

## DISTRIBUCIÓN Y CONCENTRACIÓN DE SEDIMENTOS EN CURVAS CON ESPIGONES, ESTIMADOS CON ADCP

## DISTRIBUTION AND CONCENTRATION OF SEDIMENTS IN CURVES WITH GROYNES, ESTIMATED WITH ADCP

García- García R.<sup>1</sup>, Quilantan- Ortega I.<sup>2\*</sup>, León- Jiménez J.E.<sup>3</sup>, Flowers- Cano R.S.<sup>3</sup>, Balladares-  
Sánchez M. A.<sup>3</sup>, Nungaray- Núñez J.A.<sup>4</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 Ciencias Básicas,  
carretera Cunduacán-Jalpa KM. 1, Col. La Esmeralda, Cunduacán, Tabasco, México CP. 86690.  
Autor de correspondencia: <sup>2\*</sup> [ingrid.quilantan@Ujat.mx](mailto:ingrid.quilantan@Ujat.mx)

<sup>3</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>4</sup>Consultor especializado de Obras Hidráulicas. Tabasco, México.

### RESUMEN

Los sedimentos son los modeladores de cauces aluviales en la planicie. La falta y el exceso de ellos aceleran o detienen las migraciones de los cauces. El hombre en el afán de controlar estos fenómenos, ha generado acciones estructurales sobre los cauces. Una de ellas es el control y retroceso de la migración utilizando espigones. El objetivo del presente estudio fue determinar mediante técnicas acústicas la distribución y concentración de sedimentos en una curva del río carrizal con espigones. Una vez procesada la información de los transectos realizados en la campaña de medición, y mediante las interpretaciones de las intensidades de los sedimentos medidos en decibeles, se conoció la distribución y concentración. Observando que una vez que el sedimento en suspensión entra sobre la zona de los espigones estos redistribuyen su concentración sobre sus márgenes derecha e izquierda y sobre la zona central del

cauce un déficit, que explicaría la taza erosiva tan agresiva en el centro del cauce, ya que en esas zonas están las profundidades más grandes.

**Palabras claves:** Sedimento, erosión, curvas, espigones y ADCP.

## **ABSTRACT**

Alluvial river channels are modeled by sediment transport. Channel migration is accelerated or stopped depending on the lack or excess of sediment. As part of his effort to control these phenomena, man has implemented structural actions on river channels. One of these actions is to control and produce a retreat in channel migration using groynes. The objective of this study is to determine, by means of acoustic techniques, the concentration and distribution of sediments in a curve with groynes in the Carrizal River in southern Mexico. This concentration and distribution was known once the information gathered during measurement campaigns was processed, and sediment intensities, measured in decibels, were interpreted. It was observed that once suspended sediments enter the area of influence of the groynes, these redistribute sediment concentration towards the banks, producing a sediment deficit in the central part of the channel. This would explain the aggressive erosion rates in the center of the channel, where the greatest depths are measured.

**Keywords:** Sediment, erosion, curves, groynes and ADCP

## INTRODUCCIÓN

Los ríos aluviales en gran medida deben su desplazamiento a la distribución y concentración de sedimentos. Por lo que es de interés conocer y cuantificar en qué medida la mano del hombre, mediante estructuras altera este desplazamiento [1].

Una de las estructuras de mayor uso por el hombre en la modificación del curso de los ríos son los espigones, estos controlan de forma permanente la evolución de márgenes.

Toda influencia que altere la hidrodinámica de los ríos, también afecta la concentración y distribución de sedimentos. De igual forma los espigones por la contracción que generan sobre la sección transversal, alteran la distribución y concentración de sedimentos, acrecentando la taza de transporte [2].

Entender esto ha llevado al uso de modelos numéricos para explicar la alteración que provocan en la hidrodinámica, el transporte de sedimento y en la evolución vertical y longitudinal sobre el lecho del cauce. Estos modelos son calibrados mediante modelos físicos, sin embargo el factor de escala genera incertidumbre en los resultados obtenidos [3]. Esto ha Generado dudas e interrogantes y cuestionando los resultados encontrados en los modelos, ya que una de las variables que teóricamente están demostradas son los efectos de las corrientes secundarias en la concentración y distribución de los sedimentos [4]. Por lo tanto, en este trabajo se hace un análisis cualitativo de las mediciones en campo con equipos acústicos, ya que identificando la hidrodinámica local y campos de velocidades en espigones, se identificara la distribución y concentración de sedimento actual en esas zonas.

