

**CORRIENTES SECUNDARIAS EN CURVAS DE RÍOS CON ESPIGONES,  
USANDO TÉCNICAS ACÚSTICAS****SECONDARY CURRENTS IN RIVER CURVES WITH GROINS  
USING ACOUSTIC TECHNIQUES**

Guzmán- Montejo F.A.<sup>1</sup>, Flowers- Cano R.S<sup>2\*</sup>, León- Jiménez J.E <sup>2</sup>, Balladares- Sánchez M. A. <sup>2</sup>,  
Nungaray- Núñez J.A. <sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Consultor especializado de Obras Hidráulicas. Tabasco, México.

\*Autor de correspondencia: floresrobert133@gmail.com

**RESUMEN**

Los espigones son estructuras interpuestas al flujo de la corriente y son implementadas en zonas con corrimientos marginales. Estás de acuerdo a su naturaleza generan flujos turbulentos en la vecindad de su influencia. Por lo que para esta investigación se consideró realizar campañas de medición con equipos acústicos doppler (ADCP), para identificar el tipo de desarrollo de los flujos secundarios en curvas con espigones. Esto mediante la metodología de transeptos de margen derecha a izquierda y viceversa, se configuro el fondo y se obtuvo el campo tridimensional de velocidades sobre cada sección transversalmente. Encontrando que el desarrollo de los flujos secundarios sufre un desfase hacia la margen contraria de donde se encuentran operando los espigones, ocasionando con ello la disminución de la erosión en la margen protegida. Aunque los espigones provocan este desfase, la distribución de velocidades altas sobre la parte externa de la curva se sigue presentando y en la parte interna una disminución

del gradiente de velocidades, corroborando lo teóricamente expuesto en el desarrollo de los flujos en curvas.

**Palabras claves:** Flujos secundarios, espigones, curvas, erosión, ADCP.

## ABSTRACT

Groins are structures interposed to the flow of current and they are implemented in zones with marginal thrusts. Depending on their nature, they generate turbulent flows near their influence. Therefore, this research considered generating metering campaigns with Doppler acoustic equipment (ADCP) in order to identify the type of development of secondary flows in curves with groins. This was made through the methodology of transept of right to left margin and vice versa; the bottom was set up and the three-dimensional field of speeds was obtained on each cross-section. We found that the development of secondary flows suffers slippage toward the margin opposite to that of operation of groins and this causes the decrease in erosion on the protected margin. Event when groins provoke this slippage, the distribution of high speeds on the outer part of the curve continues to appear and the inner part shows a decrease in speed gradient. This proves the theory in the development of flows in curves.

**Keywords:** Secondary flows, groins, curves, erosion, ADCP

## INTRODUCCIÓN

Los ríos meandricos experimentan desplazamientos laterales. Haciéndose más evidentes en las curvas de zonas aluviales, donde la margen interior está sujeta a un proceso de erosión, mientras que la exterior, a uno de sedimentación. Por lo tanto el fenómeno de migración de cauces meandricos es de interés por tratarse de un fenómeno físico que afecta a los centros de poblaciones adosadas a ellos. Las justificantes que mueven estos estudios se centran en determinar las variables geométricas e hidráulicas que intervienen en ellas para poder controlarlas [1].

Una de las principales variables para la migración de estos cauces de planicie, es debida en gran medida por el efecto de las corrientes secundarias, estas actúan sobre las secciones transversales normales al flujo principal [2]. La migración de estos cauces se da principalmente en las curvas donde el efecto de las corrientes secundarias es más evidente. Sin embargo en zonas rectas aunque en menor proporción también existen, debidas al esfuerzo cortante de fondo, estructuras y zonas de cavidades en la transversal y longitudinal del cauce [3].

El gasto de operación en estos cauces juega un papel importante en el desarrollo de las corrientes secundarias, y donde la mayor parte del año predominan los gastos bajos y medios, las corrientes secundarias son menos desarrolladas. Ahora bien para gastos altos, estas se desarrollan con mayor facilidad [4]. Sin embargo se ha observado que el radio de curvatura juega un papel importante en la evolución de estos cauces meandricos, ya que en curvas cerradas el efecto es más representativo, que en

cauces con radios de curvaturas más abiertos. En consecuencia el proceso de migración por efecto de las corrientes secundarias es más acelerado con gastos altos [5].

