

# Análisis morfométrico de islas en la cuenca baja del río Magdalena (Colombia).

## *Morphometric analysis of fluvial islands in the lower basin of the Magdalena river (Colombia)*

(Recepción 30/03/2022; Aceptación 27/12/2022)

Pachón, L.<sup>1</sup>; Morales, J.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental  
Universidad del Norte

Teléfono: 3023661216

E-mail: pitalual@uninorte.edu.co

E-mail: moralesjf@uninorte.edu.co

**Resumen.** En el presente trabajo de investigación se analizó la variación del área en planta de las Islas Cábica y Rondón ubicadas en el río Magdalena a la altura del departamento del Atlántico. La variación geométrica de estos cuerpos podría representar afectaciones en la navegabilidad del río Magdalena y en las cimentaciones del Puente Laureano Gómez. Es por ello por lo que, en esta investigación, se evalúa la relación pertinente entre el caudal transportado por el río y la erosión superficial presentada en las islas en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2019, con el fin de predecir posibles eventos de riesgo.

**Palabras clave.** Erosión; Variación del área; Morfología de Isla; Navegabilidad.

**Abstract.** In the present research work, the variation of the area of the Cabica and Rondon Islands located in the Magdalena River at the height of the Atlantic department was analyzed. The geometric variation of these islands represents effects on the navigability of the river Magdalena and on the foundation of a nearby construction. The relevant relationship between the flow carried by the river and the erosion presented by the islands in the period between 2000 and 2019 is evaluated to predict possible risk events

**Keywords.** Erosion; Surface variation; Island Morphology; Formative flow.

## 1. Introducción

La caracterización de los procesos de erosión y sedimentación fluvial es fundamental en el área de ingeniería hidráulica (Nobel, J & Van Rhee, C. 2017). Conocer los parámetros y variables que involucran ambos efectos requiere de datos correspondientes a la morfología y las condiciones hidrodinámicas. Para este caso, la mejor manera de analizar las características erosivas requiere de información in situ (Maa, P. 2008) con los cuales se evalúa en condiciones vigentes los estados y las posibles causas de afectación. Desde el punto de vista de la caracterización fluvial, se ha avanzado en la última década a gran velocidad, en parte, por la masificación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) como Google Earth Engine (GEE). Con ellos se permite mediante catálogos de imágenes satelitales, percibir y cuantificar los cambios que pueda tener un área específica en una ventana de tiempo determinada, con el objetivo de caracterizar la variabilidad y posteriormente, poder asociarla a factores ambientales e hidrológicos. Para este trabajo esta fue la herramienta utilizada en los análisis que posteriormente se presentarán.

El 80 % del PIB de Colombia proviene del aprovechamiento del río Magdalena, el cual se establece como la mejor alternativa de transporte en

aras del multimodalismo (Ministerio de Transporte de Colombia, 2017). El puente Laureano Gómez, ubicado en las inmediaciones de la isla Rondón (ver Figura 1), pese a ser una de las grandes obras de infraestructura vial, su gálibo de navegación (16m) no permite el paso de barcos de mayor altura (Otero, A. 2011).

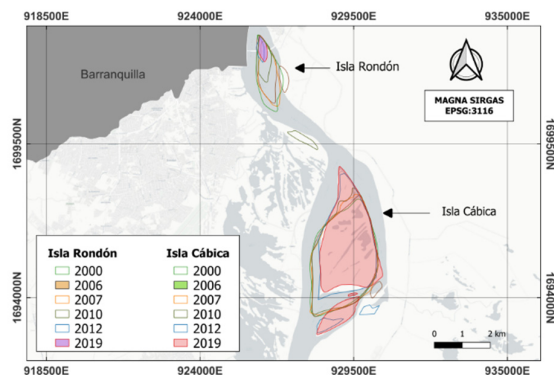


Figura 1: Localización y evolución Islas Rondón y Cábica (2000-2019)

Debido a esto, se construye el puente Pumarejo en la misma locación, cuyas dimensiones permiten mejor navegabilidad y transporte. Sin embargo, su ubicación y dada la variabilidad de la superficie de las islas generan, a su vez, variaciones en el flujo del

río. Problemas como la socavación general dadas las posibles crecientes y aumentos de velocidad (Díaz, H. 2010), así como socavación local debido a la forma de las bases de las pilas, se presentan como una de las preocupaciones en cuanto a la estructura y su interacción con la hidrodinámica del río.

## 2. Metodología

### 2.1. Análisis de hidrogramas

Para el componente hidrológico, fueron usados datos del nivel del río Magdalena proporcionados por el IDEAM, provenientes de la estación de Calamar dado que este es la más cercana a ambas islas, dichos datos fueron procesados utilizando un algoritmo de origen propio programado en Python, usando herramientas como Google Colab, obteniendo finalmente un gráfico con los niveles de excedencia (ver Figura 2).

