Los sedimentos

de la cuenca del **Usumacinta** en 12 preguntas

OBSERVATORIO Sedimentos de la Cuenca del Río Usumacinta
sedimentos-usumacinta.mx

Pierre Charruau, Isabelle Michallet, Claudia Monzón Alvarado
Coordinadores

VAL-USES

Los sedimentos de la cuenca del Usumacinta en 12 preguntas

Pierre Charruau, Isabelle Michallet,
Claudia Monzón Alvarado
Coordinadores

EE
551.304097275
S4

Los sedimentos de la cuenca del Usumacinta en 12 preguntas / coordinadores: Pierre Charruau, Isabelle Michallet, Claudia Monzón Alvarado.- Chetumal, Quintana Roo, México : Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad : Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social : Institut National des Sciences Appliquées : Université Jean Moulin : El Colegio de la Frontera Sur, 2022.
1 recurso digital : PDF, 49 páginas : fotografías, ilustraciones, mapas, retratos ; 8 MB
Incluye bibliografía

ISBN: 978-607-8767-55-7

1. Sedimentos fluviales, 2. Sedimentos contaminados, 3. Conocimiento tradicional, 4. Manejo de recursos naturales, 5. Cuenca del Río Usumacinta, I. Charruau, Pierre Alexandre Rémy Robert (coordinador), II. Michallet, Isabelle (coordinadora), III. Monzón Alvarado, Claudia María (coordinadora)

Primera edición en formato impreso y digital, marzo 2022
D.R. © El Colegio de la Frontera Sur
D.R. © Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C.
D.R. © Université Lyon 3
D.R. © Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social
D.R. © Institut National des Sciences Appliquées
D.R. © Graie

El Colegio de la Frontera Sur
Av. Centenario km 5.5, C. P. 77014
Chetumal, Quintana Roo, México
www.ecosur.mx

Fotografía de portada: © Ramón Zetina Tapia
Corrección: Julio Rubén Roldán Estrada.
Diseño: Toufik Boumessaoud / www.ideogram.fr

Esta publicación fue sometida a un estricto proceso de arbitraje por pares, con base en los lineamientos establecidos por el Comité Editorial de El Colegio de la Frontera Sur.

Se autoriza la reproducción de esta obra para propósitos de divulgación o didácticos, siempre y cuando no existan fines de lucro, se cite la fuente y no se altere el contenido (favor de dar aviso: llopez@ecosur.mx). Cualquier otro uso requiere permiso escrito de los editores.

Hecho en México / *Made in Mexico*

Índice

INTRODUCCIÓN ..... p. 8

Pregunta 1
¿Qué son los sedimentos fluviales? ..... p. 10

Pregunta 2
¿Por qué estudiar los sedimentos y su dinámica? ..... p. 12

Pregunta 3
¿Cuál es el papel de los sedimentos en los ecosistemas? ..... p. 16

Pregunta 4
¿Qué propiedades de los sedimentos pueden analizarse según el sector de aplicación? ..... p. 18

Pregunta 5
¿Existen riesgos asociados a la contaminación de los sedimentos? ..... p. 22

Pregunta 6
¿Cómo usaban los pobladores antiguos los sedimentos del río Usumacinta? ..... p. 24

Pregunta 7
¿Cuáles son los usos actuales de los sedimentos? ..... p. 28

Pregunta 8
¿Cuál es la organización social en torno a la extracción de los sedimentos en la cuenca del río Usumacinta? ..... p. 32

Pregunta 9
¿Quién regula el uso de los sedimentos? ..... p. 34

Pregunta 10
¿Por qué y cómo aprovechar los sedimentos como recurso natural? ..... p. 36

Pregunta 11
¿Qué son los observatorios socioambientales? ..... p. 40

Pregunta 12
¿Por qué establecer un observatorio de sedimentos en la cuenca del río Usumacinta? ..... p. 42

CONCLUSIÓN
¿Cuál es el papel pasado, presente y futuro de los sedimentos en el sistema socio-ecológico del Usumacinta? ..... p. 46

Coordinadores científicos:

- **Pierre Charruau,** Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., Tabasco, México
- **Isabelle Michallet,** Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, Francia
- **Claudia Monzón Alvarado,** Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, México

Comité de redacción:

- **Anne Clémens,** GRAIE-ZABR, Francia
- **Irini Djeran-Maigre,** Université Lyon, INSA Lyon, GEOMAS, EA 7495, Francia
- **Anne Rivière-Honegger,** CNRS – UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, Francia
- **Edith Kauffer,** Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, México

Asociados:

- Université Jean Moulin Lyon 3
- Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
- Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C.
- El Colegio de la Frontera Sur
- Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social

Cómo citar esta publicación: Charruau, P., Michallet, I., & Monzón Alvarado, C. (Coords.), (2022). *Los sedimentos de la cuenca del Usumacinta en 12 preguntas*. México: El Colegio de la Frontera Sur.

Autores de las preguntas

En la redacción de las 12 preguntas han participado:

- **Gaëtan Bailly,** Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS - UMR 5600 EVS, Francia
- **Pierre Charruau,** Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., México
- **Oméya Desmazes,** Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS - UMR 5600 EVS, Francia
- **Irini Djeran-Maigre,** Université Lyon, INSA Lyon, GEOMAS, EA 7495, Francia
- **Andrea Escamilla López,** Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, México
- **Víctor Gallardo Zavaleta,** Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, El Colegio de Michoacán, México
- **Gabriela García Hidalgo,** Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., México
- **Ana González Besteiro,** Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS - UMR 5600 EVS, Francia
- **Anne Honegger,** CNRS - UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, Francia
- **Edith Kauffer,** Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, México
- **Daniel Levacher,** ComUE Normandie Université, Unicaen, M2C UMR 6143 CNRS, Francia
- **Claudia Monzón Alvarado,** Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, México
- **Luzma F. Nava,** Conacyt-Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C., México
- **Jaime Rendón von Osten,** Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, México
- **Ulises Rodríguez Robles,** Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, México
- **Dad Roux-Michollet,** OCA Ecologie – Expertise scientifique, Francia
- **Candelario Peralta Carreta,** Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., México
- **Berenice Solís Castillo,** Investigadores del Cuaternario y Antropoceno-INCUA A. C., Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, México
- **Miriam Soria Barreto,** Centro de Investigación de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Carmen, México
- **Keiko Teranishi Castillo,** Instituto Nacional de Antropología e Historia, México
- **Hans van der Wal,** Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, ECOSUR Villahermosa, México
- **Ramón Zetina Tapia,** Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Ecosur Campeche, México

Los conocimientos presentados también están disponibles en el Observatorio de Sedimentos del Usumacinta (http://sedimentos-usumacinta.mx).

Para garantizar su mejor difusión, esta publicación existe en español y en francés.

Los sedimentos de la cuenca del Usumacinta en 12 preguntas

Pierre Charruau, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A.C., México
Isabelle Michallet, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, Francia
Claudia Monzón Alvarado, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-Ecosur Campeche, México

La cuenca del Usumacinta corresponde al total del territorio en donde escurre el río Usumacinta y sus afluentes, los cuales, originados en el altiplano guatemalteco y la selva Lacandona chiapaneca, desembocan en el golfo de México en la zona de pantanos de Centla y Laguna de Términos (véase el mapa).

Como todo socio-ecosistema complejo, esta cuenca está amenazada: por el cambio climático, que modifica el ritmo de las estaciones y provoca trastornos hidrológicos y ecológicos, y en segundo, por las actividades humanas que, en mayor o menor medida, contaminan de manera crónica o temporal el agua y alteran el medio natural. Lo anterior se agrava porque las poblaciones rurales que habitan la zona están sujetas a distintas desigualdades socioeconómicas.

Los sedimentos del Usumacinta, que los lugareños llaman "arena", "guijarros" o "piedras", son compuestos de arcilla, limo, barro y grava, esenciales en el ecosistema fluvial por albergar una vida secreta y participar en la dinámica del río. Sin embargo, estos sedimentos son vistos más bien como un recurso mineral que se ha extraído y trabajado desde tiempos inmemoriales para la producción de cerámica, la mejora del suelo o como material de construcción, conociendo apenas sus funciones ecológicas, sociales y culturales. El reconocimiento de su papel y proceder a su protección es indispensable ante las amenazas sobre el Usumacinta. Es clave rastrear, describir, prever y replantear los usos pasados, presentes y futuros que se les han dado, para que su aprovechamiento se dé en forma concertada, para beneficio de los habitantes del lugar, y sin alterar el equilibrio del ecosistema.

Con esta publicación, un grupo de científicos mexicanos y franceses buscamos dirigirnos a todos para explicarles en doce preguntas la naturaleza, el valor y muchas más cuestiones acerca de los sedimentos del Usumacinta: ¿para qué se utilizan?, ¿están contaminados?, ¿qué usos han tenido a lo largo del tiempo?, ¿cómo pueden valorizarse? Con nuestras respuestas esperamos contribuir a la construcción de una relación sostenible entre este río y los seres humanos que viven en sus riberas. Con el ejemplo del Usumacinta, bien podría abordarse la misma problemática respecto a cualquier otro gran río.

La idea de esta obra debe mucho a *Le Rhône en 100 questions (El Ródano en 100 preguntas)*, dirigida por Jean-Paul Bravard y Anne Clémens y publicada en diciembre de 2008 por el Graie[1]. Nuestra ambición es más modesta; en las 12 preguntas planteadas hacemos propio un enfoque de difusión del conocimiento que integra a investigadores de diferentes disciplinas y se abre al ámbito internacional.

Esta publicación se realizó en el marco de una estrecha colaboración científica con la participación de investigadores mexicanos y franceses que, iniciada en 2018, concluirá en 2022: el proyecto VAL-USES "Desde el aprovechamiento tradicional hacia la valorización integral de los sedimentos en la cuenca del río Usumacinta"; un proyecto interdisciplinario aprobado y financiado por la Agencia Nacional de Investigación en Francia (ANR-17-CE03-0012-01) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en México (FONCICYT-290792).

Este volumen ha sido coordinado por Isabelle Michallet (Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS - UMR 5600 EVS, Francia), Pierre Charruau (Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., México) y Claudia Monzón Alvarado (Laboatorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad CONACYT-ECOSUR Campeche, México), en asociación con un comité editorial compuesto por Anne Clémens (ZABR, Francia), Irini Djeran-Maigre (Université Lyon, INSA Lyon, GEOMAS, EA 7495, Francia), Anne Rivière-Honegger (CNRS - UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, Francia) y Edith Kauffer (Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, México).

[1] http://www.graie.org/portail/rhone-100-questions

Cuenca del río Usumacinta – México

SIMBOLOGÍA

- Cuenca del río Usumacinta
- Río Usumacinta
- Zona urbana
- Áreas Naturales Protegidas

Proyección: Transverse Mercator
Datum: WGS84 – Unidad: Metros

1. Reserva de la Biosfera Pantanos de Centia
2. Reserva de la Biosfera Montes Azules
3. Reserva de la Biosfera Lacantún
4. Área de Protección de Flora y Fauna Cañón del Usumacinta
5. Área de Protección de Flora y Fauna Chan-Kin
6. Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos
7. Parque Natural Lagunas de Montebello
8. Monumento Natural Bonampak
9. Monumento Natural Yaxchilán

Esta publicación es producto del proyecto franco-mexicano VAL-USES *"Desde el aprovechamiento tradicional hacia la valorización integral de los sedimentos en la cuenca del río Usumacinta".*

Proyecto financiado por la Agence Nationale de la Recherche française (ANR-17-CE03-0012-01) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (FONCICYT-290792).

Marzo 2022

OBSERVATORIO Sedimentos de la Cuenca del Rio Usumacinta
sedimentos-usumacinta.mx

VAL-USES

1 ¿Qué son los sedimentos fluviales?

Ulises Rodríguez Robles, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara, México

Hans van der Wal, Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente, Unidad Villahermosa, ECOSUR Villahermosa, México

El sedimento fluvial es un material sólido natural que se compone de partículas pequeñas de arcilla, limo, arena, grava y rocas, que las corrientes de agua mueven de un lugar a otro en las cuencas de los ríos cuando estos bajan con mucha fuerza.

Origen y relevancia ecológica de los sedimentos

Los sedimentos se originan en el intemperismo de los materiales geológicos. Su movimiento empieza con la erosión de los suelos, es decir, con la remoción y transporte de las partículas por la fuerza de gravedad y el flujo del agua. Los sedimentos son arrastrados hasta los arroyos y el cauce principal de los ríos para depositarse temporalmente en los lechos y áreas vecinas (figura 1.1). Finalmente, algunos pueden llegar al mar a través de la desembocadura de los ríos.

