

REDISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE SEDIMENTOS E HIDRODINÁMICA EN PUNTES, MEDIANTE ADCP DEL RIO GRIJALVA ALTO

PLAN VIEW OF THE SEDIMENT AND HYDRODYNAMIC REDISTRIBUTION DUE TO THE PRESENCE OF BRIDGES IN THE UPPER GRIJALVA RIVER, AS SEEN WITH ADCP

Fuentes- Aguilar A. M.¹, León- Jiménez J.E.^{2*}, Flowers- Cano R. S.², Balladares- Sánchez M. A.², Nungaray- Núñez J. A.³

¹Estudiante. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México CP. 86690.

²Profesor. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México CP. 86690.

³Consultor especializado de Obras Hidráulicas. Tabasco, México.

*Autor de correspondencia: napaleon01@hotmail.com

RESUMEN

Los ríos tomaron vital importancia en las comunicaciones para el desarrollo de las civilizaciones antiguas. Para acelerar este desarrollo el hombre implemento técnicas más rápidas de comunicación y los puentes fueron unas de estas vías. Sin embargo estos aprovechamientos en muchas ocasiones generaron desequilibrio en los ríos, sobre todo a las poblaciones ubicadas en la proximidad de los mismos. Por lo que se planteó como objeto de estudio implementar técnicas Doppler, para obtener la redistribución en planta de la hidrodinámica e intensidad de sedimentos, provocadas por pilas y estribos en puentes sobre el río Grijalva alto.

Para poder identificar esta variación geomorfológica e hidrodinámica, Las campaña de mediciones realizadas fueron, sobre los puentes La Majahua I y II, localizados en el río Alto Grijalva, antes de la confluencia con el Río de la Sierra. Mediante software

especializado y utilizando técnicas de medición Doppler para el uso de ADCP (ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER) se recolectó datos de campo para conocer las alteraciones en la hidrodinámica que provocan las pilas de estos puentes. Con lo que finalmente se observó que los puentes con pilas sobre el cauce redistribuyen el gasto sólido sobre las márgenes antes, durante y después de las pilas, y de lo observado en las comparativas topobatimetrías 2010 y 2017, con y sin puentes. Demuestran que el déficit en la recarga central de sedimentos acelera el proceso de erosión en las pilas y decrece entre ambos puentes si el gasto aumenta.

Palabras claves: ADCP, confluencias, hidrodinámica, pilas y sedimentos.

ABSTRACT

Rivers were of vital importance as means of communication during the development stages of ancient civilizations. In order to speed up this development, man implemented more efficient communication networks, of which bridges are part. However, bridges may generate imbalance in rivers, which could affect adjacent populations. The goal of this study is to assess this imbalance. Therefore, Doppler techniques were used to visualize the redistribution of flow and sediment intensity due to the presence of bridge piles and stirrups on the Upper Grijalva River.

To identify this geomorphological and hydrodynamic variation, measurements were carried out on La Majahua I and II bridges, located on the Upper Grijalva, before its confluence with La Sierra River. Using special software measurement techniques for ADCP (ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER), field data were collected to

know the disturbances in the hydrodynamics caused by the piles of these bridges. By means of comparing bathymetries from the years 2010 and 2017, that is, before and after the bridges, it was seen that bridges with piles on the channel redistribute the solid discharge on the margins before, during and after the piles. The comparative bathymetries also show that the deficit in the central recharge of sediments accelerates the erosion process in the piles, and decreases between both bridges when the discharge increases.

Keywords: ADCP, confluences, hydrodynamics, piles and sediments.

INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de los recursos fluviales ha jugado un papel importante en el desarrollo de ciertas regiones, por ello el hombre ha tenido que construir grandes y pequeñas obras hidráulicas. Dentro de estas se encuentran los puentes, que son elementos fundamentales para el buen funcionamiento social y económico de la sociedad. Se trata de obras singulares, costosas y vitales para mantener el transporte. En el caso de construcciones de obras de vialidad, unos de los principales retos a vencer, han sido los diferentes problemas que ocasionan atravesar la corriente de un cauce, un objeto extraño al mismo, como lo son las pilas y estribos de un puente, los cuales generan efectos de socavación y de reacomodo de sedimentos en el fondo del canal, que afectan la seguridad del tránsito sobre el mismo, y a su vez, la propia estabilidad del puente.