## Zonas hidrodinámicas en espigones.

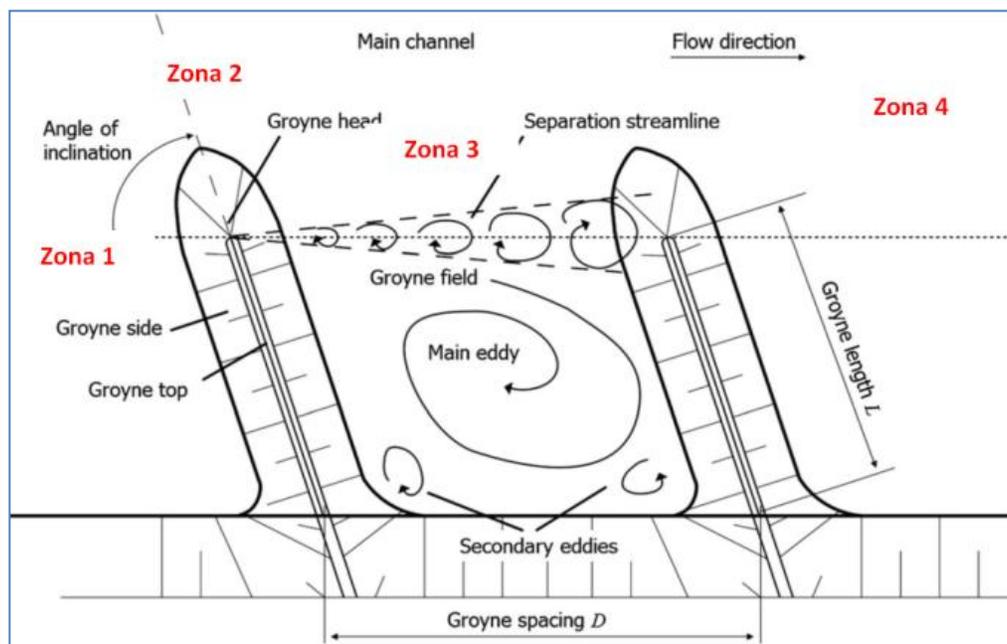
Los espigones son estructuras interpuestas a la corriente. El propósito de estas estructuras consiste en alejar de la orilla a las líneas de corriente con alta velocidad, y evitar así que el material de la margen pueda ser transportado y erosionado. Además, los espigones facilitan que los sedimentos se depositen entre ellos, logrando una protección adicional de la orilla. Los espigones pueden estar unidos simplemente a la orilla en contacto con ella, o bien estar empotrados una cierta longitud dentro de la margen (ver figura 1).

Las zonas de operación de espigones en conjunto son cuatro [5]:

1. Zona de régimen inicial bajo; En esta zona se genera una sobreelevación del tirante aguas arriba del cuerpo del primer espigón, ya que por ser una estructura transversal al flujo, genera remansos y una disminución de sus velocidades en las secciones transversales al cauce.
2. Zona de régimen turbulento; Una vez que el flujo se contrae en la sección transversal impuesta por el morro del espigón y la margen contraria, se generan campos de velocidades altos y turbulencias por el cambio de régimen de flujo subcrítico a supercrítico. Con lo cual este incremento de turbulencia local suspende material de fondo y por ende erosiones locales.
3. Zona de transición y operación entre espigones; En esta zona el flujo reconoce la línea extrema impuesta por los espigones y el régimen establecido es nuevamente subcrítico con velocidades altas. Las líneas de flujo reconocen una nueva dirección de

operación y se mueve el fondo hacia la margen contraria.

4. Zona de perturbación impuesta aguas abajo del conjunto de espigones; finalmente fuera de la influencia de la zona de espigones, hacia aguas abajo se rectifican sobre el centro del cauce las líneas de flujo alteradas y el régimen impuesto es subcrítico con velocidades bajas.

