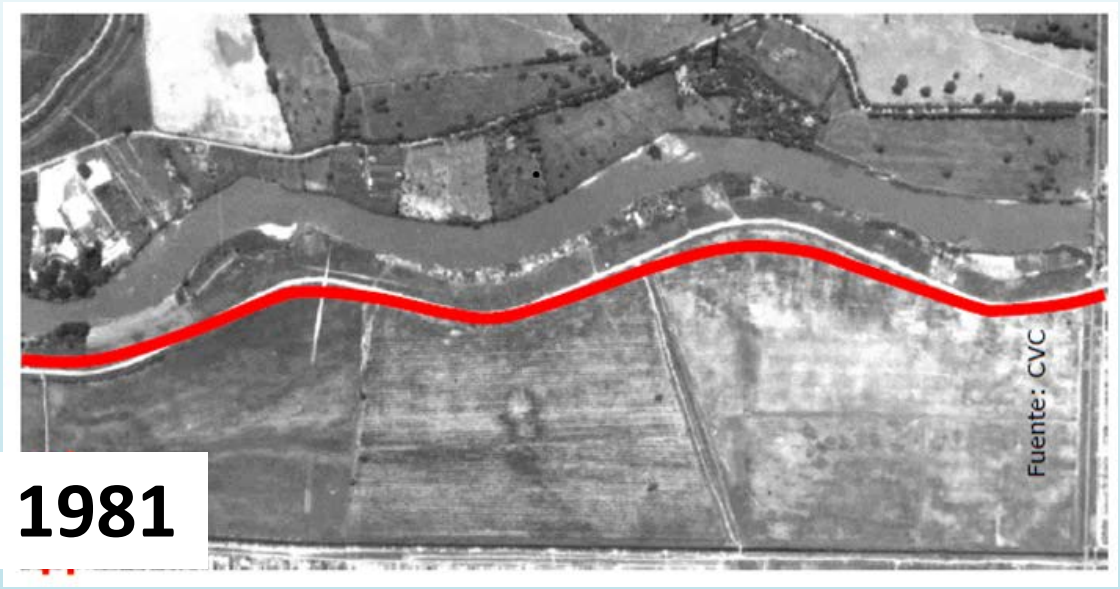
b) La paradoja de "poner en seguridad" → incremento del valor expuesto



⇒ el riesgo ha aumentado !!

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

b) La paradoja de "poner en seguridad" → incremento del valor expuesto



En rojo el jarillón del distrito de Agua Blanca en Cali a orillas del río Cauca: antes y 17 años más tarde.

Río Cauca (Colombia) Mosaico: Doris Suaza, 2015

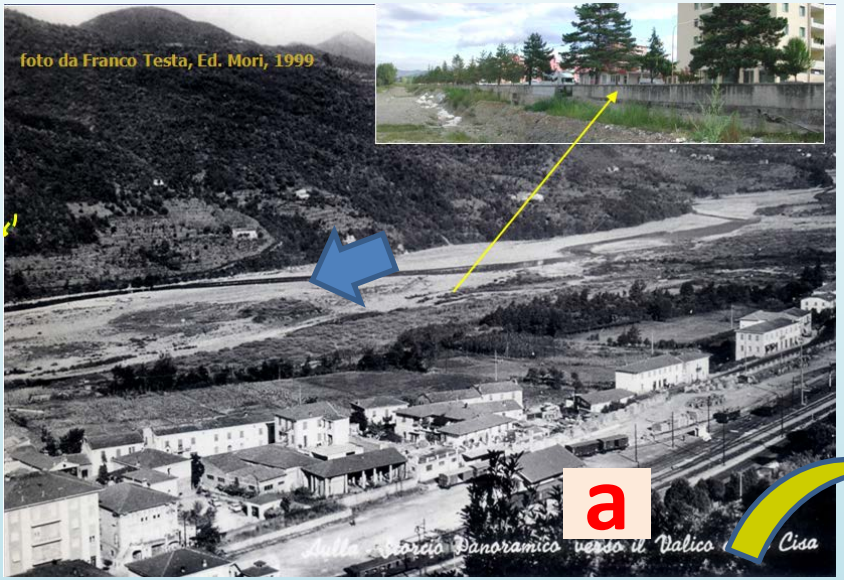
FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

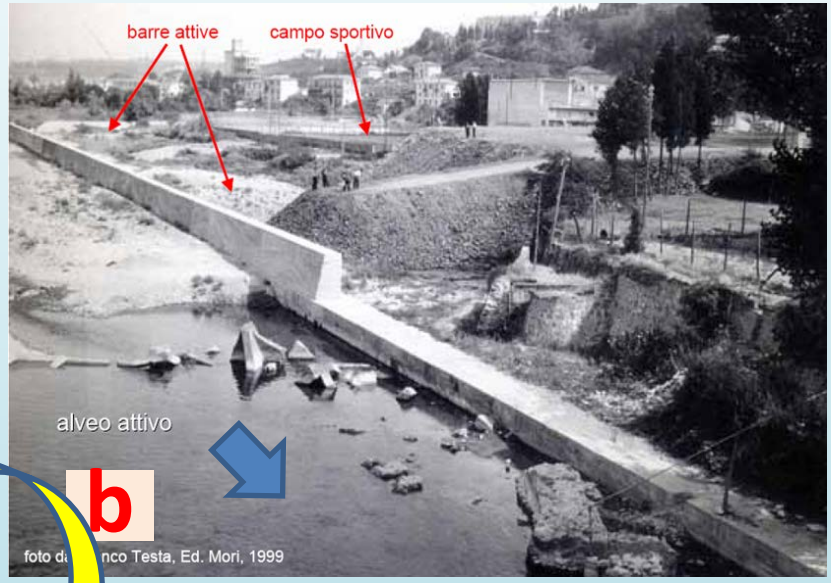
b) La paradoja de "poner en seguridad" → incremento del valor expuesto

Río Sesmarias (Brasil)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

b) La paradoja de "poner en seguridad" → incremento del valor expuesto





Río Magra (Italia)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

c) Fragilidad del sistema → incremento de la amenaza y el riesgo residual → colapso → daños

Fiumara Amendolea (Italia)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

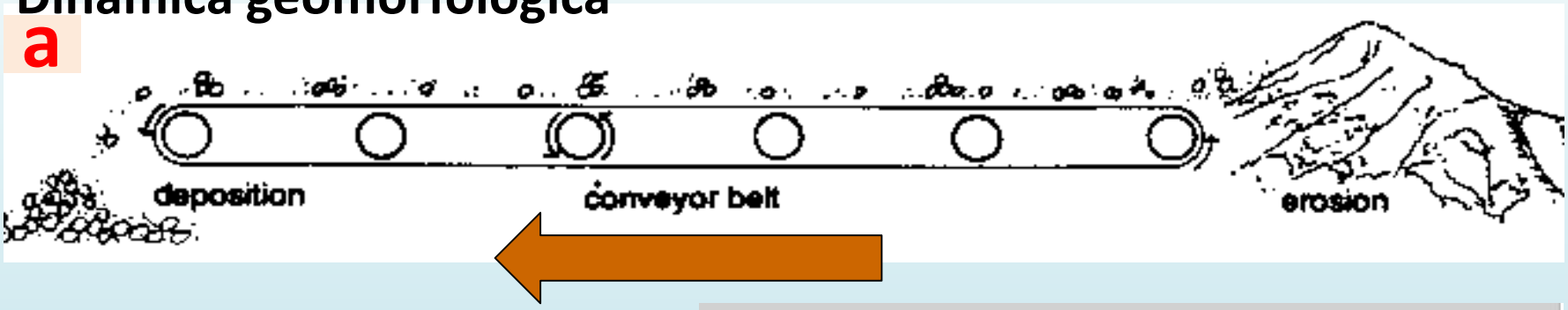
c) Fragilidad del sistema → incremento de la amenaza y el riesgo residual → colapso → daños

Canal del dique (Colombia) Foto: Johnny Olivares, 2010

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

d) Dinámica geomorfológica

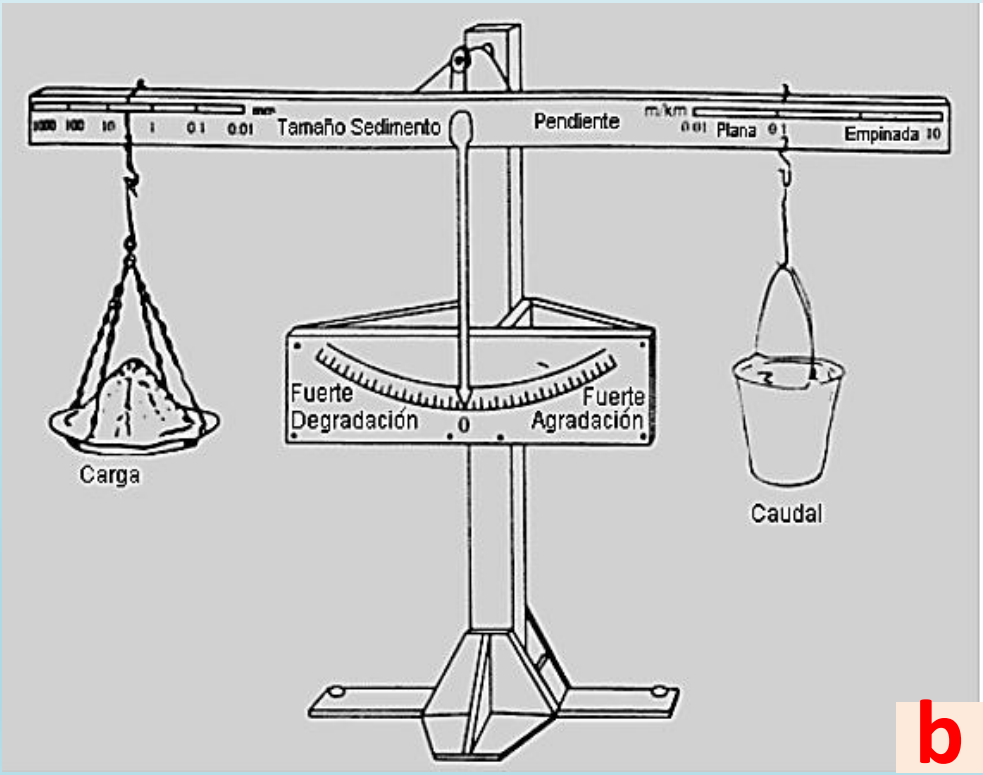
a



El río trasporta:

- **agua**
- **sedimentos**
- biomasa (viva y muerta)
- contaminantes
- energía
- cargas y personas