Ahora bien estos desplazamientos tienen que ser controlados para evitar que el río afecte vías de comunicación, canales de riego o poblaciones, o cuando se desea que un río escurra a lo largo de un solo cauce en las zonas donde es muy divagante y tiene islas. Para ello se requiere de la construcción de obras que fijen las márgenes de forma permanente. Esto se logra mediante espigones, recubrimientos o muros marginales, así como diques marginales [6]. El propósito principal de las obras mencionadas consiste en evitar el contacto directo entre el flujo con alta velocidad y el material que forma la orilla. Permitiendo con ello guiar el flujo en una dirección deseada y conveniente.

Los espigones son estructuras interpuestas a la corriente; unidas a la margen por uno de sus extremos y orientadas con cierto ángulo. El objetivo principal es evitar la erosión y el transporte de los sedimentos conformando la nueva margen. El uso de espigones como medidas de solución al problema de la erosión generan interrogantes respecto a la correcta implementación de estas estructuras, originado con ello intensos análisis de campo y laboratorio con la finalidad de encontrar alteraciones generadas en las geometrías del cauce [7].

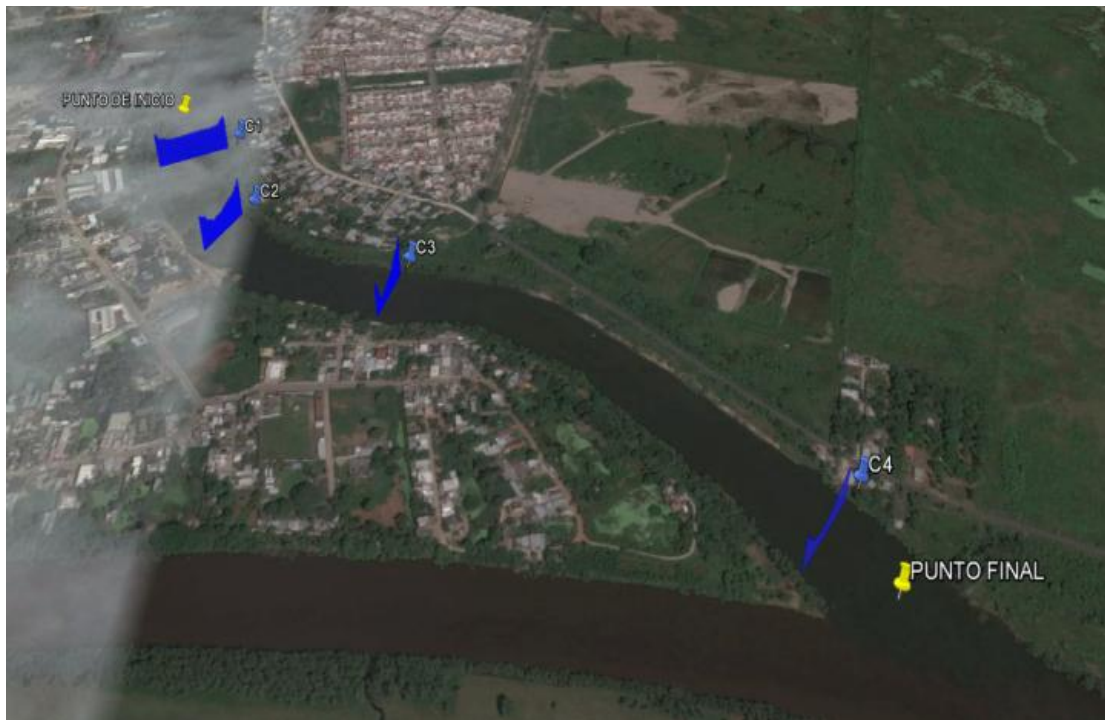
Una herramienta de análisis para estos tipos de estructuras son los modelos físicos. Considerados como modelos de cajas negras, por el factor de escala. El tiempo de mediciones del campo de velocidad es rápido; sin embargo por la magnitud de la

escala, los equipos de mediciones generan turbulencia en el flujo, causando incertidumbre en los datos medidos. Ahora bien, para el caso de medición realizada en campo, tradicionalmente los equipos utilizados para medir las velocidades del flujo eran los molinetes y el factor de escala no representaba incertidumbre, pero el tiempo de medición era lento y el cambio de régimen del flujo es variable [8]. Debido al avance de la tecnología en particular en los sistemas de posicionamiento global y de los velocímetros con tecnología acústica Doppler, se pueden generar a detalles el campo de velocidades tridimensionales para grandes sistemas fluviales y estructuras de espigones [9]. Esto permite realizar mediciones in situ de las estructuras existentes en ríos. Actualmente existen metodologías bien definidas para estos equipos que permitan la obtención de datos confiables y precisos del campo de velocidad del flujo.