Por la amplia interacción existente entre el río y el puente, en la que uno trata de influir sobre el otro, el puente necesita la estabilidad y permanencia en el tiempo, mientras el río, en cambio, por su propia naturaleza, es esencialmente dinámico [1]. La mayoría de los estudios hidráulicos de puentes se realizan suponiendo que el fondo permanece constante durante el evento, situación que pudiese ser lógica si se tienen ríos estables, y el estudio se concentraría en la socavación local, sin embargo, en los ríos que son altamente dinámicos (régimen mixto), se evidencian no solo cambios en la superficie del agua sino también en el fondo del cauce en una gran extensión del río, razón por la cual el fenómeno es más complejo [2]. Cualquier tipo de estructura en un río induce una interacción forzada entre la propia estructura y el flujo natural del río. En general, un puente de cruce, con pilas en el lecho y márgenes del río, representa una alteración de la geometría natural de la sección del río y, por lo tanto, crea un obstáculo para el flujo que, al acercarse al puente, tiene que cambiar su propio patrón natural.

La colocación de las pilas de los puentes representa una obstrucción tanto para el flujo de agua, como al flujo de material de arrastre del río proveniente de aguas arriba. Esta interacción de pila-flujo causa un reacomodo en la configuración del fondo debido a la turbulencia, mientras que al disminuir el área hidráulica del cauce, las velocidades del flujo se incrementan entre pilas [3].

Además, debido a las condiciones de flujo modificadas en el cruce del puente, la corriente adquiere una fuerte potencia erosiva. Como consecuencia, en las condiciones de flujo subcrítico que normalmente se encuentran en el río, el aumento resultante en la velocidad del flujo y la potencia erosiva del caudal crea condiciones que ponen en

peligro la estabilidad de las fundaciones de puentes [4]. Una condición actual de estas condiciones, se dan sobre los puentes La Majahua I y II, en el río Alto Grijalva, antes de la confluencia con el Río de la Sierra, en Tabasco México. Mediante técnicas Doppler se estimaron los efectos de las pilas a las corrientes secundarias e intensidad de sedimentos

LOCALIZACIÓN

Las zonas de estudios son dos: El puente La Majahua I en las coordenadas $17^{\circ}57.201$ N y $92^{\circ} 54.932$ O y el puente La Majahua II en las coordenadas $17^{\circ} 57.465$ N y $92^{\circ} 54.859$ O (Figura 1).



Figura 1. Localización de las zonas de estudios.

METODOLOGÍA

La realización del trabajo puede ser descrita en dos etapas: En la primera se realizó la topobatimetría de la zona de estudio, y en la segunda el estudio de hidrodinámica en los dos puentes.

Topobatimetría. Esta etapa consistió en la obtención de la configuración actual de la topografía del fondo y las márgenes de la zona de estudio. El fondo se configuro con ADCP en la modalidad de ecosonda Multi-Haz, y las márgenes y ubicación de las pilas del puente, mediante una estación total la cual se ligó vía GPS en el puente. Esta metodología se usó para las dos campañas de medición que se realizaron el día 12 y 15 de enero del 2017 (Figura 2).