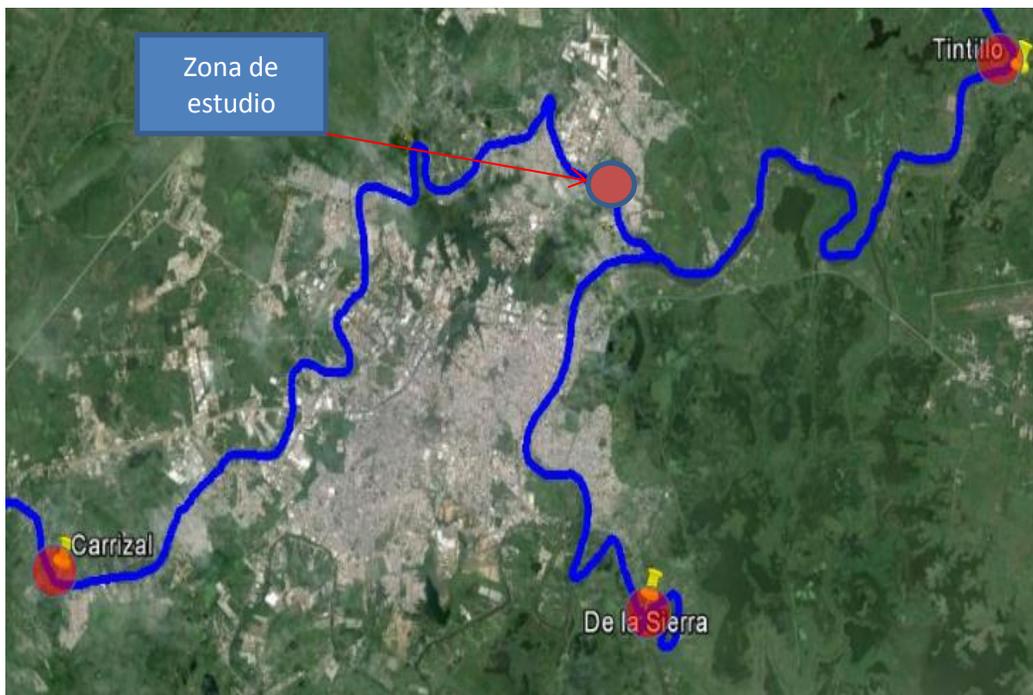


**Figura 1.** Zonas de operación de espigones.

## Localización

El río Carrizal se localiza en el centro-oeste del estado de Tabasco, dentro de las regiones Chontalpa y Centro, en los Municipios de Cunduacán y Centro, entre las coordenadas  $17^{\circ}56'58''$ ,  $18^{\circ}00'24''$  de latitud norte y  $93^{\circ}18'17''$ ,  $92^{\circ}53'37''$  de longitud WG. Nace de la bifurcación del río Mezcalapa en los ríos Carrizal y Samaria, en el Ejido

Macayo de Cunduacán y pasa por varias comunidades de los municipios de Cunduacán y Centro, como Macayo 1ª y 3ª secciones, Plátano y Cacao 1ª,2ª.y 3ª.secciones, Corregidora 3ª.Seccion, Buenavista 4ª.y 2ª. Secciones González 1ª. 2ª. Y 3ª. Secciones, entre otras; con una longitud de aproximadamente 80 km, terminando en la confluencia con el río Grijalva aguas abajo de la Colonia INDECO de la Ciudad de Villahermosa Tabasco [6], (ver Figura 1).



**Figura 2.** Localización general y ubicación de la zona de estudio en el río carrizal.

## METODOLOGÍA

### Topografías complejas

Desde el punto de vista hidrodinámico, la complejidad topográfica de los cauces naturales como de la llanura de inundación, constituyen el factor más importante para definir la operación de las corrientes secundarias y en buena medida la representatividad de modelos numéricos [7]. El uso de técnicas Doppler, manejo de estación total, Gps y herramientas Cad-Gis. Permitieron la obtención de la topobatimetría de márgenes, cauces y estructuras. En la figura 3 se muestran las secciones utilizadas para la obtención de información de campo.



**Figura 3.** Secciones de campo en el rio carrizal.

## Hidrodinámica mediante Perfiladores acústicos Doppler

La mayoría de las mediciones que se realizan por medio de ADCP en ríos, se llevaron a cabo en embarcaciones en movimiento. Donde el dispositivo se remolca de orilla a orilla para obtener los gastos sobre una sección transversal, y fueron originados por investigadores como [8, 9,10], En la figura 4 se muestra el equipo Doppler river ray de 600 kHz, montado en una embarcación de la campaña de medición realizada en agosto 2016. Con esta información se obtuvo las velocidades en planta, velocidades secundarias y las intensidades de los sedimentos en suspensión.