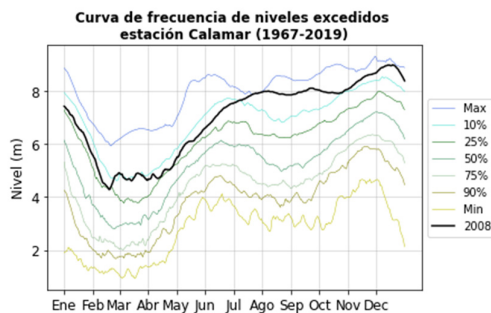


Figura 2. Curva de frecuencia de niveles excedidos estación Calamar.

Gran parte de los ríos tienen un cauce principal definido y unas llanuras de inundación adyacentes a sus orillas, el caudal que llena el cauce por completo es especialmente importante para la geometría del río, dicho caudal se define como caudal formativo y es el encargado de dar forma al cauce principal y a las orillas, entre tanto, cuando el caudal que transita por el río desborda el cauce principal e inunda las llanuras depositando sedimentos en estas logrando de esta manera que las llanuras crezcan poco a poco haciendo menos frecuentes las inundaciones, teniendo esto en cuenta, el caudal que llena al máximo el cauce principal modela su geometría por medio de la velocidad a la que transita, por tanto, el caudal formativo es responsable de la geometría hidráulica.

Según Gómez, J et al. (2021) un gráfico de niveles de excedencia facilita la tarea de encontrar un caudal formativo del cauce en estudio teniendo en cuenta que la geometría del cauce es permanente debido a que ciertas magnitudes de caudales se repiten con frecuencia (Martín, J. 2000), según Vilaseca, F (2019) el caudal formativo se debe hallar usando un periodo de retorno comprendido entre 1 y 2.5 años, para este artículo se utilizó un periodo de retorno con un valor de 1.4 años siguiendo la recomendación del segundo capítulo del libro de Vide, J. (2009) esto se

hace con el fin de hallar el número de días que superan el valor de dicho caudal formativo.

### 2.2. Análisis en sistemas de información geográfica

Para el análisis morfométrico ejecutado durante esta investigación que tiene como sectores de estudio las islas Rondón y Cábica se usó el sistema de información geográfica QGIS y la plataforma Google Earth Engine (GEE) y datos provenientes del Observatorio del Río Magdalena de la Universidad del Norte en su [plataforma digital](#).

Mediante el uso de la información disponible en GEE con respecto a las imágenes multitemporales de Landsat 5, 7 y 8 se construyó una base de datos con la forma en planta de estas islas y el cauce activo. El flujo de trabajo para la clasificación y posterior poligonización de la información se realizó siguiendo la metodología propuesta por Zou, C et al (2018) de forma resumida fue el siguiente:

- 1) Composición temporal anual (para los meses secos entre febrero y mayo) con cobertura de nubes menor al 40% y posterior reducción de la colección de imágenes mediante el uso de la mediana.
- 2) Clasificación de cauce activo siguiendo criterio de índice de agua de diferencia normalizada  $> -0.4$  e índice de vegetación de diferencia normalizada  $> 0.2$
- 3) Poligonización, limpieza manual y exporte del archivo final.

En la Figura 3 se puede observar la variación y pérdida de área de la isla Cábica y la isla Rondón a través de los años, en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2019, además de la variación neta de las áreas superficiales de ambas islas fluviales.

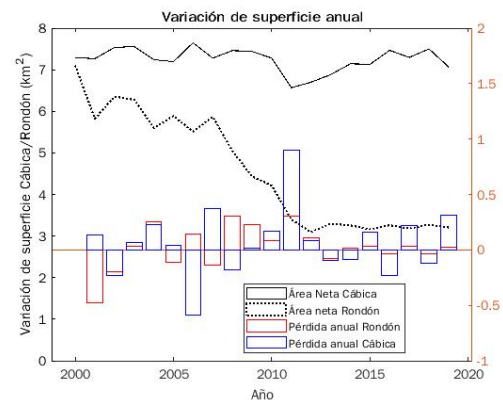


Figura 3. Variación de áreas de las islas Cábica y Rondón (2000-2019)

Cabe resaltar el comportamiento relativamente estable de las áreas anuales de la isla Cábica con un valor máximo en el año 2006 de 7.647 km<sup>2</sup> y un valor mínimo de 6.567 km<sup>2</sup> registrado en el año 2011. Entre tanto la isla Rondón mostró una tendencia a la disminución desde el año 2007 en el cual su área fue de 1.2 km<sup>2</sup>, encontrando un área estable después del

año 2010 con un valor promedio de 0.213 km<sup>2</sup>. Del mismo modo se subraya que, a pesar de su cercanía geográfica y similitud de condiciones hidrológicas, la isla Rondón (la única con presencia de infraestructura en su área), es la que comparativamente ha presentado una erosión marcada con una tendencia pronunciada luego del año mencionado previamente con influencia del fenómeno de La Niña.