Comparable a una cinta transportadora



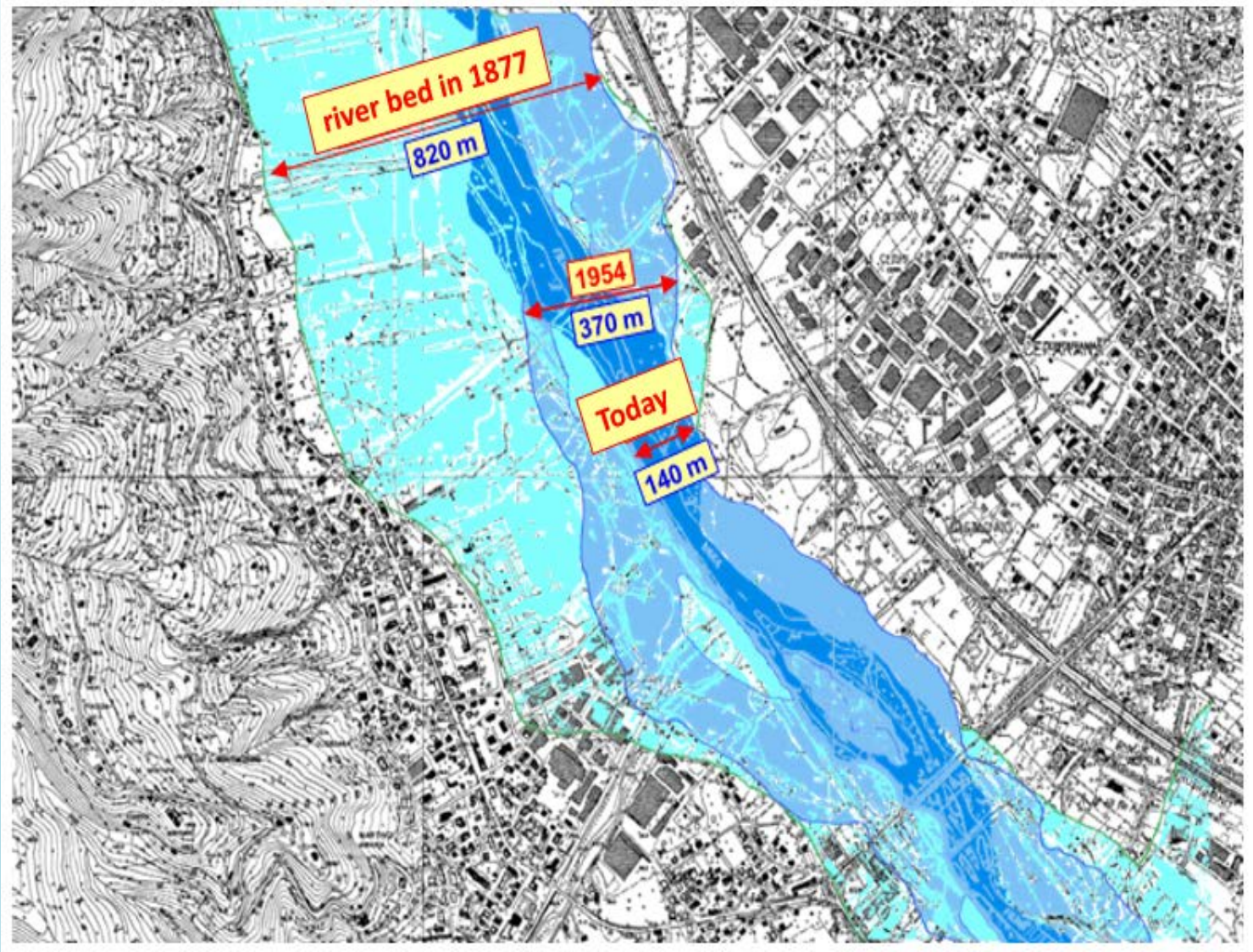
b

Balanza de Lane 1955

Transporte sólido y energía de la corriente que buscan el equilibrio

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

d) Alteraciones a la dinámica geomorfológica: estrechamiento e incisión



Río Vara (Italia)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

d) Alteraciones a la dinámica geomorfológica: estrechamiento e incisión

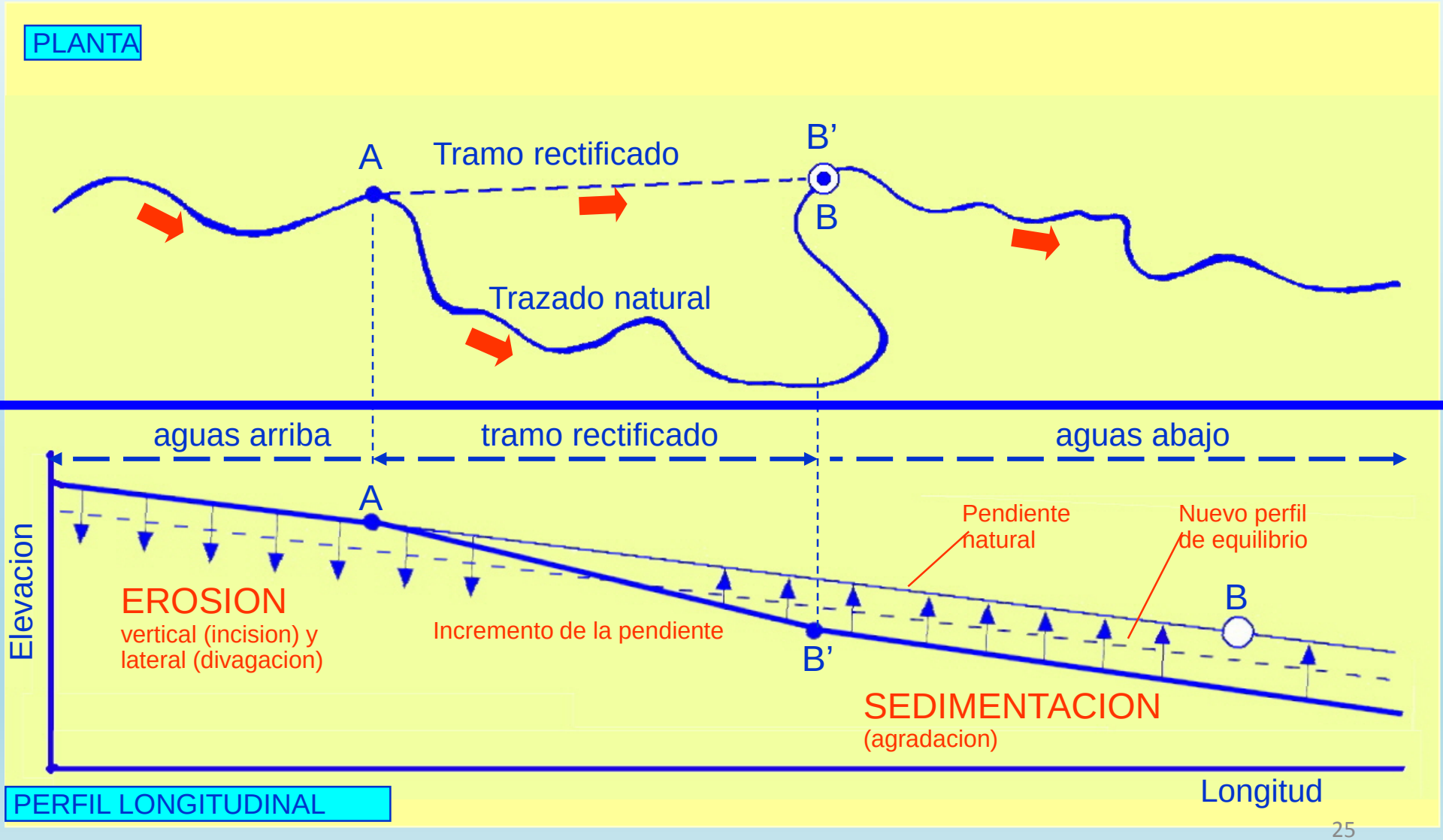
FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

d) Alteraciones a la dinámica geomorfológica: agradación

Fiumara Amendolea (Italia)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

d) Alteraciones a la dinámica geomorfológica: rectificación → incisión y agradación

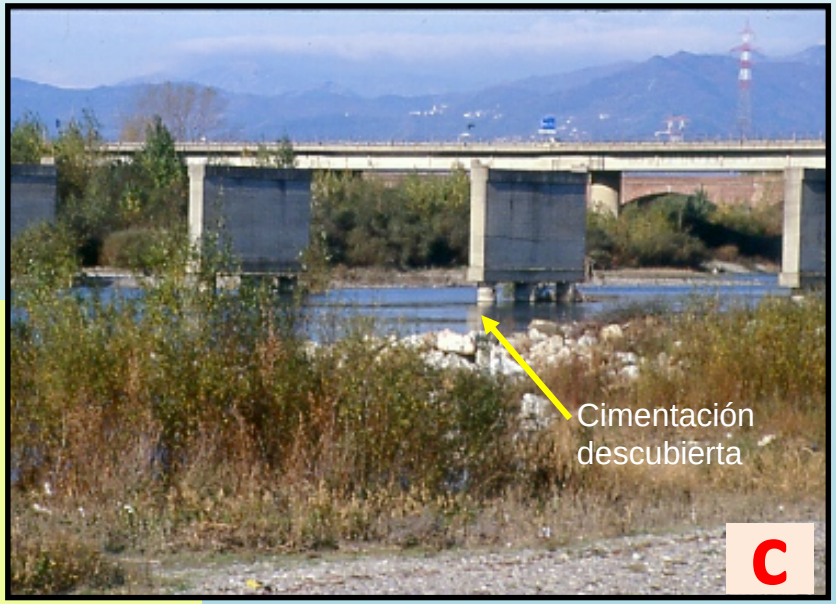


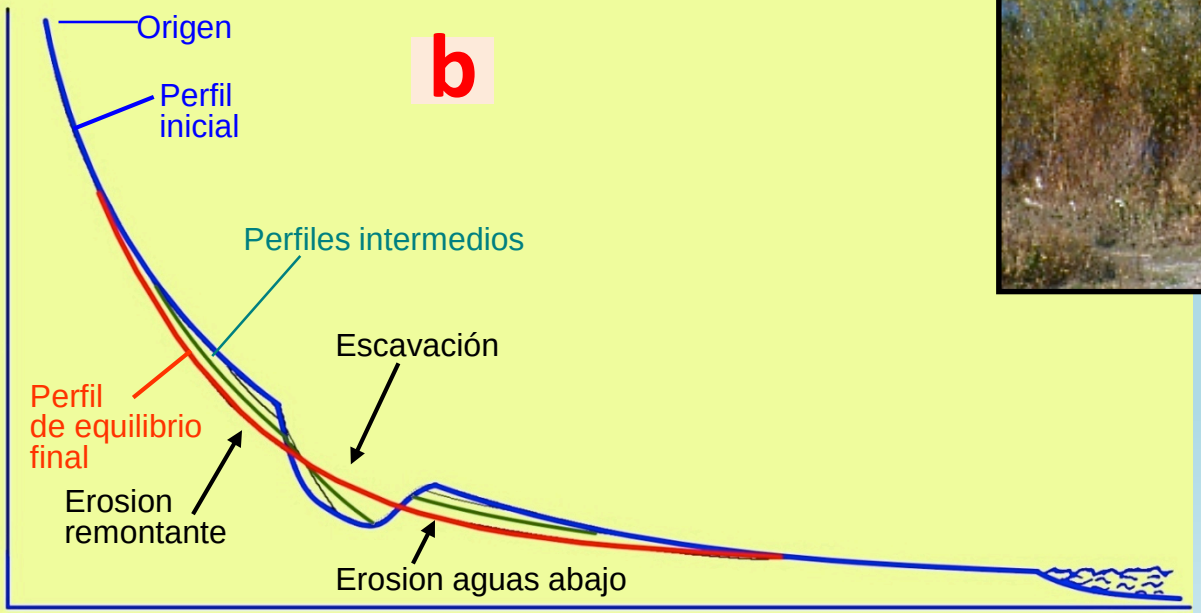
(Lachat, 1991 modificada por Sansoni, 2006)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

d) Alteraciones a la dinámica geomorfológica: represas o extracción de áridos → incisión → daños