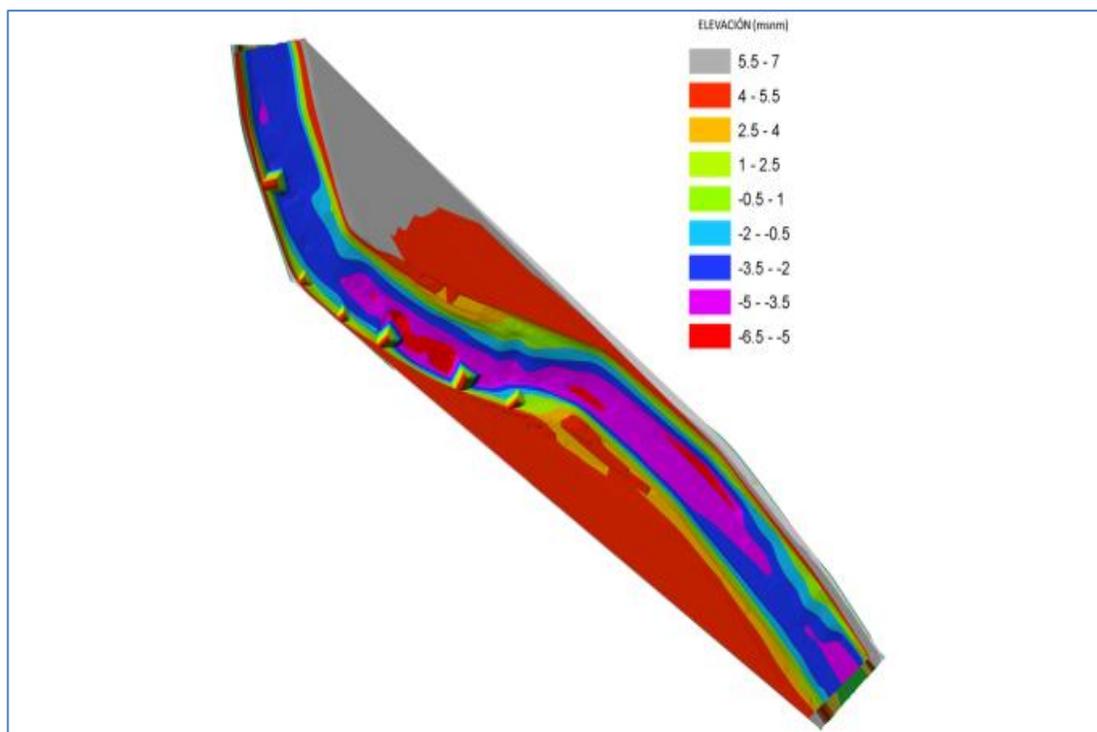


**Figura 4.** Perfilador acústico Doppler River ray.

## RESULTADOS

### Modelo digital de elevaciones

Se generó un modelo digital de elevación (MDE), de los datos obtenidos de las campañas de medición de fondo y márgenes de cauces (ver figura 6). En él se observó que las partes más profundas eran en la vecindad de los espigones, y sobre la zona central del cauce.

