

# Estudio de la pluma de sedimentos del Río San Juan

Daniel Ballestero<sup>1</sup>

## Introducción

El Río San Juan (RSJ) es uno de los mayores de Centroamérica y su cuenca, con un área de 38570 km<sup>2</sup>, es la más importante del área en términos de volumen de agua. El RSJ descarga sus aguas en el Mar Caribe en las desembocaduras de San Juan del Norte, en Nicaragua, y de Boca del Colorado, en Costa Rica, y constituye la fuente más importante de agua dulce, nutrientes, sedimentos y contaminantes de la zona costera compartida por ambos países en su margen oriental.

Al descargar en el Caribe, el agua dulce originada en el río se difunde sobre el agua de mar, que es más densa, cubriendo un área de magnitud y forma variables, dando lugar a lo que se conoce como una *pluma* de río. En la pluma

1. Oceanógrafo Físico. Universidad Nacional [dab2@una.ac.cr](mailto:dab2@una.ac.cr) <http://www.laocos.una.ac.cr/DANIEL>

del RSJ tienen lugar diversos procesos físicos, químicos y biológicos que impactan la zona marino-costera. Durante las últimas décadas la cuenca del RSJ, desde el Lago Cocibolca (lago de Nicaragua) hasta la desembocadura en el Caribe, ha sufrido diversos grados de deterioro, en gran medida como resultado de la actividad humana. Uno de los signos más notables del deterioro es el aumento en la carga de sedimentos y las alteraciones del flujo del agua del río como resultado del incremento y modificación de los procesos de sedimentación. El efecto de estas perturbaciones y de la degradación de la cuenca sobre la zona costera y sus ecosistemas debe ser evaluado por medio de un estudio interdisciplinario que contemple todos los procesos que tienen lugar en la pluma y su entorno.

El manejo adecuado de la CRSJ y su zona marino-costera es una responsabilidad compartida por Nicaragua y Costa Rica. A pesar de los intentos de los últimos años, impulsados por sectores a ambos lados de la frontera, por magnificar los conflictos relacionados con el RSJ, es imperativo desarrollar la colaboración entre los dos países con el fin de atenuar la degradación y elaborar un plan de acción para el manejo y desarrollo de la CRSJ. Los esfuerzos conjuntos deberían también recibir amplia difusión, contribuyendo así a desarrollar un ambiente de colaboración que sustituya paulatinamente a la confrontación. Con tal espíritu, el Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero (LAOCOS) y el Laboratorio de Química Marina (LQM) de la Universidad Nacional de Costa Rica, han unido fuerzas con el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad Centroamericana (UCA) de Nicaragua, para estudiar la pluma de sedimentación del Río San Juan. Esta investigación que se ha llevado a cabo durante todo el año 2002 y la primera mitad del 2003, es un componente del proyecto binacional *Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y*

*Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera.* A continuación se discuten los elementos principales del estudio.

2. Algunos problemas ambientales de la CRSJ que impactan la zona marino-costera

En 1999, funcionarios del Ministerio del Ambiente de Costa Rica (MINAE) y Nicaragua (MARENA) elaboraron un Análisis de Diagnóstico Transfronterizo que identifica los principales problemas ambientales de la cuenca del RSJ (Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Organización de Estados Americanos, 2001). Varios de los problemas allí señalados pueden incidir, directa o indirectamente, en la calidad del agua de la pluma del RSJ, particularmente en su composición química y carga de sedimentos, y pueden agruparse en las siguientes tres categorías:

**Degradación de ecosistemas:**

- Servicios inadecuados de saneamiento urbano, industrial y agroindustrial
- Agricultura migratoria, producción ganadera extensiva y la consecuente expansión de la frontera agrícola
- Producción forestal con tala generalizada

**Sobreexplotación de recursos naturales:**

- Mal uso de los suelos en la agricultura de ladera y humedales
- Construcción de caminos con diseños inadecuados
- Minería a cielo abierto
- Extracción de materiales para la construcción

- Explotación excesiva de especies valiosas de los bosques tropicales húmedos
- Degradación de suelos frágiles debido a la destrucción de la cobertura vegetal

### ***Contaminación de cuerpos de agua:***

- Uso indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes, sobre todo donde se practica la agricultura intensiva
- Desechos agroindustriales, industriales y domésticos urbanos

## **Características de la zona de estudio**

### **Condiciones atmosféricas**

En la escala regional el forzamiento atmosférico principal sobre la superficie del mar está dado por los vientos alisios. La variabilidad y migración latitudinal estacional de la Zona de Convergencia Intertropical influencia también el forzamiento de las aguas costeras. En la escala sinóptica, en el verano del hemisferio norte, las ondas del este de frecuencia semanal, algunas de las cuales se desarrollan hasta ciclones tropicales e incluso huracanes, influyen en la zona durante su movimiento hacia el noroeste transportando grandes volúmenes de humedad. Durante el invierno la señal principal en la escala sinóptica es el desplazamiento de frentes fríos provenientes de Norteamérica hacia el sur, que provocan enfriamiento del agua y circulaciones transitorias en la plataforma continental.

