

## **PROCESOS HIDRODINÁMICOS DE SEDIMENTACIÓN EN SISTEMAS LAGUNARES CONTINENTALES EN LA ZONA NORTE DE COSTA RICA**

Francisco J. Solano Mata<sup>1</sup>  
Denis M. Salas González<sup>2</sup>

### **Resumen**

La Escuela de Geografía, ha elaborado una serie de valoraciones ambientales que han permitido determinar el nivel de degradación que presentan diferentes sistemas lagunares continentales, como el sistema lagunar de Caño Negro y el sistema lagunar Las Camelias, en la zona norte de nuestro país (Figura 1). Tomando como criterio de evaluación, el análisis del proceso de sedimentación y su mapeo, se pudo realizar una cartografía que generó algunos lineamientos tendientes a la restauración de los espacios, sin perder la perspectiva del medio socioambiental.

Desde esta concepción geográfica, se indicaron los atributos naturales de las cuencas de estudio, que permitieron orientar la interpretación del análisis del proceso de intervención, con respecto al cambio en el uso de la tierra. Se identificó la degradación a partir de la identificación de la tasas de sedimentación, que se manifiestan en las áreas depresivas de los sistemas lagunares asociado a la hidrodinámica de los ríos.

El esquema metodológico de este estudio se ajustó a un abordaje en terreno que permitió obtener información primaria y que fue procesada en el Laboratorio de Geomorfología de la Escuela de Geografía, generando un conjunto de insumos cartográficos afines a la valoración llevada a cabo.

La caracterizaciones, tipos y localizaciones de la sedimentación se llevó a cabo mediante la ubicación de dispositivos anuales (controles fijos) que permitieron además, un monitoreo exhaustivo llevado a cabo durante un ciclo hidrológico. Los productos cartográficos incluyen mapas de subunidades espaciales que localizan y caracterizan la sedimentación y su fluctuación en el entorno del área depresiva y los espejos de agua.

De las investigaciones finalmente se logran describir espacios ecológicamente empobrecidos, que deberían ser sometidos a un proceso restaurador y, a su vez, rehabilitados, para garantizar la estabilidad de este tipo de ecosistemas tropicales y propiciar así una mejor calidad de vida para las personas que dependen de los mismos.

---

<sup>1</sup> Geógrafo. Académico, Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: francisco.solano@ucr.ac.cr

<sup>2</sup> Geógrafo. Académico, Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Correo electrónico: denissalasg@gmail.com

# Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

**Palabras clave:** Sedimentación; hidrogeomorfología; humedales; degradación ambiental.

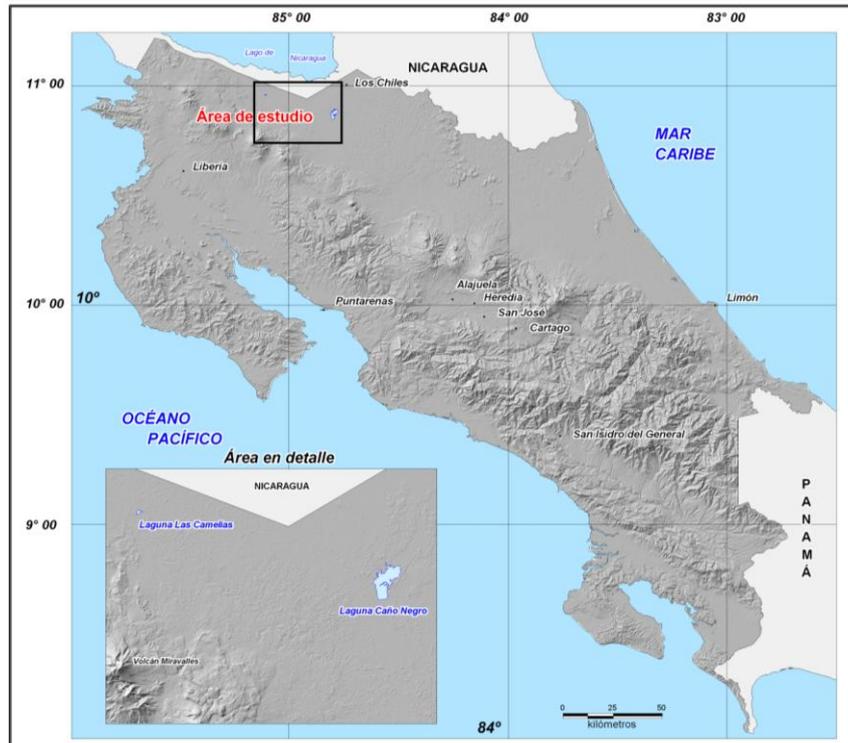


Figura 1: Ubicación áreas de estudio

## ASPECTOS INTRODUCTORIOS Y METODOLOGÍA

### Introducción

La interpretación de la hidrodinámica sedimentológica de un sistema lagunar debe ser considerada como un ejercicio técnico/científico, que permite orientar un proceso planificador que sustente correctamente la toma de medidas correctivas afines a la realidad natural y socioambiental.