Los sedimentos fluviales son un componente esencial de los ecosistemas acuáticos y terrestres aledaños, debido a que brindan estabilidad dinámica en los componentes físicos y geomorfológicos de estos ecosistemas. Esto significa que los cambios en la cantidad y distribución de sedimentos causarán modificaciones en la forma del cauce y de los hábitats del río.

También se acumulan en grandes cantidades en las planicies costeras, justo donde las corrientes de agua bajan su velocidad. Es común que donde el río curva su cauce haya bancos de sedimentos. Se depositan asimismo en los fondos de los cuerpos de agua o en las orillas de estas y con las inundaciones en las temporadas de lluvias son distribuidos sobre extensas áreas de tierras ribereñas. Desde tiempos inmemoriales los habitantes de estas zonas los extraen para distintos usos, entre otros, para la fabricación de objetos de cerámica.

Importancia de los sedimentos para las personas

Los sedimentos son de gran importancia para los habitantes del río Usumacinta. Cada día aplican sus conocimientos sobre las características, los usos y la gestión de los sedimentos. Los usan en la construcción de vivienda, para elaborar ladrillo rojo artesanal, como fertilizante en las tierras de cultivo, o en la acuacultura para cultivar tilapia (figura 1.2).

Tradicionalmente, los sedimentos se han utilizado como base para diversos productos de alfarería, pero también para mejorar el suelo porque son ricos en nutrientes y microflora y fauna. Los deltas y las riberas de los ríos, donde se depositan muchos sedimentos, suelen ser las áreas agrícolas más fértiles de una región.

Figura 1.1: Banco de sedimentos fluviales con arena y grava en Emiliano Zapata, Tabasco. Tab. © U. Rodríguez Robles.

Figura 1.2: Elaboración de ladrillo rojo artesanal: adobe, ladrillo y teja. Se observa el barro incorporado a materiales vegetales secos y arcilla para la producción de ladrillos.
© U. Rodríguez Robles.

Las zonas con sutiles diferencias en la composición de los sedimentos ofrecen una amplia gama de hábitats, los cuales sustentan la biodiversidad, la flora y la fauna, además de contribuir a la diversidad de la pesca en el río. Es un recurso que por sus distintos usos propicia cierta organización social, y ocasionalmente es objeto de disputas.

Sedimentos en otras palabras

Dependiendo de las zonas de extracción y de las características biológicas, físicas y químicas, los sedimentos reciben distintos nombres de parte de los lugareños.

Fango: Cuando es la mezcla de suelo y restos orgánicos vegetales en descomposición que se deposita en el fondo del río, o se encuentra en los márgenes de las lagunas y agua encharcada cuando el río se desborda. Se emplea en la agricultura como acondicionador orgánico y como estabilizador para la crianza de pescado en tinajas o estanques.

Lodo: Se da este nombre al sedimento que se deposita en los potreros y que tiene alto contenido de arcilla y material vegetal seco como el zacate (familia *Poaceae*). Se utiliza en la elaboración de ladrillo rojo artesanal.

Arena y piedra: Este material se extrae en cayucos en medio del curso fluvial. La arena se compone de partículas muy finas que al depositarse forman islas. La piedra, en cambio, por su mayor tamaño se deposita en el fondo del río. Ambos recursos se utilizan en la industria de la construcción.

RECUERDA:

Los sedimentos fluviales consisten de arena, arcilla, limo, grava y rocas que se mueven en los cauces de los ríos. Provienen de la erosión del suelo y se depositan en las tierras aledañas a los ríos, o en las riberas de lagos y humedales; también es posible que sigan moviéndose hasta la desembocadura del río en el mar.

PARA SABER MÁS:

- **Agricultural Watershed Institute,** https://agwatershed.org/research-focus-areas/sediment-use/
- **USGS. Water Science School. Sediment and Suspended Sediment,** https://answers.usgs.gov
- **Cabadas-Báez, H. V., Sedov, S., Jiménez-Álvarez, S. del P., Leonard, D., Lailson-Tinoco, B., García-Moll, R., Ancona-Aragón, I. I., & Hernández-Velázquez, M. L.** (2018). Soils as a source of raw materials for ancient ceramic production in the Maya region of Mexico: Micromorphological insight. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 70*(1), pp. 21-48 – http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2018v70n1a2

2 ¿Por qué estudiar los sedimentos y su dinámica?

Dad Roux-Michollet, OCA Ecologie – Expertise scientifique, Francia

Ya sean guijarros de buen tamaño o invisibles partículas finas suspendidas en el agua, los sedimentos moldean el paisaje fluvial. Constituyen el fondo del lecho de un río, crean hábitats para las especies acuáticas, y se encuentran en las riberas o en la llanura aluvial cuando las crecidas los arrastran y depositan a metros o a cientos de metros de las orillas del río.

Los sedimentos del Usumacinta han sido utilizados para fabricar objetos o construir casas y caminos desde los tiempos en que la civilización maya florecía. Pero la intensificación de las actividades antrópicas modifica la cantidad y calidad de los sedimentos a lo largo de toda esta cuenca.

¿Por qué los sedimentos son fundamentales para el buen estado ecológico del Usumacinta?

El Usumacinta alberga una muy rica biodiversidad de fauna y flora (figura 2.1); su lecho sedimentario sirve de hábitat para peces e invertebrados, y en él se encuentran muchas plantas completamente sumergidas, así como algas microscópicas. Su ribera esconde una flora abundante y semiacuática, y sirve de entorno de vida para muchas especies animales, incluyendo cocodrilos y anfibios. Allí mismo se desarrolla un bosque aluvial cu-

HÁBITAT: *Entorno propio para la vida de una especie, que le ofrece las condiciones para asegurarle una o varias de las funciones vitales, como alimentación, reproducción, descanso o protección. Estas funciones pueden estar asociadas a hábitats específicos: por ejemplo, los peces se protegen bajo una cubierta vegetal en la orilla para descansar, se trasladan a aguas más tranquilas y cálidas para desovar, o eligen determinadas zonas con plantas herbáceas para alimentarse, etcétera. Del mismo modo, las exigencias de los individuos cambian durante su ciclo de vida y repercuten en cambios en el uso del hábitat.*

Figura 2.1.a: Explotación piscícola y parcela cultivada. © D. Roux-Michollet.

bierto de vegetación adaptada a este ambiente húmedo, que protege al río contra el exceso de sedimentos y posiblemente contaminantes. Es un bosque en el que anidan numerosos pájaros. Finalmente, en la llanura aluvial del río se hallan praderas a veces inundadas, y también marismas y pantanos.

En su funcionamiento natural, el Usumacinta erosiona, transporta y deposita materiales sólidos que provienen de aguas arriba de la cuenca y de sus riberas. Son sedimentos que, al moldear el paisaje de forma heterogénea, ayudan a mantener la biodiversidad proporcionando un numeroso mosaico de hábitats.

Como se advierte, los sedimentos juegan un papel esencial para el buen estado ecológico del río y su buen funcionamiento. Por ello importa identificar y comprender los vínculos entre las formas sedimentarias y la diversidad de ambientes de interés ecológico acuáticos o ribereños, con el fin de protegerlos o restaurarlos.

¿Qué podemos aprender de los mecanismos de transporte de sedimentos?

Los flujos de sedimentos finos y gruesos cambian por la influencia de las condiciones climáticas. Esto sucede de forma natural con el lecho del río y su llanura aluvial por las crecidas y estiajes. Los mecanismos de transporte de sedimentos también se ven influidos por los desarrollos de infraestructura que crean obstáculos o alteran sus flujos. Los estudios geomorfológicos permiten identificar los sectores donde los sedimentos representan un exceso (depósito) o un déficit (erosión).

Ahora bien, llamamos caracterización del funcionamiento hidro-sedimentario del río a la evaluación de la variabilidad espacial y temporal de la erosión y deposición respecto a las condiciones hidrológicas. Ello implica la cuantificación de la carga de arena y los flujos de materia en suspensión para estimar la cantidad de materiales que transitan anualmente por el Usumacinta y sus distintos afluentes, y así determinar sus aportes al golfo de México.

Según el origen de las rocas erosionadas y la geoquímica de los suelos lavados, las partículas sedimentarias mostrarán propiedades fisicoquímicas propias. Es necesario comprender los procesos de sedimentación en relación con las áreas en donde se depositan contaminantes. Ello permite determinar los niveles de contaminación en el cauce y en las riberas, así como su movilidad y riesgos de dispersión de contaminantes. De modo que estudiar la dinámica morfo-sedimentaria nos da claridad acerca de la evolución de las formas del río y los flujos de sedimentos y contaminantes asociados.

¿Por qué estudiar el "valor social" de los sedimentos?

La dinámica natural de los sedimentos no se puede abordar sin tener en cuenta su valor social. Los sedimentos son parte del paisaje fluvial y sirven de soporte para muchas

Figura 2.1.b: Extracción artesanal de arena y depósito en las riberas. © D. Roux-Michollet.

2

Figuras 2.2.a y b: (a) Dique de protección contra crecidas. (b) Vertido irregular de desechos domésticos. © D. Roux-Michollet.

actividades como la construcción (figura 2.1 a, b). Por lo tanto, los componentes ecológicos y humanos se deben evaluar juntos; no olvidemos que los sedimentos juegan un papel en el mantenimiento de las especies y de las sociedades ribereñas.

¿Cómo limitar la alteración de la dinámica sedimentaria natural?

Las prácticas que afectan los sedimentos depositados o suspendidos tienen un impacto en el funcionamiento de los entornos acuáticos. Sea por la extracción de materiales, el desarrollo de la agricultura o la construcción de diques para protegerse de las crecidas, la actividad humana repercute de modo importante en la morfología del río y las condiciones de flujo (figura 2.2a). Estos cambios hidromorfológicos obstaculizan la dinámica fluvial y alteran la diversidad y calidad de los hábitats biológicos, indispensables para la reproducción, la nutrición y el descanso de las especies. Además, la presencia del ser humano y sus actividades domésticas, industriales o mineras modifican las condiciones fisicoquímicas de los sedimentos, particularmente los contaminantes orgánicos y metálicos (figura 2.2b).

Para asegurar la sostenibilidad de los ecosistemas y de los servicios que prestan a las poblaciones, es necesario comprender mejor las interacciones entre la erosión/deposición de sedimentos y los procesos biológicos; seguir la evolución morfodinámica del canal a largo plazo; e identificar las fuentes de contaminación (agroquímicos, aguas residuales, desechos domésticos, etcétera) y entender los procesos de almacenamiento y transferencia de contaminantes.

Desde luego, se requiere de un consenso entre las necesidades humanas y sus impactos, lo que implica regulación, reglamentación y gobernanza de los usos intensivos, y de la valorización de usos tradicionales más sostenibles para los ecosistemas.

RECUERDA:

El Usumacinta transporta sedimentos que son un componente indispensable para su equilibrio ecológico y para las comunidades que viven en sus riberas. La construcción de un consenso para conciliar el conjunto de estas necesidades requiere de un buen conocimiento de cómo evolucionan las dinámicas sedimentarias del río y sus usos, y de una gestión integrada de estos recursos.

PARA SABER MÁS:

- **Schmutz, S., & Sendzimir, J.** (Eds.). (2018). *Riverine Ecosystem Management. Science for Governing Towards a Sustainable Future.* Cham, Suiza: Springer.

3 ¿Cuál es el papel de los sedimentos en los ecosistemas?

Gabriela García Hidalgo, Candelario Peralta Carreta, Pierre Charruau, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad A. C., México

Miriam Soria Barreto, Centro de Investigación de Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Carmen, México

Los sedimentos juegan un papel fundamental en los procesos de formación, regulación, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas acuáticos interiores, como ríos y lagos, y en los costeros, como lagunas costeras y estuarios. En estos últimos, que son altamente productivos, los sedimentos contienen una gran cantidad de materia orgánica y aportan sustancias nutritivas.

Los sedimentos en los sistemas fluviales

Los ríos son ecosistemas dinámicos que se caracterizan por la carga, transporte y deposición de los sedimentos a lo largo de su recorrido. Esos sedimentos tienen su origen en dos fuentes: la interna, cuando resultan de la erosión de las orillas del canal principal y sus afluentes; y la externa, cuando son producto de la erosión de los suelos en la cuenca de captación. La erosión es un proceso geomórfico, que promueve la sucesión de vegetación ribereña y crea hábitats dinámicos cruciales para plantas y animales acuáticos y ribereños.

En los sistemas fluviales, los sedimentos se transportan de las zonas de mayor a las de menor pendiente. Los sedimentos más ligeros quedan en suspensión, mezclados con el agua; pero cuando disminuye el caudal o la velocidad de flujo sucede su deposición, de forma que al pasar el tiempo se consolidan en los llamados "playones" e "islas fluviales", los cuales modifican la forma del cauce y el flujo del río (figura 3.1.a y b). En general, la deposición ocurre en época de estiaje y en la parte baja de los ríos. En cambio, en la época de lluvias, se incrementa el volumen de agua y con esto las velocidades del flujo, por lo que aumentan los desbordes, los procesos erosivos y se facilita el transporte de los sedimentos.