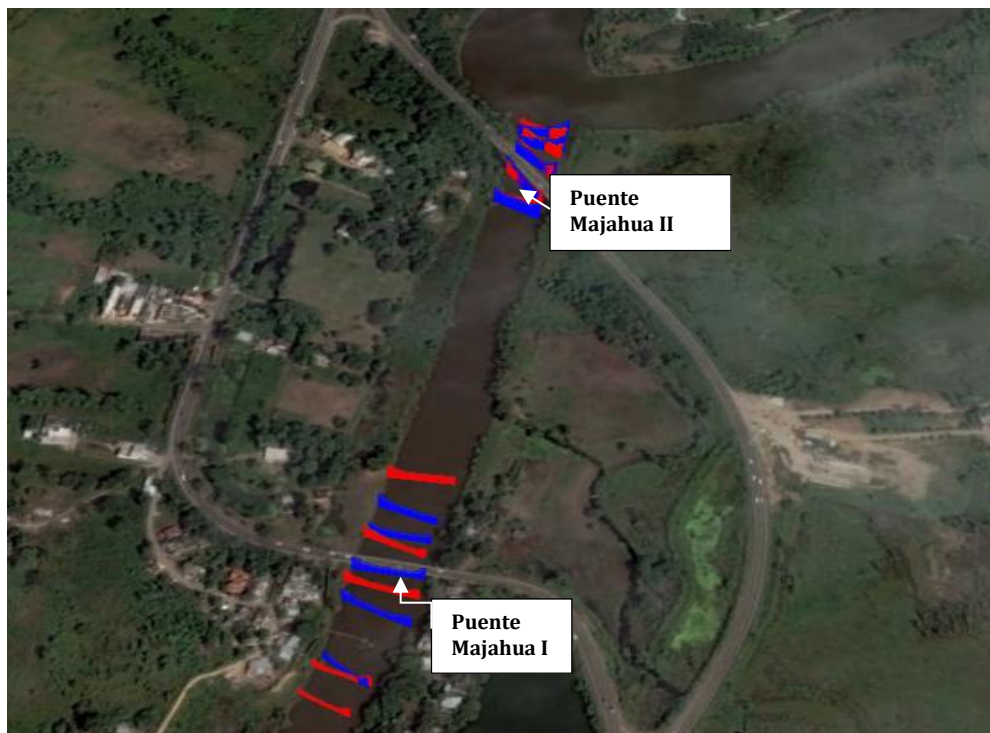


Figura 2. Secciones de control sobre los puentes La Majahua I y II.

Hidrodinámica mediante Perfiladores acústicos Doppler. Esta etapa se dividió en dos partes, el estudio de velocidades secundarias y el de intensidad de sedimentos mediante transeptos preestablecidos sobre la zona de las infraestructuras (ver Figura 3), esto para ambas mediciones. La obtención de los datos fue mediante ADCP y los métodos utilizados fueron los propuestos por Kim y Kang, (2011) [5].

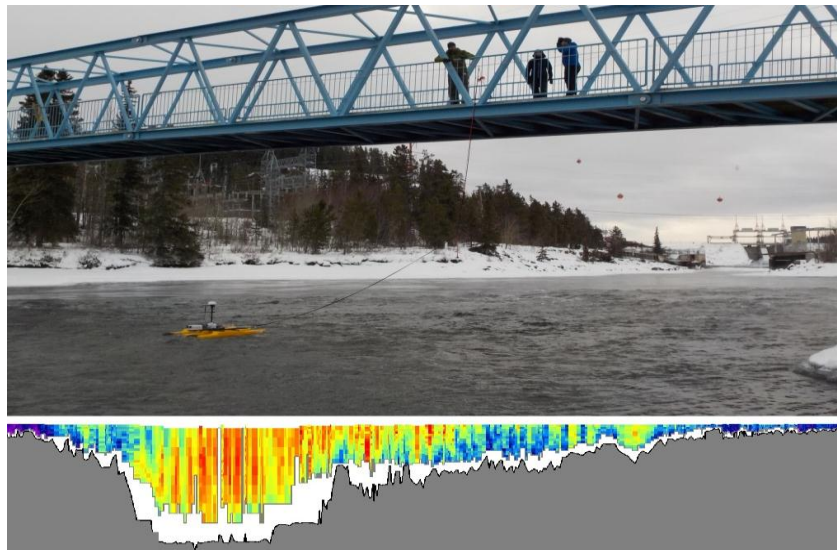


Figura 3. Forma de estimar el fondo e hidrodinámica con ADCP de Canadá, (2016) [6].

Velocidades secundarias e intensidad de sedimentos. Para conocer el efecto que ejercen las pilas sobre las velocidades secundarias se plantearon transeptos de control antes y después de estas pilas. Para esto se utilizó la metodología ya establecida que consiste en recorrer cuatro veces, de margen a margen, un transepto del cauce [7]. Las velocidades secundarias son las encargadas de redistribuir el campo de velocidades máximas y los esfuerzos de corte (ver Figura 4), las cuales se forman por la existencia de fuerzas desiguales entre el gradiente de presión hidrostático y las fuerzas

centrífugas [8], debido a esto modifican el proceso de erosión y por consecuencia la topografía del Cauce.