En el caso de los sistemas lagunares estudiados, permitió analizar la dinámica que experimentan los espejos de agua en una relación directa con el comportamiento de los ríos, a partir de las fluctuaciones de caudal experimentadas de manera mensual y el arrastre de materiales a nivel de lecho fluvial y algunas valoraciones en torno al uso de la tierra en torno a la cuenca hidrográfica.

# Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

Los productos cartográficos obtenidos de los estudios permiten constatar y justificar la acumulación de depósitos de arenas de origen volcánico en las áreas depresivas de los sistemas lagunares y la consecuente modificación de la forma original que atenta contra la estabilidad de la biota acuática y terrestre que depende de esas lagunas permanentes (Figura 2).

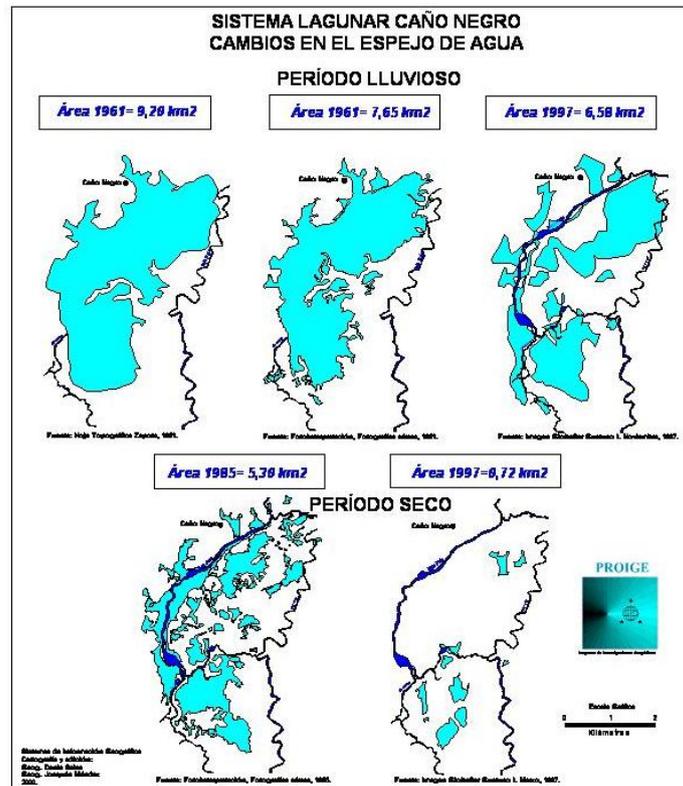


Figura 2: Cambios del espejo de agua en el sistema lagunar de Caño Negro

Las acciones correctivas que se sugirieron para un manejo óptimo de estas unidades protegidas debieron considerar la dinámica hidrológica experimentada por el sistema fluvial principal, ya que de ellos proveen el mayor porcentaje de los materiales acarreados hacia las áreas depresivas.

Con fundamento en trabajo de campo, se evidenciaron sitios que presentan colmatación de sedimentos, producto de una alteración en las condiciones hidrodinámicas de los ríos Frío y Guacalito y en la dinámica de llenado y vaciado de los sistemas lagunares estacionales. Con referencia a esta dinámica sedimentológica en torno a los humedales de la Zona Norte, estudios de Brenes y Solano (1999), indican que ya se identifican sectores calificados como críticos, en

## **Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica**

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---

los cuales, es evidente una transformación física de los sistemas, mencionando por ejemplo entre muchos, los problemas de colmatación en el humedal de Caño Negro y en el humedal de Medio Queso.

Es a partir de esta argumentación y en la realidad ambiental de la zona norte y otras partes del país, que se plantea esquematizar una metodología que permita determinar el ámbito espacial de la sedimentación que propicie la base de conocimientos para fomentar a futuro un proceso de ordenamiento del territorio consecuente con la realidad social y ambiental del área.

### **Esquema Metodológico**

Partiendo de una estructura metodológica coherente, la determinación de la hidrodinámica de sedimentación en las depresiones topográficas que contienen los sistemas lagunares, se ajustan a la utilización de los dispositivos de medición colocados a lo largo y ancho de los sistemas.

La medición de la dinámica hidrológica y su relación con el proceso de transporte y deposición de sedimentos, se ajustó a la aplicación de rutinas en campo y en laboratorio, situación que permitió la construcción de escenarios geomorfológicos a escala local, que indicaron la versatilidad y dinámica activada en los diferentes ambientes espaciales.

### ***Instalación de Puntos Fijos para la Medición de la Sedimentación***

Para la ubicación de controles de sedimentación se recurrió a la instalación de puntos fijos (varillas de construcción), que tuvieron la función de contener los botes de recolección de sedimentos y fungir como puntos de referencia para la identificación de distribución y dinámica de corrientes.

Para esto, se procedió a instalar al interior de los sistemas lagunares un conjunto de puntos fijos de control, debidamente alineados y georeferenciados, que permitieron obtener datos cuantificables, tanto de la dinámica fluvial como de los sedimentos arrastrados y depositados por las corrientes de llenado principalmente de los ríos Frío, Guacalito y otros caños en las lagunas.

