

Geología / Universidad EAFIT

Juan D. Restrepo Ángel, Ph.D.

Editor

**Universidad
EAFIT**

Medellin

Santafé de Bogotá

Pereira

Llanogrande

Editor: Juan D. Restrepo Ángel, Ph.D.

Los sedimentos del río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental

Con 84 Figuras y 37 Tablas



Los sedimentos del río Magdalena: Reflejo de la crisis ambiental

Editado por

**Juan D. Restrepo Ángel, Ph.D.
Departamento de Geología
Universidad EAFIT**

Primera edición: Agosto 2005

© Fondo Editorial Universidad EAFIT

Esta publicación fue posible gracias al apoyo financiero del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología Francisco José de Caldas COLCIENCIAS
Contrato COLCIENCIAS-UNIVERSIDAD EAFIT No. 1216-09-12105

Todos los derechos reservados

ISBN

Editor Académico: Juan Darío Restrepo Ángel

Dirección editorial: Juan Carlos Restrepo Rivas

Diseño y Diagramación: Juan Pablo Serna Parra

Fotografías de portada: De izquierda a derecha, Javier Miranda, Gloria Sierra, INVEMAR y J. Syvitski.

Impresión: Centro de Publicaciones EAFIT

Libro editado e impreso en Colombia por el Fondo Editorial de la Universidad EAFIT.
Printed in Colombia

Carrera 49 No. 7 Sur- 50 Avenida Las Vegas

Bloque 3, Primer piso, Oficina 120

Medellín - Colombia

Teléfono: 261 95 23

Fax: 261 92 72

E-mail: jcrestr2@eafit.edu.co

Página Web: www.eafit.edu.co/fondoeditorial

Los resultados de investigación contenidos en esta publicación son responsabilidad de sus respectivos autores y no comprometen la posición oficial de ninguna instancia institucional ni de Colciencias.

⊗ Prohibido el almacenamiento, reproducción o transmisión parcial o total de esta obra, incluido el diseño y las imágenes, por cualquier medio o procedimiento (electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación, reprografía y el tratamiento informático), sin la autorización escrita de los titulares del copyright, bajo sanciones establecidas en las leyes.

Universidad EAFIT Medellín, Santafé de Bogotá, Pereira, Llanogrande.

A Rubendé (q.e.p.d.), por ser un
gran padre y el espíritu que
soporta mis sueños.

A Monyi, mi compañera y esposa,
porque la adoro.

Juan D. Restrepo Ángel

Agradecimientos

Esta publicación fue posible gracias al apoyo financiero del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y Tecnología Francisco José de Caldas COLCIENCIAS, Contrato COLCIENCIAS-Universidad EAFIT No. 1216-09-12105.

Al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, mil gracias por toda la información de series de tiempo de caudal, transporte y concentración de sedimentos en más de 60 estaciones hidrológicas en la cuenca del río Magdalena. Todos estos datos fueron obtenidos con fines científicos en el marco del convenio de cooperación suscrito entre el IDEAM y la Universidad EAFIT en el año 2003.

A la Corporación para el Ordenamiento del río Magdalena CORMAGDALENA, muchas gracias por brindar las bases de datos *ArcInfo* de los indicadores físicos, ambientales y sociales de la cuenca del Magdalena, todas éstas obtenidas en el Proyecto de Ordenamiento Ambiental POMIM (CORMAGDALENA, IDEAM). Es pertinente resaltar que el uso de esta información estaba contemplado dentro del contrato CF.No. 299-2002 suscrito entre Colciencias, la Universidad Eafit y Cormagdalena, para la investigación de los procesos naturales que controlan la producción de sedimentos desde la cuenca.

A Michel Hermelin mi inmensa gratitud por sus correcciones y críticas constructivas en muchos de los textos y análisis que se presentan en este libro. Michel, quien ha sido guía y profesor de varias generaciones de científicos en Colombia, es uno de nuestros ejemplos en perseverancia, rigor y calidad científica en el país.

A los profesores y amigos James P.M Syvitski y Charles Vorösmarty mis agradecimientos por compartir varios de sus mapas y bases de datos internacionales en algunos análisis globales y comparativos que se presentan en este libro.

A los autores invitados, Dolors, Nelly y Juan Manuel del Instituto Alexander von Humboldt, Paula, Camilo y Jaime del INVEMAR, Manuel de la Universidad del Norte, Ignacio y Michel, profesores del Departamento de Geología de la Universidad Eafit y Juan Camilo y Javier, estudiantes de Maestría en Ciencias de la Tierra de la misma Universidad, mil gracias por su participación. Ellos forman parte de la comunidad científica del país que estudia el Magdalena desde diferentes disciplinas de las Ciencias de la Tierra, y como muchos de los colombianos tienen gran preocupación por el deterioro ambiental del río y su cuenca. De nuevo amigos y colaboradores, mi eterna gratitud.