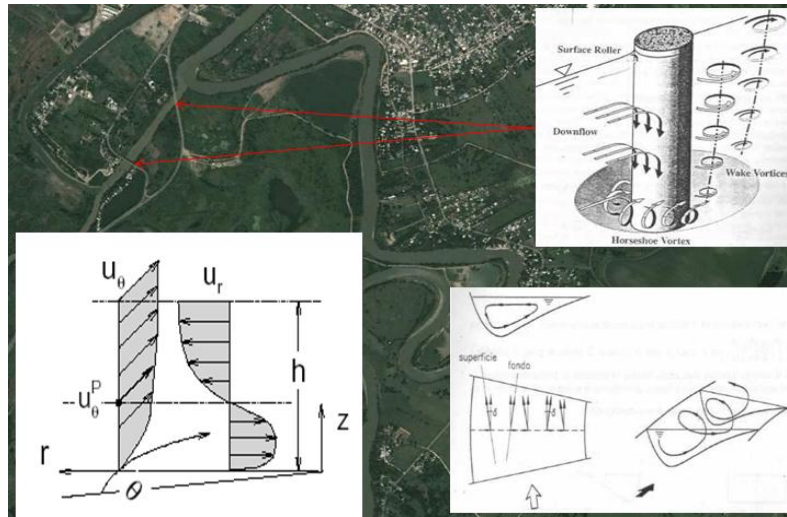


Figura 4. Flujo en espiral característico de las velocidades secundarias (Adaptada de Priego y Rivera, 2016) [8].

Luego, por celda se promedian los cuatro transeptos y de allí se obtiene la concentración de sedimento de fondo en suspensión (ver figura 5).

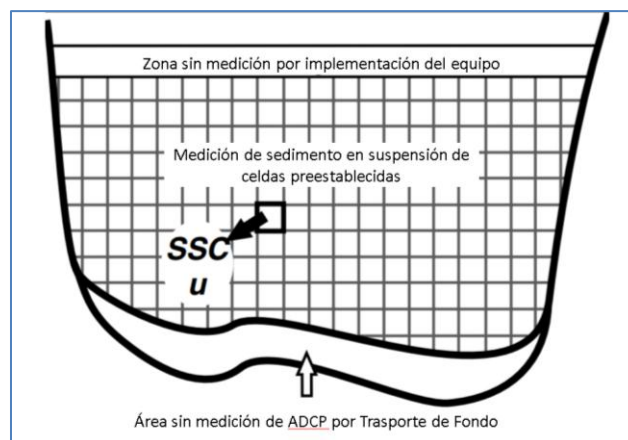


Figura 5. Sección y celda tipo de los resultados estimados mediante ADCP (Adaptada de Latosinski et al ,2014) [9].

RESULTADOS

Gastos medidos y Comparación de topobatimetrías. Los gastos medidos fueron 83 y 94 m³/seg, correspondientes a los días 12 y 17 de enero del 2017. Y de la topobatimetría se obtuvieron los modelos digitales de elevaciones de cada campaña y se comparó contra una topografía del 2010 (Figura 6).