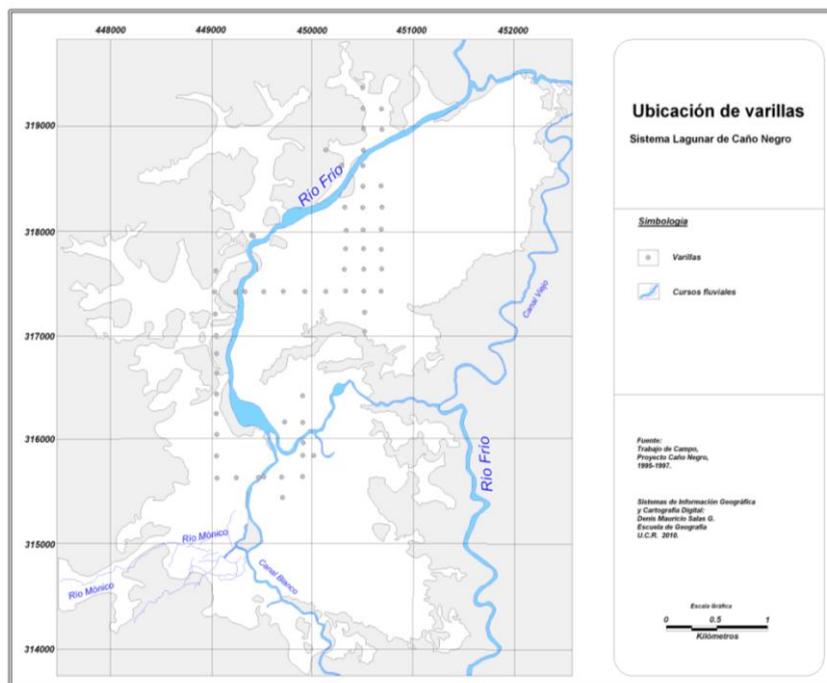
Mediante el trabajo de campo en los sistemas lagunares, se definió la conveniencia y en la medida de que la topografía y la disposición de las lagunas respecto al cauce principal lo

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

permitieran, en los espejos de agua se instalaron por lo menos 10 puntos de control, de manera que en las lagunas se pudiera obtener información completa y estadísticamente extrapolable.

Como técnica para instalar la red de puntos de referencia se recurrió al método de trabajar con las direcciones principales o francas, dadas por la brújula del tránsito. En tal sentido, se tomó como eje central y rumbo de partida, el norte magnético ( $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ) y se fijaron nuevos rumbos  $90^{\circ}$  este,  $180^{\circ}$  sur y  $270^{\circ}$  oeste, según las dificultades del terreno o la necesidad de cumplir con el objetivo anteriormente planteado. (Figuras 2 y 3).



**Figura 2: Puntos de control fijos en el sistema lagunar de Caño Negro**

# Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

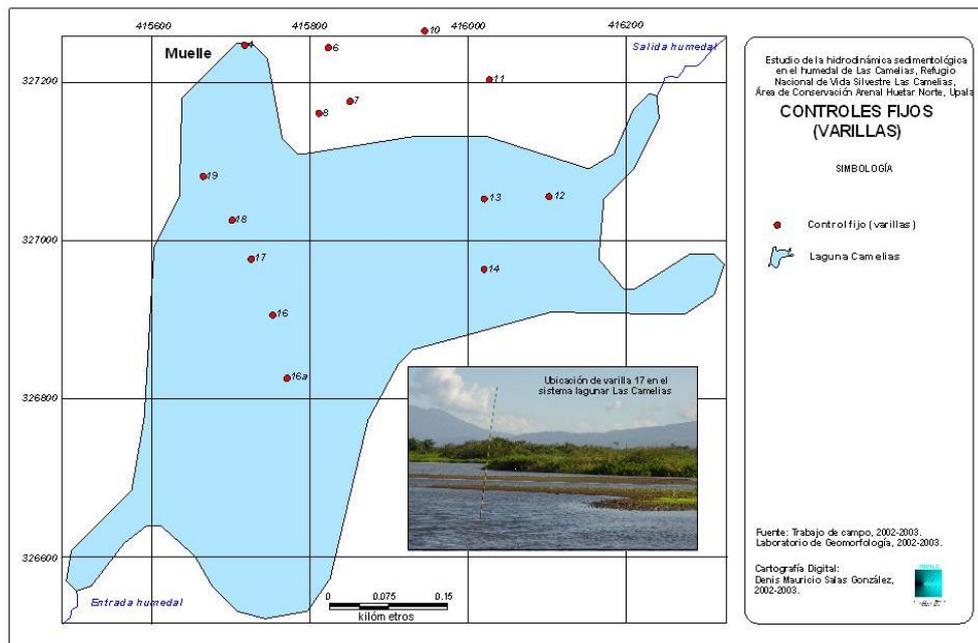


Figura 3: Puntos de control fijos en la laguna Las Camelias

El sitio de partida de la red de puntos fijos se toma como el punto inicial o punto cero y referido al norte magnético, con dirección  $90^\circ$  grados al este, se miden 110 metros y se procedió a instalar la primera varilla de control fijo

A partir de este punto de control, se desprendieron todos los acimuts de orientación que permiten distribuir los demás controles fijos. La labor de campo e implementación de este tipo de controles es parte fundamental para el desarrollo de una investigación de procesos sedimentológicos. (Foto 1).

