

## Red de monitoreo hidrológico virtual sobre la cuenca alta y media del río Orinoco

<sup>2</sup>Daniel Herrera J<sup>a</sup>, <sup>2</sup>Astrid L. Puerta M<sup>a</sup>, <sup>1</sup>Juan G. León H.<sup>a\*</sup>

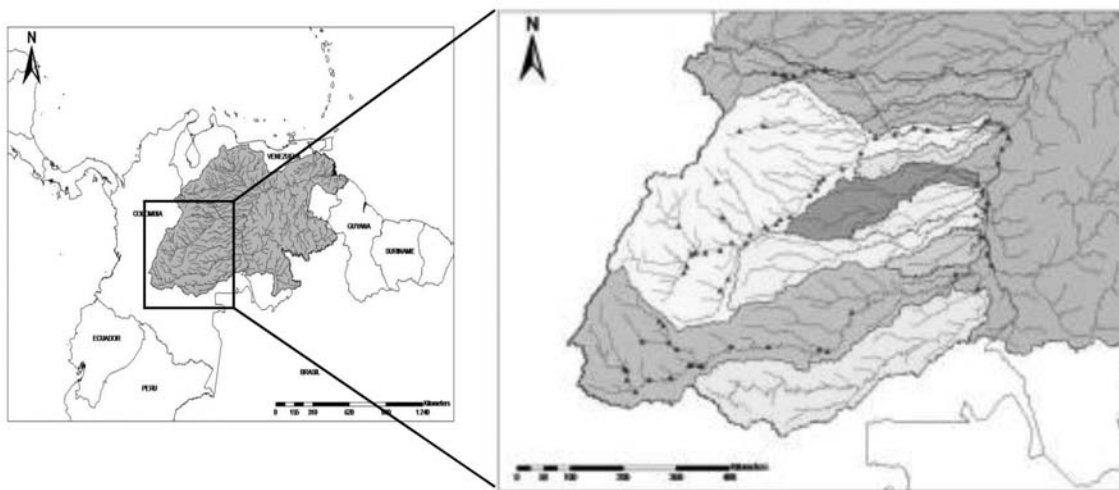
<sup>1</sup>PhD. Profesor asociado. <sup>2</sup>Estudiante MSc en Ingeniería Ambiental. <sup>a</sup>Grupo de Ecología y Contaminación Acuática. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. \*Autor de correspondencia: jgleonh@unal.edu.co

**Palabras clave:** Vigilancia, estaciones virtuales, cuencas hidrográficas, Orinoco.

La reducción del número de estaciones hidrométricas y, en consecuencia, la falta de información de base para el monitoreo hidrológico de aguas superficiales es un hecho notorio durante los últimos años, y Colombia no es la excepción. En efecto, la información hidrológica proveniente de las redes gestionadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM), presentan grandes deficiencias en relación con la disponibilidad de la información en espacio y tiempo (León et al., 2011). Los altos costos ligados a la infraestructura y mantenimiento de sistemas de medición, así como el control de zonas de difícil acceso para la recuperación y gestión de la información, entre otras, son razones comprensibles que reducen la disponibilidad de datos para el desarrollo de modelos hidrológicos que representen de manera real la dinámica de las cuencas hidrográficas (León et al., 2009). En la búsqueda de alternativas para dar solución a esta grave situación se han desarrollado estudios como los de Mercier et al. (2002), Kouraev et al. (2004), Frappart et al. (2006), y León et al. (2006<sub>a</sub>, 2006<sub>b</sub>, 2009 y 2011), entre otros, en los que se ha demostrado la aplicabilidad de la altimetría radar por satélite (ARS) en el mejoramiento del monitoreo hidrológico de grandes cauces a través de la implementación de estaciones virtuales (EV). Una EV es toda aquella intersección entre el barrido del satélite terrestre y un cuerpo de agua, a partir de la cual resulta posible deducir una serie que representa la variación de los niveles de agua en el tiempo. El presente estudio se concentra en la definición y validación de EV con datos provenientes de las misiones satelitales ENVISAT y Jason-2 sobre las cuencas alta y media del río Orinoco (cauces Meta, Orinoco y Guaviare) para establecer una red virtual de monitoreo hidrológico que permite complementar en espacio y tiempo la red hidrométrica *in situ* actual.

### Metodología

**Zona de estudio.** La cuenca del Orinoco tiene una superficie aproximada de 1,015,000 km<sup>2</sup>, de los cuales, 35% de la superficie total se encuentra en territorio colombiano, que representa la parte alta y media de la cuenca (Figura 1). Los afluentes considerados en este estudio sobre dicha zona son los ríos Meta, Guaviare, Inírida y Vichada.