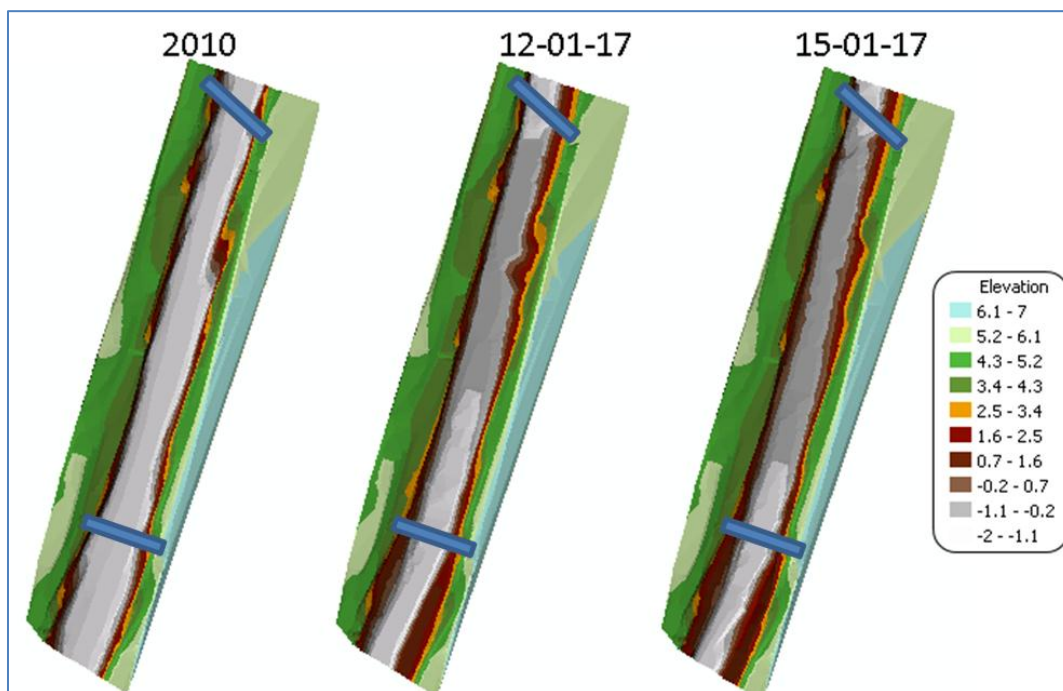


Figura 6. Comparación batimetrías.

Se observa que del 2010 a 2017, ha existido una variación del fondo y esta se acrecentó negativamente en las pilas en las cuando los gastos son más bajos, sin

embargo en ambos casos medidos ha existido una recarga del fondo entre ambos puentes, más notoria conforme el gasto aumenta.

Velocidades en planta e intensidad de sedimentos en puente Majahua I. Una vez procesada la información de las campañas de medición. Para ambos casos medidos presentados en la figura 7a y 7b, se observó que las líneas de flujo aguas arriba, influenciadas inicialmente por una obra de toma redistribuye en ambos caos el flujo sobre la margen derecha. Para el gasto medido de $83 \text{ m}^3/\text{s}$, las velocidades en planta se atenúan en la margen izquierda y se acrecentó sobre la margen derecha, caso contrario del gasto medido de $94 \text{ m}^3/\text{s}$. Este fenómeno de inversión de velocidades se debe en gran medida a la obra de toma de la zona de estudio.

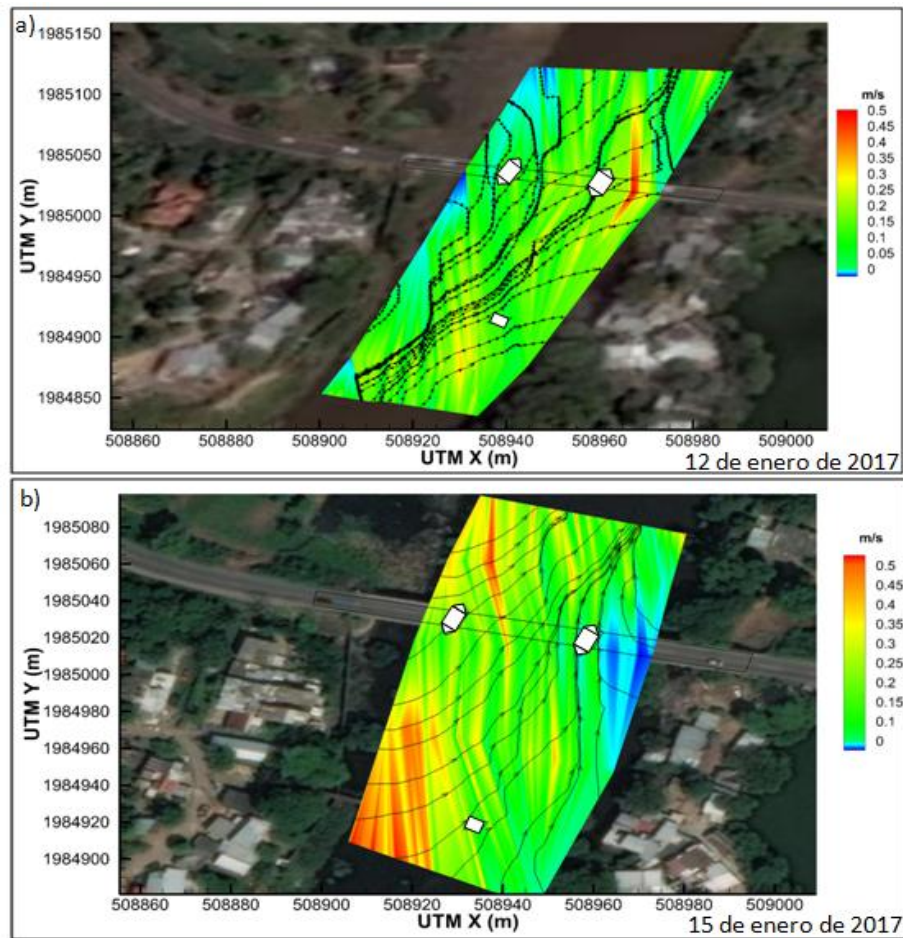


Figura 7. Velocidades secundarias de los días a) 12 de enero de 2017 y b) 15 de enero de 2017.