Un caso de interés actualmente es el río Carrizal, ya que nace de una bifurcación en el río Samaria y se encuentra contralado desde el inicio por una estructura transversal y termina en una confluencia con el río Grijalva. Geográficamente se encuentra ubicado en una zona aluvial y tiene una longitud de 60 km, donde 20 km transita por la capital del estado Tabasco [10]. Con el paso del tiempo ha tenido un incremento en sus gastos debido a la inversión de flujo, que en su mayoría se transitaba por el río Samaria, gobernado por la operación del sistema de presas alto Grijalva y que tiene una interacción directa con la presa Peñitas [11]. El río Carrizal tiene estructuras de espigones y la permanencia de los mínimos corrimientos marginales en la zona urbana, sobre todo en sitios con radios de curvatura pequeños, ha sido contralada con los gastos y estas infraestructuras.

## LOCALIZACIÓN

La zona de estudio se ubica entre las coordenadas  $18^{\circ} 0.806'$ ,  $18^{\circ} 0.414'$  de latitud Norte y  $92^{\circ} 54.054'$ ,  $92^{\circ} 53.599'$  de latitud Oeste, en el municipio Centro del estado de Tabasco, lugar donde se ubican seis espigones (Figura 1).



**Figura 1.** Ubicación de la zona de estudio en el río carrizal.

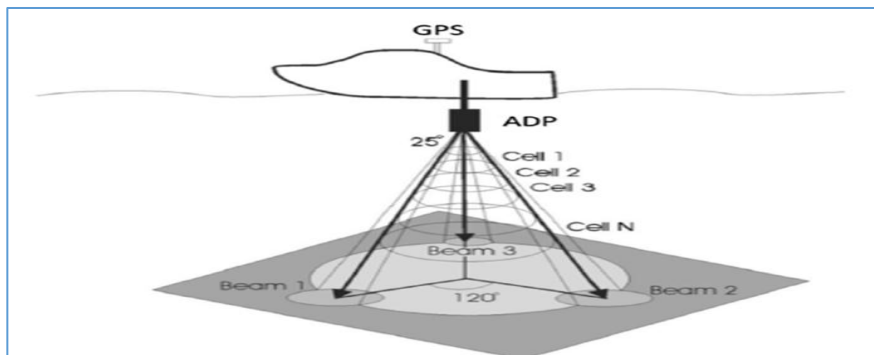
## METODOLOGÍA

**Topografías complejas.** La configuración del cauce se realizó mediante un perfilador acústico multihaz (ADCP) y la configuración planimétrica mediante estación total y GPS en la zona de estudio (ver Figura 2).



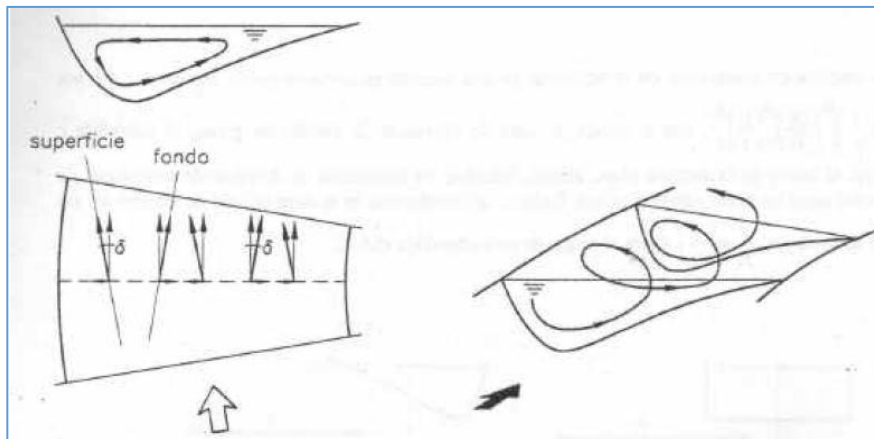
**Figura 2.** Configuración de fondo con ADCP multihaz.

