

## ANÁLISIS DE MEANDROS EN EL RÍO SINÚ

Alvaro López-Ramos<sup>1</sup>, Luisa Martínez Acosta<sup>1,2</sup> y Alvaro López-Lambraño<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Pontificia Bolivariana, campus Montería, Colombia.

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, unidad Ensenada, B.C., México.

<sup>3</sup>HIDRUS S.A. de C.V. Querétaro, México.

E-mail: alopezl@hotmail.com, ingluisamartinez@gmail.com, altoti@gmail.com

### Introducción

Las condiciones de cambio climático presentes a nivel mundial han generado consecuencias a nivel de los recursos naturales, entre los cuales se encuentra el hídrico. El recurso hídrico superficial representado en ríos, arroyos, lagos, entre otros, se ha visto sometido a cambios por las variaciones en el régimen de las precipitaciones debidas al cambio climático. En zonas tropicales como Colombia, estas variaciones han generado temporadas de intensa sequía y otras de lluvias abundantes con las consecuentes inundaciones. La cuenca del río Sinú no ha sido ajena a esta problemática, razón por la cual se hace necesario desarrollar un estudio morfológico del mismo con el fin de establecer las variaciones del cauce a causa de las inundaciones, en diferentes periodos de tiempo mediante el uso de imágenes satelitales.

### Metodología

El área de estudio es la cuenca del río Sinú, ubicada en Córdoba, Colombia, entre las coordenadas 8°58'50.24" latitud norte, 75°50'12.72" longitud oeste y 9°14'34.95" latitud norte, 75°52'49.59" longitud oeste. La longitud total del tramo es de aproximadamente 45 Km, se extiende desde el corregimiento de Carrillo (San Pelayo), hasta el municipio de Lorica ubicados en Córdoba, en cuyo recorrido irriga 15 asentamientos poblacionales de los municipios de San Pelayo y Lorica.

Para conocer la morfología del cauce del río Sinú, se realiza un análisis multitemporal en la zona de estudio para un periodo de 31 años, utilizando imágenes satelitales Landsat TM 04, Landsat TM 05 y Landsat TM 08.

La selección de las imágenes satelitales se realizó de acuerdo a: i) la fecha de origen, es decir, en la misma época del año; y ii) nubosidad, que estuviera ausente en los tramos de interés.

Una vez obtenidas las imágenes satelitales, se realzaron las coberturas para identificar el cuerpo de agua, combinando las bandas espectrales de tal manera que se obtenga un falso color (urbano), que permite la mejor visualización del río.

Luego se procedió a utilizar la herramienta ArcMap del software ArcGis 10.1, y se digitalizó el cauce del río para cada año de información (1986, 1990, 1991, 1992, 1998, 2001, 2015, 2016 y 2017), posteriormente, se realizó el análisis de sinuosidad teniendo en cuenta la longitud del valle de inundación,  $L_v$  y de Thalweg,  $L_c$  (línea central de la corriente en la cual el cauce es más profundo y el flujo posee una mayor). La sinuosidad fue calculada con la ecuación 1 (Yousefi et al, 2016).

$$S = \frac{L_c}{L_v} \quad [1]$$

Digitalizado el cauce, se realizó el abscisado cada 5 kilómetros, cuya distancia se fue modificando teniendo en cuenta los cambios de dirección del cauce.

El análisis multitemporal del cauce se realizó superponiendo el río digitalizado en cada año y comparando las características morfológicas de la zona de estudio en periodos de dos años.

También se trazaron los márgenes de cada curso del río en los diferentes años, y calculó el eje del cauce, que representara el comportamiento del río empleando la herramienta Channel Platform Statistics tools, desarrollada por el Centro Nacional para la Dinámica de la Superficie de la Tierra, de la Universidad de Minnesota. El desplazamiento de los meandros se calculó empleando la metodología de Lagasse et al. (2004), donde se traza una circunferencia ceñida a la orilla hundida de cada meandro en cada curso del río para los años de estudio. Posteriormente, se ubican los centroides de cada circunferencia con ArcMap, facilitando la medición de la distancia entre centroides de diferentes periodos y su orientación geográfica. Luego de cuantificado el movimiento de los meandros y su dirección, se grafican los desplazamientos de cada meandro durante los años en estudio, con el fin de analizar la variación del movimiento para cada uno. También se calculó el radio de curvatura de cada circunferencia, el cual permite analizar si el meandro aumenta o disminuye en cada año de registro. En el tramo estudiado se encontraron veinticuatro (24) meandros con mayor pronunciación con respecto al eje del río.