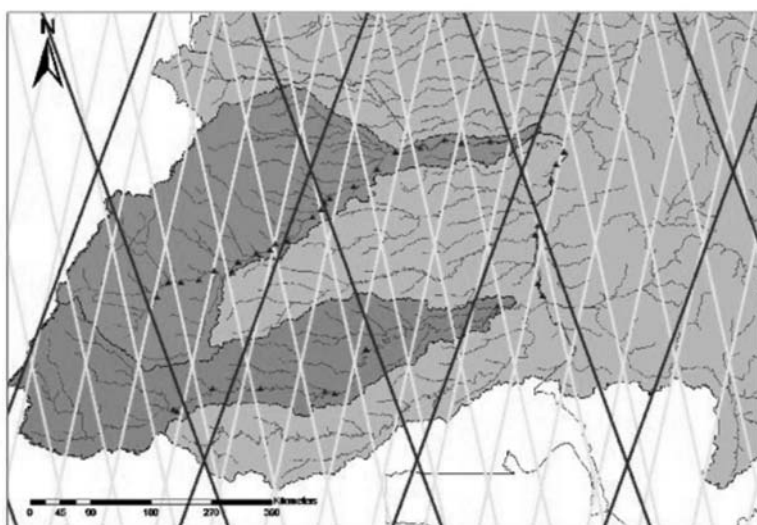


**Figura 1.** Zona de estudio. Definición de subcuencas a partir de estaciones *in situ*

**Información hidrométrica.** La información in situ solicitada al IDEAM corresponde a los datos de las estaciones sobre los cauces Orinoco, Meta y Guaviare de la zona de estudio entre los 2002 y 2012. La información realmente disponible para el estudio está compuesta por sólo veintiún estaciones de aproximadamente cuarenta y seis, que el IDEAM tiene disponibles sobre dichos cauces. La información altimétrica proviene de datos de las misiones Envisat (<http://envisat.esa.int/>), de 2002 a 2010 y Jason 2 ([www.nasa.gov/ostm/](http://www.nasa.gov/ostm/)) de 2008 a la actualidad.

**Definición y validación de la red de monitoreo virtual.** La red de monitoreo está dada por el conjunto de EV que sea posible definir sobre la zona de estudio a partir de las trazas satelitales de las misiones Envisat y Jason 2 (Figura 2).

El proceso de validación consistió en evaluar la precisión de las series virtuales mediante comparación con las series de estaciones in situ en los puntos donde esto fuera posible siguiendo la metodología propuesta por León et al. (2006<sub>a</sub>).