**Hidrodinámica mediante Perfiladores acústicos Doppler.** La medición de velocidades tridimensionales, se basó en tecnología acústica, validada esta metodología por la comunidad científica y empresarial por la eficiencia y rapidez de las mediciones del flujo y velocidades [12] (Figura 3).



**Figura 3.** Perfilador Acústico Doppler y operación de la instrumentación del equipo.

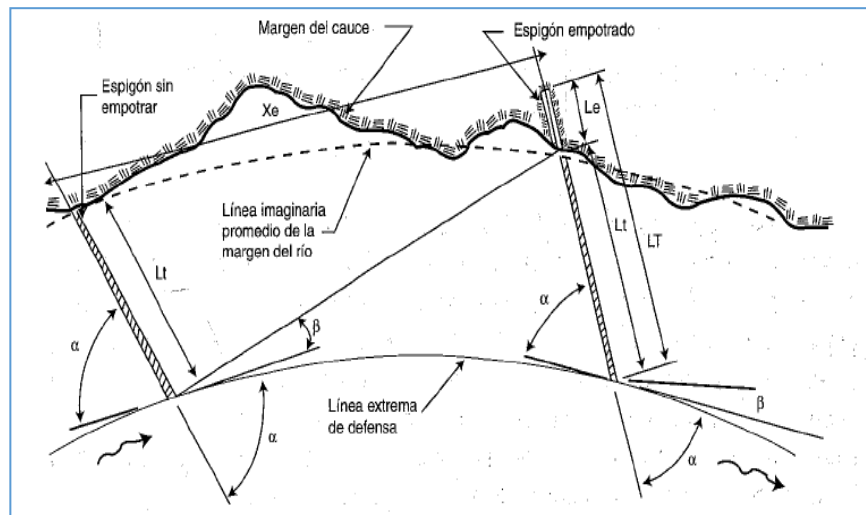
**Corrientes secundarias.** Las corrientes secundarias son las encargadas de redistribuir el campo de velocidades máximas y los esfuerzos de corte, que modifica el proceso de erosión y por consecuencia la morfodinámica local, tales efectos se observan con más detalles en zona de curvas donde entra en juego la geometría del río (ver Figura 4).



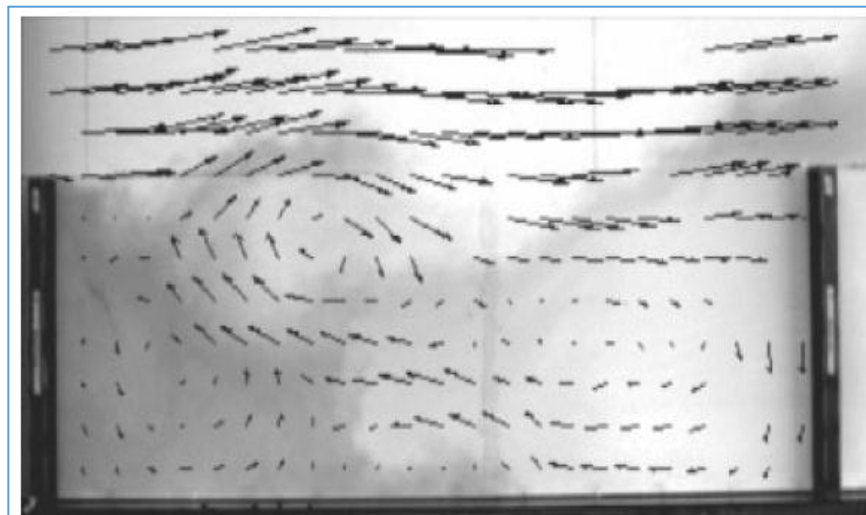
**Figura 4.** Flujo en espiral transmitido característico de las corrientes secundarias  
(Priego y Rivera, 2016) [13].

**Estructuras de espigones.** Los espigones son estructuras interpuestas a la corriente, cuyo extremo se ubica en la margen (ver Figura 5). El propósito de dichos espigones es evitar el contacto directo entre el flujo (velocidad) y el material que forma la orilla, esto sucede al guiar el flujo en una dirección deseada y conveniente [6], (ver Figura 6).