El área movilizada se visualiza al superponer dos trazados del cauce natural del río de los años escogidos dentro de los periodos de estudio, y se midió el área movilizada entre la orilla del cauce del río en el año inicial y la misma orilla del año final, esta metodología corresponde a la utilizada por Downward et al. (1994). Igualmente, se analizó el área activa, obtenida superponiendo los dos trazados del río en dos años consecutivos, el área entre los dos trazados es el área activa, y permite conocer el aumento o disminución de la superficie en la cual el río presenta cambios en la longitud de tiempo estudiada. Se analizó también la sección transversal según lo propuesto por Ochoa (2011), se comparan las secciones transversales y caudales de cuatro (4) periodos de tiempo, considerando los datos de las estaciones hidrométricas proporcionados por la empresa hidroeléctrica URRÁ S.A. E.S.P.

### Resultados y discusiones

La elevación del recorrido del tramo del río Sinú se obtuvo con el Modelo Digital de Elevación (MDE), y en este tramo el río experimenta una disminución de la pendiente y se adentra en un valle casi plano con una pendiente obtenida es de 0,02%, con un aumento de caudal lo cual aumenta la probabilidad de inundaciones debidas a las fuertes lluvias de la zona.

Con la información obtenida a partir de la digitalización de las imágenes satelitales, se calcularon la longitud del valle y Thalweg, así como la sinuosidad para los años mostrados en la tabla 1.

Tabla 1.- Valores de  $L_v$ ,  $L_c$  y sinuosidad.

Año	1992	1998	2001	2015	2016	2017
$L_v$ (km)	34,33	34,33	34,31	34,32	34,33	34,31
$L_c$ (km)	46,69	46,83	46,70	46,89	46,54	46,70
Sinuosidad	1,36	1,364	1,36	1,37	1,36	1,36

El valor de la sinuosidad se encuentra entre 1.3 y 1.4; dentro de

la clasificación de sinuosidad, si el valor es superior a 1,25, se clasifica el río Sinú como meándrico (Suárez Díaz, 2001).

Se determinó la tasa migración en (m/año) del río Sinú en el tramo de estudio, valores consignados en la tabla 2, donde se establece que existe una variabilidad de esta tasa a largo del río.

**Tabla 2.-** Valores de migración promedio en el tramo estudiado.

Periodo [Año]	Migración Promedio [m/año]	Tendencia
1986-1990	2,24	Creciente
1990-1991	5,01	Creciente
1991-1992	7,09	Decreciente
1992-1998	1,37	Creciente
1998-2001	2,37	Decreciente
2001-2015	0,60	Creciente
2015-2016	5,57	Decreciente
2016-2017	5,55	Decreciente

En cada meandro se calculó su dinámica, orientación, y los periodos en los cuales se presentó mayor o menor movimiento estableciéndose que el desplazamiento del meandro es variable. Lo anterior como resultado de la acción erosiva y sedimentaria en los márgenes, así como las constantes inundaciones y sequías debidas al cambio en la frecuencia de las precipitaciones, consecuencia del cambio climático.

**Tabla 3.-** Radio de curvatura para los meandros 1, 2, 3 y 4.

Año	Radios de curvatura [m]			
	Meandro 1	Meandro 2	Meandro 3	Meandro 4
1986	228	457	397	460
1990	250	389	384	450
1991	247	365	401	430
1992	252	390	440	443
1998	217	441	422	431
2001	236	442	347	451
2015	233	379	372	463
2016	231	410	394	453
2017	216	427	469	447

Se midieron los radios de curvatura en cada meandro y en la tabla 3 presentan el aumento o disminución de la longitud y amplitud del meandro en 3 de los 24 meandros estudiados. La variación de radio, indica que si éste disminuye el meandro tiende al encuentro en el cuello hasta llegar al corte, por el contrario, si el radio aumenta éste se dispone a desaparecer convirtiéndose recto.