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

---



**Foto 1: Proceso de planeación durante campaña de instalación de puntos de control fijos**

En total se instalaron más de 50 varillas corrugadas de construcción de 6 m de largo y con diámetros de tres cuartos y una pulgada. Las varillas mas gruesas se instalaron en sitios donde se requirió que fueran más visibles, en donde por la inconsistencia de la base que las soportaría o la fuerza de corriente fluvial, se necesitaba de una mayor fortaleza de las mismas.

Asimismo, las varillas fueron pintadas de color amarillo para hacerlas visibles al interior de los sistemas lagunares, sobre todo durante la época de aguas plenas (Foto 2).



**Foto 2: Enderezado y pintura de varillas**

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

Una vez instaladas las redes de puntos fijos se procedió a colocar, en puntos específicos y al pie de las varillas que quedaron en estos, secciones de tubo PVC de 10 cm de diámetro por 50 cm de alto con el objetivo de captar una muestra de los sedimentos en suspensión que transitarán por los sistemas lagunares, sobre todo durante la estación lluviosa (Fotos 3 y 4).



**Foto 3 y 4: Colocación de controles de sedimentación**

Con este mismo objetivo y para captar parte de los sedimentos de fondo que se movilizaron sobre la base topográfica de las lagunas, se insertaron al pie de las varillas, botes de PVC con tapón plástico, que propició la captura de materiales arrastrados por las corrientes y corresponden a la fracción de fondo.

### Proceso de Recolección de Muestras y Análisis de Escenarios Espaciales Particulares

El esquema metodológico en el cual se fundamenta este aspecto sobre el proceso de recolección de muestras y caracterización espacial a escala local, se ajustó a tres etapas previas:

#### Trabajo de campo:

Determinación de cambios y dinámica interna. Esto permitió la caracterización de los espacios que están sujetos a un proceso de sedimentación activo asociado al drenaje natural del área depresiva (laguna), canal principal del río y otros cursos o caños fluviales.

## **Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica**

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---

Se detalló la dinámica erosión y sedimentación de los sistemas depresionales, procediendo a establecer un criterio de muestreo preliminar, amparado en el tránsito o movimiento del agua tanto en llenado como en vaciado, que se gesta en los canales de entrada y salida de cada una de las lagunas o sistemas individualizados.

La caracterización de algunos sitios, se llevó a cabo con la recolección de información general sobre micro formas, vegetación y suelos, los cuales se favorecieron con la toma de imágenes fotográficas (fotografías a color y diapositivas), que permitieron la creación de un registro gráfico, que facilitó la interpretación de los procesos naturales.

### Recolección de muestras y procesamiento:

Esta actividad consistió en la obtención de muestras de formaciones superficiales, suelos, subsuelo y de los depósitos en tránsito tanto a nivel de lecho principal de los ríos, como en áreas ocupadas por las lagunas en época seca, sujetas a un registro de localización y clasificación por área cubierta.

Además, se realizó una caracterización de sitio asociada a la dinámica de sedimentación de sitios particulares, mediante la elaboración de calicatas y perfiles estratigráficos, donde se llevó a cabo una descripción de la tipología y disposición de los estratos sedimentológicos que se encontraron.

Igualmente, se procedió a la elaboración y construcción de secciones fijas, niveladas y localizadas por rumbos, para la confección de perfiles longitudinales de cauce, que buscaron determinar los posibles cambios morfológicos en los canales de entrada y salida de las lagunas (Foto 5).

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---



Foto 5: Identificación de canal de ingreso de agua a la laguna Las Camelias

Las muestras recolectadas de sedimentos, se procesaron en el Laboratorio de Geomorfología de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica. De acuerdo a las características de la muestra y el sitio de recolección, las muestras se sometieron a un período de secado a temperatura ambiente y se les aplicó el procedimiento de la Pipeta Robinson o Kolhn, para la determinación de los rangos texturales, que permitieron estimar los tamaños de las partículas sólidas y su concentración porcentual. Además, a algunas muestras se les determinó el contenido de materia orgánica total (% MO), aplicando el método húmedo y el método seco por incineración en estufa (Foto 6).

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---



**Foto 6: Identificación y preparación de muestras en laboratorio**

Cuando se trata de formaciones arenosas asociadas a depósitos en tránsito y material de arrastre por el fondo (Foto 7), se aplicó el análisis granulométrico con tamices ASTM, según las normas usuales del Centro de Geografía Aplicada de la Universidad de Estrasburgo, que permitió obtener las concentraciones porcentuales, por tamaño de grano y a su vez la configuración de la curva granulométrica, que facilitó la interpretación de los diferentes tipos de depositación que se generan.

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González



**Foto 7: Clasificación de arenas según su granulometría**

Considerando el trabajo de implementación metodológica en campo, se obtuvo un registro gráfico bastante completo que consta de más de 600 fotografías a color y en formato digital de diversos ambientes en las áreas de estudio, el proceso de recolección de muestras, cuenta con un total de 500 muestras recolectadas las cuales se procesaron en el laboratorio.