El área costera de Nicaragua y Costa Rica es una de las zonas con mayor precipitación lluviosa del mundo, llegando a más 6 m por año en algunas localidades, con un máximo en la zona de la desembocadura del San Juan. El

régimen de vientos es extremadamente constante, con vientos medios de  $6-10 \text{ m s}^{-1}$  del este-noreste durante todo el año, con un factor de constancia (radio del viento medio vectorial respecto a la rapidez media del viento) de más del 90 %. Un breve período de disminución ocurre en Abril-Mayo, y otro más significativo ocurre en Octubre-Noviembre. La intensidad del viento es menor en la zona del río San Juan debido al bloqueo orográfico, lo cual contribuye a la mayor intensidad de las lluvias en esta área.

### **Corrientes y procesos costeros**

La circulación en la plataforma continental está determinada por el esfuerzo del viento, el forzamiento termohalino, y la inyección de energía proveniente de mar abierto en forma de remolinos, ondas largas y corrientes. La plataforma continental en el área de la desembocadura del San Juan tiene menos de 20 Km de extensión, con una pendiente de 1:80, en tanto que en Nicaragua, llega a extenderse por más de 200 Km mar adentro, con profundidades de no más de 30 m, y una pendiente, por ejemplo en la desembocadura del Río Coco, de 1:200. De esta forma, la morfología en la zona de estudio, donde el efecto de la fricción con el fondo es reducido, revela la preponderancia de los procesos marinos y un notable efecto del oleaje y redistribución de sedimentos (Owens and Roberts 1978).

La Corriente Caribe, que se mueve hacia el este a  $0.5 - 1.0 \text{ m s}^{-1}$ , impacta en el Banco Miskito (Nicaragua) justamente al oeste de la isla de San Andrés, formando una zona de divergencia que probablemente realiza migraciones norte-sur en forma estacional, dividiéndose en dos corrientes dirigidas hacia el norte una, y hacia el sur la otra. La rama dirigida hacia el sur domina entonces la corriente costera en la desembocadura del San Juan. Sin embargo, se ha

observado también flujo de sur a norte, aunque la frecuencia de estos eventos no ha sido aún cuantificada. Ryan y Zapata (2002) sugieren que existe flujo hacia el norte durante la primavera, que transporta las aguas turbias de la pluma del RSJ a lo largo de la costa de Nicaragua.

El enorme volumen de agua precipitado a lo largo de toda la costa de Nicaragua resulta en una banda continua de aguas turbias que fluye hacia el sur, estratificada en salinidad pero isotérmica, de unos 20 - 40 km de ancho (Murray 1984). A la altura del RSJ, donde la plataforma continental se estrecha y la actividad del oleaje se intensifica, esta banda costera está menos definida y es mucho menos ancha.

### **El estudio**

El estudio en ejecución se propone adquirir el conocimiento necesario sobre el sistema de descarga del río San Juan en el Mar Caribe para el adecuado manejo de este componente de la cuenca. Las actividades propuestas permitirán:

- Caracterizar algunos aspectos físicos, químicos y biológicos de la pluma del río San Juan
- Caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la pluma
- Identificar posibles impactos de la pluma en la zona costera y sus ecosistemas

La información generada para el estudio proviene de dos fuentes: mediciones in-situ obtenidas por medio de instrumentación oceanográfica y datos de satélites.

## Observación de la pluma del río San Juan por medio de satélites

El Laboratorio de Oceanografía y Manejo Costero de la UNA opera una estación receptora de datos de satélites polares que obtienen información de gran utilidad para esta investigación. Los satélites polares giran alrededor de la Tierra en órbitas que pasan, aproximadamente, sobre los polos del planeta. A medida que los vehículos se trasladan el planeta gira por debajo en una dirección transversal a la órbita, de manera que en cada revolución del satélite se obtiene información de una zona distinta de la superficie terrestre. A la altura de la órbita de los satélites utilizados para este estudio, de unos 830 km, se logran al menos dos observaciones por día sobre cada punto de la superficie del planeta con cada vehículo. Para el estudio de la pluma del RSJ utilizamos datos de tres satélites meteorológicos operados por la National Oceanographic and Atmospheric Administration de Estados Unidos, así como del satélite oceanográfico OrbView-2.

La frecuencia y constancia de los datos generados por estos satélites, así como su cobertura espacial (cada pase cubre una franja de unos 3000 km de anchura, con una resolución espacial de 1 km por 1 km), hacen de ellos valiosas herramientas para un estudio de largo plazo sobre la variabilidad espacial y temporal de la pluma, en comparación con las costosas observaciones obtenidas por medio de instrumentos oceanográficos, que sólo permiten obtener datos en algunos puntos durante varios días.