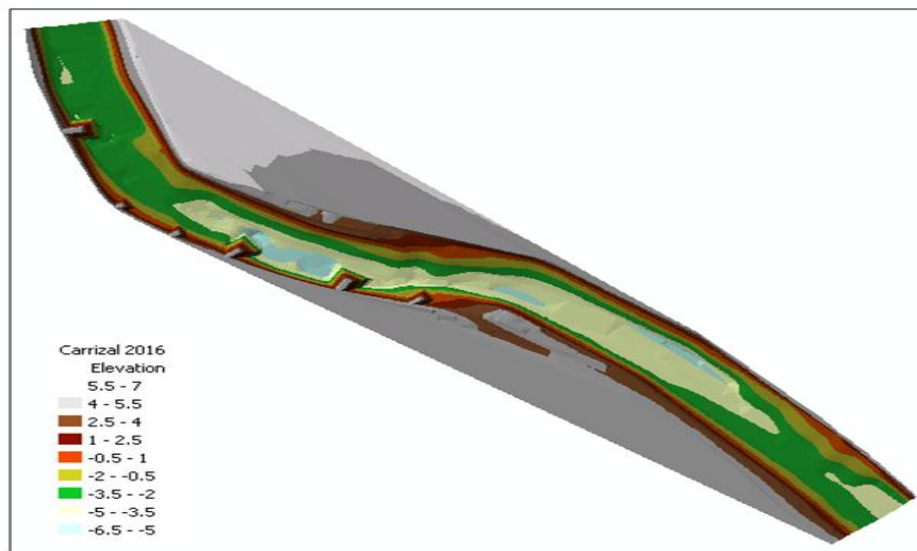
**Figura 5.** Configuración preferente de puesta en marcha de espigones (Maza y García, 2012) [6].



**Figura 6.** Desvío de líneas de corrientes en laboratorios (Mccoy et al, 2008) [14].

## RESULTADOS

**Modelo digital de elevacion.** Se obtuvo el modelo digital de elevaciones de los datos obtenidos en la campaña topobatimetría (Figura 7). Observando que la parte más profunda del cauce es sobre la zona central del mismo, desde al ápice de la curvas hasta aguas abajo fuera de la zona de los espigones. Sin embargo la influencia de los espigones aun es notoria, ya que la parte más profunda se sigue manteniendo en el centro del cauce.

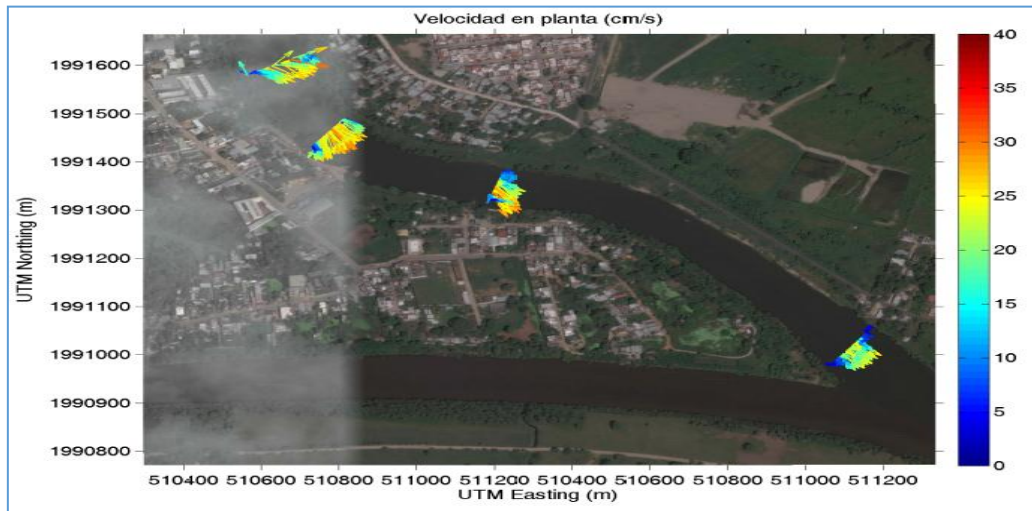


**Figura 7.** Levantamiento de topobatimetría del río Carrizal.

**Velocidades en planta.** Se grafico la distribución de los vectores resultantes en planta y se observo que la distribución de las velocidades se centra sobre el cauce. Siendo esto cogruente con lo observado de la topobatimetría multihaz, ya que la parte mas profunda es sobre esa zona.