Finalmente y no menos importante, a todo el equipo académico y científico de la Línea de Investigación en Procesos Fluviales del Departamento de Geología de la Universidad EAFIT, mi gratitud por su colaboración y sentido de pertenencia en esta iniciativa científica del estudio de los procesos que controlan el transporte de sedimentos en el Magdalena.

El Editor

Presentación

Las Ciencias de la Tierra han entrado en los últimos años en una fase que ha cambiado en forma fundamental su responsabilidad ante la sociedad. Si antaño se les pedía una explicación sobre el origen del planeta y una ayuda en el manejo de problemas inmediatos como el hallazgo de minerales o la aptitud de un lugar determinado para su utilización, hoy en día enfrenta una pregunta realmente angustiada: qué va a pasar con el Planeta Tierra?



Michel Hermelin

De la posición relativamente fácil de detectives del pasado y sus consecuencias, deben asumir un papel de «predictores» del futuro, una tarea con implicaciones que no forman parte de su bagaje tradicional:

- las predicciones deben ser hipótesis rigurosamente basadas en el método científico. Esas predicciones enfrentan fuertes reacciones tanto nacionales como internacionales, como lo demuestra la oposición al Protocolo de Kyoto.
- la información disponible aún es escasa máxime en países poco desarrollados como Colombia.
- cualquier error tendrá consecuencias nocivas para la credibilidad de las Ciencias de la Tierra y lo que es mucho más grave, sobre el porvenir de la humanidad.

A las consideraciones anteriores hay que agregar otras novedades como son los aportes que provienen de la mejora de los sistemas de monitoreo del planeta: de la observación directa de los fenómenos, hemos pasado a la acumulación de datos cuantitativos; de las fotografías aéreas que se empezaron a utilizar en el país hace cinco décadas, a un seguimiento cada vez más denso y frecuente por medio de la interpretación de las imágenes de satélite; de la descripción aislada de procesos al análisis estadístico multivariado.

El libro... me parece muy representativo de la integración de estas tendencias. Nace como una investigación sistemática sobre las fuentes de los sedimentos que moviliza la arteria fluvial más importante del país: el río Magdalena.

Gracias a los datos colectados por el IDEAM y al uso de imágenes de satélites, el equipo de investigación liderado por Juan Darío Restrepo realizó un estudio que constituye un aporte valioso al entendimiento de la dinámica actual y reciente de la cuenca del río Magdalena en un contexto que sobrepasa ampliamente la geografía regional.

El lector no sólo encontrará en este libro un análisis sistemático del problema planteado sino una serie de consideraciones interesantes sobre sus consecuencias inmediatas y futuras, así como un planteamiento acerca de las futuras investigaciones necesarias para satisfacer los interrogantes, que como en toda investigación bien hecha dejan los resultados.

Estoy convencido de que los lectores apreciarán la importancia de esta valiosa contribución al entendimiento de un sistema fluvial que sigue siendo el más importante del país, en un momento en que la amenaza del cambio global parece confirmarse cada vez más. También espero que este libro motivará futuros estudios no sólo para ampliar nuestro conocimiento acerca del río Magdalena sino para utilizar en otras cuencas del país la metodología utilizada aquí.

Michel Hermelin

Contenido

1. Los sistemas hídricos fluviales: Visión general	19
1.1. Introducción	21
1.2. Los ríos: Importancia global	23
1.3. Los recursos hídricos: Distribución, magnitud y tendencias	24
1.3.1. El ciclo hidrológico	24
1.3.2. Distribución de los recursos hídricos	26
1.3.3. Recursos hídricos para uso humano	28
1.3.4. Impactos y tendencias en la calidad de los recursos hídricos	29
1.4. Marco conceptual de las cuencas hidrográficas	34
1.5. Impacto ambiental en las cuencas fluviales	36
1.5.1. Factores antrópicos: Cambios en cobertura y uso de los suelos	37
1.5.2. Cambio climático y variabilidad	43
1.6. Consideraciones finales	45
Bibliografía	48
2. El río Magdalena: Contexto global, Suramericano y Nacional	53
2.1. Introducción	55
2.2. El río Magdalena en el contexto global y suramericano	55
2.3. El río Magdalena en el contexto nacional	59
2.3.1. Generalidades	59
2.3.2. Evolución geológica	61
2.3.3. Rasgos geomorfológicos	64
2.3.4. Marco climático e hidrológico	67
2.3.5. Visión socioeconómica	69
Bibliografía	73
3. Ecosistemas naturales de la cuenca del río Magdalena	77
3.1. Ecosistemas boscosos	79
3.1.1. Bosques basales	80
3.1.2. Bosques subandinos	82
3.1.3. Bosques andinos y altoandinos	83
3.2. Ecosistemas de Páramo	84
3.3. Ecosistemas Secos, Xerofíticos y subxerofíticos	86
3.3.1. Llanura del Caribe	86
3.3.2. Valles interandinos	87
3.3.3. Enclaves andinos y altoandinos	88
3.4. Ecosistemas de humedales	89
3.4.1. Complejo Lagunar-Estuarino del delta del río Magdalena	89
3.4.2. Complejo Lagunar-Estuarino del delta del canal del Dique	90
3.4.3. Complejo de ciénagas del Medio y Bajo Magdalena	91
3.4.4. Lagos y humedales andinos	92
3.5. Consideraciones finales	93
Bibliografía	94