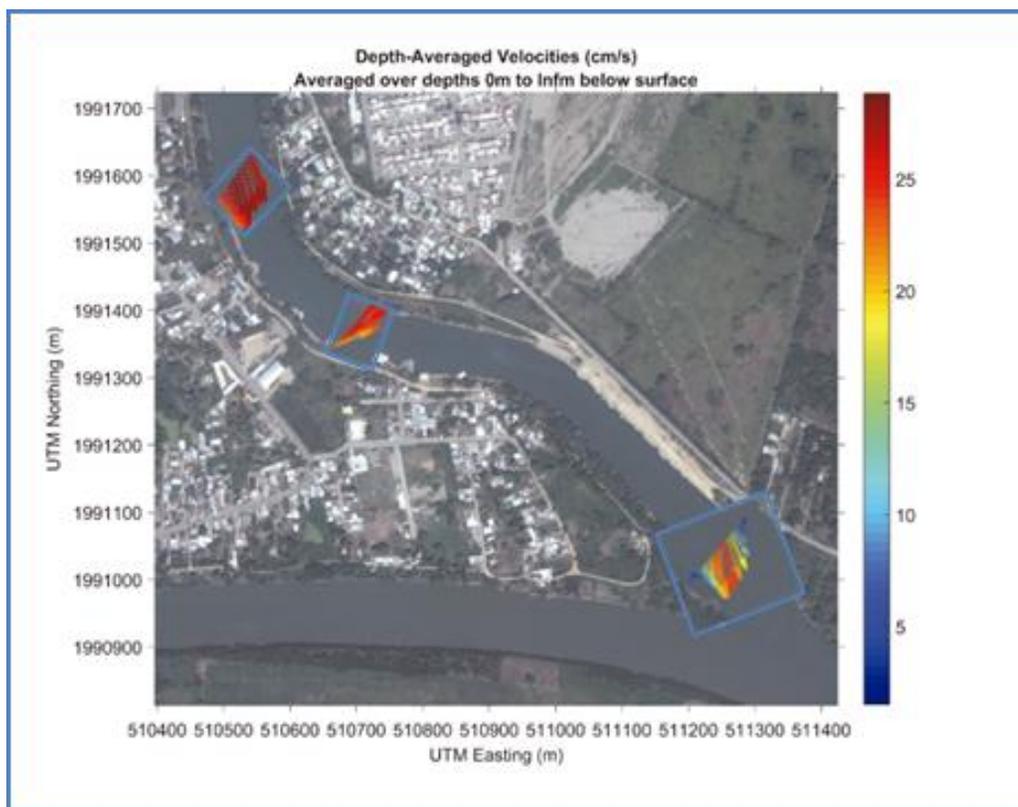


**Figura 6.** Modelo digital de elevaciones en zona de estudio Rio Carrizal.

### Velocidades en planta

Una vez procesada la información de las tres secciones seleccionadas, se obtuvo en planta la distribución del campo de velocidades (ver figura 7). El gasto obtenido en esta

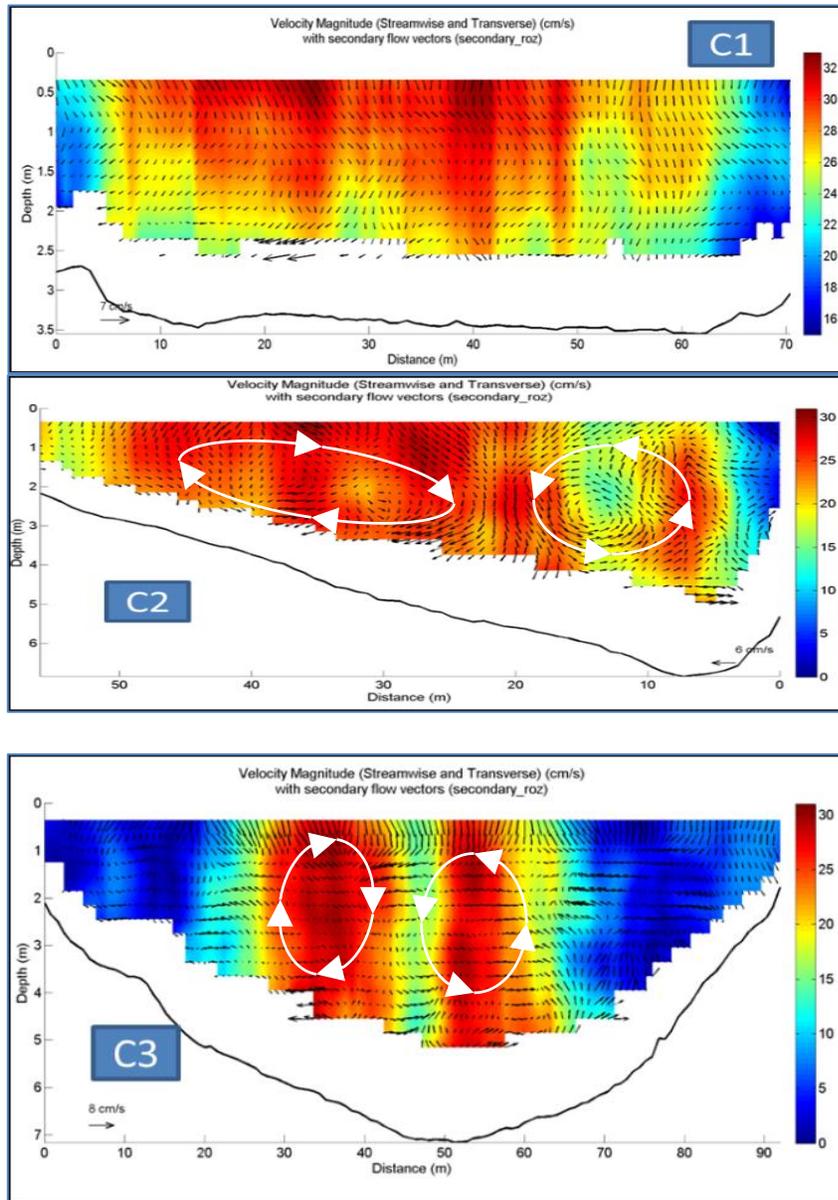
medición fue de 70 m<sup>3</sup>/s. De lo observado se identificó que la distribución de velocidades en la sección aguas arriba, empieza a ver el reflejo de los espigones aguas abajo y lo impuesto por la geometría local de una curva que es cargándose sobre la margen derecha ya no es representativo. En la zona entre espigones sufre un cambio de dirección hacia la margen izquierda y finalmente en la zona sin influencia centra sobre el centro del cauce.