La concentración de sedimentos medidas actualmente, indican que para gastos bajos la distribución de la carga sedimentológica se distribuye sobre la margen izquierda (ver Figura 8a) y para altos (ver Figura 8b) en ambas márgenes.

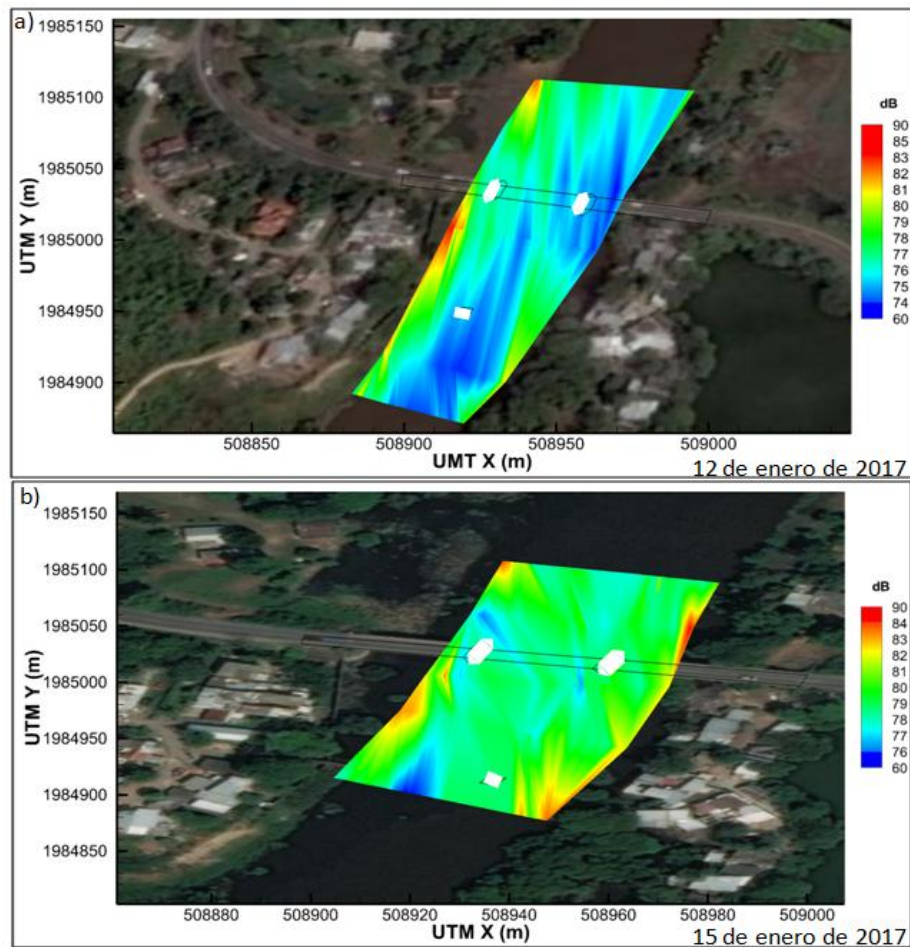


Figura 8. Intensidad de sedimento en suspensión en planta de los días a) 12 de enero de 2017 y b) 15 de enero de 2017.

Velocidades en planta e intensidad de sedimentos en puente Majahua II. En la Figura 9a y 9b se presentan los resultados de la distribución de las líneas de flujos y zonas preferentes de velocidades altas. En ella se puede observar una redistribución de las líneas de flujos en ambos casos medidos sobre la margen izquierda, esto debido a la influencia del río de la sierra. De igual forma las zonas de altas velocidades se encuentran sobre la misma margen.