PERIFITON: *Comunidad compuesta principalmente de algas, bacterias, hongos e invertebrados. Se le llama comúnmente "cieno" o "lama".*

Figura 3.1.a y b: Acumulación de sedimentos en el río Usumacinta, México. Izquierda 1969 y derecha 2019. Google Earth.

Figura 3.2.a y b: Playas con vegetación y nidos del pez diablo o pleco (*Pterygoplichthys sp.)* en el río Usumacinta. © M. Soria Barreto.

La relación entre la flora y fauna con los sedimentos

El sedimento grueso forma la estructura física del hábitat acuático de diversas especies, constituye el sustrato para el desarrollo de vegetación (figura 3.2.a), así como el hábitat de fauna bentónica como esponjas, planarias, sanguijuelas, lombrices, insectos, moluscos, crustáceos y peces (figura 3.2.b). El sustrato permite el intercambio de oxígeno y sirve como área de refugio contra los depredadores.

El sedimento fino sirve de alimento al perifiton y los organismos filtradores (p. ej., almejas o camarones). Cuando se sedimenta, puede utilizarse como zonas de anidación para diversos animales, como la golondrina de banco (*Riparia riparia*).

El exceso de sedimentos afecta los sistemas fluviales; asimismo, provoca la reducción de la fotosíntesis y el plancton porque la turbidez del agua disminuye la penetración de luz; además, se incrementa la temperatura del agua, porque las partículas oscuras absorben más calor. En plantas como los juncos, esparganios, eneas y carrizos se dañan las raíces y hojas por efecto de la abrasión. Los peces también reducen su tasa de crecimiento o mueren por la obstrucción de sus branquias; se afectan incluso los sitios de desove y la disponibilidad del alimento en el fondo, lo que produce cambios del hábitat y en los patrones de migración de algunas especies.

RECUERDA:

Los sedimentos son partículas sólidas que provienen de la erosión del suelo y son transportadas por los sistemas fluviales. Se depositan en el fondo del canal, modificando con ello la morfología y dinámica de los ríos. Constituyen el sustrato para el desarrollo de las plantas y sirven de hábitat a la fauna bentónica. Su incremento produce efectos negativos en las comunidades acuáticas.

PARA SABER MÁS:

- **Wood, P. J., & Armitage, P. D.** (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental management, 21*(2), 203-217.
- **Florsheim, J. L., Mount, J. F., & Chin, A.** (2008). Bank erosion as a desirables attribute of rivers. *BioScience, 58*(6), 519-529.

4 ¿Qué propiedades de los sedimentos pueden analizarse según el sector de aplicación?

Irini Djeran-Maigre, INSA Lyon, GEOMAS, Francia

Los sedimentos fluviales y marinos son geomateriales naturales (figura 4.1), cuyas propiedades se estudian agrupándolas en categorías: químicas, mecánicas, hídricas, etcétera (figura 4.2). Esto es esencial para orientar su valorización en función de para qué se quieran usar los sedimentos (figura 4.3).

Las propiedades de los sedimentos agrupadas por categorías

El análisis del estado microestructural de los sedimentos identifica la disposición de las partículas sólidas y determina el espacio de poros que esa disposición crea. La distribución del tamaño de los poros –medida mediante isotermas de adsorción de nitrógeno– y el cálculo de la medida de la superficie específica –suma de todas las superficies accesibles de las partículas sólidas contenidas en una unidad de masa de sedimento– caracterizan dicho espacio. Mientras que la interfaz sólido-líquido es la sede de los fenómenos físico-químicos y su análisis está adquiriendo importancia para el uso de los sedimentos en aplicaciones agronómicas o de fabricación de ladrillos (figura 4.2).

La caracterización física de los sedimentos, que se realiza mediante pruebas de identificación, incluye mediciones del contenido de agua, de la porosidad, del índice de vacíos y de las diferentes densidades según si su estado es seco, húmedo o saturado, y las fases presentes: sólido, líquido o gaseoso. El tamaño de los granos y su porcentaje en peso determinan la granulometría. En tanto que el contenido de arcilla se mide por el valor del azul de metileno; y con los límites de Atterberg se separan los estados sólido, plástico y líquido en función del contenido de agua. El contenido de agua define la consistencia y los índices que diferencian estos estados. La combinación de todos los valores mencionados lleva a una clasificación universal de los sedimentos, según las propiedades requeridas para un uso geotécnico específico.

Figura 4.1: Muestras de sedimentos del río Usumacinta de 5 sitios de Tenosique y 5 de Jonuta (Tabasco, México). © I. Djeran-Maigre 2019.

Figura 4.2: Muestreo manual de los sedimentos del Usumacinta: (a) con cono, (b) con pala, (c) con cubo.
© I. Djeran-Maigre, abril 2018.

Las propiedades químicas de los sedimentos incluyen:

- Análisis mineralógico por difracción de rayos X, que explica el comportamiento macroscópico en relación con la composición microestructural.
- Capacidad de intercambio catiónico, que expresa qué tantos cationes (que son iones con cargas eléctricas positivas) se atraen a la superficie de las partículas sólidas (con cargas eléctricas negativas); o la cantidad de cationes intercambiables que los sedimentos son capaces de retener.
- El contenido de materia orgánica.
- El contenido de carbonato de calcio, que es un índice de resistencia mecánica y de sensibilidad al agua.
- El pH y la conductividad eléctrica, que son útiles para prospectar el uso agrícola del sedimento.

4

Figura 4.3: Propiedades de los sedimentos por categoría y sector de aplicación. © I. Djeran-Maigre 2020.

Con estos análisis es posible identificar qué tipos de minerales están presentes en los sedimentos, cómo se organizan en el espacio, cómo se asocian y qué nutrientes o contaminación contienen. Comprender estas propiedades es esencial, sea cual sea la aplicación prevista (figura 4.2).

Para algunas aplicaciones, en particular para las del sector geotécnico que incluye la fabricación de carreteras, terraplenes, diques y la fabricación de ladrillos de tierra, es primordial conocer los parámetros de la capacidad de compactación, es decir, la capacidad de reducir el volumen del sedimento con la aplicación temporal de una sobrecarga cuyo objetivo es aumentar su resistencia y reducir el asentamiento y punzonamiento, o capacidad de carga desarrollada contra el hundimiento de una carga localizada. El objetivo es comprender cómo se comportará el sedimento macroscópicamente bajo las cargas: si se asentará, en qué medida, durante qué tiempo, si se romperá.

Los parámetros hidromecánicos se miden mediante ensayos de "odometría", los cuales permiten estudiar las deformaciones generadas por la aplicación de cargas. La compresibilidad, la contracción o el hinchamiento y la tensión de preconsolidación son parámetros determinados por las curvas de tensión-deformación; mientras que la consolidación expresa la evolución del asentamiento en función del tiempo.

La permeabilidad –que representa la velocidad a la que el agua de los poros pasa a través de los poros interconectados– es un parámetro clave del comportamiento hidromecánico de los sedimentos y puede medirse con la misma prueba de odometría mencionada. Por su parte, los parámetros de fractura, la cohesión y el ángulo de fricción del grano interno se miden con ensayos triaxiales a través de vías de tensión total o efectiva; y el flujo de los sedimentos se estudia midiendo su viscosidad en función del gradiente de cizallamiento. Esto es **reología o ciencia del flujo.**

Los parámetros térmicos, como las conductividades y dilataciones térmicas del sedimento y sus diferentes fases, son necesarios para las aplicaciones geotécnicas.

La presencia de nutrientes como calcio, magnesio, fósforo y potasio, son importantes para las aplicaciones agronómicas.

Ahora bien, la contaminación de los sedimentos se explora mediante análisis químicos. El contenido de metales pesados se observa midiéndolos con la técnica del plasma acoplado inductivamente combinada con la espectrometría de masas, ello permite analizar los elementos según sus cargas eléctricas y su masa o mediante la espectrometría de emisión atómica que mide las longitudes de onda emitidas por los iones. La búsqueda de pesticidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y bifenilos policlorados (PCB), que se realiza mediante cromatografía líquida y de gases y espectrometría de masas, es necesaria para evaluar el nivel de contaminación. Las concentraciones de nitrato, nitrito, cloruro y sulfato en el agua se miden espectrofotométricamente.

Propiedades y parámetros de los sedimentos según sectores de aplicación

Para seleccionar las aplicaciones y usos de los sedimentos, es necesario conocer en profundidad sus propiedades y comportamiento a diferentes escalas espaciales y temporales. No todos los parámetros y/o propiedades se requieren, su exploración depende de para qué se les va a usar (figura 4.2).

Así, **la fabricación de ladrillos de arcilla cocida, comprimidos y en crudo,** exige una evaluación previa del contenido de agua, granulometría y óxidos, mediante diagramas de viabilidad para el procesamiento y la cocción. Las pruebas hidromecánicas y la reología son útiles en este caso para tener en claro la idoneidad del moldeado y el secado de los ladrillos de tierra cruda.

En cambio, **en el sector geotécnico dedicado a los terraplenes y subrasantes,** que incluye la construcción de carreteras pavimentadas o no, y movimiento de tierras y diques, se requiere analizar los sedimentos con parámetros físico-químicos, geotécnicos e hidromecánicos.

El sector agronómico, por su parte, que se ocupa de la reparación de los suelos mediante la enmienda y el esparcimiento, necesita conocer el comportamiento microestructural, fisicoquímico e hidromecánico de los sedimentos, y verificar los nutrientes y la contaminación.

RECUERDA:

Los sedimentos fluviales o marinos son geomateriales naturales y sus propiedades multiescalares a nivel micro, meso y macroestructura se estudian mediante experimentos estandarizados u originales. Estas propiedades están acopladas o son independientes y permiten comprender el comportamiento termo, hidro, mecánico y químico de los sedimentos.

PARA SABER MÁS:

- **Djeran-Maigre, I., Levacher, D., Razakamanantsoa, A.-R.** (2020). Les sédiments fluviaux de l'Usumacinta du Mexique et leur valorisation, *XXes Journées nationales de géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur,* Lyon 2020. https://www.geotechnique.org/jngg2020/files/297751.pdf
- **Hussain, M., Levacher, D., Leblanc, N., Zmamou, H., Djeran-Maigre, I., & Razakamanantsoa, A.-R.** (2021). *Sediment-based fired brick strength optimization A discussion on different approaches.* XVIes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Le Havre 2020. https://doi.org/10.5150/jngcgc.2020.072
- **Mitchell, J. K., Soga, K.** (2005). *Fundamentals of soil behaviour,* Nueva York: John Wiley & Sons.

5 ¿Existen riesgos asociados a la contaminación de los sedimentos?

Andrea Escamilla López y **Jaime Rendón von Osten,** Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía del Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, México

Por formar parte de la hidrodinámica de los ríos y contribuir a la formación del litoral costero y al transporte de los nutrientes a los ecosistemas, los sedimentos son fundamentales para los sistemas acuáticos. Pero también pueden ser una fuente de contaminación para la biota acuática y convertirse en un riesgo ambiental y ecológico. Los sedimentos contaminados contribuyen al deterioro de los hábitats y recursos, con efectos a largo plazo en la salud de los seres vivos, además de comprometer la seguridad alimentaria y con esto la salud humana.

Los sedimentos y contaminantes químicos

Los sedimentos fungen como depositario final de los contaminantes persistentes, bioacumulables y tóxicos, que se producen por procesos naturales o antrópicos (derivados de la expansión urbana, desarrollo de actividades industriales y agrícolas) y que son transportados por las aguas superficiales, escorrentías, descargas y drenajes (figura 5.1). Entre los principales compuestos químicos se encuentran los plaguicidas organoclorados (OCs), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), los combustibles y metales pesados, entre otros muchos.

La parte de los sedimentos compuesta por limo y arcilla (< 63 µm) es la fracción más activa y en la que dicho tipo de contaminantes se adhiere, especialmente por el alto contenido de carbono orgánico presente. En este caso, el coeficiente de partición se relaciona con el carbono orgánico en los sedimentos (KOC). La sola existencia de contaminantes en sedimentos ya es un riesgo para los organismos expuestos, es por ello que la Administración Nacional Oceánica y

Figura 5.1: Descarga de aguas residuales en el río Usumacinta, México. © A. Escamilla, 2019.