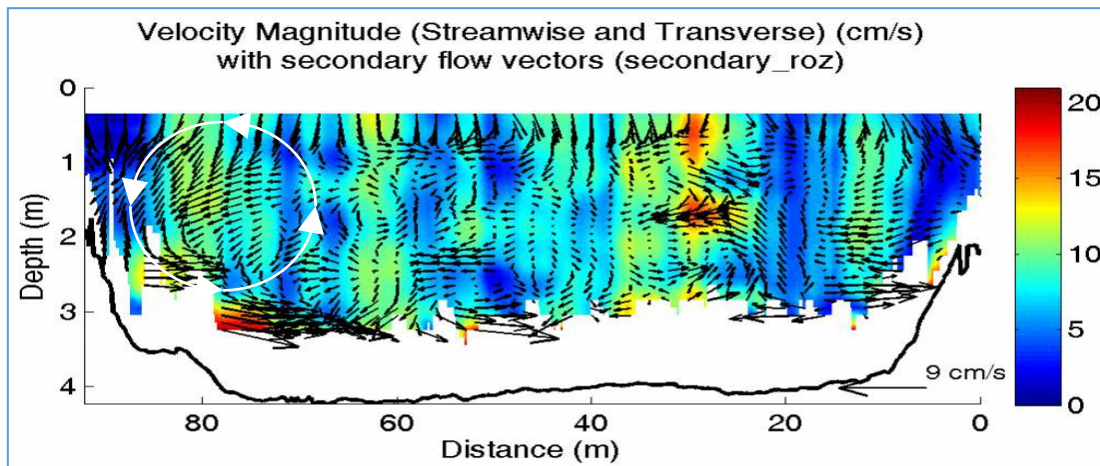
Antes de los espigones las velocidades oscilaron entre 0.05 y 0.25 m/s, en las secciones sobre los espigones oscilaron entre 0.15 y 0.4 m/s y aguas abajo de la

influencia de los espigones, se observó que el régimen se centra en el cauce con velocidades máximas 0.4 m/s, todo este referido a la influencia de la confluencia. En las imágenes se presentaron velocidades que oscilan entre 0.05 y 0.35 m/s (Figura 8). La campaña de medición se realizó en octubre de 2016 y el gasto medido fue de 50 m<sup>3</sup>/s .



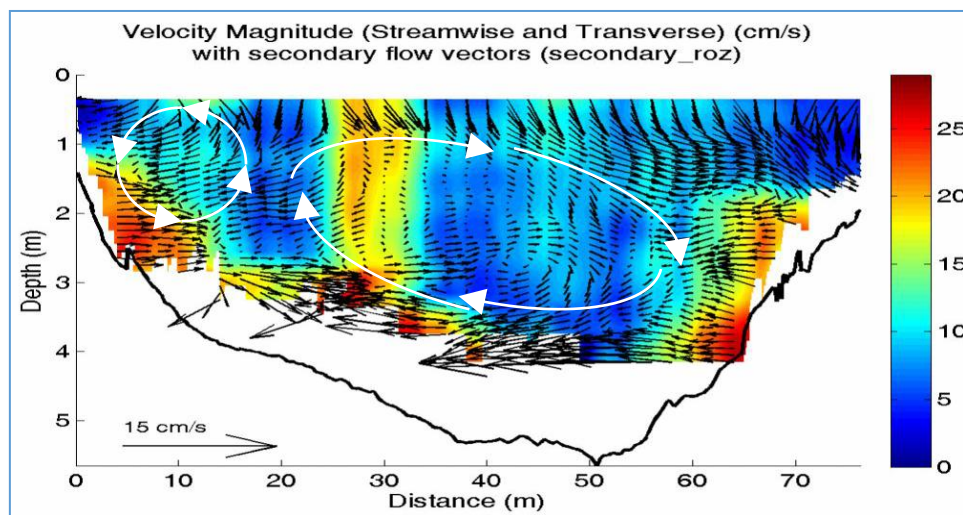
**Figura 8.** Velocidades en planta del río Carrizal.

**Magnitud de la velocidad y vectores de flujos secundarios.** Una vez graficada sobre las secciones transversales, la magnitud de las velocidades y vorticidad de las corrientes secundarias en vectores. Se observó que en la sección aguas arriba de los espigones la distribución de velocidades fue más uniforme y las corrientes secundarias fueron distribuidas de mejor manera sobre la margen izquierda (ver Figura 9).