4. El Sistema fluvial del Magdalena durante el Plioceno-Cuaternario: Contexto tectónico y escenario Paleoclimático	99
4.1. Introducción	101
4.2. Ámbito tectónico y evidencias de cambios en el curso del río Magdalena	102
4.3. El Sistema fluvial del Magdalena: Ámbitos de sedimentación y controles del nivel base . .	103
4.4. Los valles alto y medio de los ríos Magdalena y Cauca durante el Plioceno-Cuaternario . .	104
4.5. La depresión Momposina durante el Pleistoceno y el Holoceno	105
4.6. Los sistemas Deltaico y Turbidítico del río Magdalena durante el Plioceno-Cuaternario . .	106
4.7. Sedimentación terrígena Plioceno-Cuaternaria del río Magdalena en la cuenca de Colombia	107
4.8. Escenario paleoclimático de los Andes del norte para el intervalo Plioceno-Cuaternario . .	107
4.9. Resumen y conclusiones	109
Bibliografía	109
5. El transporte de sedimentos en cuencas fluviales	113
5.1. Introducción	115
5.2. Factores que controlan el transporte de Sedimentos	116
5.3. Estudios globales y regionales de transporte de Sedimentos	124
5.3.1. Región pacífica de Colombia	126
5.3.2. Región Caribe y el río Magdalena	128
5.4. El río Magdalena en el marco global	130
Bibliografía	132
6. Erosión en la cuenca del Magdalena: Factores naturales y visión preliminar del impacto humano	137
6.1. Introducción	139
6.2. Producción de sedimentos y variabilidad espacial	140
6.3. Factores naturales que controlan las tasas de erosión	145
6.4. Visión preliminar del impacto humano sobre la erosión	148
6.5. Conclusiones	154
Bibliografía	156
7. Variabilidad temporal en el transporte de sedimentos	159
7.1. Introducción	161
7.2. Revisión preliminar de la variabilidad temporal del transporte de sedimentos	162
7.3. La ecuación del transporte de sedimentos	164
7.4. Tendencias temporales en el transporte de sedimentos de la cuenca del Magdalena	167
7.5. Factores naturales y antrópicos como causas de las tendencias	169
7.5.1. Cambio climático. El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS)	170
7.5.2. Impacto de las actividades humanas	176
7.5.2.1. Deforestación	178
7.5.2.2. Agricultura	180
7.5.2.3. Minería	181
7.5.2.4. Crecimiento poblacional y urbanización	181
7.6. Aspectos generales	182
Bibliografía	184

8. Aportes fluviales al mar Caribe y evaluación preliminar del impacto sobre los Ecosistemas costeros	187
8.1. El sistema continuo cuenca hidrográfica-zona costera	189
8.2. Descarga de agua y sedimentos al mar Caribe	195
8.3. Pulsos de sedimentos hacia el mar Caribe	197
8.4. Carga disuelta	199
8.5. Impactos ambientales sobre los ecosistemas costeros	199
8.5.1. Flujos de sedimentos y su impacto sobre ecosistemas coralinos	200
8.5.2. Flujos de sedimentos y destrucción de pastos marinos	205
8.5.3. Alteración de las condiciones hidrológicas y mortalidad de manglares	208
8.6. ¿Es el río Magdalena un sistema fluvial prístino?	208
8.7. Generalidades y comparación en el contexto global	209
Bibliografía	211
9. Cartagena y el plan de restauración ambiental del canal del Dique, y Barranquilla y las obras de profundización del canal navegable de acceso a la zona portuaria: Visión general	217
9.1. Visión general del delta del río Magdalena en función de la actividad portuaria	219
9.1.1. Evolución de la desembocadura del río	219
9.1.2. Características hidráulicas y sedimentológicas del río Magdalena	221
9.1.3. Desarrollo portuario en el delta	227
9.1.4. Vulnerabilidad por eventual ascenso del nivel del mar en los próximos 100 años.	228
9.1.5. Escenario nacional para el desarrollo de la actividad portuaria	229
9.2. Cartagena y el Plan de Restauración Ambiental del canal del Dique	235
9.2.1. Localización	236
9.2.2. Características ambientales	236
9.2.3. Generalidades sobre el parque nacional natural los Corales del Rosario y San Bernardo	238
9.2.4. Las comunicaciones de Cartagena con el interior del país	238
9.2.5. Generalidades de la bahía de Cartagena y su zona portuaria	239
9.2.6. Importancia del canal del Dique para el puerto de Cartagena	240
9.2.7. Propuesta de Uninorte para el Plan de Restauración Ambiental del canal del Dique	241
9.2.8. Conclusiones y recomendaciones	244
9.3. Barranquilla y las obras de profundización del canal navegable de acceso a la zona portuaria	245
9.3.1. Generalidades sobre el canal navegable	246
9.3.2. Diseño de las obras de profundización	247
9.3.2.1. Objetivos	247
9.3.2.2. Análisis de estabilidad de las estructuras existentes	248
9.3.2.3. Criterios de diseño	248
9.3.2.4. Modelación matemática	248
9.3.2.5. Obras proyectadas	249
9.3.3. Proyección del puerto de Barranquilla para los próximos 20 años	249
Bibliografía	252