BIOACUMULACIÓN: *Acumulación de sustancias químicas en los tejidos de los organismos.*

BIOMAGNIFICACIÓN: *Tendencia de algunas sustancias químicas a acumularse a lo largo de la cadena trófica, exhibiendo concentraciones sucesivamente mayores al ascender el nivel trófico.*

Figura 5.2: Cocodrilo americano alimentándose. © P. Charruau, 2008.

Atmosférica (NOAA) emitió criterios internacionales de contaminantes orgánicos en sedimentos para protección de organismos de agua dulce y costeros.

Riesgos en los ecosistemas acuáticos por sedimentos contaminados

Los sedimentos contaminados tienen efectos ecológicos para los sistemas acuáticos, ya que pueden modificar las características naturales de la columna de agua, ocasionar destrucción del hábitat, perturbar la biota acuática y a los organismos que dependen de ellas afectando así cadenas tróficas completas.

Los contaminantes químicos asociados a los sedimentos ingresan a la cadena alimentaria de diversas maneras. Pueden interactuar con los organismos del primer nivel trófico, es decir, con especies productoras (p. ej., algas, plantas) e ingresar mediante la absorción. Los sedimentos finos (ricos en materia orgánica) constituyen el alimento de especies bentónicas de hábitos filtradores, como las almejas, y de hábitos detritívoros, como el camarón; así mismo son ingeridos directamente por los peces de manera habitual, que, a su vez, sirven de alimento para otros depredadores superiores: aves, reptiles, mamíferos marinos. Estos últimos llegan a registrar las concentraciones más altas de contaminantes en sus tejidos por los procesos de bioacumulación y biomagnificación que se presentan en la red trófica.

Algunos estudios científicos han comprobado que los contaminantes químicos tienen efectos mutagénicos y carcinogénicos, y la capacidad de imitar estrógenos (nivel endócrino) en diferentes especies acuáticas (p. ej., mamíferos, aves, peces, reptiles, etcétera) (figura 5.2), lo que resulta en modificaciones perjudiciales en el desarrollo y reproducción de los organismos. Tales causas pueden disminuir sutilmente las poblaciones de especies que son alimento para otras; o inducir la aparición de plagas secundarias cuando disminuyen sus depredadores naturales.

RECUERDA:

Los sedimentos, que son esenciales para el equilibrio físico y biológico de los ríos, pueden ser portadores de contaminantes resultantes de procesos naturales o antropogénicos. Cuando estos contaminantes son ingeridos por las especies acuáticas, causarán efectos adversos significativos en todos los niveles de la cadena trófica y los ecosistemas.

PARA SABER MÁS:

- **Chopra, A. K., Sharma, M. K., & Chamoli, S.** (2011). Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic system-an overview. *Environmental Monitoring and Assessment, 173*(1–4), 905-916. https://doi.org/10.1007/s10661-010-1433-4
- **Apitz, S. E.** (2012). Conceptualizing the role of sediment in sustaining ecosystem services: Sediment-ecosystem regional assessment (SEcoRA). *Science of The Total Environment,* (415), 9-30. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.05.060
- **Ongley, E. D.** (1997). *Contaminación provocada por los sedimentos.* FAO. https://bit.ly/30jWSbg

6 ¿Cómo usaban los pobladores antiguos los sedimentos del río Usumacinta?

Berenice Solís Castillo, Investigadores del Cuaternario y Antropoceno-INCUA A. C., Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, México
Keiko Teranishi Castillo, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México

Las amplias planicies del río Usumacinta han sido testigo del establecimiento de sociedades desde hace unos 3500 años a. de C. (figura 6.1). Los sedimentos que el río va transportando a lo largo de su cauce contribuyeron al desarrollo de la civilización maya, una de las más importantes en Mesoamérica. Los mayas construyeron sus aldeas y ciudades en la zona dejando sus vestigios en las terrazas que poco a poco van resurgiendo por la acción erosiva del río. Los sedimentos guardan en su interior las huellas de esa civilización, desde su origen hasta su colapso. En estas páginas daremos un vistazo de su historia usando tres de las muchas actividades que los mayas practicaban en el río Usumacinta: la agricultura, la construcción de aldeas y ciudades, y la producción de utensilios (cerámica).

Figura 6.1: Distribución de los sitios arqueológicos hallados a las orillas del río Usumacinta medio entre los municipios de Tenosique y Emiliano Zapata. © K.T.C/PRAUS. Diseño, modelado y presentación: C. V. Salazar González.

La agricultura

La agricultura era una actividad esencial para las sociedades asentadas en las riberas del Usumacinta. Este río transporta nutrientes y sedimentos que se depositan regularmente en sus orillas, y esto permitió el desarrollo de una agricultura intensiva que daba sustento a la población e incluso generaba un excedente que se comerciaba en parte detonándose así el surgimiento de las primeras ciudades. El acceso permanente de agua para riego, proveniente del río y lagunas, dio lugar a una larga historia de interacción sociedad-naturaleza que no se vio interrumpida por la gran sequía que acabó con las ciudades mayas de otras regiones.

Construcción de aldeas y ciudades

Los sitios arqueológicos hallados en las planicies del Usumacinta, tan antiguos como los de los olmecas, datan de entre 1800 y 800 a. de C. Estas ciudades y aldeas se construyeron con materiales provenientes del río; usando grandes cantidades de suelos y sedimentos superficiales de sus planicies, levantaron plataformas en donde construían chozas, sobre una estructura de varas o juncos, con palma y una mezcla de barro, arenas y vegetales que los arqueólogos llaman bajareque. Era común que las aldeas se ubicaran junto al río. Así era sencillo obtener los materiales, tanto para sus hogares, como para fabricar utensilios de barro y sembrar en los suelos fértiles de las planicies fluviales (figura 6.2).

Posteriormente, las chozas de carrizos eran cubiertas con una mezcla de sedimentos arcillosos del río o lodo, que después se sometía al calor de la quema de ciertas

Figura 6.2: Reconstrucción de las ciudades erigidas a lo largo del río Usumacinta. © K.T.C/PRAUS. Diseño, modelado y presentación: C. V. Salazar González.

6

Figura 6.3: Hogares construidos a lo largo del río Usumacinta en diferentes periodos. Arriba: Construcción Preclásica (2200-897 a. de C.). Abajo: Construcción del periodo Clásico (350-800 d. de C.). © K.T.C/PRAUS. Diseño, modelado y presentación: C. V. Salazar González.

maderas en los pisos. En ese proceso el lodo se cocía transformando la arcilla en barro. Al interior se recubrían los muros con una capa de arcillas, y nuevamente se prendía fuego propiciando su cocimiento para terminar el tratamiento del barro. De esta forma las casas eran más duraderas y resistentes a las lluvias y el viento. Con el tiempo, la tecnología de construcción sufrió un cambio sustancial; en periodos posteriores se utilizaron ladrillos de barro y adobe elaborados con los sedimentos arenosos y arcillosos del río (figura 6.3).

Figura 6.4: Artefactos y utensilios de arcilla mezclada con sedimentos. © K. Teranishi Castillo/INAH. Abajo: Sello de arcilla.

RECUERDA:

Los sedimentos del Usumacinta son un valioso recurso para los habitantes de sus riberas desde la época maya, quienes los han utilizado en la agricultura, construcción de casas y fabricación de cerámica, con un saber hacer que ha evolucionado en el tiempo y que demuestra un profundo conocimiento del río y sus riquezas.

Producción de utensilios de barro

Desde épocas muy tempranas la elaboración de los utensilios de barro, o cerámica, fue muy famosa por la tierra blanca, fácilmente distinguible en las paredes del río. Se trata de ceniza volcánica producto de una gran erupción que cubrió todo Tabasco y otras regiones del Sureste de México, incluido el golfo de México.

La cerámica elaborada por los habitantes del Usumacinta tiene una huella única, en su composición interviene un 95% de ceniza proveniente de los volcanes de Belice, la cual se combina con los sedimentos arcillosos del río. Es sencilla de identificar por los arqueólogos, y se ha encontrado en las ciudades mayas de Yucatán, Campeche, Quintana Roo, Belice, Chiapas y otras regiones. Esta amplia distribución es una evidencia que habla del importante comercio y contacto entre los distintos centros urbanos de la antigüedad maya. El comercio de esta cerámica sumado a la calidad y durabilidad lograda con los materiales extraídos de las paredes del Usumacinta y al conocimiento acumulado para elegir, extraer y mezclar los diferentes tipos de sedimentos son un testimonio invaluable para conocer la habilidad y formas de hacer y manufacturar vasijas, platos, cuencos y otros utensilios únicos de los pueblos prehispánicos de esta región (figura 6.4).

PARA SABER MÁS:

- **Cabadas-Báez, H., Solís Castillo, B., Teranishi Castillo, K., Solleiro Rebolledo, E., Liendo Stuardo, R., Komeychik, O., & Sedov, S.** (2017). Reworked volcaniclastic deposits from the Usumacinta river, Mexico: a serendipitous source of volcanic glass in Maya ceramics. *Geoarchaeology, 00*, 1-18.
- **Kita, Y., Teranishi, K., & Rebollo-Franco, N.** (2017). Las arquitecturas de tierra en los trópicos húmedos de México. Tradiciones diversas. En J. H. Erquicia & S. Shibata (Eds.), *Estudios de arqueología: México y Centroamérica,* (pp. 113-134). San Salvador: Dirección de Publicaciones e Impresos, Secretaría de Cultura del Gobierno de El Salvador.
- **Solís Castillo, B., Solleiro Rebolledo, E., Sedov, S., Liendo, R., Ortiz Pérez, M. A., & López Rivera, S.** (2013). Paleoenvironment and human occupation in the Maya lowlands of the Usumacinta River, Mexico. *Geoarchaeology, 28*, 268-288.

7 ¿Cuáles son los usos actuales de los sedimentos?

Anne Rivière-Honegger, CNRS - UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, Francia
Hans van der Wal, Agricultura, Sociedad y Ambiente, ECOSUR Villahermosa, México
Ana González Besteiro, CNRS - UMR 5600-EVS, Université Jean Moulin Lyon 3, Francia
Ulises Rodríguez Robles, Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadajalara, México

Los sedimentos del Usumacinta actualmente se extraen de manera artesanal y en algunos casos industrialmente para la construcción, se utilizan en la fertilización del suelo para la agricultura familiar, ganadera o forestal o con fines recreativos cuando conforman playas en los márgenes del río. Los sedimentos, compuestos de cantos, grava y arena, localmente se les llama "piedra" o "material de construcción".

Extracción de sedimentos: una actividad local, mayoritariamente a pequeña escala y considerada sostenible

La riqueza de los recursos naturales de la cuenca del Usumacinta contrasta con la pobreza de las poblaciones ribereñas, en su mayoría rurales y dedicadas a la agricultura, ganadería, y a las actividades forestales y piscícolas (Gandin, 2015). La irregularidad estacional del caudal del río y las inundaciones recurrentes en la época de lluvias (mayo-noviembre) son un factor importante en la gestión que las comunidades locales hacen de los recursos naturales.

La cuenca del Usumacinta es un territorio en tensión por su situación fronteriza (Besteiro & Rivière-Honegger, 2021). En este contexto, la explotación artesanal de sedimentos, iniciada en la década de 1970, es una actividad económica estable a escala local y muy bien organizada. La realizan sobre todo cooperativas fundadas por residentes cerca de los bancos de arena, que requieren de una autorización por parte de la Comisión Nacional del Agua (Conagua). También se observa una actividad informal. La extracción de sedimentos del fondo del río y de algunas playas que quedan al descubierto durante el estiaje, se lleva a cabo artesanalmente de noviembre a mayo.

Existen varios oficios asociados a esta operación. En primer lugar, están los barqueros, que conducen la lancha hasta el banco de arena y se sumergen en el río, junto con sus ayudantes, con un cubo que llevan a la superficie lleno de sedimentos (figura 7.1a). El llenado de la embarcación se completa al ritmo de las inmersiones y los ascensos. Luego se llevará hasta la orilla, donde ingeniosos sistemas conformados por un motor de motocicleta, cables y poleas (figura 7.1b) ayudan a subir el material. Este se almacena frente a la casa del dueño del terreno y se vende a contratistas o particulares. Intervienen entonces los paleros (figura 7.1c), quienes llenan los camiones o vehículos de los clientes con grava o arena. Los barqueros y paleros no necesariamente son parte de la cooperativa. Con frecuencia trabajan por turnos en función de la demanda de material. Una tercera profesión en el sector es la de los camioneros, que a menudo poseen su propio vehículo; ellos se encargan de transportar el material hasta el sitio de entrega que suele estar en la ciudad.

El material extraído del Usumacinta se utiliza localmente. La mayor parte la adquiere el municipio, y el resto los contratistas. Es un material "noble" para los constructores en comparación con otros, como los extraídos de las graveras de los cerros cercanos al río. Solo las piedras o cantos se comercian, clasificados por colores y empaquetados en costales, principalmente en Mérida o Cancún. Se utilizan para decorar edificios en las zonas turísticas de la península de Yucatán. Las mujeres participan clasificando, pero sin remuneración.