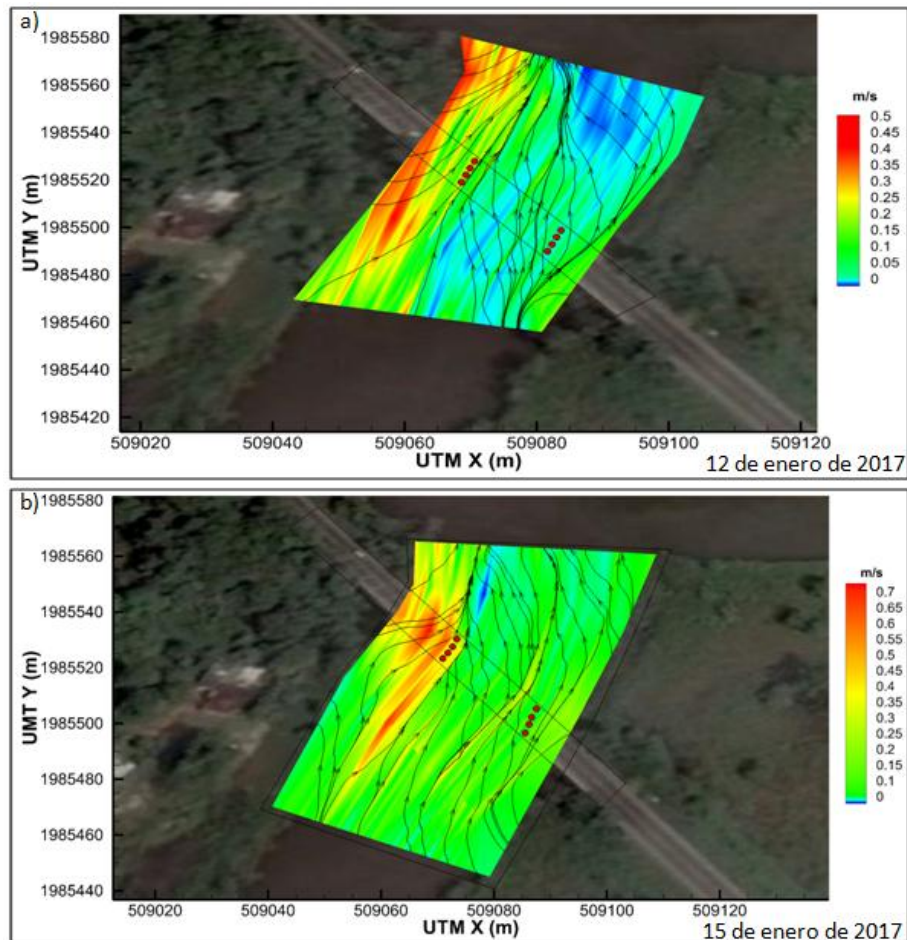


Figura 9. Velocidades secundarias de los días a) 12 de enero de 2017 y b) 15 de enero de 2017.

A pesar de que en las campañas de medición la distribución de gastos indica un tercio y la mitad del río de la sierra, el gasto sólido es más concentrado en la margen derecha, sin embargo en ambos casos es sobre las dos márgenes. Este efecto es más notorio para gastos altos (ver Figura 10).