En el cálculo de las áreas movilizadas, se determinó el proceso de erosión y sedimentación del río a lo largo de los 9 tramos en los cuales se dividió el tramo para su estudio. Se realizó con los periodos de tiempo para los cuales se tienen imágenes satelitales (1986-1990, 1990-1991, 1991-1992, 1992-1998, 1998-2001, 2001-2015 y 2015-2016), encontrándose que para el período 2001 a 2015, se presentó actividad erosiva y de sedimentación. Lo anterior puede ser ocasionado por efecto de la acción antrópica, en donde de acuerdo con recorrido realizado, hay presencia de minería ilegal para la extracción de materiales pétreos del cauce del río Sinú, a la altura de Lorica, cerca del último tramo. Posteriormente, se hizo el análisis de sección

transversal y de caudales en las estaciones La Palma y Cotocá Abajo, ubicadas en el abscisado Km 31+340 y 37+140 respectivamente. Se analizaron para los periodos 2000-2004, 2004-2008, 2008-2012 y 2012-2016, encontrándose en las dos estaciones efectos de sedimentación y erosión en todos los tramos estudiados, ratificando lo encontrado en las áreas movilizadas, donde se evidencia una mayor erosión que sedimentación. Con relación al caudal medio del río, los resultados obtenidos muestran que éste permanece en constante variación con un gasto que va desde 350 hasta 500 m<sup>3</sup>/s en los años analizados.

## Conclusiones

El tramo del río Sinú estudiado se mantiene inestable teniendo en cuenta los cambios morfológicos que se producen a partir de aportes a corto, mediano y largo plazo de caudal líquido impuestos por el cambio ambiental y en el régimen de las precipitaciones en la zona.

Por otro lado, las tasas de migración tuvieron comportamientos crecientes y decrecientes, pero no evidenciaron una continuidad de un periodo a otro, concluyéndose que el cauce en estudio tiende a sufrir variaciones laterales producto de la inestabilidad dinámica y en constante desplazamiento lateral. Las posibles causas de tales alteraciones pueden ser aumento de erosión, transporte de sedimentos, intervención antrópica, contaminación y cambio climático.

En el análisis de los 24 meandros, es posible afirmar que estos no tienen un definido un patrón de desplazamiento debido a que todos sin excepción presentaron en los 8 periodos del estudio, movimientos como longitudes de traslación, radio de curvatura, longitud de onda, amplitud, ancho y dirección. Se concluye que tal comportamiento corre por ser la zona donde más se presenta erosión y sedimentación, teniendo en cuenta la naturaleza de un cauce meándrico propenso a presentar este tipo de cambio.

Los resultados de la superposición de secciones transversales de y la comparación de los caudales medios anuales exhiben el comportamiento variable del afluente debido a la fluctuación en el caudal de los distintos meses. En las orillas se generaron procesos erosivos y sedimentarios que mantienen las zonas en equilibrio vertical.

Finalmente, se demostró que el lecho del río tiene capacidad de autoajuste, es decir, de acuerdo con la naturaleza aluvial puede crecer o disminuir la sección transversal, a partir de la variabilidad del caudal.

## Referencias bibliográficas

- Downward, S.R., Curnell, A.M. and Brookes, A. (1994). "A methodology for quantifying river channel planform change using GIS". *IASH*, No 224, December 1994, pp. 449-456
- Lagasse, P.F., Spitz, W.J., Zevenbergen, L.W., Zochmann, D.W. and Owen Ayres & Associates Inc. (2004). *Handbook for predicting stream meander migration – NCHRP report 533*, Washington D.C:
- Ochoa Rubio, T. (2011). *Hidráulica de ríos y procesos morfológicos*. Ecoe ediciones, Bogotá D.C.
- Suárez Díaz, J. (2001). *Control de erosiones en zonas tropicales*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga
- Yousefi, S., Reza Pourghasemi, H., Hooke, J., Navratil, O. and Kidová, A. (2016). "Changes in morphometric meander parameters identified on the Karoon river, Iran, using remote sensing data". *Geomorphology*, No 271, July 2016, pp. 55-64.