De los varios instrumentos a bordo de los satélites, en este estudio utilizamos radiómetros que detectan la radiación electromagnética proveniente del agua en los rangos visible e infrarrojo. El agua originada en el río puede ser distinguida del agua marina residente, en el visible, debido

a dos características ópticas: por un lado, el alto contenido de sedimentos del RSJ aumenta la reflectancia del agua, comparada con el agua del Caribe que es muy absorbente de la luz; por otro lado, el alto contenido de sales nutrientes del río aumenta la productividad del fitoplancton marino, modificando el color del agua de la pluma como resultado del aumento de pigmentos fotosintéticos. De esta forma, es posible obtener información sobre el contenido de sedimentos y clorofila que distinguen a la pluma del RSJ del agua del Caribe. Utilizando el infrarrojo, la diferencia de temperatura entre el agua del Caribe y el agua de la pluma puede ser medida a partir de datos de satélites hasta diferencias de 0.1 °C. En este punto es conveniente señalar las limitaciones inherentes a la información que se puede obtener con estos instrumentos.

Tanto la radiación visible como la infrarroja son fuertemente absorbidas por las nubes. Por lo tanto, dadas las condiciones meteorológicas que caracterizan al área de estudio, no es raro que transcurran varios días seguidos sin que se obtengan datos útiles. Además, la información sobre contenido de sedimentos y clorofila no puede ser obtenida durante la noche, cuando no hay radiación solar que pueda ser reflejada por el mar hacia el satélite. Debido a la naturaleza de las aguas estudiadas, las estimaciones del contenido de clorofila por estos medios es muy incierta, y sólo pueden ser consideradas como un indicador cualitativo. Para la determinación de la carga de sedimentos es necesario obtener una calibración entre las mediciones de la reflectancia del agua proporcionadas por el radiómetro y la concentración de sedimentos medida in-situ. Finalmente, la información bidimensional sobre la superficie del mar obtenida desde satélites nada nos dice acerca de la estructura vertical de la columna de agua.



## Mediciones de campo

Se planea realizar seis giras para obtener información oceanográfica en el lapso de un año, la primera de las cuales se llevó a cabo en la primera semana de agosto del 2002. El área de cobertura es una franja de 10 km de anchura desde la costa hacia mar adentro que se extiende desde 10 km al sur de Barra del Colorado, en Costa Rica, hasta 10 km al norte de San Juan del Norte, en Nicaragua. Estas campañas se llevan a cabo en pangas operadas por pescadores locales.

Los datos sobre las características físicas de la pluma incluyen medidas de temperatura, salinidad y corrientes en toda la columna de agua. Con esta información es posible estimar la extensión espacial de la pluma, tanto horizontal como verticalmente, la densidad del agua desde la superficie hasta el fondo, el movimiento de sedimentos y contaminantes por las corrientes, así como la estabilidad de la columna de agua, que es determinante de la distribución espacial de sedimentos y su dispersión.

El contenido de sedimentos es medido de dos maneras. Por medio de un turbidímetro, que mide la dispersión de la luz por los sedimentos suspendidos en el agua, y por medio del filtraje de muestras de agua en el Laboratorio de Química Marina. Los datos obtenidos en el laboratorio son utilizados para calibrar tanto las medidas del turbidímetro como las de los radiómetros satelitales (si se logra obtener datos de campo coincidentes con pases del satélite en condiciones atmosféricas favorables).

Los análisis químicos del agua permiten medir el PH, la concentración de oxígeno disuelto, y la concentración de nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos y silicatos).

Finalmente, utilizando una cámara submarina, se realiza una inspección del fondo y la posible existencia de

estructuras submarinas, como formaciones rocosas, en las que podría intensificarse la actividad biológica.

En un próximo artículo presentaremos resultados de la información recabada.

## Referencias

- Mooers, C. N. and Maul, G.A., 1998: Intra-americas sea circulation, en *The Sea*, Vol 11, 183-208, Robinson, A. and Kenneth Brink eds, John Wiley & Sons.
- Murray, S., Hsu, S., Roberts, H., Owens, E. and Crout, R., 1982: Physical processes and sedimentation on a broad, shallow bank, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **14**, 135-157.
- Murray, S. P. and Young, M., 1984: The nearshore current along a high-rainfall, trade-wind coast-Nicaragua, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **21**, 687-699.
- Owens, E.H., and Roberts, H. H., 1978: Variations of wave-energy levels and coastal sedimentation, eastern Nicaragua, *Coastal Engineering*, 1195-1214.
- Ryan, J. and Y. Zapata, 2002: Nicaragua's coral reefs: Status, health and management strategies. en: *Coral Reefs of Latin America*, pp. 1-25J. Cortés and H. Guzmán (Eds.) Elsevier.
- Unidad de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, 2001: *Gestión Integrada de los recursos Hídricos y Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera*, 7 pp.