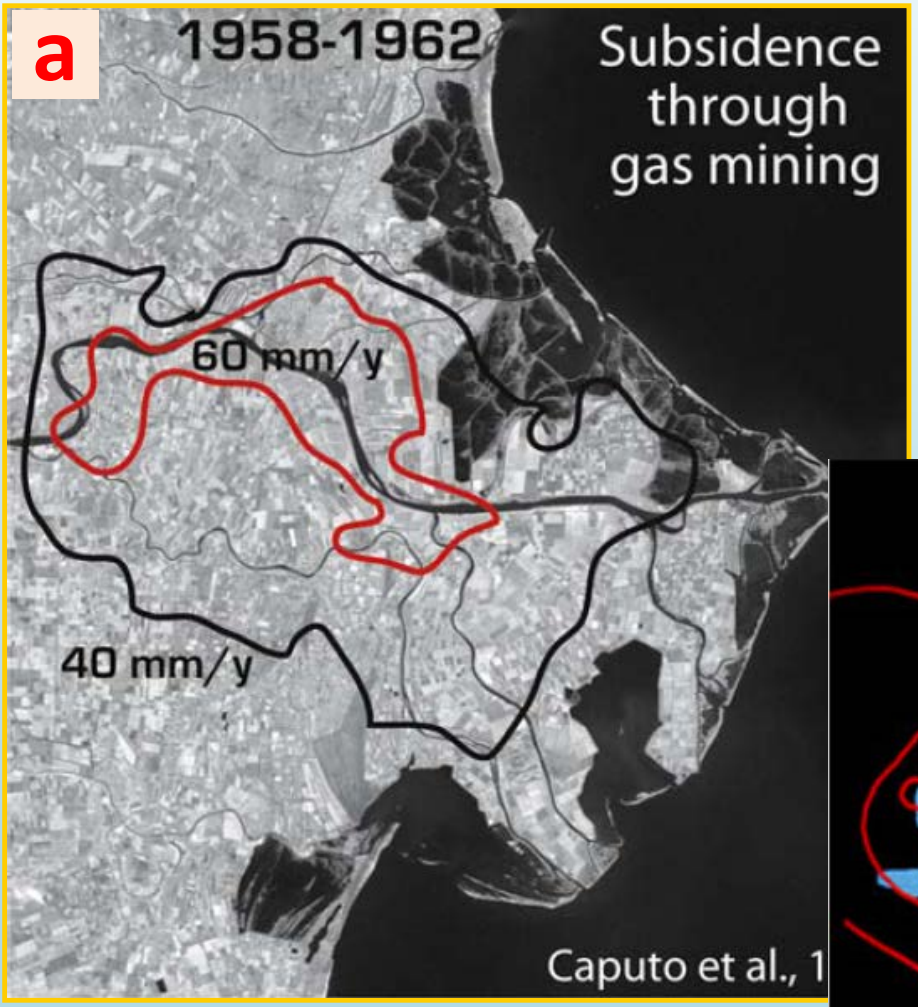
Río Magra (Italia, 1980)

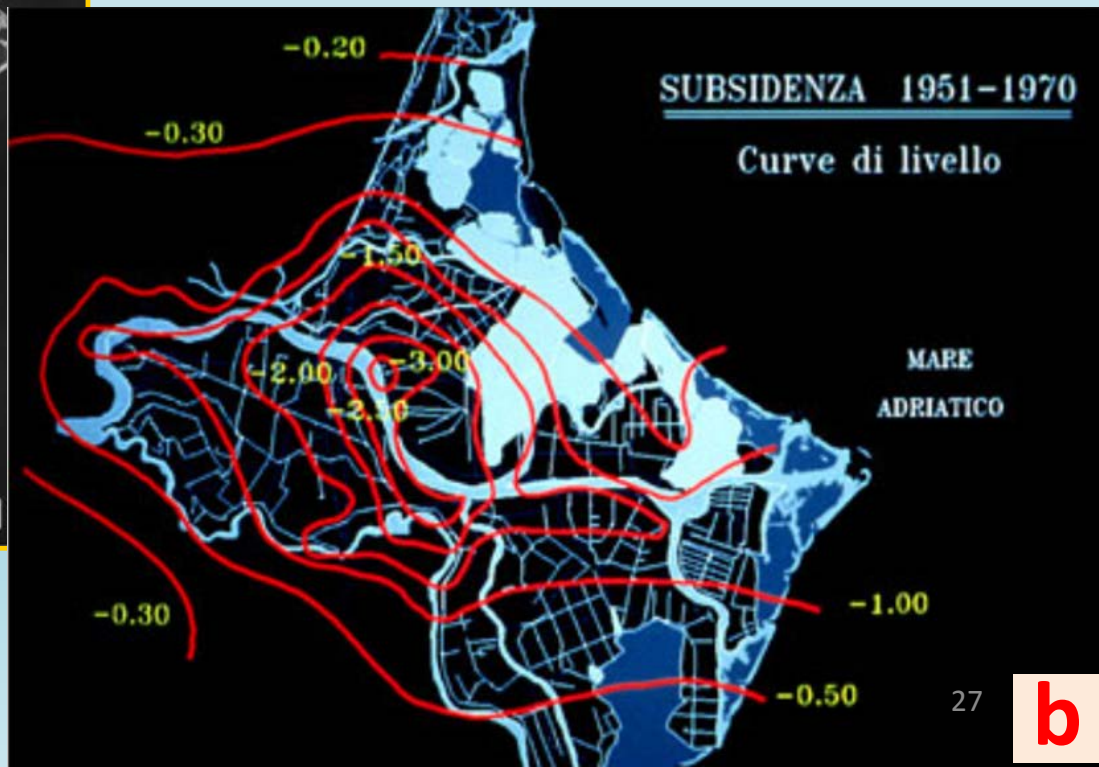




FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

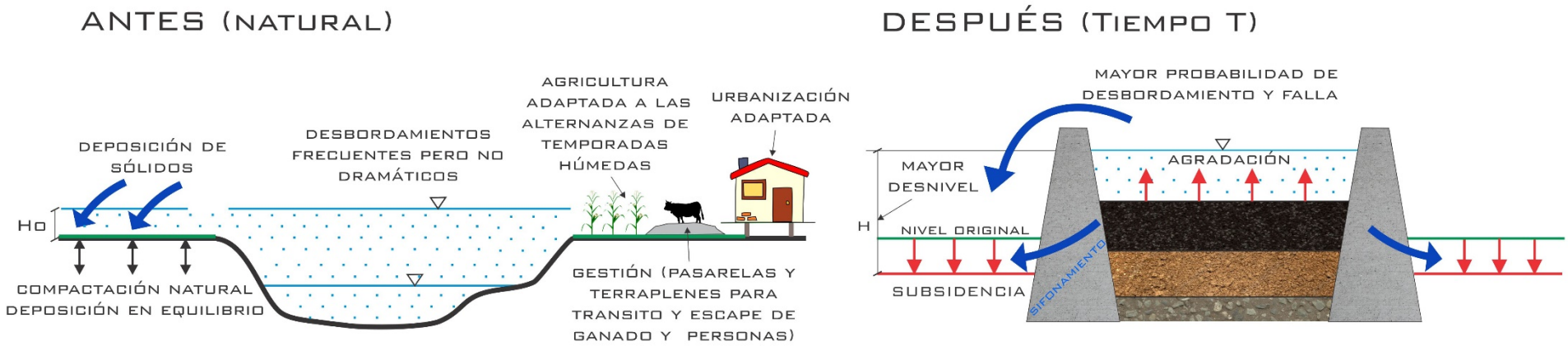
e) Menores desbordamientos y otros factores → subsidencia





FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

e) Menores desbordamientos por terraplenes → agradación en el cauce → mayor amenaza



Construir diques artificiales para prevenir inundaciones también puede hacer que los sedimentos que trae el río queden confinados entre los muros, generando una sobreelevación del lecho del río es decir haciendo que este se agrade.