### Dinámica de sitios

Evaluación de cambios en ambientes y dinámica de sitios particulares, hidrodinámica y deposición de sedimentos

### Medición de Caudales, Transporte en Suspensión, Carga de Fondo y Colmatación de Depresión Lagunar

La medición de los procesos hidrodinámicos en los sistemas lagunares, se realizó posterior a una modelación preliminar, a nivel de discusión de grupo de trabajo, de los procesos presentes en las áreas de estudio y de las variaciones espacio temporales de esos procesos.

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

La cuantificación de los procesos de sedimentación en un sistema hidrológico del tipo "Flood Plaine and Back Swamps", exige de un conocimiento teórico y práctico de las modalidades del flujo, el transporte, la evacuación de sedimentos y los depósitos remanentes. En lo que se refiere a interferencias en el sistema, es también recomendable el conocimiento de los procesos culturales, patrones de uso del área e intervenciones humanas sobre las condiciones hidráulicas, que provocan modificaciones en el comportamiento habitual del sistema.

El problema de ingreso de sedimentos obligó a la ubicación de diez sitios de aforo, en las cuencas de estudio. En estos lugares se establecieron secciones húmedas para la obtención de los respectivos registros de caudales instantáneos y arrastre de fondo (Foto 7 y 8).



**Foto 7: Correntómetro *General Oceanics 2035* para determinación de velocidad de flujo superficial**

El sedimento acumulado al final de la llena anual y al pie de las miras permitió evaluar el total remanente, una vez los aportes sean recapturados por las corrientes de evacuación del espacio lagunar al término del ciclo anual de la inundación.

Los depósitos concentrados en los cilindros e inmovilizados hasta su tratamiento ofrecieron una tasa bruta de aportes por unidad de superficie. Por supuesto, las mediciones efectuadas correspondieron a un año hidrológico, es de esperar que el monitoreo previsto permitió

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---

aproximar los cálculos a un año promedio, lo cual permitió afinar las estimaciones correspondientes a un año cuya representatividad en una serie de tiempo es muy aleatoria.



**Foto 8: Determinación de caudal en sección de aforo Río Guacalito**

- Dispositivos de medición de caudales
- Dispositivos de medición de sedimento suspendido (Foto 9)



**Foto 9: Extracción de material contenido en los botes de sedimento suspendido**

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---

- Dispositivos de medición de sedimento de carga de fondo
- Determinación de depósitos de arenas



**Foto 10: Secado de muestras de sedimentos**

## **Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica**

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---

### Mapeo de la sedimentación

#### Un repaso necesario: El proceso de Sedimentación

La sedimentación es el proceso de acumulación de materiales después de haber sido erosionados y transportados. Es el último proceso de la morfogénesis o formación de formas del relieve.

Las características de los depósitos dependen de la naturaleza del agente de transporte. En el caso de los ríos, mares o viento, el material se deposita cuando el movimiento en el medio se reduce por debajo de la velocidad de deposición de la carga. En el caso del hielo la deposición se produce cuando encuentra un obstáculo o cuando la masa de hielo alcanza su máxima extensión espacial.

En geomorfología consideramos dos tipos de sedimentación en virtud de las características de los materiales que se depositan la sedimentación continental y la sedimentación marina.

Los sedimentos continentales se caracterizan por ser gruesos y angulosos, producto de la acción del agua, como principal agente de erosión y transporte de materiales. La fragmentación y la pérdida de ángulos depende la cantidad de golpes que recibe el fragmento, y este es menor en un medio continental que en un medio marino. Los procesos morfogenéticos que depositan derrubios continentales son: glacial, fluvial, eólica y lacustre.

Los sedimentos marinos se caracterizan por ser más finos y redondeados, producto de continuo golpeo entre los fragmentos, particularmente en las zonas del litoral. Distinguimos los procesos: litoral, nerítico, batial y abisal.

Por otra parte los sedimentos pueden depositarse de manera concordante, en el mismo sentido o discordante, en diferente sentido, con las estructuras a las que cubre. Sin embargo, en el medio tropical es común la depositación de materiales de manera caótica, ósea, de manera desordenada influenciada por la acción de torrentes o corrientes fluviales o marinas.

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

---

### 4.3 Descripción del fenómeno de Sedimentación

El fenómeno de la sedimentación está basado en el movimiento browniano en un campo de fuerzas externo (campo gravitatorio), y está descrito desde el punto de vista macroscópico por la ecuación de Smoluchowski, que es semejante a la que describe el fenómeno de la difusión.

Descrito a partir de la ecuación:

$$\lambda \frac{\partial n}{\partial x} + D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = \frac{\partial n}{\partial t}$$

Donde  $n$  es la concentración de partículas de soluto en un punto  $x$  del medio, en un instante  $t$  determinado,  $D$  es el coeficiente de difusión, y  $\lambda$  se denomina velocidad de arrastre.