Las autoridades municipales y población local consideran este tipo de explotación como sostenible –pero no se miden los impactos ambientales– porque juzgan que la cantidad de material extraído es insignificante en comparación con la que el río acarrea con cada crecida:

"Hay suficiente para todos y nunca se acaba". "Cuando hay inundaciones, hay material que vuelve", afirmaba un operario ribereño en abril de 2018. La cantidad de sedimento extraído es suficiente para las actuales necesidades locales de la construcción.

Los sedimentos como acondicionadores del suelo para la agricultura, la ganadería y la silvicultura

Los suelos de las llanuras de la cuenca del Usumacinta son predominantemente aluviales, es decir, que son depositados por el río a lo largo de sus lechos movedizos. A medida que el río fluye desde el tramo superior de la cuenca hasta el cañón, donde se adentra en las llanuras, surge gradualmente un paisaje con mínimas diferencias topográficas. A lo largo del Usumacinta se forman diques naturales, ligeramente más altos que el terreno circundante. Además de ser lugares de cultivo, también son sitios de viviendas precarias con pequeños huertos familiares, donde las familias viven de la pesca y de la agricultura para consumo doméstico o venta. Más lejos del río, la agricultura mecanizada a gran escala produce sorgo, arroz y aceite de palma, y se destinan amplias superficies a la cría de ganado

Figura 7.1 a, b , c: Oficios de extracción de sedimentos. © A. Rivière-Honegger.

vacuno. Se observan vastas extensiones cubiertas de pastos, rodeando pequeñas parcelas familiares, zonas con especies leñosas como el tinto (*Haematoxylum campechianum*), lagos y humedales extensos.

La dinámica del Usumacinta incluye las inundaciones anuales, causadas por una combinación de desbordamiento de las aguas del lecho del río y la subida del nivel del agua freática en las llanuras. El agua transporta los nutrientes orgánicos e inorgánicos disueltos y los sedimentos a los campos agrícolas y los pastizales, manteniendo así la estabilidad química general del suelo. El agua se distribuye de forma variable, en función de la microtopografía y la textura del suelo. En las partes más altas del paisaje fluvial no hay deposición de sedimentos ni aporte de nutrientes; mientras que en las partes bajas hay un considerable enriquecimiento de unos y de otros. En las zonas más cercanas al río se depositan las arenas por ser más pesadas, y a mayor distancia las pequeñas partículas de arcilla (figura 7.2). Como consecuencia, el río le da fertilidad al suelo y configura un contexto natural variable para las actividades primarias de la agricultura y la provisión de pastos para la ganadería.

La agricultura familiar es la que más fácilmente aprovecha las características diferenciadas del contexto natural para la producción primaria. Combinando la producción para el autoabastecimiento y la venta, esa producción se enfoca en un conjunto diverso de productos e intenta optimizar las variadas condiciones que proporciona la naturaleza a partir de conocimientos agrícolas precisos. Esta forma de agricultura combina estrategias de gestión diferentes para obtener los mejores resultados. Por ejemplo, la leña se recoge de los "tintales", cortando algunas ramas, pero permitiendo que los árboles continúen creciendo; los peces, crustáceos y moluscos se extraen de las zonas bajas cuando el agua retrocede. Y el sedimento se utiliza para fertilizar pequeñas áreas dedicadas a usos específicos.

En términos de fertilidad de la tierra, los sedimentos cumplen una doble función. Por un lado, su aplicación modifica la textura de los suelos mediante la integración de partículas, lo que mejora su capacidad de retención de agua y nutrientes y aumenta su fertilidad. Por otro, los sedimentos son portadores de agentes biológicos, como las micorrizas. Estas son hongos que, al penetrar en las raíces de las plantas, se benefician de la fotosíntesis de estas, pero aportándoles a cambio agua y nutrientes. Gracias a esta simbiosis, las plantas aumentan su resistencia a la sequía y se fortalecen fisiológicamente, y refuerzan su absorción de nutrientes, especialmente del fósforo, que generalmente solo está disponible en pequeñas cantidades en los suelos tropicales.

Figura 7.2: Cultivos de maíz con deposición de sedimentos (nutrientes orgánicos y no orgánicos), noviembre de 2018, Tenosique.
© H. van der Wal.

Figura 7.3: Uso recreativo del río, abril de 2019, Boca del Cerro. © A. G. Besteiro.

El uso recreativo de las playas del río

Las playas fluviales que quedan al descubierto cuando retroceden las aguas del Usumacinta en el periodo seco de mayo a octubre, coinciden con temperaturas que pueden alcanzar los 45 °C, lo que favorece su uso recreativo. El baño, fuente de frescura y relajación para las familias y los jóvenes (figura 7.3), es la principal actividad acuática que se practica, en especial entre el pueblo de Tenosique y Boca del Cerro, poblado cuyo puente, construido en 1950, marca la entrada al Bajo Usumacinta y a la reserva ecológica llamada Área de Protección de Flora y Fauna Cañón Usumacinta. La calidad de las aguas del río para el baño se considera buena y podría convertirse en un elemento de desarrollo turístico. El gobierno municipal de Tenosique supervisa y vigila la zona de baño a través de su sistema de protección civil junto con el gobierno de Tabasco.

RECUERDA:

En la actualidad dominan tres tipos de uso de los sedimentos del Usumacinta: la extracción directa, artesanal o industrial, que se comercializa como material de construcción principalmente; la fertilización del suelo para la agricultura familiar, la ganadería o la silvicultura; y los fines recreativos de las playas del río. Son usos vinculados a prácticas locales diversificadas y originales. Su impacto ambiental en los sistemas socioecológicos y su gobernanza aún no se ha evaluado.

PARA SABER MÁS:

- **Besteiro, A.G., & Rivière-Honegger, A.** (2021). Tensiones ambientales, representaciones sociales y frontera de la conservación. El río Usumacinta en Tabasco (México). En M. Tapia Gómez, Y. Pérez Guilarte, & F. J. Jover Martí, *América Latina : repercusiones espaciales de la crisis política* (pp. 55-71). Asociación Española de Geógrafía. http://www.ageal.es/ageal/resources/source/Informes_publicaciones/10008%20libro%20con%20cubierta.pdf
- **Gandin, J.** (2015). Stratégies de développement communautaire à l'échelle du bassin versant transfrontalier de l'Usumacinta (Mexique et Guatemala). En M. N. LeBlanc & S. Bernard (Dirs.), *Développement international, mouvements sociaux et innovations dans les Suds* (pp. 11-27). Les cahiers du CIRDIS, Canada. https://www.academia.edu/19168198/Strat%C3%A9gies_de_d%C3%A9veloppement_communautaire_%C3%A0_l%C3%A9chelle_du_bassin_versant_transfrontalier_de_lUsumacinta_Mexique_et_Guatemala_
- **De Palacio, A.** (2010). Le projet hydoélectrique de Tenosique (Mexique-Guatemala) : barrage global et gouvernance locale, quelles perspectives ? *VertigO,* (Hors-série 7). https://doi.org/10.4000/vertigo.9688

8 ¿Cuál es la organización social en torno a la extracción de los sedimentos en la cuenca del río Usumacinta?

Edith Kauffer, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, México
Víctor Gallardo Zavaleta, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, El Colegio de Michoacán, México
Luzma F. Nava, Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad, A. C., México

La extracción de sedimentos en la cuenca del Usumacinta se realiza en su cauce principal y en las poderosas corrientes de sus afluentes, los ríos Lacantún, Santo Domingo, Chajul y Chixoy, tanto en México como en Guatemala. Los "sedimentos" –denominación desconocida a nivel local– generalmente se extraen en el interior del cauce del río a profundidades que suelen ir de uno a nueve metros; según los pobladores, esto garantiza una calidad óptima debido a la presencia de arcilla.

La extracción se practica estacionalmente porque es más factible cuando las aguas bajan en la temporada de estiaje. Sin embargo, a pesar de sus características comunes, es una actividad diversa en las técnicas utilizadas, en los actores involucrados y en sus formas de organización social, no solo porque responde a las condiciones climáticas y geomorfológicas, sino también por las características sociales, políticas e históricas de los asentamientos y las transformaciones de la cuenca.

La extracción de sedimentos, una actividad multiforme

En sus tecnologías y momentos históricos de arranque, la extracción de sedimentos es muy diversa a lo largo del Usumacinta. Areneros, pescadores o buceadores, recogen y extraen esencialmente arena y gravas. Es una actividad masculina, aunque, según el momento en la cadena de extracción, pueden intervenir algunas mujeres, niñas y niños en calidad de "ayudantes" para determinadas labores que no implican maniobras en el escenario fluvial.

Existe una diferencia muy importante entre la extracción industrial característica de la parte baja de la cuenca en el estado de Tabasco –con una marcada preferencia por las arenas derivada de su alta producción y demanda– y la extracción artesanal de pobladores agrupados de distintas formas en la parte media y alta. Las disparidades en la tecnología son abismales entre

EL EJIDO *es una forma de tenencia de la tierra surgida de la Revolución mexicana de 1910, la cual articulaba una organización social basada en los derechos agrarios. Antiguamente se trataba de un usufructo de la tierra garantizado a los titulares de estos derechos llamados "ejidatarios"; tradicionalmente eran los hijos mayores quienes los heredaban de su padre. Una reforma constitucional convirtió al ejido en propiedad privada, de tal manera que hoy en día existen para el mismo diversas situaciones jurídicas.*

Figura 8.1: Extracción artesanal de sedimentos en el río Usumacinta. © E. Kauffer, abril 2018.

ambas modalidades, aun cuando la extracción se realice en una misma localidad, lo que repercute en una distancia significativa en los volúmenes de extracción. Cada sitio presenta rasgos propios que responden a las normas del derecho positivo y las reglas locales, al destino de los sedimentos y sus características físicas y, a las condiciones del cauce y de las riberas del río.

Los sitios de extracción y el tipo de sedimentos son muy disímiles según su localización en la cuenca y la localidad considerada. Islas, bancos ribereños o submarinos, playones e incluso lagunas, constituyen los principales escenarios de estas actividades.

La extracción de sedimentos que se observa en la actualidad inició entre la década de 1950 y los inicios del siglo XXI, a veces como resultado de una demanda externa propiciada por la construcción de una obra pública, en particular de comunicación terrestre.

Los actores de la extracción: un mosaico de formas de organización

La investigación en 13 sitios identificó variados actores a lo largo de las distintas fases de la cadena: extracción, almacenamiento, comercialización o intercambio, transporte, transformación, usuario final. Encontramos individuos, actores colectivos dedicados a la actividad e instituciones locales. Según sea el sitio, algunos de ellos, como los operadores de máquina o las empresas, intervienen únicamente en cierta parte del proceso (figura 8.2).

Los actores con mayor presencia son los habitantes locales, los ejidatarios y el propio ejido como forma de organización social. En algunos sitios existen cooperativas para la extracción y en otros destaca la existencia de sindicatos de transportistas. La presencia gubernamental es escasa, se observó en solo 30% de los sitios, con excepción de los Ayuntamientos y de las referencias a la Conagua en 37% lo cual se relaciona con la obtención de un título de concesión. Los instrumentos formales de extracción y de organización son escasamente representados (entre 15 y 23% de los sitios); las reglas locales abundan y determinan muchas actividades a la par de múltiples prácticas informales.

La extracción de sedimentos no se percibe que afecte a las corrientes y a la cuenca en el mediano y largo plazo, debido a que las poblaciones afirman que hay una regeneración estacional de los sedimentos.

Figura 8.2: Sitio industrial de extracción de sedimentos en la cuenca del río Usumacinta.
© E. Kauffer, abril 2018.

RECUERDA:

La extracción de sedimentos (arenas y gravas) en la cuenca del río Usumacinta es una actividad masculina principalmente artesanal destinada esencialmente al consumo local, regulada por normas locales y que expresa una confluencia de prácticas formales e informales.

PARA SABER MÁS:

- **Kauffer, E.** (2020). Le fleuve Usumacinta, les sédiments et le politique. [Podcast]. En *Rue 89 Lyon*. https://bit.ly/3Hh07RE
- **Kauffer, E.** (2020). Les sédiments du bassin transfrontalier du fleuve Usumacinta. Analyse politique d'une ressource naturelle et économique. *H_2O'Lyon*, 15 de octubre. https://bit.ly/3qBVHPd
- **Kauffer, E.** (2021). Fishermen, sand divers and miners of the Usumacinta. A journey along the riverbanks in Southern Mexico. *H_2O'Lyon*, 2 de febrero. [Webinar]. https://bit.ly/3wMdnJm

9 ¿Quién regula el uso de los sedimentos?