### Intensidad de sedimentos e hidrodinámica

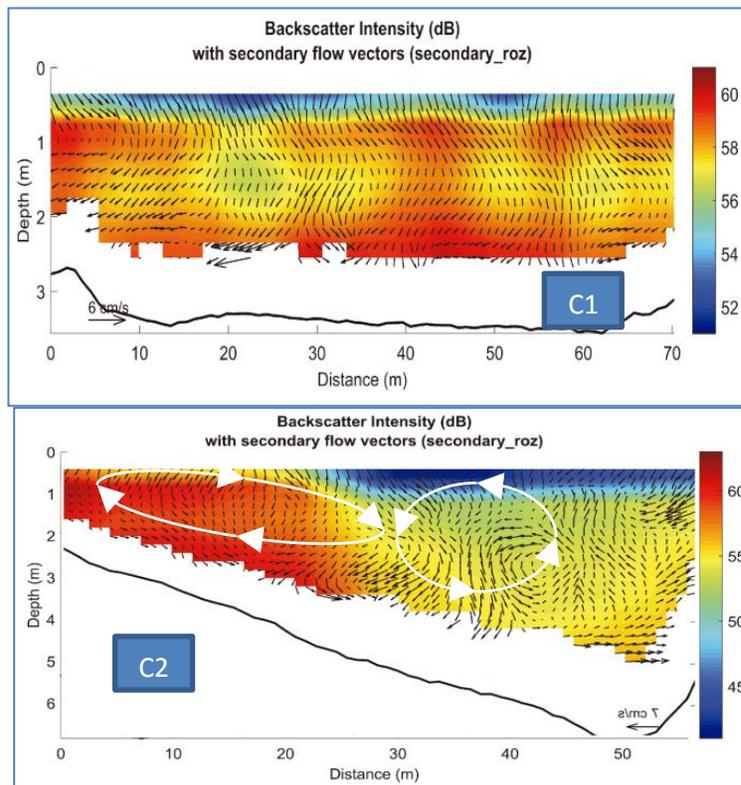
De la información obtenida del campo de velocidades actual, se obtuvieron tres secciones transversales en la zona de espigones. La primera ubicada aguas arriba de los espigones (ver figura 8-C1), entre espigones (ver figura 8-C2) y aguas abajo de los

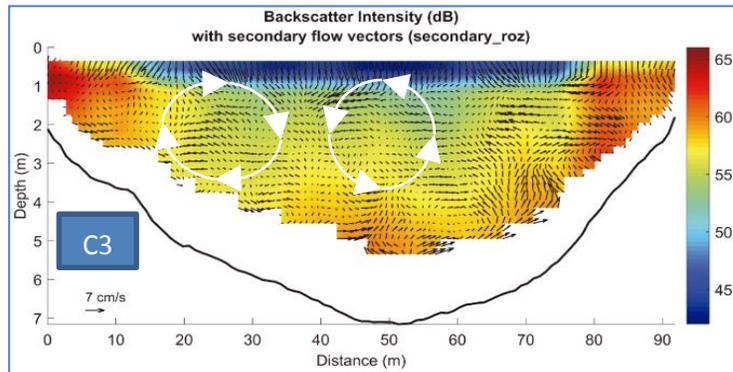
espigones (ver Figura 8-C3). En ellas se observan las magnitudes del vector velocidad (zonas coloridas de las secciones) y las velocidades secundarias (vectores).