**Figura 2.** Representación de las órbitas ENVISAT (gris) y Jason 2 (negro) sobre la zona de estudio

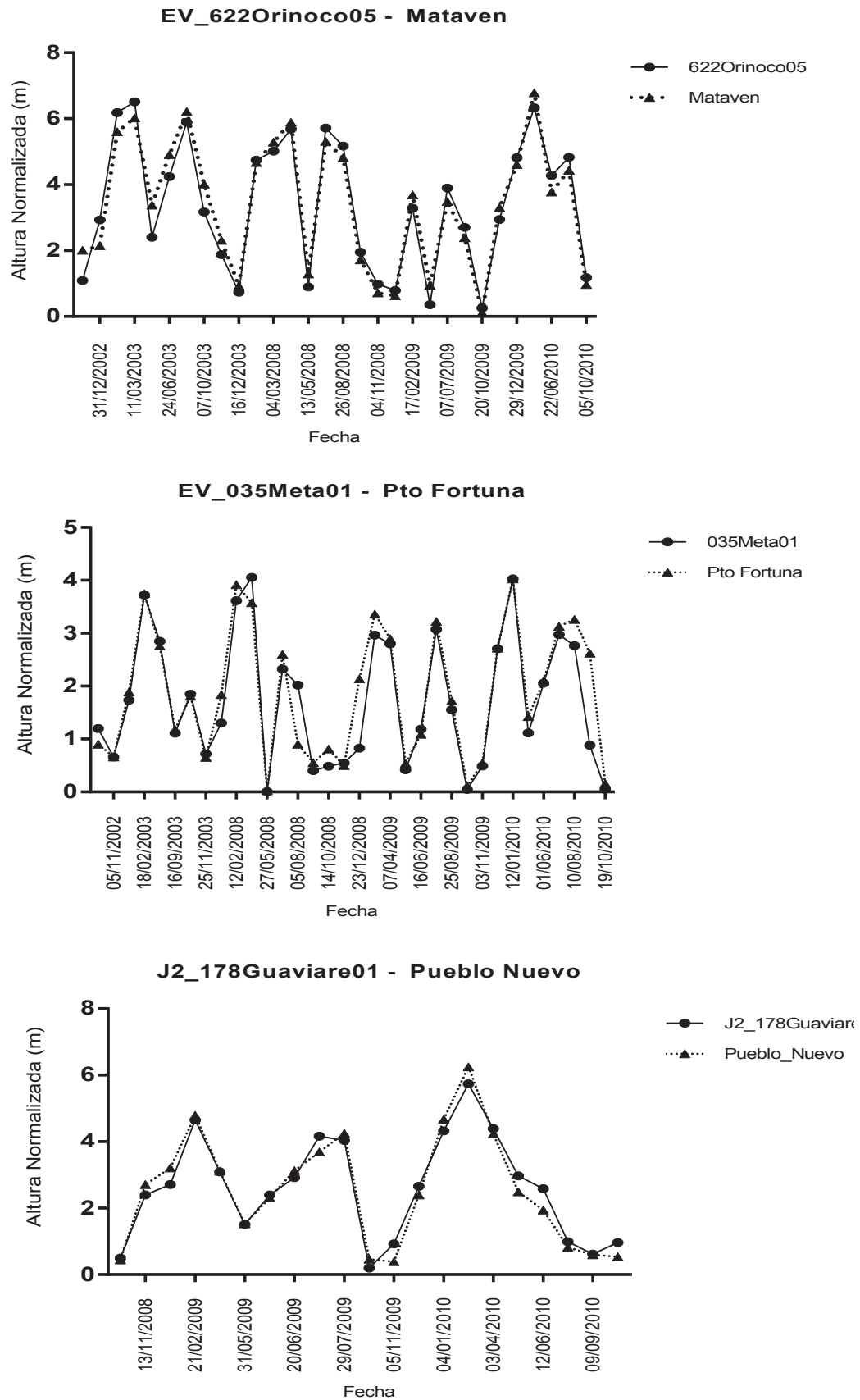
## Resultados

Sobre los cauces Orinoco, Meta y Guaviare se identificaron 44 EV Envisat y 9 EV Jason 2. En el Cuadro 1 se resume el número de estaciones in-situ disponibles por cauce en relación con el número de EV identificadas en la zona de estudio. El proceso de validación se llevó a cabo sobre 28 EV, encontrando precisiones medias de  $40 \pm 7$  cm respecto a las series in situ. En la Figura 3 se presentan tres casos (2 Envisat y 1 Jason 2) de los resultados obtenidos en este proceso de validación.

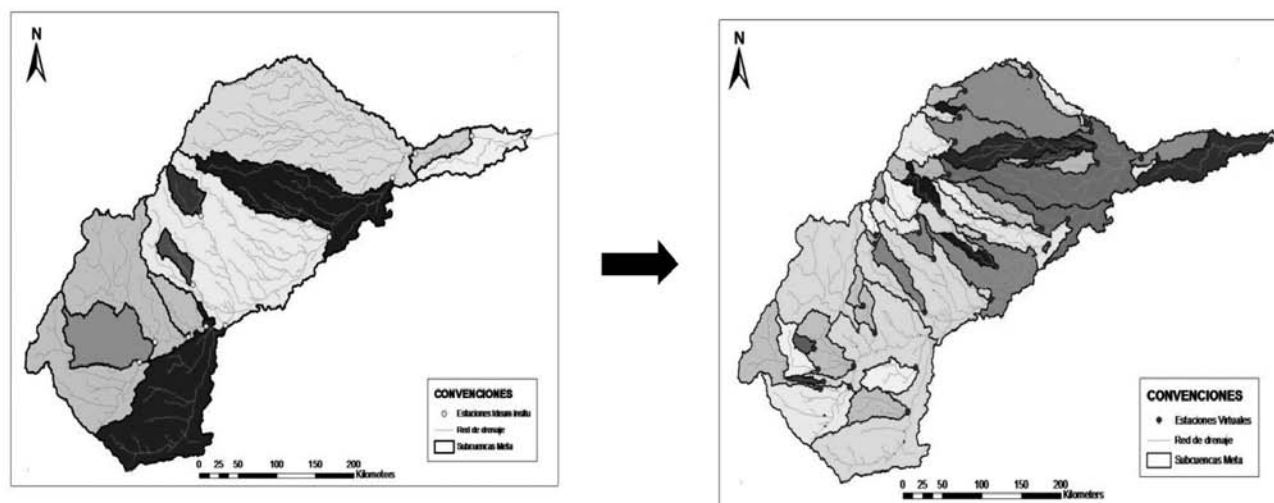
**Cuadro 1.** Características principales de la red de monitoreo in situ y virtual en los cauces principales.