Gaëtan Bailly, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS - UMR 5600 EVS, Francia

La regulación de los usos de un recurso natural como los sedimentos implica analizar el marco jurídico; esto permitirá conocer el objeto preciso de la reglamentación y qué personas o autoridades son competentes en el asunto.

¿Qué son los sedimentos para la ley?

Los sedimentos no están definidos como tales por la ley en México, pero la Ley de Aguas Nacionales (LAN) del 1 de diciembre de 1992 menciona que la extracción de los minerales de los ríos está sujeta a autorización administrativa. En consecuencia, y de manera implícita, esta disposición aplica a los sedimentos.

Esta misma ley se refiere también a los materiales pétreos considerándolos como "bienes nacionales", por lo que se deduce que integra a los sedimentos. Dichos bienes se encuentran en los principales ríos mexicanos que son propiedad nacional. El Usumacinta es uno de ellos. Así, el Ejecutivo federal posee la competencia para organizar la gestión y protección de estos objetos: la Constitución y la ley federal protege los sedimentos y el gobierno controla su explotación a través de un régimen jurídico restrictivo.

Pero recordemos que México es una federación constituida por escalas de acción pública: federal, estatal y municipal y que el Poder Ejecutivo federal no es el único actor en la regulación del uso de los sedimentos (figura 9.1).

Una gestión pública compleja de las aguas y de los sedimentos

Dado que el Estado mexicano es una federación compuesta por diferentes niveles de competencia, es preciso analizar el impacto jurídico en la gestión del agua y los sedimentos.

El artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917 precisa que el dominio de las aguas nacionales es de la nación y el Poder Ejecutivo federal dispone de la competencia para gestionarlas y protegerlas e identifica un dominio público específico. De hecho, el Ejecutivo federal en principio ejerce un control administrativo sobre el manejo de sedimentos en las aguas nacionales a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), un órgano descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. En concreto, la Conagua emite autorizaciones para extraer minerales y organiza trabajos u obras importantes en los cursos de agua, aunque la gestión de las aguas nacionales y de los ríos de México necesita una organización específica y adaptada a cada contexto local.

Figura 9.1: Accesos individuales al río para extraer los sedimentos. © E. Kauffer.

Figura 9.2: Oficina ejidal. © G. Bailly.

En la aplicación de la LAN, la gestión del agua se organiza por cuencas hidrográficas siguiendo un modelo descentralizado con base en Consejos de Cuenca y Organismos de Cuenca. Estos últimos son unidades técnicas y administrativas y entidades jurídicas especializadas en la cuenca hidrográfica, o agrupamiento de cuencas, que ejercen una autoridad en la gestión integral de los recursos hídricos, incluida la administración de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes. El Consejo de Cuenca constituye una instancia de coordinación y de concertación entre la Conagua, autoridades locales, usuarios y actores locales. La legislación mexicana del agua es objeto de una importante descentralización, a pesar de que, en teoría, la Conagua y los Organismos de Cuencas son la referencia pública respecto a la regulación del uso del agua y los sedimentos.

Por otra parte, los estados federados cuentan con algunas competencias residuales para regular los usos de los recursos ambientales. Por ejemplo, existe una Ley de Usos de Agua del Estado de Tabasco particularmente ambiciosa y que "tiene por objeto promover la conservación, restauración, control y regulación de las aguas de jurisdicción estatal". Esta ley considera de utilidad pública la protección, conservación o restauración de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, y también el aprovechamiento, explotación y uso racional de los recursos hidráulicos. Como los sedimentos se ajustan a esta definición, deben ser objeto de una preservación especial. La aplicación de esta legislación a las aguas del río Usumacinta presupone un equilibrio entre la protección y la explotación de los recursos.

Finalmente, los municipios tienen la facultad de emitir reglamentos generales de restricción del uso de los recursos naturales. Sin embargo, por falta de medios, ellos no se aplican estrictamente por lo que surge la cuestión de la efectividad de la ley en la regulación del uso de los sedimentos.

La acción espontánea de las comunidades locales sobre el uso de los sedimentos

La acción espontánea de los actores de la extracción de los sedimentos del Usumacinta muestra la necesidad práctica de una regulación que permita la explotación sustentable de ese recurso y otros componentes del ecosistema. En efecto, las comunidades locales ribereñas se han organizado en cooperativas, ejidos y sindicatos. Aunque no sea su propósito, estas estructuras han creado una gobernanza local de la explotación de los recursos fluviales. De hecho, en la práctica, las cooperativas son muy adaptables a cada situación y realidad ambiental. Por ejemplo, ellas gestionan las concesiones ante la Conagua para una explotación colectiva de los sedimentos. Mientras que en el seno de un ejido, cooperativa o sindicato, arreglos y acuerdos contractuales o informales pueden conducir a una distribución equitativa de la explotación de los sedimentos (figura 9.2).

En resumen, existe un marco jurídico muy complejo en la materia, pero la regulación del uso de los sedimentos se completa con normas locales a veces informales. Esto constata una cierta inadaptación del derecho federal y de la necesaria implicación de los actores locales para garantizar una regulación independiente que se fundamente sobre sus prácticas y saberes locales, y esté orientada por la eficiencia y el pragmatismo.

RECUERDA:

La regulación del uso de los sedimentos se realiza en primer lugar con la legislación general aplicada por las autoridades del gobierno, especialmente la Conagua. Sin embargo, el derecho mexicano es muy complejo y difícil de aplicar, de modo que las comunidades que viven al lado del río se organizan informalmente para repartirse el beneficio del uso de los sedimentos.

PARA SABER MÁS:

- **Conagua,** https://www.gob.mx/conagua
- **Garcia Lopez, T.** (2008). Las cuencas en el derecho ambiental mexicano. Instrumentos para su gestión integral. *Boletín Mexicano de Derecho Comparado, 41*(123).
- **Ugalde, V.** (2018). La coacción en la regulación ambiental en México. En V. Ugalde (Dir.), *El derecho ambiental en acción. Problemas de implementación, aplicación y cumplimiento* (pp. 83-120). México: El Colegio de México.

10 ¿Por qué y cómo aprovechar los sedimentos como recurso natural?

Daniel Levacher, ComUE Normandie Université, Unicaen, M2C UMR 6143 CNRS, Francia

Los sedimentos son un recurso natural que puede ser valorizado (figura 10.1). Es necesario tomar precauciones antes de emprender su aprovechamiento y conocer los diversos métodos de evaluación posibles.

Sedimentos: una compleja mezcla de elementos finos

Los sedimentos están compuestos principalmente por arcillas, limos, arenas y gravas. Lejos de las zonas urbanas, a estos elementos se añade de forma natural la materia orgánica (figura 10.2). Cerca de las zonas habitadas y agrícolas, las aguas residuales, los pesticidas, los fertilizantes y los microplásticos contaminan a los sedimentos. Las zonas industrializadas lo hacen con organoclorados, metales pesados, policlorobifenilos, hidrocarburos y tributilo de estaño, entre otros contaminantes. La proximidad del océano aporta sal al agua y a los sedimentos.

Figura 10.1: Sitio de extracción de arena en Jonuta, Tabasco. © E. Kauffer.

Figura 10.2: Composición elemental de los sedimentos. © D. Levacher.

¿Cómo manejar los sedimentos según la normativa, la granulometría y el agua?

El manejo de los sedimentos depende del grado de contaminación y de la normativa vigente en cada país (figura 10.3, triángulo gris claro). Cerca de la costa, los sedimentos del puerto están en su mayoría sumergidos en el mar. En tierra, se almacenan temporalmente antes de ser aprovechados; y los que no, se reciclan, y los que están contaminados se envían a centros específicos de almacenamiento de desechos (figura 10.3).

Los sedimentos son un recurso natural

Los sedimentos gruesos –grava, gravilla, arena– son un verdadero recurso de agregados naturales (figura 10.3, triángulo café). Los sedimentos finos –arcilla, limo, arena fina–, cuando se les extrae de las aguas, también representan un recurso mineral de diversas propiedades (figura 10.3, triángulo gris oscuro). Al extraerlos de un sitio, el agua dificulta su transporte y es un obstáculo para su aprovechamiento (figura 10.3, triángulo azul).

Figura 10.3: Operación y limitaciones de la gestión de los sedimentos. © D. Levacher.

10

Figura 10.4: Técnicas de valorización de los sedimentos. E/S: Estabilización/Solidificación. © D. Levacher.

¿Cuáles son las técnicas de aprovechamiento de los sedimentos?

Las mejores vías de aprovechamiento son las que integran el desarrollo sustentable, la economía circular y el carácter renovable de los recursos. Por ello es recomendable la reutilización directa de los sedimentos, las técnicas blandas y la eco-valorización (reciclaje de residuos y sedimentos). Debe advertirse que las técnicas de solidificación/estabilización requieren el uso de aglutinantes minerales y aditivos; que los aglutinantes de bajo contenido en carbono deben preferirse frente a la adición de cemento, y que los procesos que consumen energía no son una prioridad (figura 10.4).

Gama de aprovechamientos potenciales?

El aprovechamiento de los sedimentos sin ningún tratamiento es propio de la agronomía, el desarrollo costero y fluvial, y la construcción (figura 10.6, triángulo verde oscuro). Por ejemplo, son posibles los materiales basados en mezclas de sedimentos y residuos agrícolas o industriales; en tanto que la adición de aglutinantes a los sedimentos permite la fabricación de materiales. Es el caso de la industria cerámica, una opción potencial para usar los sedimentos (figura 10.5 y figura 10.6).

Figura 10.5 a: Ladrillos de sedimentos crudos del Usumacinta (Jonuta, Tabasco, México) reforzados con fibras de palma de aceite. © D. Levacher.

Figura 10.5 b: Camino de ladrillos cocidos en el rancho San Román, Palizada, Campeche, México. © D. Levacher.

La caracterización de los sedimentos para saber cómo aprovecharlos

Hay que ser razonables sobre el costo de las pruebas de caracterización y enfocarse en las propiedades geotécnicas, el análisis químico elemental y la mineralogía. Aunque también es necesaria una evaluación medioambiental ante indicios de contaminación de los sedimentos.

Figura 10.6: Canales de aprovechamiento de los sedimentos. © D. Levacher.

RECUERDA:

Los sedimentos son un recurso natural que puede utilizarse para distintos fines. Su caracterización es esencial para seleccionar las posibles vías de aprovechamiento. Se deben favorecer las vías de valorización que tengan un enfoque de desarrollo sostenible.

PARA SABER MÁS:

- **Hussain, M., Levacher, D., Leblanc, N., Zmamou, H., Djeran-Maigre, I., & Razakamanantsoa, A-R.** (2021). Influence of palm oil fibers length variation on mechanical properties of reinforced crude bricks. En S. Amziane & M. Sonebi (Eds.), *4th International Conference on Bio-Based Building Materials* (pp. 628-633). Barcelona, España. https://drive.uca.fr/f/f3dc0400654f4a0495ce/?dl=1
- **Liang, Y.** (2012). *Co-valorisation de sédiments et de sols fins par apport de liants et de fibres.* Ph.D Thesis, Université de Caen, France. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00731611
- **Rakshith, S., & Singh, D. N.** (2016). Utilization of dredged sediments: contemporary issues. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 143*(3). https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000376

11 ¿Qué son los observatorios socioambientales?

Claudia Monzón Alvarado, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-ECOSUR Campeche, México
Ramón Zetina Tapia, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, ECOSUR Campeche, México
Edith Kauffer, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, México

Un observatorio es una entidad que reúne a individuos y organizaciones que se encargan de analizar algún tema o proceso político, económico o social, para su comprensión, e incidir y construir opinión pública (Natal & Jiménez, 2014). Los observatorios permiten reunir información dispersa o incomprensible sobre un mismo asunto para un público amplio.

¿Cuál es la base legal para el diseño e implementación de los observatorios?

Los observatorios en México se fundamentan en la Constitución, la cual mandata el derecho a la información (Artículo 6), el derecho de petición (Artículo 9) y el derecho a la participación en la planeación democrática (Artículo 26). Además, la proliferación de observatorios obedece a acuerdos internacionales que promueven el acceso a la información, a la participación pública y el acceso a la justicia ambiental, en particular, el Principio 10 de la Declaración de Río (1992) y el Acuerdo de Escazú de 2018 (https://observatoriop10.cepal.org/es).

¿Cuáles son las diferentes funciones de un observatorio?