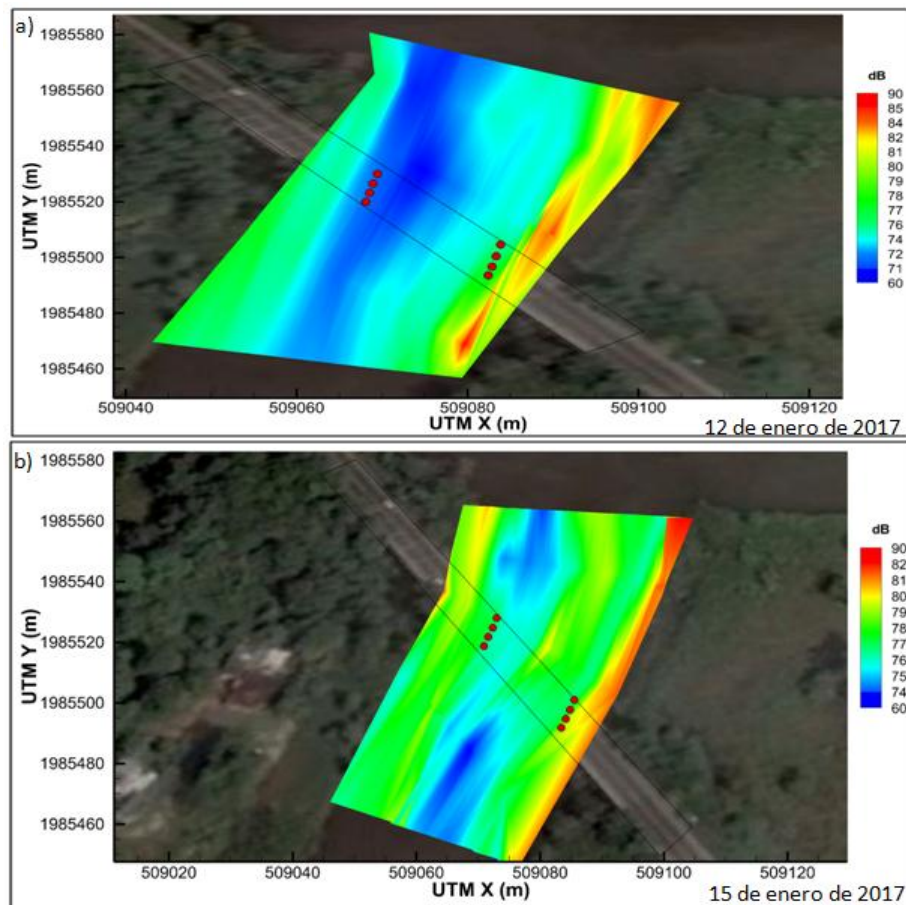


Figura 10. Intensidad de sedimento en suspensión en planta de los días a) 12 de enero de 2017 y b) 15 de enero de 2017.

CONCLUSIONES

Sobre el análisis del puente La Majahua I y II se puede concluir, que en ambos casos la distribución de gastos sólidos y líquidos se ve alterada por el efecto de las pilas. Identificando que el tránsito preferente del gasto sólido es sobre las márgenes izquierda y derecha, propiciando con ello un déficit de sedimentos en las pilas y una

recarga de fondo más lenta. Siendo para gastos bajos más notorios y explicaría de esta manera la taza erosiva más agresiva en pilas de puentes.

Las líneas de flujo de igual forma siguen un tránsito preferente por las zonas con un deficit de sedimentos por lo que las pilas de los puentes son las más susceptibles a erosionarse.

Finalmente se encontraron indicadores que verifican la alteración de las líneas de flujo y su relación con el déficit de sedimentos en las pilas, sin embargo el efecto más notorio se debe a la influencia de una obra de tomas aguas arriba del puente La Majahua I y la influencia del rio de la sierra en puente La Majahua II. Por lo que la dinámica de puentes tiene factores externos a ellos que hacen que las tazas erosivas se han más agresivas en algunos casos donde se implementan estas estructuras.

REFERENCIAS

[1] Rocha A. (2010). Introducción a la hidráulica de las obras viales. Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima, Perú, extraído de: <http://apiperu.com/Articulos/pilares.pdf> en julio 2012.

[2] Restrepo I., Sánchez L., Galvis A., Rojas J. & Sanabria I. (2007). Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio. Universidad del Valle, Santiago de Cali.

[3] González, F., Carrillo, J.J., Morales, J.D., & Patiño, J.A. (2014). Influencia de las pilas de un puente en la configuración del fondo del cauce de un río: Caso Samaria. XXIII Congreso Nacional de Hidráulica Puerto Vallarta, Jalisco, México, Octubre 2014.

- [4] Brandimarte, L., Paron, P., & Di Baldassarre, G. (2012). Bridge pier scour: a review of processes, measurements and estimates. *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(5), 975-989 pp.
- [5] Kim, D. S., & Kang, B. S. (2011). Validation of Assessment for Mean Flow Field Using Spatial Averaging of Instantaneous ADCP Velocity Measurements, *The Korea Environmental Sciences Society*, 20(1), 107-118 pp.
- [6] Canadá (2016). Yukon State of the Environment. Reporting 2016. Extraído de: http://www.env.gov.yk.ca/publications-maps/documents/SOE_2016.pdf
- [7] Szupiany, R. N., Amsler M. L., Best J.L. & Parsons, D. R. (2007). Comparison of Fixed- and Moving Vessel Measurements with an ADP in a Large River, *Journal of Hydraulic Engineering*, 133 (12), 1299 pp.
- [8] Priego-Hernández G. A. & Rivera-Trejo F. (2016). Secondary currents: Measurement and analysis, *Atmósfera*, 29 (1), 23-34 pp.
- [9] Latosinski, F. G., R. N. Szupiany., García, C.M., Guerrero, M., & Amsler M.L. (2014). Estimation of Concentration and Load of Suspended Bed Sediment in a Large River by Means of Acoustic Doppler Technology. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(7), 1-7pp.