

## DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS E HIDRODINÁMICA EN CURVAS NATURALES DE RÍOS MEANDRICOS, ESTIMADOS MEDIANTE TÉCNICAS ACÚSTICAS

## CHARACTERIZATION OF SEDIMENT DISTRIBUTION AND HYDRODYNAMICS IN NATURAL CURVES OF MEANDERING RIVERS, USING ACOUSTIC TECHNIQUES

Rodríguez-Gómez J.C.<sup>1</sup>, León-Jiménez J. E.<sup>2\*</sup>, Flowers-Cano R. S.<sup>2</sup>, Balladares-Sánchez M. A.<sup>2</sup>,  
Nungaray-Núñez J. A.<sup>2</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.  
Autor de correspondencia: <sup>2\*</sup> napaleon01@hotmail.com.

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

### RESUMEN

La orientación y tránsito preferente de los gastos sólidos y líquidos obedecen en gran manera a los patrones de flujo y distribución de sedimentos en las curvas de los ríos. En estas zonas existe un especial interés en identificar la complejidad de estos fenómenos, por lo que el objeto de análisis propuesto fue determinar los patrones de flujo líquido y sólido en curvas naturales, verificados con los teóricos y de laboratorio reportados. La obtención de datos fue mediante software especializado y utilizando técnicas de medición Doppler para el uso de ADCP (ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER), recolectando datos de campo en tres secciones preestablecidas por estación; aguas arriba de la curva, en el ápice de la curva y aguas abajo de la curva. Procesada la información, se identificó que en las curvas cargadas sobre la margen izquierda y con profundidad grandes y medianas, la vorticidad generada de los flujos

secundarios fue más desarrollada, que en las cargadas sobre la margen derecha y profundas. De igual forma el gradiente de las densidades obedecía un patrón recurrente sobre la parte interna de la curva y las vorticidades en la transversal eran en sentido contrario respecto a la parte externa.

**Palabras claves:** Hidrodinámica, curvas, flujos secundarios, ADCP y sedimentos.

## ABSTRACT

The orientation and preferred path of solid and liquid discharge depends greatly on the flow patterns and sediment distribution in river curves. There is a special interest in identifying the complexity of the mentioned phenomena in these zones, and the goal of the present analysis was to determine the liquid and solid flow patterns in natural curves, and to compare them with those predicted theoretically and measured in the laboratory. Data was obtained using special software and Doppler measurement techniques for ADCP (ACOUSTIC DOPPLER CURRENT PROFILER), and collected in three established cross sections per station: upstream of the curve, in the curve apex, and downstream of the curve. Once the information was processed, it was seen that in curves directed towards the left bank, with medium or large depths, the vorticity generated by secondary flows was more developed that in deep curves directed towards the right bank. It was also seen that the density gradient in the inside of the curve followed a recurrent pattern, and that vorticities in the inside of the curve had an opposite cross sectional direction to those in the outside of the curve.

**Keywords:** Hydrodynamics, curves, secondary flows, ADCP and sediments.

## INTRODUCCIÓN

Los problemas en la hidráulica fluvial causados por actividades humanas cada vez son más complejos, un caso de ello ocurre en ríos meandricos que experimentan cambios en su desplazamiento debido a que son confinados en zonas de población o próximas a ellas, además de considerar el factor meteorológico que a su vez causa inundaciones en las zonas de planicie. La abundancia de aprovechamientos hidráulicos ha modificado sustancialmente las características de los sistemas fluviales.

La mayoría de los ríos en el mundo han sido modificados en su estructura y funcionamiento [1]. La alteración del funcionamiento natural del río trae como consecuencia cambios en la morfología del río. Los ajustes y cambios morfológicos del cauce pueden deducirse a partir de la respuesta del propio cauce. Dichos factores incluyen a su vez cambios naturales en los regímenes de caudales y sedimentos, y cambios antropogénicos tales como la estabilización de los márgenes, obras derivadoras, la regulación de la corriente. La respuesta geomorfológica de los ríos a estos factores se manifiesta a través de cambios en la geometría y el trazado en planta. Discriminar estas relaciones de causa-efecto es el paso inicial para comprobar si los impactos dominantes en un período de tiempo dado son naturales o antropogénicos. Los factores responsables de los cambios del cauce son numerosos y bien conocidos, e incluyen modificaciones en el régimen de caudal, erosionabilidad de los márgenes o aportes de sedimentos [2, 3]. Actualmente el interés sobre los efectos de las diversas estructuras en el régimen del río ha aumentado.