En este modelo, se supone que las partículas tenderán una distribución uniforme en un medio  $x$ , movilizadas a partir de la dinámica de un agente a una cierta velocidad, definiendo una orientación predominante según el medio y la energía cinética del agente, en una relación proporcional a su propio peso y a los choques con las demás partículas.

El fenómeno de sedimentación, necesariamente establecerá la masa de las partículas (tomando como unidad la masa de las partículas), la velocidad (media) de las partículas que estará en relación con la temperatura del medio, y la intensidad de la fuerza externa aplicada sobre las partículas.

La distribución de partículas se ajustará a diferentes estados según la energía y velocidad de un flujo, destacando el estado estacionario afectado directamente por campo gravitatorio que tiende a agrupar las partículas en el fondo del medio y el estado por difusión que tiende a un esparcimiento de las partículas uniformemente o no por todo el volumen del medio propicio para la sedimentación.

### 4.4 El movimiento browniano

Una partícula suficientemente pequeña como un grano de polen, inmersa en un líquido, presenta un movimiento aleatorio, observado primeramente por el botánico Brown en el siglo pasado.

## **Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica**

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---

El movimiento browniano pone de manifiesto las fluctuaciones estadísticas que ocurren en un sistema en equilibrio térmico. Tienen interés práctico, por que las fluctuaciones explican el denominado "ruido" que impone limitaciones a la exactitud de las medidas físicas delicadas.

El movimiento browniano puede explicarse a escala molecular por una serie de colisiones en una dimensión en la cual, pequeñas partículas (moléculas) experimentan choques con una partícula mayor

### **4.5 Tasas de Sedimentación**

Asociado al proceso que implica la formación de estratos en una superficie, la tasa de sedimentación, se relaciona al proceso que implica la velocidad ( tasa de sedimentación) en el cual un conjunto de partículas diferenciales dispuestas obre un agente de transporte tienden a disponerse de manera horizontal sobre una superficie.

La misma se interpreta a partir del tiempo durante el cual se valora el proceso de erosión - deposición; en cuanto dicho proceso se detenga no podemos hablar de velocidad de sedimentación, por lo que sólo puede aplicarse a la génesis de un estrato.

La velocidad de sedimentación suele calcularse en la procesos actuales, pues, al no poderse datar con precisión un estrato no puede hacerse fácilmente en materiales antiguos. Aquí es donde entra en juego el actualismo, es decir, la teoría según la cual los procesos actuales ocurren al mismo ritmo que los antiguos.

La medida de las tasas de sedimentación se hace por, observación directa o mediante la utilización de métodos radiométricos, en los cuales se incluyen las respectivas medidas de espesores de láminas sedimentarias por procesos de duración conocida, aplicando en su efecto modelos matemáticos con los que se usan distintos parámetros y extrapolaciones a unidades espaciales conocidas.

La tasa de sedimentación establece además la denominada relación superficial, confrontado las relaciones cuenca drenada/cuenca sedimentada, incluyendo valores en términos sector alta y tiempo de relleno. Es valido incluir valoraciones de forma y relieve de la cuenca drenada, buscando su relación con el factor de erosionabilidad del área de drenaje.

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

---

Para los casos de estudio, la ubicación de las redes de controles fijos permitió durante un ciclo hidrológico, determinar la tipología y distribución del sedimento que llega a las lagunas de Caño Negro y la laguna Las Camelias (Fig. 9).

Además para calcular la altura en el campo de sedimentos saturados o secos, a partir de los controles fijos (varillas) se realizó una relación entre el volumen de los sedimentos recuperados en el laboratorio y el volumen que estos tienen en los dispositivos que fueron colocados para su captura, volumen que corresponde a una altura definida en el tubo de muestreo.

Como ejemplo, se supone que los sedimentos fueron recuperados en un recipiente que tiene 30 centímetros de largo por 20 centímetros de ancho y 10 de altura o fondo. Si el recipiente se llenara hasta la mitad, el volumen de los sedimentos se resolvería calculando el volumen de un prisma rectangular: Largo X ancho X altura o fondo = 30 cm X 20 cm X 5 cm = 3000 cm<sup>3</sup> de material saturado o seco.

Estos dos valores determinaron el total de masa saturada que queda sobre el suelo al retirarse las aguas de las lagunas, mientras que el seco sería la superficie de sólidos que se agrega al relieve original o área de sedimentación.

Para distribuir adecuadamente ese volumen o peso final entre la superficie, se refieren los resultados a la superficie de captura original. La de una boca circular que tiene 11 centímetros de diámetro, o sea, una superficie igual a  $r^2$ , o sea,  $3.14 \times 5.5 \times 5.5 = 94.985 \text{ cm}^2$

Como se quiere referir a una relación de volumen, se toma esa superficie circular y la multiplicamos por un centímetro, que sería la altura básica de un tronco de cilindro que tiene una superficie de 94.985 cm<sup>2</sup> y una altura de de 1 centímetro, lo que da un volumen de 94.985 cm<sup>3</sup>, para ese tronco de cilindro.

Si se divide el volumen obtenido inicialmente de 3000 cm<sup>3</sup> de material saturado o seco, entre la razón o constante anterior 94.985 cm<sup>3</sup>, tenemos que la altura del sedimento en el recipiente de campo es de 3000 cm<sup>3</sup> dividido entre 94.985 cm<sup>3</sup>= 31.584 cm que corresponde a la altura original del sedimento en el tubo colocado en el campo.