En caso de rompimiento de los diques se generará una avulsión o abandono rápido del cauce con la consecuente inundación y formación de un nuevo curso fluvial

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

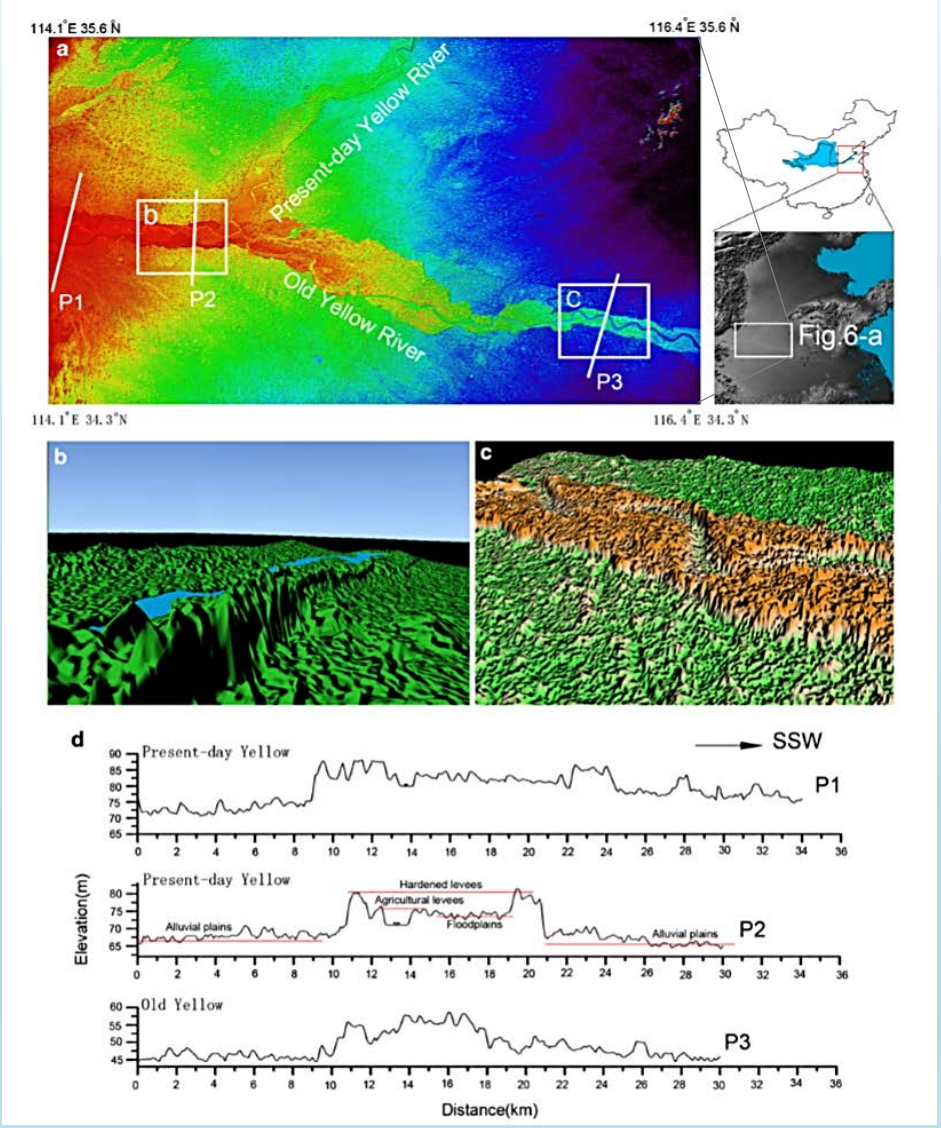
e) Menores desbordamientos por terraplenes → agradación en el cauce → mayor amenaza

a) Vista de la topografía de la parte baja del río.

b) y **c)** Perspectivas tridimensionales.

d) Secciones transversales basadas en la "Shuttle Radar Topography Mission" de 90 m de resolución.

Las secciones transversales cortan el canal y las orillas del abandonado "viejo" río Amarillo y del río en la actualidad, mostrando el canal anterior **P3** hasta 10 metros por encima de la llanura de inundación. En la actualidad la sobre elevación **P1** y **P2** del cauce sobre el abanico aluvial supera los 10 m.

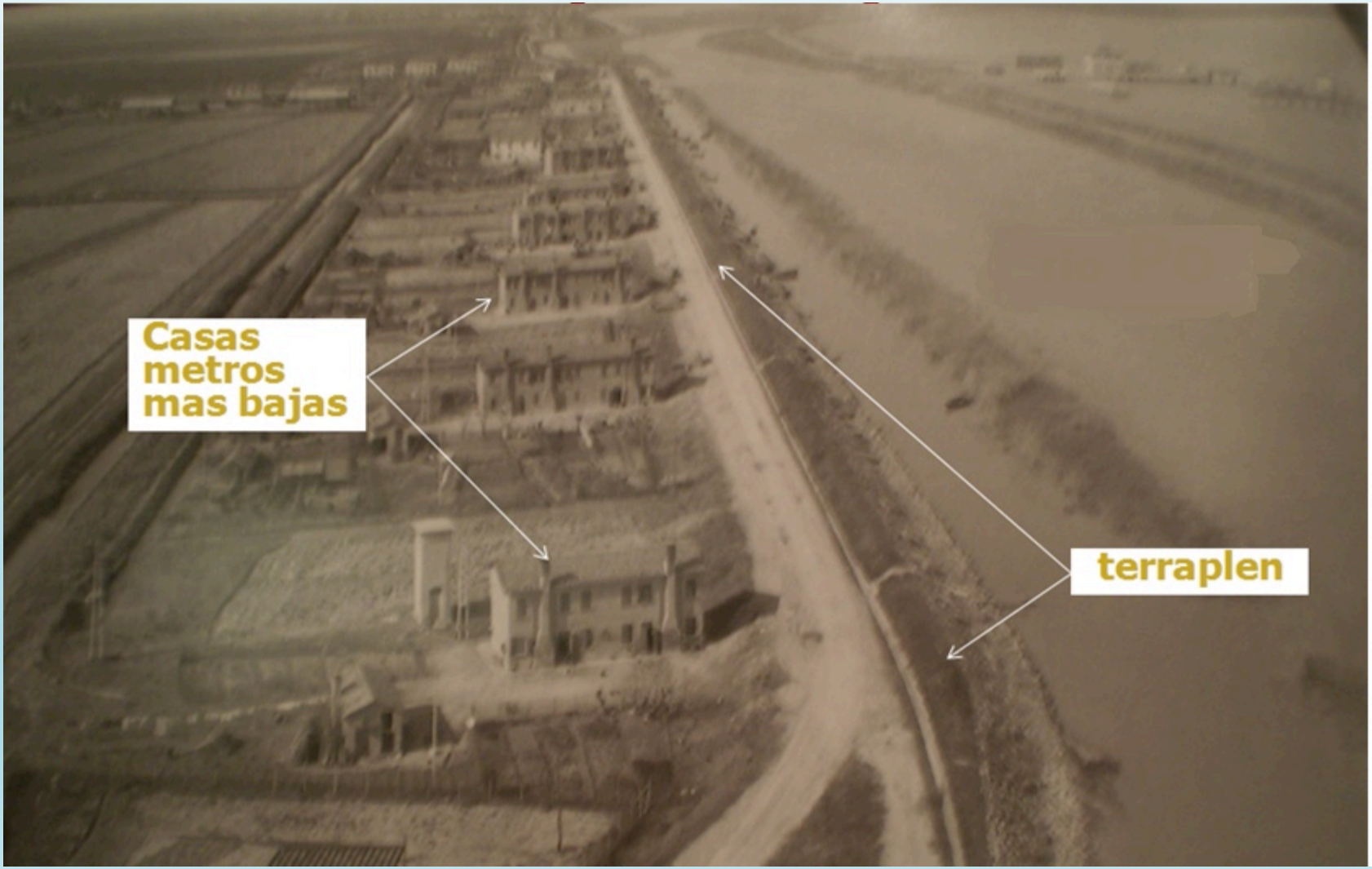


Fuente (Chen *et al.* 2012)

Río Amarillo (China)

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

e) Menores desbordamientos por terraplenes → agradación en el cauce → mayor amenaza



Río Po (Italia)

Fuente: colección G. Greguoldo

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

EVIDENCIAS ligadas al transporte sólido en la Mojana y más allá

Variación del caudal sólido debido a factores antrópicos

Mediante modelaciones (Restrepo y Syvitski, 2006) y (Restrepo *et al.* 2006), califican al río Magdalena como el que más sedimentos aporta al mar Caribe (≈ 143,9 x 10^6 t/año), debido al cambio de uso del suelo (deforestación, agricultura, minería, urbanización, contaminación); deforestación tasada entre 1990 y 1996 como una de las más altas en el mundo con 2,4% de pérdida anual de cobertura. Refrendado en (Kettner, Restrepo y Syvitski, 2010) para las décadas 1990 a 2010.

Modelación de sedimentos que en el río Magdalena vieron aumentando de la cuenca alta (51 MT/año) hacia la cuenca baja (144 MT/año) y en el que a su vez el principal aportante -río Cauca- elevó su carga sedimentaria en ≈ 30% entre 1979 y 1999. Pero siempre y para toda la cuenca con gran influencia del fenómeno de la Niña, tanto en la cantidad como en la variabilidad de dicho sedimento.

FICHA I: Obras vs Riesgo de inundación

EVIDENCIAS ligadas al transporte sólido en la Mojana y más allá

Sedimentación y subsidencia

Con los anteriores datos y mediante observaciones de campo más sistemáticas y continuas, debería verificarse cuanto de este sedimento llega al mar y cuanto queda atrapado en La Mojana, por el momento se estima en 14% de lo transportado por el Magdalena (≈ 21 x 10^6 t/año), lo atrapado en la depresión Momposina (Restrepo *et al.* 2006).

El posible fenómeno de subsidencia en parte se contrarrestaría con esta sedimentación para la depresión Momposina que (Van der Hammen, 1986) estimó en 3,0 mm/año y (Restrepo *et. al 2006*) en 2,0 mm/año.