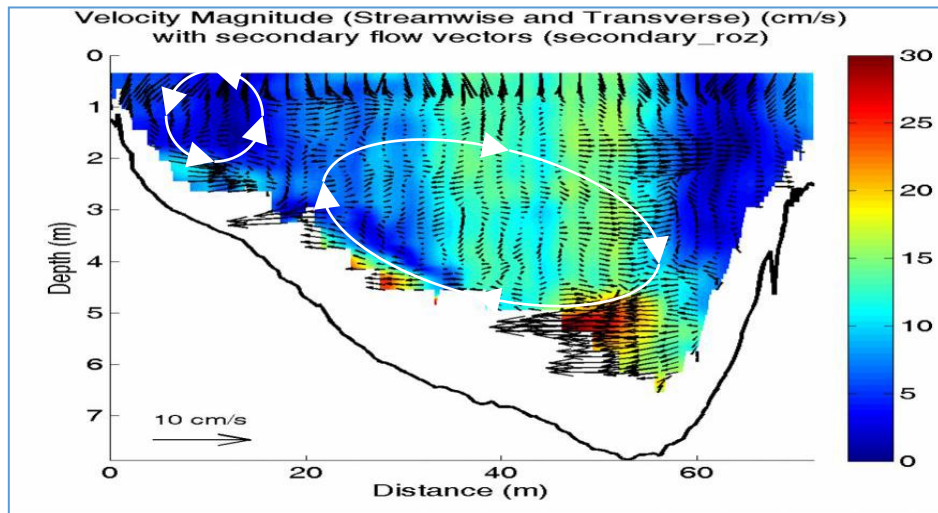


**Figura 9.** Velocidades y vectores transversales de la sección 1, en el río Carrizal.

Sobre la Sección 2 (Figura 10) y la Sección 3 (Figura 11) entre los espigones, se observó que el desarrollo de las velocidades secundarias es alejado de la margen derecha y fue más homogéneo. Para este caso la influencia de los espigones genera un desequilibrio sobre la zona central del flujo generando una vorticidad con vectores más agresivos sobre el fondo, cargados hacia la margen izquierda. Razón por la cual la zona donde operan los espigones reducen el corrimiento marginal y la parte central del cauce se acrecenta la taza erosiva.

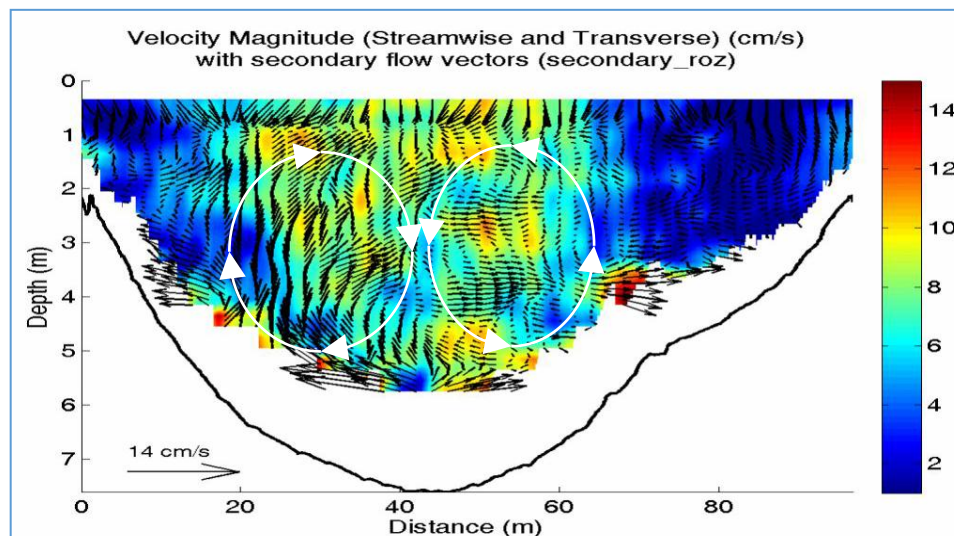


**Figura 10.** Velocidades y vectores transversales de la Sección 2, en el río Carrizal.



**Figura 11.** Velocidades y vectores transversales de la Sección 3, en el río Carrizal.

La sección aguas abajo, fuera de la influencia de los espigones desarrollo un regimen de velocidades central pero con vorticidades desarrolladas en la parte más profunda del cauce (ver Figura 12).



**Figura 12.** Velocidades y vectores transversales de la Sección 4, en el río Carrizal.

## CONCLUSIONES

Las velocidades en planta, muestran un cambio en la dirección del flujo, por efecto de la geometría del cauce, sin embargo en las márgenes donde estas interactúan con los espigones, disminuyen sus velocidades, creando zonas de recirculación, por lo que estas zonas incrementan su tasa de recuperación.