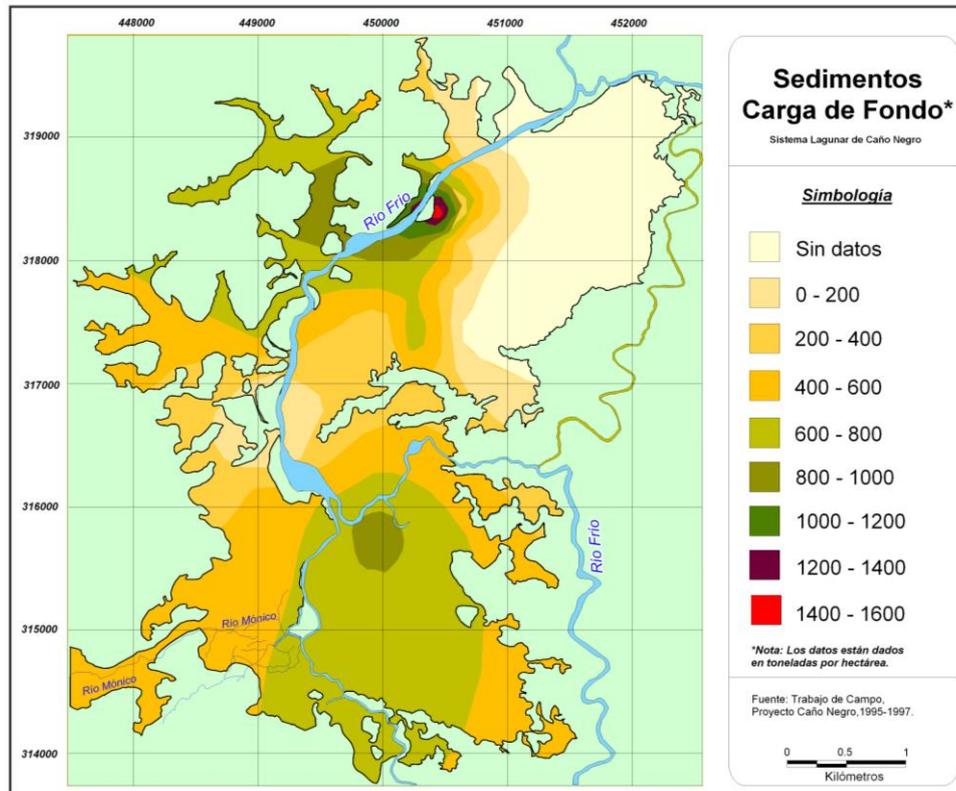
Este resultado se convierte en la tasa vertical bruta de colmatación de un sitio determinado. Si se trata de altura de sedimento saturado y neto, si el volumen es de suelo seco. Cuando se calcula la relación peso por volumen del sedimento seco se estima la tasa neta de sedimentación por hectárea. A partir de estos cálculos y realizando un proceso de interpolación

## Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González

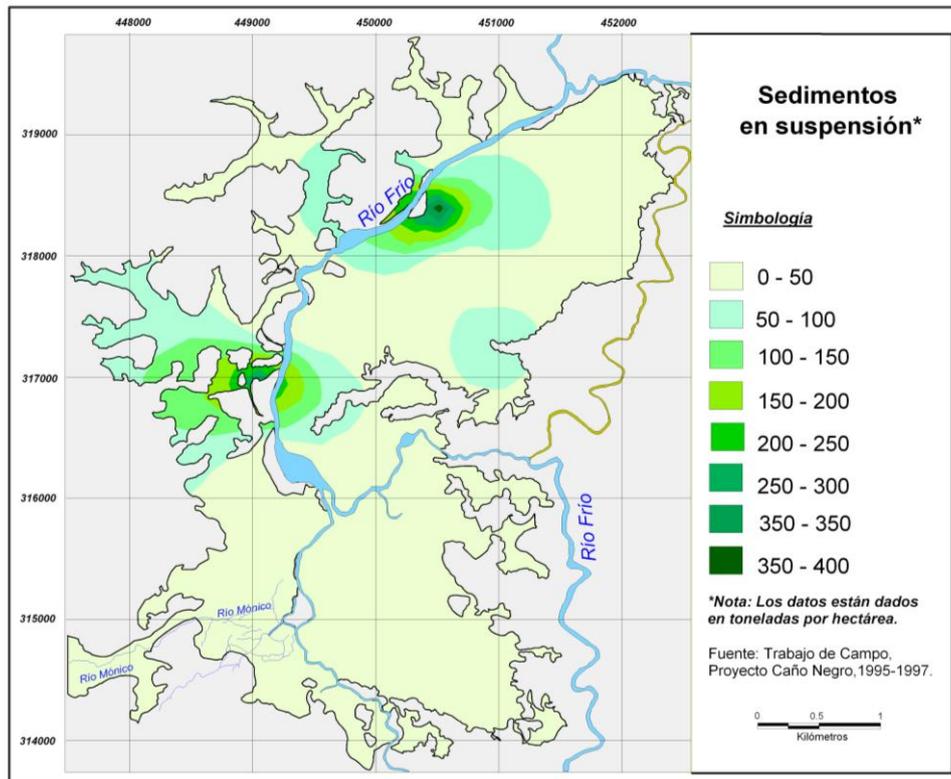
espacial por medio del método kriging, se pudieron establecer los mapas de sedimentos de fondo, suspensión y texturas de los sistemas lagunares de Caño Negro y Las Camelias.