Los observatorios tienen el propósito de gestionar, integrar y transferir información, así como contribuir a la sensibilización y comprensión más robusta de una problemática (Liu *et al.*, 2017). Algunos de ellos además se proponen integrar la participación de actores de diferentes sectores y niveles administrativos para promover el intercambio de información y conocimientos, fortalecer capacidades para desarrollar actividades de interés común e incidir en la toma de decisiones informadas. Finalmente, existen otros con posturas activas de defensa del territorio, orientados a gestionar la información y conocimiento para incidir en la transformación de la sociedad, especialmente en las relaciones desiguales de poder y de acceso a la información (figura 11.1). Como ejemplo, podemos citar a Geocomunes (geocomunes.org), Cartocrítica (cartocritica.org.mx) y Conversando con Goliath (observandoagoliat.com). Según el propósito que tengan los observatorios, las modalidades de participación ciudadana van desde la consulta o la acción conjunta hasta el acompañamiento externo de acciones locales. Asimismo, la participación ciudadana puede estar presente en las diferentes etapas de la generación de conocimiento: la identificación de problemáticas e intereses comunes, la definición de protocolos, la colecta y el análisis de datos, el desarrollo de conclusiones, la divulgación de resultados y el replanteamiento de nuevas interrogantes y metas (Bonney *et al.*, 2009).

¿Qué funciones específicas tiene un observatorio socioambiental?

Uno de los propósitos de los observatorios socioambientales es el monitoreo, es decir, la medición y el registro sistemático de un recurso o fenómeno para visibilizar sus cambios en el espacio y en el tiempo. El monitoreo es parte fundamental del manejo de recursos naturales porque deriva en conocimiento de línea base para identificar patrones de cambio en la condición de los

Figura 11.1: Funciones de los observatorios socioambientales. © Claudia Monzon Alvarado.

Monitorear	Monitorear para visibilizar problemáticas socioambientales
Integrar	Integra datos par mejorar el acceso a información
Sensibilizar	Sensibilizar a la sociedad, formar capacidades
Vigilar	Vigilar el cumplimiento de la normativa ambiental
Incidir	Incidir en la toma de decisiones y política pública
Defender	Defender el territorio

Figura 11.2: La observación y medición de los procesos físicos, ecológicos y sociales permite comprender las tendencias en el ambiente. Los observatorios socioambientales integran datos, información y personas interesadas en comprender esas dinámicas y proponer recomendaciones que incidan en objetivos compartidos. © G. Hernández Dzib.

recursos. La detección de tendencias conlleva a su vez al análisis de sus causas y al ajuste en el manejo. En otras palabras, el monitoreo es pieza fundamental del manejo adaptativo y contribuye a la toma de decisiones y la formulación de políticas que promuevan trayectorias sustentables. La particularidad de los observatorios socioambientales es que promueven el monitoreo socioecológico, es decir, que integran objetivos de monitoreo de interés ecológico y social (figura 11.2). Sin embargo, en la actualidad, prevalecen los sistemas de monitoreo enfocados en aspectos biológicos y biofísicos, y rara vez se abordan aspectos sociales o de procedimiento (Waylen & Blackstock, 2017).

¿Cuáles son los componentes de los observatorios socioambientales?

Para integrar la información, los observatorios socioambientales recurren a diversas herramientas. Una de ellas son los sistemas de información geográfica (SIG), que brindan cada vez más opciones de interacción con los usuarios de la información. Por ejemplo, la consulta en línea, la descarga e incluso la generación participativa de información geográfica mediante aplicaciones web. Además, los observatorios pueden integrar sistemas de metadatos que visibilizan el origen y existencia de información clave, y repositorios de información documental y geográfica para la consulta y descarga por parte de los usuarios.

Un elemento que ha incidido en la multiplicación de observatorios es el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TIC), especialmente porque la población tiene un creciente acceso a internet, equipo de cómputo y teléfonos inteligentes. Sin embargo, debemos resaltar la brecha de acceso a las TIC que es en particular importante entre la población rural. Según la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUITH), en 2019 el 76.6% de la población urbana del país contaba con acceso a internet, en contraste con el 47.7% de la población rural. Esta brecha es todavía más amplia en los estados del sureste, como Chiapas, en donde solo un cuarto de la población rural tiene acceso a internet (INEGI, 2019). Lo anterior impone retos de equidad en el diseño de observatorios. De allí la necesidad de idear mecanismos de integración de personas y transferencia de información que no se concentren exclusivamente en medios digitales.

RECUERDA:

Los observatorios socioambientales son plataformas que permiten la integración de datos y la interacción entre individuos y agrupaciones que comparten interés por algún tema o problemática que emerge de, o subyace en, la interacción sociedad-naturaleza. El desarrollo de tecnologías de la integración de datos mediante sistemas de información geográfica en línea, repositorios o sistemas de metadatos contribuyen a visibilizar y mejorar el acceso a la información. Mediante la integración de la información existente y la generación de una nueva y pertinente sobre aspectos físicos, ecológicos, económicos, sociales y culturales, los observatorios socioambientales contribuyen a la toma de decisiones informadas.

PARA SABER MÁS:

- **Bonney, R., Cooper, C. B., Dickinson, J., Kelling, S., Phillips, T. B., Rosenberg, K. V., & Shirk, J.** (2009). Citizen Science: A Developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *Bioscience, 59*(11): 977-984. https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.11.9
- **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (2019). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH). México.
- **Liu, H. Y., Grossberndt, S., & Kobernus, M.** (2017). Citizen science and citizens' observatories: Trends, roles, challenges and development needs for science and environmental governance. En G. Foody, L. See, S. Fritz, P. Mooney, A.-M. Olteanu-Raimond, C. Fonte, & V. Antoniou (Eds.), *Mapping and the citizen sensor* (pp. 351-376). Londres: Ubiquity Press.
- **Natal, A., & Díaz, O.** (2014). ¿Qué son y cómo funcionan los observatorios ciudadanos? En F. Natal & A. Díaz (Coords.), *Observatorios ciudadanos: nuevas formas de participación de la sociedad* (pp. 21-51). México: UAM/Genrika.
- **Waylen, K. A., & Blackstock, K. L.** (2017). Monitoring for adaptive management or modernity: lessons from recent initiatives for holistic environmental management. *Environmental Policy and Governance, 27*(4), 311-324.

12 ¿Por qué establecer un observatorio de sedimentos en la cuenca del Usumacinta?

Claudia Monzón Alvarado, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, Conacyt-ECOSUR Campeche, México
Ramón Zetina Tapia, Laboratorio Transdisciplinario para la Sustentabilidad, ECOSUR Campeche, México
Edith Kauffer, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social-Sureste, México

La región hidrológica del Grijalva-Usumacinta ocupa el 7% del territorio mexicano y en ella escurre un tercio del total de agua del país (Conagua, 2018). Además del agua, fluyen toneladas de sedimentos, es decir, arenas, gravas y arcillas que aportan nutrientes, crean hábitats para la flora y fauna, y materia prima para la construcción de infraestructura.

Es fundamental comprender que tanto el agua como los sedimentos son recursos esenciales para la vida en el planeta. Para ello es necesario mejorar nuestra comprensión sobre el papel de los sedimentos en las cuencas, y sobre todo comprender el estatus y trayectorias de este recurso y sus procesos físicos, ecológicos y sociales.

Los sedimentos y su relación con las cuencas

El transporte de sedimentos es un proceso hidromorfológico que determina las cargas de sedimentos en los ecosistemas. El arrastre de sedimentos tiene un papel fundamental en definir y mantener la morfología de los cauces del río, así como los hábitats asociados (García *et al.*, 2017). La relación entre la descarga, el suministro de sedimentos y el gradiente de un río explica en buena medida la forma de un cauce, por ejemplo, si es recto, serpenteante, trenzado o anastomoso (Meitzen *et al.*, 2013). Sin embargo, además de los procesos físicos y ecosistémicos, los humanos jugamos un papel importante en la definición de los paisajes fluviales debido a nuestra relación y dependencia respecto de los sedimentos. Una comparación de fotografías de Balancán, Tabasco, de los diciembres de 1984 y 2020 (figura 12.1 a y b) ilustra los cambios relacionados con el flujo de sedimentos, la morfología del cauce del Usumacinta y la acción humana.

La comparación de fotografías revela en primera instancia la expansión de la ciudad de Balancán (flecha verde). De acuerdo a los censos de población, en este periodo la ciudad incrementó su población de 37 099 a 58 524 habitantes (INEGI, 1980, 2020). La expansión urbana para albergar la creciente población ocurrió gracias a la arena y grava (sedimentos) que se extraen del río. Este puede ser comprendido como un servicio ecosistémico de aprovisionamiento, en donde la naturaleza nos proporciona materia prima para la construcción de viviendas. Otro cambio notorio se encuentra en la disminución del brazo del río Usumacinta que toca la ciudad de Balancán (flecha azul). En 1984, en su tramo más ancho medía aproximadamente 350 m, y ese mismo punto en 2020 tenía un ancho de 130 m, a pesar de que 2020 fue un año de inundaciones extraordinarias. Estos cambios son producto de las interacciones entre procesos físicos, ecológicos y la acción humana que resultan en el paisaje fluvial.

El Observatorio de Sedimentos del Usumacinta

Ante la necesidad de comprender mejor el papel de los sedimentos en las cuencas e integrar más articuladamente a las personas interesadas en el manejo de sedimentos a nivel de cuenca, surge el Observatorio de Sedimentos del Usumacinta. Esta plataforma concentra, almacena y despliega información respecto a la hidrología, ecología, actividades socioeconómicas y normatividad relativa a los sedimentos en la cuenca de este río (www.sedimentos-usumacinta.mx) (figura 12.2). Dicha plataforma integra información oficial, y la que generan académicos, actores privados y la sociedad civil. Parte de la información se encuentra disponible en un sistema de información geográfico en línea, y a través de un geocatálogo que permite visibilizar la existencia de información aplicable a los sedimentos y a la cuenca.

Figura 12.1 : Comparación de fotografías de 1984 y 2020 en Balancán, Tabasco. Fuente: Google Earth.

El Observatorio, como herramienta de integración de personas e información, tiene el propósito de contribuir en la planeación enfocada a sostener las funciones ecosistémicas y bienestar humano asociados a los sedimentos.

Arriba mencionamos la importancia nacional de la región hidrológica del Grijalva-Usumacinta en términos de flujo de agua. En términos de transporte de sedimentos, la comparación de los dos sistemas asociados a los ríos Grijalva y Usumacinta es muy interesante. Cuatro presas interrumpen el flujo de sedimentos en el Grijalva, mientras que el Usumacinta solo tiene una presa en la cuenca alta, en el río Chixoy, en Guatemala. Las intervenciones en el Grijalva tienen implicaciones en la evolución de la línea de costa, dada la reducción

del aporte de sedimentos desde tierra firme hacia el océano. El contraste entre las cuencas del Grijalva y del Usumacinta permite identificar los efectos de su manejo en la dinámica del agua, el suelo y los sedimentos, con importantes impactos en la ecología y el bienestar de la población que habita en estos territorios.

El Observatorio de Sedimentos del Usumacinta y el monitoreo socioambiental de sedimentos

Uno de los propósitos de los observatorios socioambientales es comprender las dinámicas en el sistema a partir del monitoreo socioecosistémico. Para definir un sistema de este tipo, es esencial comprender el papel de los sedimentos dentro de las interacciones entre la sociedad y la naturaleza. Una forma de abordar la cuestión es reconocer que existen procesos y funciones ecosistémicas que pueden perjudicar o beneficiar a la sociedad (Pahl-Wostl, 2015). Aquellas que son percibidas como benéficas para la sociedad son conocidas como "servicios ecosistémicos", mientras que las que se perciben como dañinas o problemáticas para la sociedad se conocen como "dis-servicios" (Blanco *et al.*, 2019). En función de los conocimientos, valores y preferencias, las personas tomamos decisiones sobre los recursos naturales. Ya sean decisiones de extraer, conservar o restaurar, esas respuestas humanas inciden en la capacidad de los ecosistemas de sostener sus funciones. En otras palabras, la relación humano-ambiente está caracterizada por lo que recibimos de la naturaleza (percibido como benéfico o perjudicial), pero también por las respuestas y decisiones humanas que muchas veces amplifican los problemas, aunque eventualmente contribuyen a la recuperación de las funciones ecosistémicas.

En este sentido, el monitoreo y la integración de datos en el Observatorio de Sedimentos del Usumacinta conjunta las evidencias de los impactos positivos y negativos de los humanos en la naturaleza, identifica las trayectorias en la cuenca, y detecta situaciones deseables o no. Sin monitoreo e integración de información, será imposible identificar oportunamente las trayectorias que conducen a situaciones irreversibles o sumamente costosas que afectan la salud de los ecosistemas y el bienestar humano. Estudios como el de Esperanza Muñoz-Salinas y Miguel Castillo (2015), que analizaron los cambios en la carga de sedimentos en la cuenca del Usumacinta, enfatizan en la importancia de generar modelos que conduzcan a comprender la relación entre la deforestación y el incremento en la sedimentación. No obstante, a pesar de su importancia, tanto por el agua como por los sedimentos que escurren en la cuenca, existen solo ocho estaciones hidrométricas (Conagua, 2018) que registran las descargas de sedimentos. A través del Observatorio de Sedimentos del Usumacinta se pueden catalizar colaboraciones para la generación de índices o modelos que permitan estudiar estos procesos de manera integral.