Debido a la operación en el ápice de la curva de los espigones, en la sección aguas arriba de los espigones la distribución de velocidades fue más uniforme y el sentido de rotación de la margen derecha, se mantuvo en el ápice y aguas abajo de la curva sobre la zona de los espigones; no así sobre la zona central del cauce donde el sentido de la vorticidad era contrario y en un área de influencia mayor sobre la sección transversal. Por lo que esto indica una mayor capacidad erosiva, resultante en una mayor profundidad en la zona central del cauce.

La influencia de los espigones genera un desequilibrio sobre la zona central del flujo generando una vorticidad con vectores más agresivos sobre el fondo, cargados hacia la margen izquierda y velocidades más bajas entre espigones. La sección aguas abajo fuera de la influencia de los espigones desarrolla un régimen de velocidades central pero con una vorticidad desarrollada en su parte más profunda. Aunque los espigones por ser estructuras transversales al cauce, en curvas reordenan los flujos secundarios y generan nuevas vorticidades, traducidas en zonas de depósitos entre espigones y profundas al centro del cauce.

## REFERENCIAS

- [1] Vide J. P. (2003). Ingeniería de Ríos. México: Alfaomega.
- [2] Rozovskii, I. L. (1957). Dvizhenie Vody na Povorote Otkrytogo Rusla. kiev: Izd. Akad. Nauk ukr. ssr. 188 pp. Transl., 1961, Flow of Water in Bends of Open Channels. Jerusalem: Israel Program sci. Transl, 234 pp.
- [3] Falcón, M. (1984). Secondary Flow in Curved Open Channels. Annual Review of Fluid Mechanics, 16, 179-93 pp.
- [4] Falcón Bathurst, J. C., Thorne, C. R. & Hey, R. D. (1979). Secondary Flow and Shear Stress at River Bends. J. Hydraul. Div. ASCE 105, 1277-95 pp.
- [5] Seo, I.W., Lee, M. E., & Baek, K. O. (2008). 2d Modeling of Heterogeneous Dispersion in Meandering Channels. Journal of Hydraulic Engineering, 134 (2), 196–204 pp.
- [6] Maza A. J. A. & García F. M. E. (2012). Estabilidad de Cauces, Actualización del Capítulo 12 del Manual de Ingeniería de Ríos. Series del Instituto de Ingeniería de la UNAM, 10-11 pp.
- [7] Berezowsky V. R. & Vilchis V. R. (2000). Protección y Control de Cauces, CNA-IMTA, 1-694 pp.
- [8] Yossef, M. F. & Vriend. M. H. J. (2011). Flow Details Near River Groynes: Experimental Investigation Journal of Hydraulic Engineering, 137 (5), may 1, 2011. ©ASCE, ISSN 0733-9429/2011/5-504–51
- [9] Szupiany R. N., Amsler M. L., Parsons D. R., Best J. L. & Haydel R. (2012).

Estructura del Flujo y Morfología en Dos Confluencias Aguas Abajo de Islas en el Río Paraná, Proyecto Subsidiado por la Universidad Nacional del Litoral de Santa Fe. Morfología y Cambios Hidráulicos en Puntos Nodales del Cauce Principal del Río Paraná.

[10] Rivera Trejo J. G. F., López Vasconcelos M. E., Uhus F. & Guillen O. (2006). Análisis de Información para la Identificación e Inventario de los Ríos y Cauces en el Estado de Tabasco. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco.

[11] Velásquez Villegas G. (1994). Los Recursos Hidráulicos del Estado de Tabasco. Ensayo Monográfico, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tabasco, 19-21 pp.

[12] Barua, D.K. & Rahman, K.H. (1998). Some Aspects of Turbulent Flow Structure in Large Alluvial Rivers, J. Hydr. Res., 36 (2), 235–252 pp.

[13] Priego-Hernández G. A. & Rivera-Trejo F. (2016). Secondary currents: Measurement and analysis, *Atmósfera*, 29 (1), 23-34 pp.

[14] McCoy, A., Constantinescu, G. & Weber L.J. (2008). Numerical Investigation of Flow Hydrodynamics in a Channel With a Series of Groynes, *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(2) february 1, 2008. ©asce, issn 0733-9429/2008/2-157–172.