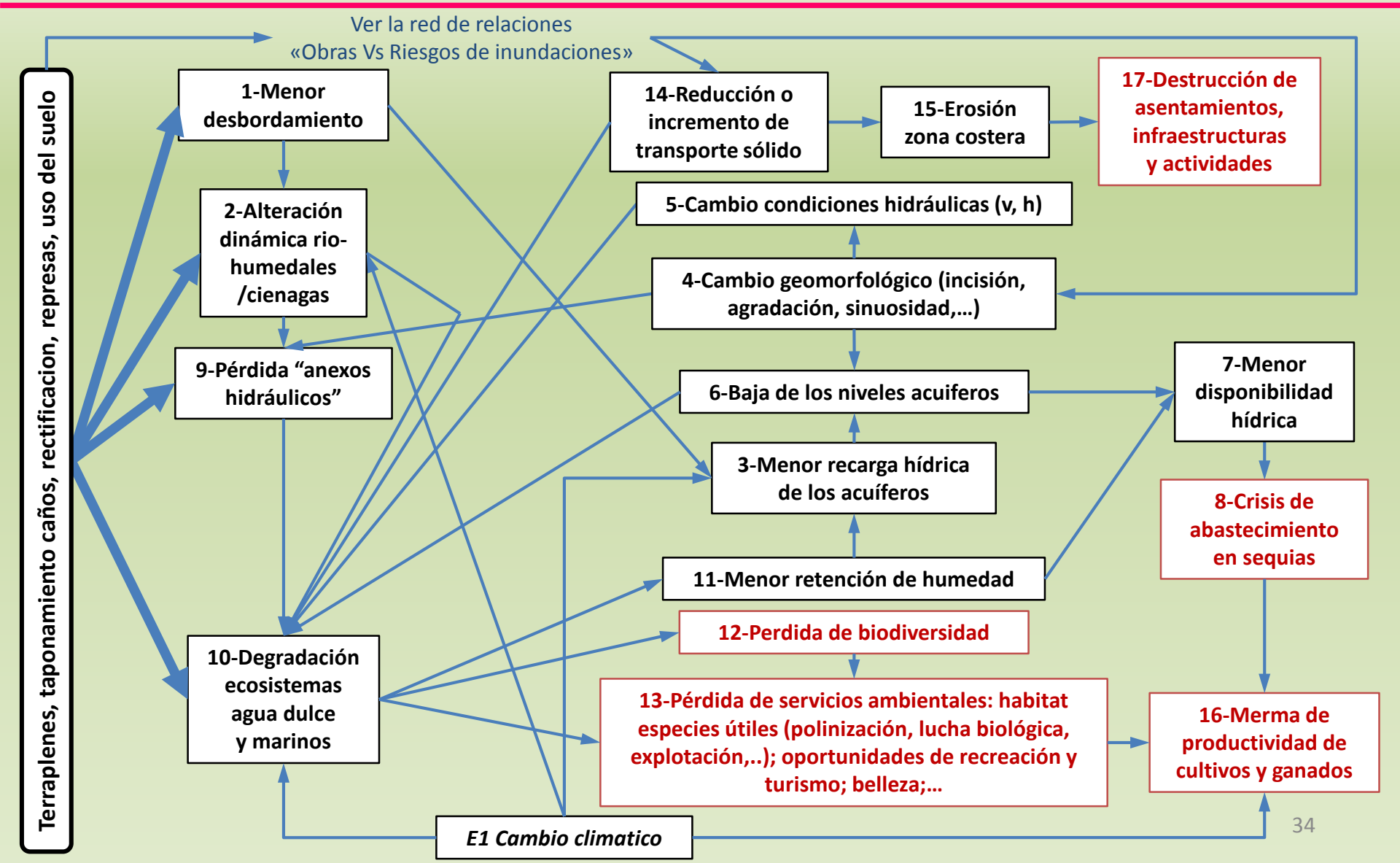
No obstante con el conocimiento actual no se despejan las dudas de si se presenta o no subsidencia en La Mojana.

A M B I E N T E

FICHA II: Obras vs Abastecimiento hídrico, ecosistemas y sistemas productivos

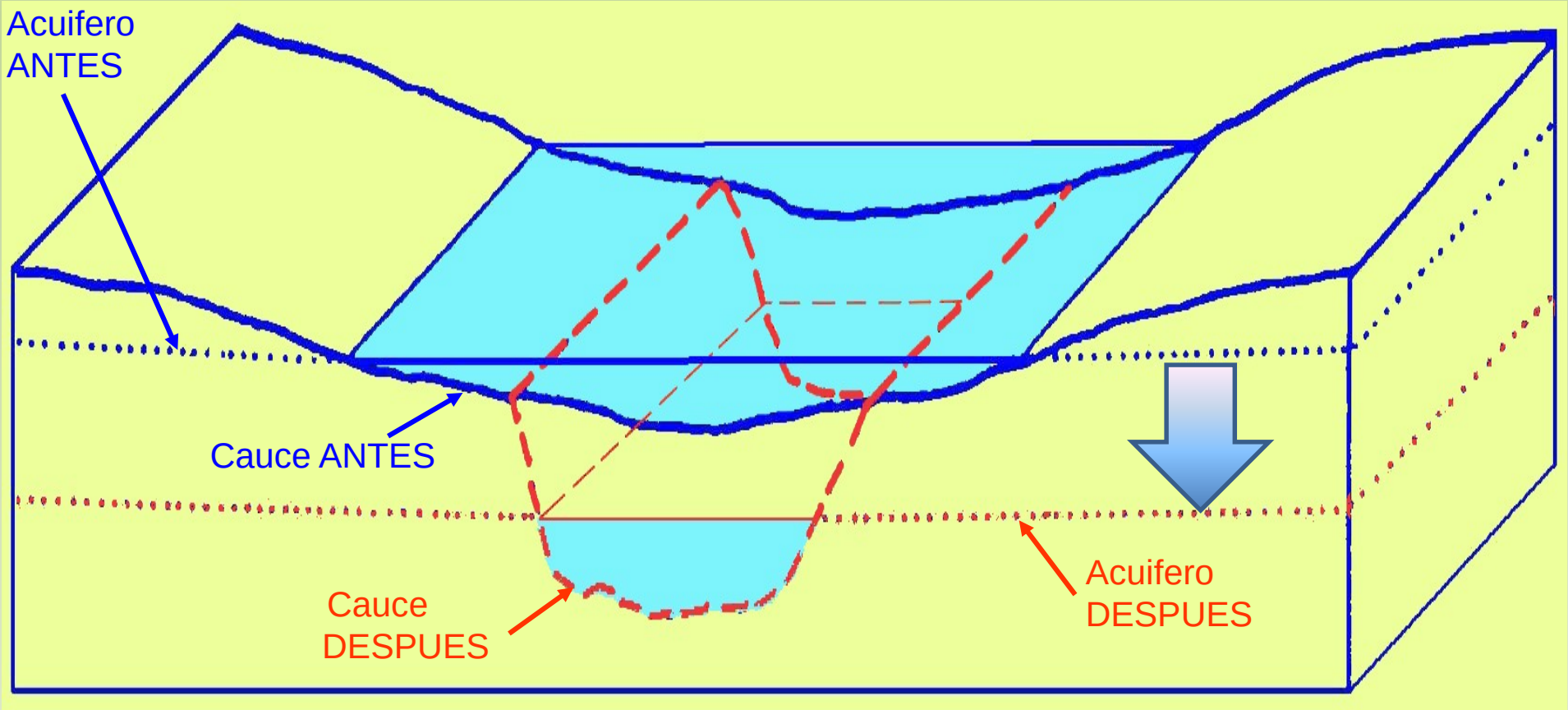
Red consolidada de relaciones causa-efecto

Convenciones:
Negro: Factores causales
Rojo: Problemas o impactos



FICHA II: Obras vs Abastecimiento hídrico, ecosistemas y sistemas productivos

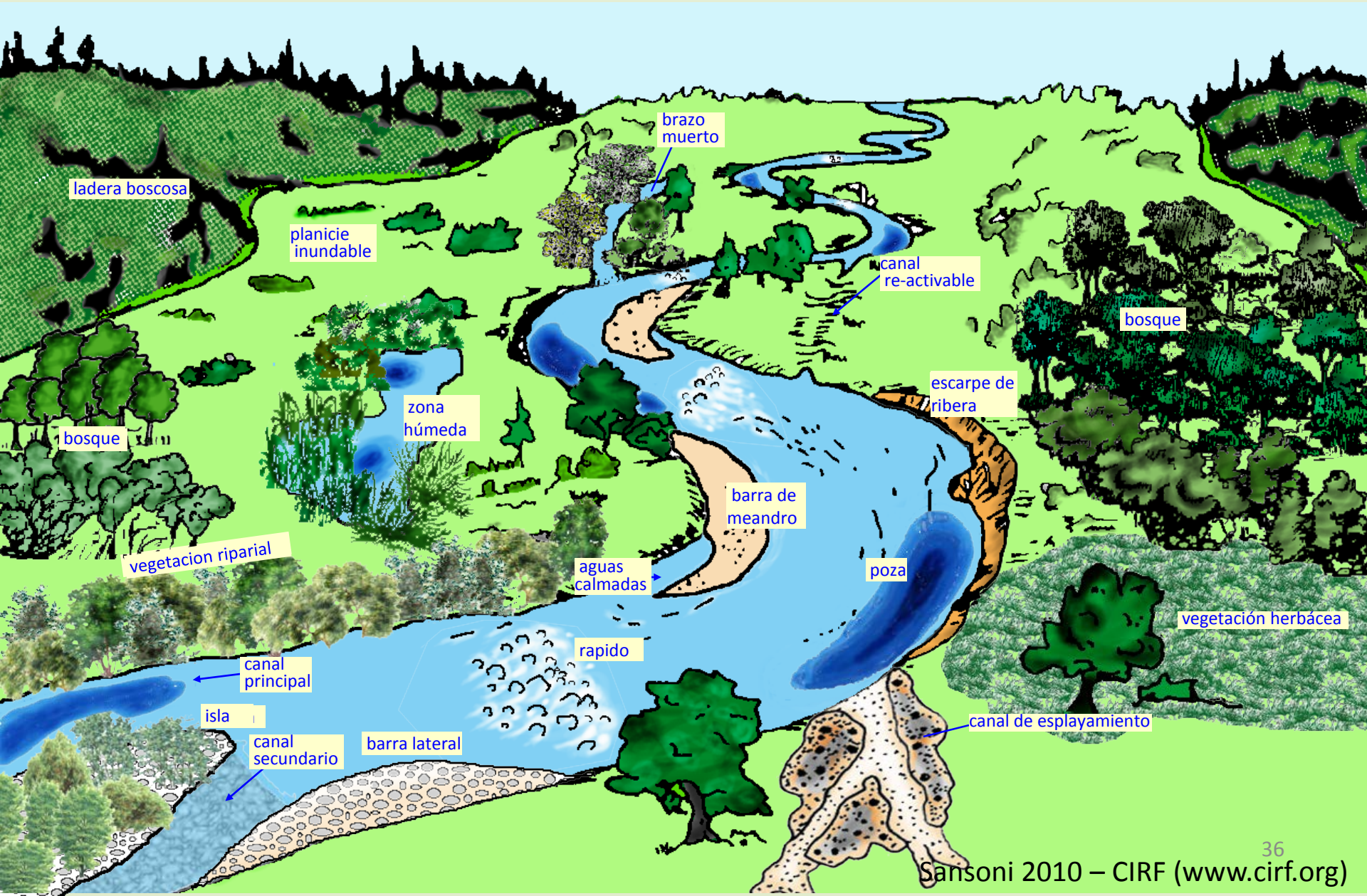
a) Cambio geomorfológico → incisión → baja del acuífero



Sansoni 2010 – CIRF (www.cirf.org)