Figura 12.2: Portal del Observatorio Sedimentos Usumacinta: página de inicio.

RECUERDA:

El Observatorio de Sedimentos del Usumacinta integra información y actores interesados en el estudio, monitoreo y manejo de sedimentos en esta cuenca, que nos permite identificar cambios en su calidad y flujo, así como comprender sus efectos en el bienestar humano. Deseamos, mediante la participación de las instancias gubernamentales, sociales y académicas detonar soluciones innovadoras y sostenibles para la cuenca del Usumacinta.

PARA SABER MÁS:

- **Blanco, J., Dendoncker, N., Barnaud, C., & Sirami, C.** (2019). Ecosystem disservices matter: Towards their systematic integration within ecosystem service research and policy. *Ecosystem Services*, (36), 100913. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100913
- **Comisión Nacional del Agua (Conagua).** (2018). *Atlas del Agua en México 2018.* México: Semarnat.
- **García de Jalón, D., Bussettini, M., Rinaldi, M., Grant, G., Friberg, N., Cowx, I. G., Magdaleno, F., & Buijse, T.** (2017). Linking environmental flows to sediment dynamics. *Water Policy, 19*(2), 358-375.
- **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (1984). X Censo General de Población y Vivienda. 1980. México: INEGI.
- **Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).** (2020). Censo Nacional de Población y Vivienda 2020. México: INEGI.
- **Meitzen, K. M., Doyle, M. W., Thoms, M. C., & Burns, C. E.** (2013). Geomorphology within the interdisciplinary science of environmental flows. *Geomorphology,* (200), 143-154.
- **Muñoz-Salinas, E., & Castillo, M.** (2015). Streamflow and sediment load assessment from 1950 to 2006 in the Usumacinta and Grijalva Rivers (Southern Mexico) and the influence of ENSO. *Catena*, (127), 270-278
- **Pahl-Wostl, C.** (2015). *Water governance in the face of global change: From understanding to transformation.* Cham: Springer.
- **Waylen, K. A., & Blackstock, K. L.** (2017). Monitoring for Adaptive Management or Modernity: Lessons from recent initiatives for holistic environmental management. *Environmental Policy and Governance, 27*(4), 311-324.

¿Cuál es el papel pasado, presente y futuro de los sedimentos en el sistema socioecológico del Usumacinta?

Anne Rivière-Honegger, CNRS – UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, Francia

Oméya Desmazes, Université Jean Moulin Lyon 3, CNRS – UMR 5600 EVS, Francia

Para tener una visión sintética de los hechos clave que permiten contextualizar los sedimentos en la historia más amplia de la cuenca del Usumacinta, se construyó colectivamente una línea de tiempo socioecosistémica en torno a la pregunta ¿Cuál es el papel pasado, presente y futuro de los sedimentos en el sistema socioecológico del Usumacinta? La ambición, considerando la larga historia, es tener una capacidad de reflexión sobre los futuros posibles. Como se ha demostrado en otros contextos, *"[...] la profundidad histórica permite encontrar respuestas a los retos del presente y posicionarse ante futuros posibles o deseables [...]"* (Davasse, 2015, p. 6).

La línea de tiempo realizada (figura 13.2) muestra la materialidad de los entornos y su evolución a través, por ejemplo, de los acontecimientos climáticos considerados importantes por su impacto en los sedimentos o relacionados con la biodiversidad y la contaminación. Las prácticas sociales están representadas por elementos sobre el contexto sociopolítico, los usos de los sedimentos, las infraestructuras, la legislación del agua y las cuestiones agrarias, así como por la gobernanza de la cuenca. Este ejercicio invita a identificar y jerarquizar los acontecimientos, las evoluciones, las transiciones, las rupturas y las permanencias para reconstruir la trayectoria del río.

La línea de tiempo va acompañada de un cuadro explicativo (figura 13.1) en el que cada dato clave es comentado a su vez por uno de los 18 investigadores que han contribuido a su creación. Este ejercicio permitió quitar las divisiones entre ámbitos de competencia y comparar los conocimientos de cada disciplina. Se inició así una reflexión transversal sobre las perspectivas materiales y/o inmateriales de la valorización de los sedimentos.

Esta perspectiva histórica pone de manifiesto la evolución a lo largo de los siglos de la complejidad de los "fenómenos en cuestión y de la relación de las sociedades" con su entorno fluvial, un lugar de ricas interacciones entre los procesos biofísicos y las prácticas sociales.

El análisis realizado cuestiona los efectos concretos sobre los procesos medioambientales de las estrategias territoriales y las prácticas socioespaciales, que están sujetas a las representaciones sociales de los actores y los habitantes, como han demostrado los estudios de campo. La apreciación es que la gestión de los sedimentos en esta cuenca transfronteriza tiene lugar en todos los niveles territoriales, desde el local hasta el supranacional. El impacto de las elecciones de la sociedad, especialmente en términos de desarrollo, preservación y planificación del uso del suelo, parece ser decisivo. Por ejemplo, la necesidad de sedimentos para la construcción del puente de Boca del Cerro, al suroeste de la ciudad de Tenosique, Tabasco, en 1950, hizo que se intensificara su explotación artesanal. La construcción del tren maya, de más de 1500 km entre Palenque y Cancún, anunciada en 2018 por el presidente de México, se debate ahora en el inicio de las obras. ¿Provocará un aumento de la extracción de sedimentos del Usumacinta y la industrialización de su extracción? Toda la gestión y las interacciones actuales entre los habitantes y la cuenca quedarían entonces en entredicho.

Por lo tanto, es esencial que la investigación en la cuenca del Usumacinta no solo produzca conocimiento, sino que también se involucre: los investigadores deben acompañar los cambios produciendo conocimiento sobre las transformaciones en curso. Para ello, el reto consiste en co-construir los objetos de investigación con las partes interesadas y los habitantes del río, integrando sus expectativas y sensibilidades. El objetivo compartido es establecer los términos de una acción renovada para una gestión sostenible y concertada del ecosistema fluvial y de los sedimentos (UNEP, 2019).

PARA SABER MÁS:

- **Davasse, B.** (2015). *La trace des temps. Les complexes socioécologiques au prisme du paysage. Pour une géographie de l'environnement impliquée.* Géographie. Université de Toulouse Jean-Jaurès. https://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-01187651
- **UNEP.** (2019). *Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources.* GRID-Geneva, United Nations Environment Programme, Geneva, Switzerland. https://www.unepgrid.ch/

Figura 13.1: Extracto del cuadro explicativo.

FECHAS	EXPLICACIONES
12 de diciembre 1959. Parque Nacional Lagunas de Montebello	
12 de enero 1978. Reserva de la Biosfera de Montes Azules	La reserva incluye 331 200 ha de selva alta perennifolia, selva mediana, bosque de pino-encino, bosque mesófilo de montaña, bosque ribereño, jimbal y sabanas protegidas en Chiapas.
12 de enero 1978. Área de Protección Forestal de la Cuenca Alta del Río Usumacinta y de la Cuenca del Río Tulijá	
6 de agosto 1992. Reserva de la Biosfera de los Pantanos de Centla	Este plan de gestión define los objetivos de conservación de la zona y propone una organización específica de los recursos en zonas núcleo, zonas de amortiguación, zonas de desarrollo rural, zonas de uso público, zonas de uso especial y zonas culturales. También contiene una revisión exhaustiva de la flora, la fauna, las especies amenazadas y en peligro de extinción, los aspectos legales de la tenencia de la tierra y una revisión de las prácticas de uso para el desarrollo de las actividades agrícolas, ganaderas y pesqueras (López-Hernández, E., 2006).
21 de agosto 1992. Área de Protección de Flora y Fauna Chan-Kin.	
21 de agosto 1992. Monumento Natural de Yaxchilán	
21 de agosto 1992. Monumento Natural de Bonampak	La protección abarca 4357 ha de selva alta perennifolia en Ocosingo, Chiapas.
21 de agosto 1992. Reserva de la Biosfera de Lacan-Tun	
6 de julio 1994. Área de Protección de Fauna y Flora Laguna de Términos	El Área Protegida de Campeche incluye una importante zona de humedales de 705 017 ha, de las cuales 50 000 corresponden a la cuenca del Usumacinta.
22 de junio 1995. La Reserva de la Biosfera de los Pantanos de Centla es designada sitio RAMSAR	Sitio RAMSAR 733
23 de septiembre 1998. Área de Protección de Fauna y Flora Metzabok	La selva alta perennifolia y el bosque espinoso están protegidos en una zona de 3368 ha en Ocosingo, Chiapas.
23 de septiembre 1998. Área de Protección de Fauna y Flora Nahá	Se establece una superficie de 3847 ha para la protección de la selva alta perennifolia, el bosque mesófilo de montaña y el bosque de coníferas en Ocosingo, Chiapas.
23 de noviembre 2002. Reserva Ecológica Cascadas de Reforma	En Balancán, Tabasco, se protege una superficie de 574 845 ha de selva mediana y manglar.
27 de noviembre 2003. El Parque Nacional Lagunas de Montebello es designado sitio RAMSAR	Sitio RAMSAR 1325
2 de febrero 2004. El Área de Protección de Fauna y Flora Laguna de Términos es designada sitio RAMSAR	Sitio RAMSAR 1356
2 de febrero 2004. Áreas de Protección de Fauna y Flora Nahá y Metzabok son designadas sitios RAMSAR	Sitio RAMSAR 1331
15 de junio de 2005. Reserva comunal Sierra la Cojolita	Se crea una zona de protección de 2000 ha en Ocosingo, Chiapas.
3 de noviembre 2006. Área de Conservación Ecológica de los Humedales de La Libertad	Los sistemas de humedales están protegidos en una superficie de 543 237 ha en La Libertad, Chiapas.
3 de noviembre 2006. Zona Sujeta a Conservación Ecológica Sistema Lagunar Catazajá	
22 de septiembre 2008. Áreas de Protección de Fauna y Flora Cañón del Usumacinta	

Figura 13.2: Hitos de la historia reciente en el manejo de los sedimentos del Usumacinta.

Diseño: Anne Rivière-Honegger y Oméya Desmazes.

Contribuidores: Gaëtan Bailly, Matthias Bücker, Pierre Charruau, Irini Djeran-Maigre, Ana González Besteiro, Víctor Gallardo Zavaleta, Edith Kauffer, Daniel Levacher, Andrea López Escamilla, Rodrigo Martínez-Abarca, Lucile Medina, Isabelle Michallet, Claudia Monzón Alvarado, Gabriela Nava Hernández, Liseth Pérez, Andry Rico Razakamanantsoa.

Los sedimentos de la cuenca del Usumacinta son compuestos de arcilla, limo, barro y grava, esenciales por albergar una vida secreta y participar en la dinámica de este ecosistema fluvial. Los lugareños los llaman "arena", "guijarros" o "piedras", y han fungido como recursos desde tiempos inmemoriales para la producción de cerámica, la mejora del suelo o como material de construcción. Las sociedades se han expandido y alimentado gracias a ellos, pero con el crecimiento urbano y la transformación de los ecosistemas, hemos alterado sus dinámicas de generación, transporte y acumulación; ni más ni menos que todo aquello que resulta fundamental para la vida de un territorio conformado por una cuenca y un río compartido por Tabasco, Chiapas y el altiplano guatemalteco.

Con esta publicación buscamos explicar en doce preguntas la naturaleza e importancia de los sedimentos del Usumacinta: ¿para qué se utilizan actualmente?, ¿qué usos han tenido a lo largo del tiempo?, ¿cómo pueden aprovecharse? ¿están contaminados? Nuestras respuestas buscan contribuir a la construcción de una relación sostenible entre el Usumacinta y los seres humanos que viven en sus riberas. Con este ejemplo bien podría abordarse la misma problemática respecto a cualquier otra cuenca.

Esta publicación se realizó en el marco de una estrecha colaboración científica con la participación de investigadores mexicanos y franceses que, iniciada en 2018, concluye en 2022: el proyecto VAL-USES "Desde el aprovechamiento tradicional hacia la valorización integral de los sedimentos en la cuenca del río Usumacinta", un proyecto interdisciplinario aprobado y financiado por la Agencia Nacional de Investigación en Francia y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en México.