### 3. Resultados y discusión.

Para el análisis de superficie de ambas islas se tiene en cuenta el número de días por encima de un caudal formativo ya establecido y la variación del área respecto al tiempo en el período 2000-2019 haciendo uso de una regresión polinomial de grado dos (2) ejecutada en el software estadístico Statgraphics. Se observa en la Figura 4 el modelo ajustado para la isla Rondón con las bandas de confianza (verde) y de predicción (amarillo) con un 95 % de nivel de confianza.

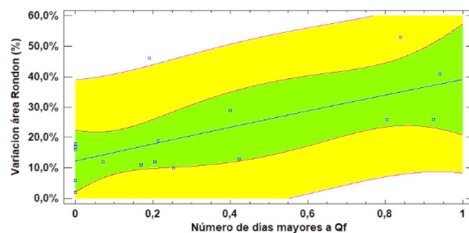


Figura 4: Modelo ajustado Isla Rondón

En el caso de Isla Rondón se presenta un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) ajustado de 34.54 % para variaciones absolutas porcentuales por año, dicha correlación corresponde a un valor estadísticamente significativo según el valor-P de la prueba del análisis de varianza. Para este caso se cuenta con un valor de 0.0202 con un nivel de confianza del 95 %. En cuanto a las correlaciones con la variación de la segunda isla de análisis (Cábica) no se encontraron valores de significancia dada la heterogeneidad de los datos respecto a cualquier regresor polinomial y únicamente utilizando la variabilidad independiente mencionada. Esto, probablemente, consecuencia de la leve alteración de superficie en el periodo de análisis.

### 4. Conclusiones

Tras el análisis, se pudo concluir que para las islas Cábica y Rondón, desde el punto de vista morfológico ha habido reducciones en su área superficial comparada con las áreas registradas en los primeros años de la década de los 2000. El fenómeno de La Niña ocurrido en la temporada de lluvias de los años 2010 y 2011 en territorio colombiano se hace evidente con las disminuciones de área superficial más pronunciadas en los años inmediatamente posteriores para ambas islas, especialmente para la isla Rondón la cual continuó con la tasa erosiva prolongada de su área hasta el año 2013, año desde el cual no han surgido mayores cambios de tasa similar en el área de esta isla.

Para la isla Cábica se concluye que no hay relaciones significativas respecto al comportamiento hidrodinámico y una tasa acelerada de decrecimiento de superficie. Por su parte, la isla Rondón presenta correlaciones con el número de días respecto al caudal formativo de 9050 m<sup>3</sup>/s evaluado con un periodo de retorno de 1.4 años. Esta relación representa posibles reducciones críticas en caso de periodos con altos volúmenes de flujo en el río.

### Referencias

- Díaz, H. (2010). *Hidráulica Fluvial. Fundamentos y aplicaciones*. Socavación. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Gómez, J., Ávila, H. & R, G. R. (2021). Hydrometeorological Data-Based Methodology for Navigability Risk Analysis at Waterways: Case Study for Magdalena River. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 147(5), 05021011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WW.1943-5460.0000665](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000665)
- Google. (s.f.). *Google Earth Engine*. Obtenido de <https://earthengine.google.com/>
- Maa, P. J. (2008). Sediment Erosion Characteristics in the Anacostia River. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(8), 1102–1109.
- Martín, J. (2000). *Ingeniería Fluvial*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2017). *La economía y el desarrollo se mueven por el Río Magdalena - Ministerio de Transporte*. <https://mintransporte.gov.co/micrositios/ci/la-economia-y-el-desarrollo-se-mueven-por-el-rio-magdalena.html>
- Nobel, A. J., & C, van R. (2017). Erosion Velocity of Large Grains Subjected to a High Uniform Flow Velocity. *Journal of Hydraulic Engineering*, 143(12), 04017054. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001386](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001386)
- Otero, A. (2011). *Banco de la República*. Obtenido de: <https://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/DTSER-141.pdf>
- Vilaseca, F. (2019). Avances para la estimación del transporte de sedimentos por fondo en cauces fluviales de Uruguay. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/23345>
- Vide, J. P. M. (2009). *Ingeniería de ríos* (Vol. 9). Univ. Politèc. de Catalunya.
- Zou, C., Ni, Y., Li, J., Kondash, A., Coyte, R., Lauer, N., ... & Vengosh, A. (2018). The water footprint of hydraulic fracturing in Sichuan Basin, China. *Science of the Total Environment*, 630, 349-356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.219>