10. Generalidades y prioridades de investigación	255
10.1. Factores naturales en el control de la erosión	257
10.2. Visión regional del impacto humano en la erosión	259
10.3. Aportes al mar Caribe e impacto sobre ecosistemas litorales	260
10.4. Futuros retos de investigación	261
10.4.1. Modelo conceptual de transporte de sedimentos	262
10.4.2. Estudio del efecto del componente humano en la erosión	263
10.4.3. Interacción cuenca hidrográfica-zona litoral	264
10.5. Consideraciones finales	266

Autores

Manuel Alvarado Ortega

Ingeniero Civil
Director del Instituto de Estudios Hidráulicos y
Ambientales - IDEHA
Universidad del Norte, AA 1569 Barranquilla
malvarad@uninorte.edu.co

Dolors Armenteras

Doctor en Geografía
Visiting Research Fellow
Department of Geography
King's College London
Investigadora Principal Laboratorio de Biogeografía
y Análisis Espacial
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Carrera 7#35-20 Bogotá
darmenteras@humboldt.org.co

Juan Manuel Díaz

Doctor en Recursos Naturales
Coordinador Programa Biología de la Conservación
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Carrera 7#35-20 Bogotá
jmdiaz@humboldt.org.co

Camilo García

Doctor en Recursos Naturales
Universidad de Bremen, Alemania
Profesor Asociado, Departamento de Biología/
CECIMAR
Universidad Nacional de Colombia Invemar/UN,
Cerro Punta Betin,
AA 1016 Santa Marta
cgarcia@invemar.org.co

Jaime Garzón-Ferreira

M.Sc. en Biología Marina
Coordinador de Programa
Biodiversidad y Ecosistemas Marinos (BEM)
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
(INVEMAR), Zona Portuaria
AA 1016 Santa Marta, Colombia
jgarzon@invemar.org.co

Michel Hermelin

M.Sc. en Geología
Universidad de Colorado, EUA
Profesor Departamento de Geología
Universidad EAFIT, AA 3300 Medellín
hermelin@eafit.edu.co

Eduardo López

M.Sc. en Ciencias de la Tierra
Universidad Nacional de Colombia
Geólogo, Subdirección Geología Básica
Ingeominas, Bogotá
elopez@ingeominas.gov.co

José Ignacio Martínez

Doctor en Paleogeografía
Universidad Nacional de Australia
Profesor Departamento de Geología
Universidad EAFIT, AA 3300 Medellín
jimartin@eafit.edu.co

Javier R. Miranda

Geólogo, Universidad Nacional de Colombia
Candidato a M.Sc. en Ciencias de la Tierra,
Universidad EAFIT
jmirand@eafit.edu.co

Juan D. Restrepo Ángel

Doctor en Oceanografía
Universidad de Carolina del Sur, EUA
Profesor Departamento de Geología
Coordinador Maestría en Ciencias de la Tierra,
Universidad EAFIT, AA 3300 Medellín,
jdrestre@eafit.edu.co

Juan C. Restrepo López

M.Sc. en Ciencias de la Tierra
Universidad EAFIT
Investigador Asociado
Centro de Control Contaminación del Pacífico
CCCCP, AA 187 Tumaco

Nelly Rodríguez Eraso

Especialista en Sensores Remotos, SIG y
Estadística, Universidad Distrital Francisco José de
Caldas y Universidad Nacional de Colombia
Investigadora Laboratorio de Biogeografía y
Análisis Espacial
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos
Alexander von Humboldt
Carrera 7#35-20 Bogotá
nrodriguez@humboldt.org.co

Paula Zapata

Bióloga Marina
Universidad Jorge Tadeo Lozano
Co-investigadora INVEMAR
AA 1016 Santa Marta
pzapata@invemar.org.co