### Sistema lagunar de Caño Negro



# Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica

Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González



## Bibliografía

- AGUILAR, G. 1996. **Guía de procedimientos para el manejo de humedales en Costa Rica.** Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, San José, Costa Rica.
- AMIGOS DE LA TIERRA, 2000, **Tercer informe provisional: Proyecto Conservación del Bosque Tropical Húmedo y Humedales en la Cuenca del río San Juan. Nicaragua/Costa Rica,** abril, San José, Costa Rica.
- ARCE FLORES, E Y OTROS, 2002; **Informe: Aproximación Valorativa Cuenca del Río Guacalito, Upala, Costa Rica,** Estudiantes del curso: Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas y Ambientes Marino Costeros II-02, Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica.
- BARBIER, E. 1993. **Sustainable use of wetlands Valuing tropical wetland benefits: economic methodologies and applications.** En: *The Geographical Journal.* Vol: 159, N° 1, March, 1993, 22-32.
- BRADSHAW. A.D, 1995; **Underlying Principles of Restoration,** Department of Environmental and Evolutionary Biology, University of Liverpool, U.K.
- BRENES, G.; et. al. 1995. **Informe de la primera etapa del proyecto: "Procesos hidrodinámicos de sedimentación en el sistema lagunar de Caño Negro".** Departamento de Geografía. Universidad de Costa Rica; Fondo de Desarrollo Forestal, Convenio Costa Rica - Holanda.

## **Procesos hidrodinámicos de sedimentación en sistemas lagunares continentales en la zona norte de Costa Rica**

*Francisco J. Solano Mata, Denis M. Salas González*

---

- BRENES, G y SOLANO, F. 1998. **II Informe: Proyecto “Procesos hidrodinámicos de sedimentación en el sistema lagunar Caño Negro”**. Programa de Investigaciones Geográficas (PROIGE), Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Fondo de Desarrollo Forestal, Convenio Costa Rica - Holanda.
- BRENES, G y SOLANO, F. 2000. **Informe Final: Proyecto “Procesos hidrodinámicos de sedimentación en el sistema lagunar Caño Negro”**. Programa de Investigaciones Geográficas (PROIGE), Escuela de Geografía, Universidad de Costa Rica, Fondo de Desarrollo Forestal, Convenio Costa Rica - Holanda.
- CAMPOS, Y. 1997. **Caño Negro: Entre el encanto natural y la realidad social, una experiencia de vida cotidiana desde la perspectiva de los pobladores**. Asociación Ecologista Costarricense - Amigos de la Tierra. San José, Costa Rica.
- CASTILLO, R. y RODRÍGUEZ, E. 1993. **Perfil de una estrategia de conservación y desarrollo sostenible de los Llanos de Caño Negro**. Departamento de Geografía, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- FALLAS SANDI, E. Y OTROS, 2002; **Informe de Trabajo Grupal sobre el Humedal Las Camelias**, Curso Hidrodinámica y Manejo de Cuencas Hidrográficas, Porf. Luis Guillermo Brenes, Maestría Centroamericana en Geografía, Universidad de Costa Rica.
- GONZÁLEZ, M. y GARCÍA, D, 1995, **Restauración de ríos y riberas**, E.T.S. Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid, Edita, Fundación del Conte del Valle de Salazar, Madrid, España.
- HELWEG, O. 1992. **Recursos hidráulicos: Planeación y administración**. Editorial Limusa, Grupo Noriega, México.
- INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. 1995. **Archivo de estaciones meteorológicas y fluviográficas**. Departamento de Estudios Básicos, Oficina de Hidrología. San José, Costa Rica.
- INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1986. **Hojas topográficas San Carlos - Liberia, 1:200 000**. San José - Costa Rica.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL. 1996. Descripción del clima de Upala. Ministerio del Ambiente y Emergía. Costa Rica.
- LA NACIÓN, 1999, **Artículo: Humedales en Riesgo**, martes 11 de mayo de 1999, San José, Costa Rica
- SANDNER, G. 1965. **Estudio espacial de la zona norte de Costa Rica**. Instituto de Tierras y Colonización (ITCO). San José, Costa Rica
- SANDOVAL, M, F. 1971. **Reconocimiento geológico de la región de Upala**. Dirección de Geología Minas y Petróleo. Dirección de Geología Minas y Petróleo. Ministerio de Industria y Comercio
- TABILDO-VALDIVIESO, E. 1997. **El beneficio de los humedales en América Central: el potencial de los humedales para el desarrollo**. Programa Regional de Manejo en Vida Silvestre para Mesoamérica y el Caribe, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.