FICHA II: Obras vs Abastecimiento hídrico, ecosistemas y sistemas productivos

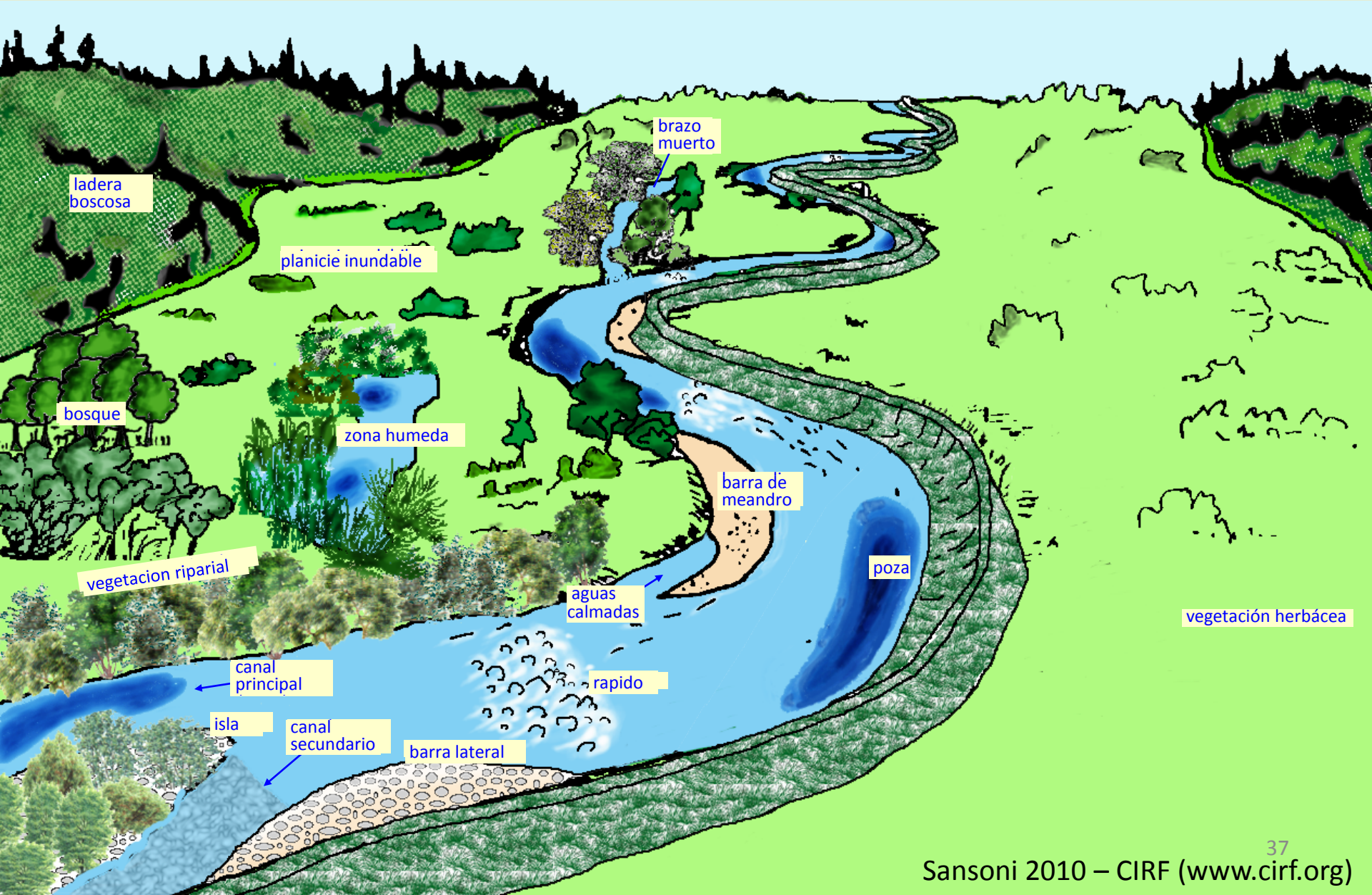
b) Obras → alteración intercambio rio-planicie → degradación de ecosistemas



Sansoni 2010 – CIRF (www.cirf.org)

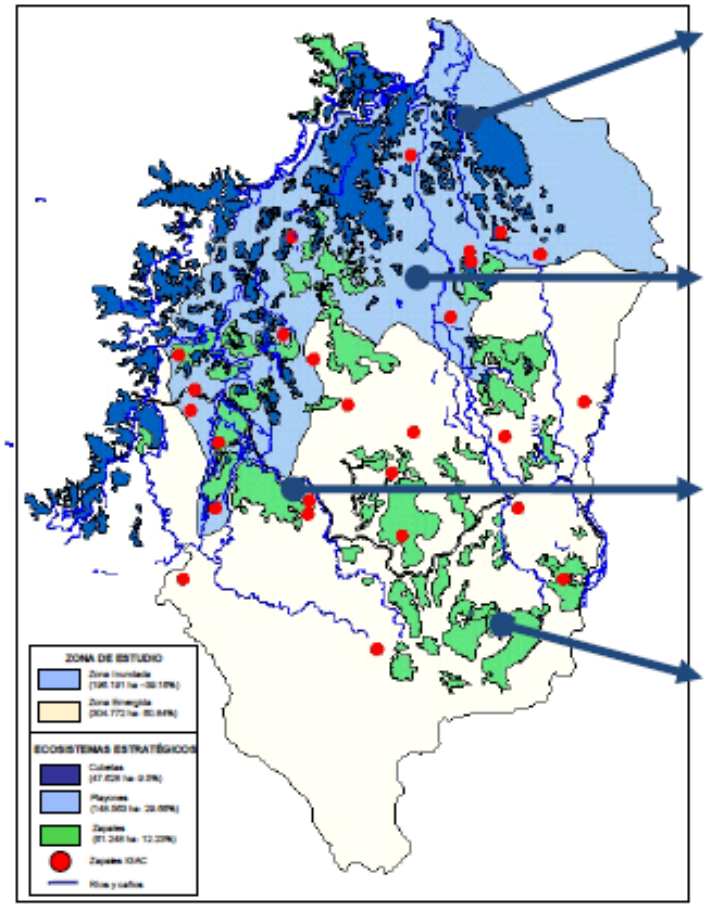
FICHA II: Obras vs Abastecimiento hídrico, ecosistemas y sistemas productivos

b) Obras → alteración intercambio rio-planicie → degradación de ecosistemas



Sansoni 2010 – CIRF (www.cirf.org)

Ecosistemas estratégicos en la región de la Mojana



Cubetas o ciénagas: retienen grandes cantidades de agua, regulan caudales de ríos, maximizan los procesos de decantación y depósitos de materiales. Se produce la reoxigenación de las aguas. Sirven como albergue de variedades de especies de flora y fauna, brindando refugio, alimento y protección de especies migratorias de peces y aves.

Playones: fundamentales para el mantenimiento de hábitats para la fauna silvestre y de peces en particular. La inundación para la pesca genera una producción de 37,5 kg ha/año (Mojica y Galvis, 1998), la zona inundable estaría en la capacidad de producir 7.357,16 t/año.

Ríos y caños: principal camino para el agua y para los organismos acuáticos, conformados como corredores biológicos que unen el sistema entre sí y con el exterior.

Zapal[7] o bosque inundado: actúan como retenedores de sedimentos provenientes de los ríos San Jorge y Cauca y como productores y exportadores de materia orgánica hacia los sistemas acuáticos. Importante eslabón de la cadena trófica, dado que brinda soporte a organismos de importancia para la dieta de los peces. Además de refugio a especies de fauna silvestre (anfibios, reptiles, aves y mamíferos).

Fuente: Programa de Desarrollo Sostenible de la Región de La Mojana, 2003.

FICHA II: Obras vs Abastecimiento hídrico, ecosistemas y sistemas productivos

EVIDENCIAS de efecto en ecosistemas en la Mojana y más allá

Degradación ecosistemas agua dulce

Probada contaminación por mercurio y otros metales pesados (Olivero, 2004), (Mancera, 2006), (Marrugo, 2007), (CORANTIOQUIA, 2008), (Marrugo, 2010), (Álvarez, 2011), (Rúa, 2013) y (Pinedo, 2014).

Degradación ecosistemas agua dulce-marinos

(Cardona y Botero, 1998) atribuyen el fuerte deterioro de los manglares en la ciénaga Grande de Santa Marta a la hipersalinización producto de la ausencia de periodos de inundación y la interrupción de la comunicación de esta con el río Magdalena.

Degradación ecosistemas marinos

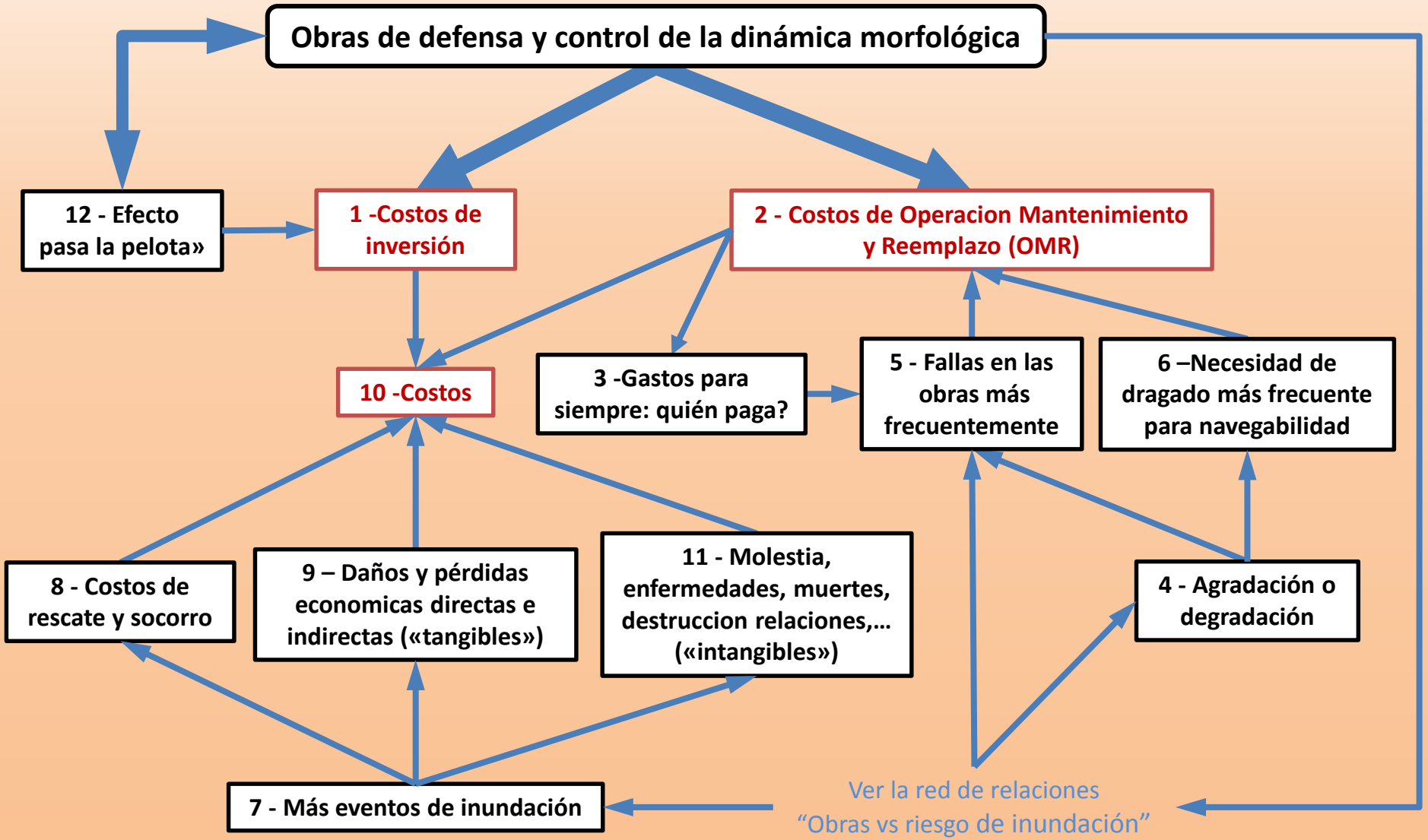
(Vernette, 1985), (INVEMAR, 200b) y (Restrepo *et al.* 2006) responsabilizan a los 5,9 x 10^6 t/año de sedimentos aportados por el canal del Dique, de la muerte los corales de las Islas del Rosario, de las drástica disminución en las praderas submarinas en la bahía de Cartagena y de la afectación en la calidad de las aguas.