| Cauce    | Estudio<br><i>in situ</i> | Estudio virtuales |          | Validadas |
|----------|---------------------------|-------------------|----------|-----------|
|          |                           | Envisat           | Jason 2. |           |
| Meta     | 10                        | 17                | 4        | 15        |
| Orinoco  | 3                         | 9                 | 1        | 5         |
| Guaviare | 8                         | 18                | 4        | 8         |

La introducción de las EV sobre la zona de estudio (Cuadro 1) ha incrementado aproximadamente dos veces los puntos de control para la observación de la variación de los niveles del agua respecto de las estaciones in situ realmente disponibles en la zona de estudio. La Figura 4 muestra cómo la introducción de la red virtual permite aumentar el número de subcuencas en una zona, lo que facilita un mejor análisis del comportamiento hidrológico a escalas más importantes.



**Figura 3.** Resultado del proceso de validación de EV (líneas punteadas) con estaciones in situ (línea continua).



**Figura. 4.** Densificación de la red de monitoreo sobre el río Meta.

### Conclusiones

La deficiente disponibilidad de información hidrométrica *in situ* por parte del IDEAM (sólo veintiún estaciones funcionando, de cuarenta y seis instaladas, con gran cantidad de datos faltantes), es un impedimento mayor para el monitoreo y modelación del comportamiento hidrológico de la zona de estudio. Gracias a la introducción de EV Envisat y Jason-2 en las cuencas alta y media del Orinoco ha sido posible incrementar en dos veces el número de puntos de control hidrométrico para un mejor monitoreo de la cuenca en espacio y tiempo. El resultado del proceso de validación presenta valores aceptables que permiten concluir sobre la viabilidad de la aplicación de la altimetría radar en el campo de la hidrometría aportando: (1) mayor cobertura espacial, y (2) disponibilidad de la información en tiempo casi-real y iii) complemento de datos *in situ* faltantes.

### Agradecimientos

A los investigadores del Programa HYBAM del IRD a través de sus laboratorios Legos y GET de Francia.

### Referencias

- Frappart, F.; Calmant, S.; Cauhope, M.; Seyler, F.; y Cazenave, A., 2006. Preliminary results of ENVISAT RA-2-derived water levels validation over the Amazon Basin., *Remote Sens. Environ.* 100(2):252 – 264.
- Kouraev, A. V.; Zakharovab, E.; Samainc, O.; Mognarda, N.; y Cazenave, A., 2004. Ob' river discharge from TOPEX/Poseidon satellite altimetry (1992–2002). *Remote Sensing of Environment* 93:238 – 245.
- León, J.G.; Calmant, S.; Seyler, F.; Bonnet, M. P.; Cauhope, M.; Frappart, F.; y Filizola, N., 2006a. Rating curves and estimation of average water depth at the Upper Negro River based on satellite altimeter data and modelled discharges. *J. Hydrology*.328:481 - 496.
- Leon, J. G.; Seyler, F.; Calmant, S.; Bonnet, M. P.; y Cauhope, M. 2006b. Hydrological parameter estimation for ungauged basin based on satellite altimeter data and discharge modeling. A simulation for the Caquetá River (Amazonian Basin, Colombia). *Hydrol. Earth Syst. Sci. D.* 3:3023 - 3059.
- León, J. G.; Rubiano, J.; y Vargas, V. 2009. Series temporales de niveles de agua en EV de la Cuenca amazónica a partir de ARS. 2009, Universidad Nacional de Colombia. *Rev. Ing. Inv.* 29(1):109 - 114.
- León, J. G.; Puerta, A.; y Seyler, F. 2011. Estimación de curvas de gasto en estaciones virtuales Envisat sobre el cauce principal del Río Orinoco. *Rev. Ing. Inv.* 31(3):91 - 99.
- Mercier, F. 2002. Altimétrie spatiale sur les eaux continentales : apport des missions Topex/Poséidon et ERS1&2 à l'étude des lacs, mers intérieures et bassins fluviaux. Tesis doctoral. U Toulouse III-Paul Sabatier, 9/11. 190 p.