**Figura 8.** Velocidades transversales y vorticidad de secciones C1, C2 y C3

Observando que en las sección aguas arriba no existe un flujo de velocidades secundarios desarrollados, en las secciones entre espigones se observa que la vorticidad de los flujos secundarios se desarrollan cargados hacia la margen izquierda, y la cercana a los espigones se aleja de la depresión vertical siete metros, indicando con ello estabilidad sobre la margen derecha, ya que las profundidades más grandes se presentan en las vorticidades desarrolladas por los flujos secundarios en curvas. Sobre las secciones aguas abajo de los espigones, se identificó un flujo más centrado con una vorticidad del flujo en las zonas de mayor velocidad, ambas en sentido contrario a las manecillas del reloj. De las secciones antes descritas se obtuvieron también las intensidades de los sedimentos Y se relacionaron con las velocidades secundarias (ver figura 9).





**Figura 9.** Intensidades de sedimentos en la transversal de secciones C1, C2 y C3.

Se observó que en la sección aguas arriba la mayor concentración de los sedimentos está cargada sobre el centro de cauce y la margen izquierda; y aunque las vorticidades del flujo no están muy desarrolladas el sentido de los vectores es sobre estas zonas. En la zona de espigones la mayor concentración es sobre la margen izquierda, existen don recirculaciones y ambas en sentido contrario, en este caso las magnitudes presentes son más grandes sobre la vorticidad en sentido horario a las manecillas del reloj. Finalmente en la secciones aguas abajo aunque las magnitudes están centradas en el cauce, la concentración es mayor sobre las márgenes y existen flujos secundarios con vorticidad en sentido contrario a las manecilla del reloj.

## CONCLUSIONES

La distribución de las magnitudes de velocidad aguas arriba de los espigones se mantiene uniforme, que es característico de una zona recta del río y las recirculaciones secundarias no son tan evidentes. La distribución de las intensidades de los sedimentos en suspensión obtenidas por los equipos acústicos muestran zonas de gran intensidad (entre mayor intensidad más sedimentos en suspensión existe) en toda la sección transversal y con la distribución teórica conocida donde la concentración más

grande debe ser sobre la parte menos profunda del ápice de la curva.

Las velocidades altas están situadas en la margen izquierda de la sección y sobre la margen derecha entre espigones las zonas más de bajas velocidades, esto comportamiento es característico de los espigones demostrado ya teóricamente y en laboratorio.

Finalmente se puede concluir que las intensidades muestran una distribución de los sedimentos en suspensión acorde con las velocidades obtenidas y estas son similares a lo teóricamente expuesto y encontrado en los modelos físicos en los laboratorios.

## REFERENCIAS

- [1] Vide J. P. (2003). Ingeniería de Ríos. México: Alfaomega.
- [2] Mohammad V. , Vali A. M.M. and Maryam A. (2014). Numerical Investigation of Wing to Web Length Ratios Parameter of T-shaped Spur Dike in a 90 Degree Bend on Scour Pattern. Journal of River Engineering. Vol.2. No.3. 2014.
- [3] Yossef, M. F. and Vriend. M. H. J. (2011). Flow Details Near River Groynes: Experimental Investigation Journal of Hydraulic Engineering, vol. 137, no. 5, may 1,

2011. ©asce, issn 0733-9429/2011/5-504–516.

[4] Seo, I.W., Lee, M. E., and Baek, K. O. (2008). 2d Modeling of Heterogeneous Dispersion in Meandering Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 134, no. 2, pp. 196–204.

[5] Martin H. and Bernd H.(2013). Sedimentation and flow Patterns Induced by Regular and Modified Groynes on the River Elbe, Germany. *Ecohydrol.* 6, 598–610 (2013). Published online 27 June 2013 in Wiley.

[6] INEGI (2005). Anuario Estadístico del Estado de Tabasco, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, México.

[7] Casa P.A., Benito. G., Thorndycraft .v. r. and Rico. M. (2005). Efectos de las Fuentes Cartográficas en los Resultados de la Modelación Hidráulica de Crecidas. *Ingeniería del Agua.* vol 12 n° 4.

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

[9] González J. Ansar m. and Kellman O. (2002). Comparison of Discharge Estimates From ADCP Transect Data With Estimates From Fixed ADCP Mean Velocity Data. *Hydraulic Measurements and Experimental Methods 2002.* pp. 1-10.

[10] Schemper T. and Admiraal D. (2002). An Examination of The Application of Acoustic Doppler Current Profiler Measurements in a Wide Channel of Uniform Depth for Turbulence Calculations. *Hydraulic Measurements and Experimental Methods 2002.* pp. 1-9.