C O S T O S

FICHA III: Obras vs sostenibilidad económico-financiera

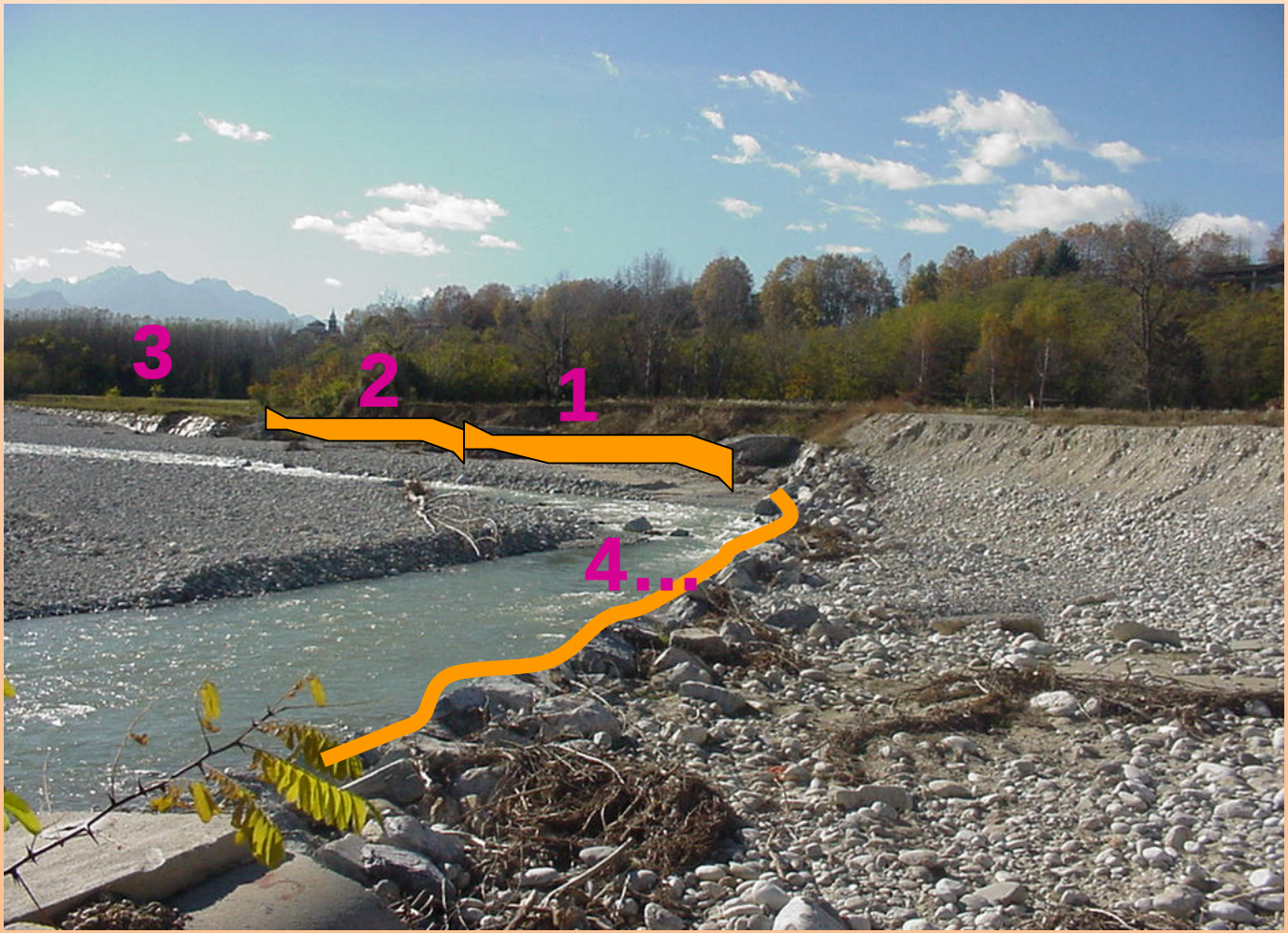
Red consolidada de relaciones causa-efecto

Convenciones:
Negro: Factores causales
Rojo: Problemas o impactos positivos



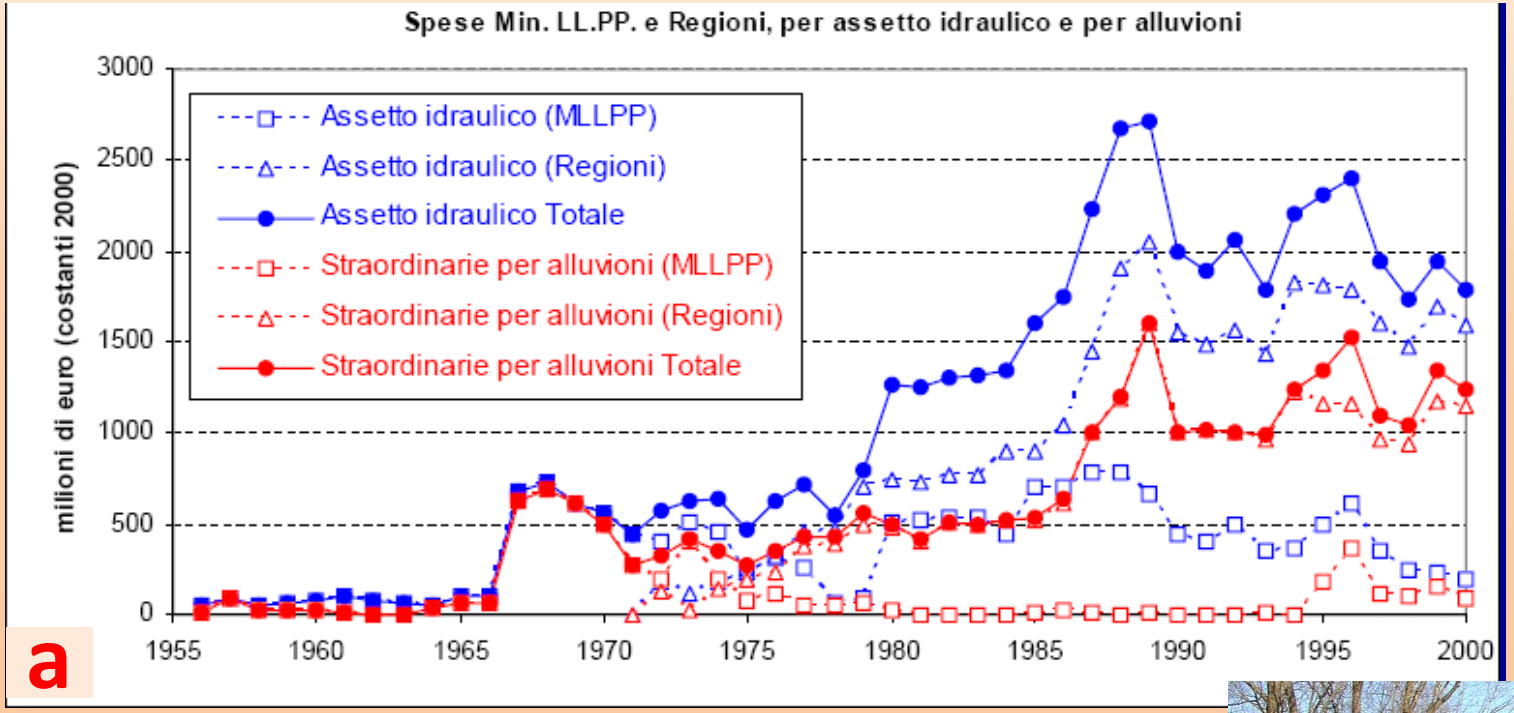
FICHA III: Obras vs sostenibilidad económico-financiera

a) Protección de riberas: el fenómeno «pasa la pelota»

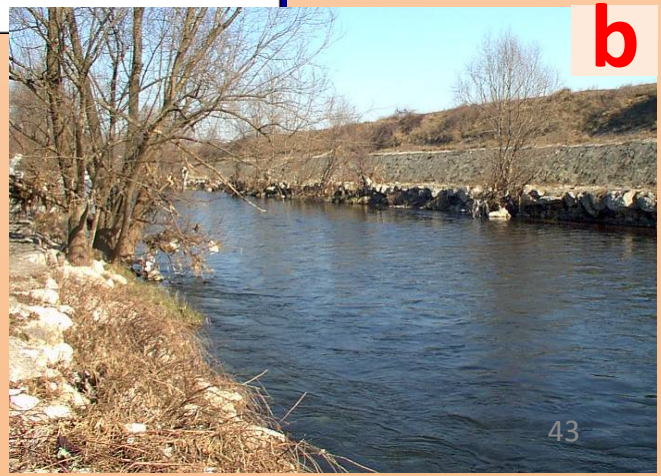


FICHA III: Obras vs sostenibilidad económico-financiera

b) Obras contra el riesgo → Daños y costos de Operación, Mantenimiento y Reemplazo (OMR) ante crecientes



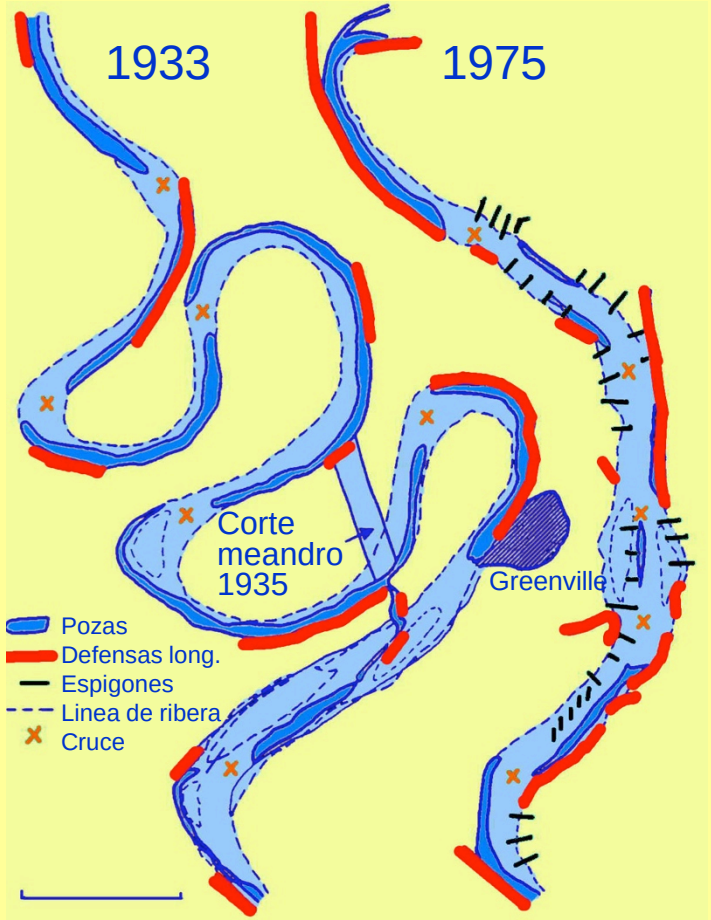
(*): linea azul: gastos OMR para mantener la configuracion de obras de defensa; linea roja: daños



FICHA III: Obras vs sostenibilidad económico-financiera

c) Obras para navegación → dinámica geomorfológica → costos OMR

Mississippi, tramo de Greenville
Respuesta al corte de meandros

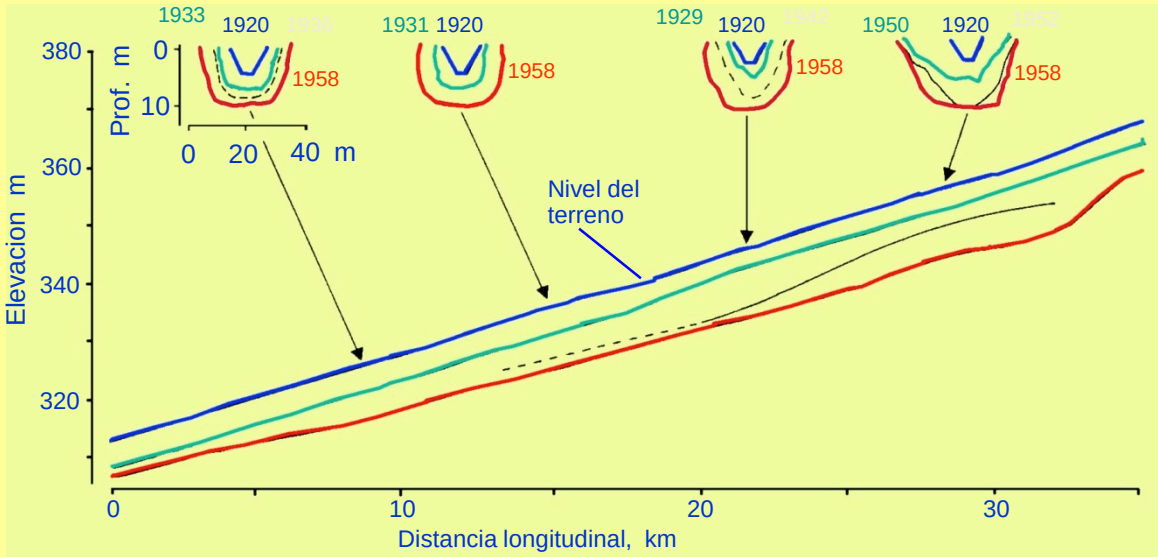


	antes del 1933	1934-1974
N° dragados	0	135
Long. defensas ribera km	23,27	41,78 (+79%)
Lungh. pennelli km	1,03	18,77 (+ 1724%)
Distancia km	82	38 (-53,6%)

(Winkley, 1982 en Brookes, 1988)

Ajustes morfológicos después de rectificación y encauzamiento
(Willow Drainage Ditch, Harrison County, Iowa)

Año →	1920	1958	%	1920	1958	%	1920	1958	%	1920	1958	%
Prof. (m)	4	12,5	212	3,7	12	224	4,7	10,5	123	4	10	150
Ancho (m)	12	31	166	13	29	123	11,5	29	152	11	41	272



(Daniels, 1960 en Brookes, 1988)

BIBLIOGRAFÍA

Alvarez S., Jessick A., Palacio J., y Kolok A. (2011), M*ethylmercury concentrations in six fish species from two, colombian rivers*, Bull Environmental Contamination Toxicology, Vol 88, pp 65–68.

Caputo M., Pieri L., Unghendoli M. (1970). "*Geometric investigation of the subsidence in the Po Delta"*. Boll Geofis Teor Appl. 14(47): 187-207.

Cardona P., Botero L., (1998), *Soil characteristics and vegetation structure in a heavily deteriorated mangrove forest in the Caribbean coast of Colombia*, Biotropica, Vol 30, N° 1, pp. 24-34.

Cellerino R., (2004). *L'Italia delle alluvioni. Un'analisi economica.* Ed. Franco Angeli, Italia

Chen Y, Syvitski J, Gao S, Overeem I, Kettner A. (2012). *"Socio-economic impacts on flooding: a 4000-year history of the Yellow River, China"*. Royal Swedish Academy of Sciences, *Ambio*. Vol 41, pp 682-98, June.

CIRF, (2006), *La riqualificazione fluviale in Italia: linee guida, strumenti ed esperienze per gestire i corsi d'acqua e il territorio,* Nardini, A.Sansoni, G. Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale (CIRF). (www.cirf.org)

CORANTIOQUIA, (2008), *Niveles de mercurio en sedimento, agua y tejido vivo "buchón, arroz, peces, cabello" en los humedales de la Mojana sucreña*, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA, Grupo investigación de Gestión y Modelación Ambiental- GAIA, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín.

Frans K., van Buuren M., van Rooij S.A.M. (2004). *Flood-risk management strategies for uncertain future: living with Rhine river floods in the Netherlands*. *AMBIO*, 33 (3): 141-147.

González del T., Marta y García de J., Diego, (2007) *Restauración de ríos: guía metodológica para la elaboración de proyectos*, Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de España, Madrid.

INVEMAR, (2000), *Informe anual sobre el estado de los recursos marinos y costeros*, programa SINAM-Unidad Coordinadora de Información, INVEMAR, Santa Marta, Colombia, (Technical Report).

Kettner, A. J., Restrepo J.D., Syvitski J.P.M, (2010), *A spatial simulation experiment to replicate fluvial sediment fluxes within the Magdalena river basin, Colombia*, The journal of Geology, The University of Chicago, Vol 118, pp 363-379.

Ley de Brasil Nº 4478 del 17 Diciembre, (2008) "*Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e territorial de Resende*", *Art 71.* (http://www.cmresende.rj.gov.br/PDF/leis/2008/Lei4478_08.htm).

Mancera N.J., Álvarez R., (2006), *Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia*, Acta Biológica Colombiana, Vol 11, N° 1, pp 3-23.

BIBLIOGRAFÍA

Marrugo J., Lans E. y Benítez L., (2007), *Hallazgo de mercurio en peces de la ciénaga de Ayapel, Córdoba, Colombia*, Rev. MVZ, Córdoba, Vol 12, pp 878-886.

Marrugo J., Benítez L., Olivero J., Lans E. y Vázquez F., (2010), *Spatial and seasonal mercury distribution in the Ayapel marsh, Mojana region, Colombia*, International Journal of Environmental Health Research, Vol. 20, No. 6, pp 451–459.

Olivero J., Johnson B., Mendoza C., Paz R., and Olivero R., (2004), *Mercury in the aquatic environment of the village of caimito at the mojana region, north of Colombia,* Water, Air and Soil Pollution, Kluwer Academic Publishers, Vol 159, pp 409–420.

Pinedo J., Marrugo J. y Díez, S., (2014), *Speciation and bioavailability of mercury in sediments impacted by gold mining in Colombia*, Chemosphere, Vol 119, pp 1289–1295.

Pitzer Jacobs A.C. , Nardini A. and Miguez Gomez M., (2013) "*Predicting River Morphology after Restoration: application of VALURI methodology to a Brazilian case*. 8th IAG International Congress on Geomorphology, pp. 27-31 Paris. (http://www.geomorphology-iag-paris2013.com/).

Puma F., (2003), *Gli interventi per la mitigazione del rischio idraulico nella media e bassa Pianura Padana nella pianificazione di bacino del Po*, in Primo Forum Nazionale sul rischio idraulico e assetto della rete idrografica nella pianificazione di bacino. A cura di E. M. Ferrucci, Ed Maggioli, pp. 413-426, Italia.

Restrepo J.D., Syvitski J.P.M, (2006), *Assessing the effect of natural controls and land use change on sediment yield in a major andean river: the Magdalena drainage basin, Colombia*, Ambio Vol 35, N°2, March.

Restrepo J.D., Zapata P., Díaz, J. M., Garzón-Ferreira J., García C.B., (2006), *Fluvial fluxes into the Caribbean sea and their impact on coastal ecosystems: the Magdalena river, Colombia*, Global and Planetary Change, Elsevier, Vol 50, pp. 33-49.

Rúa A., Flórez M., y Palacio J. (2013), *Variación espacial y temporal en los contenidos de mercurio, plomo, cromo y materia orgánica en sedimento del complejo de humedales de Ayapel, Córdoba, noroccidente colombiano*, Grupo investigación de Gestión y Modelación Ambiental- GAIA, Universidad de Antioquia, Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, N°69, ISSN 0120-6230, Medellín.

Syvitski J. P.M. (2008) *"Deltas at risk", Integrated Research System for Sustainability Science* and Springer, Special Feature: Original Issue. DOI: 10.1007/s11625-008-0043-3.

Van der Hammen T., (1986), *Fluctuaciones holocenicas del nivel de inundaciones en la cuenca del bajo Magdalena – Cauca – San Jorge (Colombia)*, Geología Norandina, Vol 10, pp 11-18.

Vernette G., (1985), *Le plateforme continentale caraibe de Colombie (du débouché du Magdalena au Golfe de Morrosquillo). Importance du diapirisme argileux sur la morpohologie et la sedimentattion*, PhD dissertation, Université Bordeaux I, Bordeaux.