Un caso particular es el estado de Tabasco donde existe un gran número de ríos que han sido controlados por la intervención del hombre para salvaguardar su protección se ha dado a la tarea de realizar infraestructuras hidráulica que mitiguen los problemas causados en temporadas de lluvias mediante la realización de protecciones marginales que impiden el desplazamiento en sus laterales el río, otro caso es el desvío del gasto transitado sobre el río principal a zona lagunares o donde no exista asentamientos de población. Tales obras de derivación lateral y los efectos que estas ocasionan sobre los patrones del flujo de velocidades secundarias no han sido estudiadas a fondo.

Por ello, como objetivo de este estudio fue determinar los patrones del flujo de corrientes secundarias que se presentan aguas abajo en curvas naturales, de donde se encuentran estructuras derivadoras.

### **Localización**

En la zona de estudio se ubican tres estructuras de derivación lateral, la primer estructura de derivación Acachapan I se sitúa en las coordenadas  $18^{\circ} 1.644$  N y  $92^{\circ} 49.831$  O, la estructura de derivación Acachapan II entre las coordenadas  $18^{\circ} 4.411$  N y  $92^{\circ} 45.850$  O, y la estructura de derivación Acachapan III en la ubicación  $18^{\circ} 5.703$  N y  $92^{\circ} 45.121$  O. La zona de estudio se ubica entre las coordenadas  $18^{\circ} 5.837$  N y  $92^{\circ} 43.960$  O, en el municipio Centro del estado de Tabasco (ver Figura 1).



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

## METODOLOGÍA

### Hidrodinámica mediante Perfiladores acústicos Doppler

La medición de la velocidad tridimensional en cuerpos de aguas tales como ríos y canales artificiales o naturales permite la caracterización de la dinámica fluvial y los procesos hidrodinámicos asociados [4], validado esta metodología por la comunidad científica y empresarial por la eficiencia y rapidez de las mediciones del flujo y velocidades [5], (ver Figura 2).

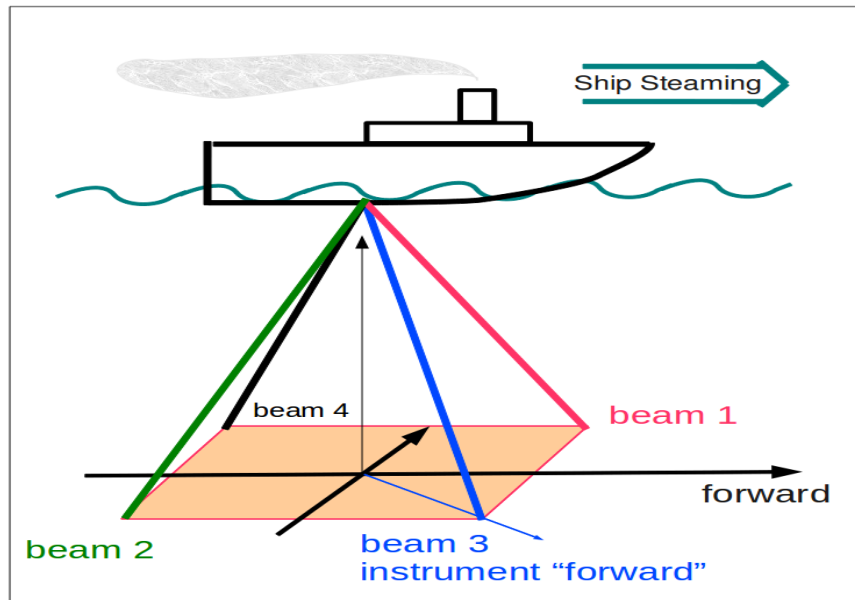


Figura 2. Perfilador Acústico Doppler y operación de la instrumentación del equipo.

### Corrientes secundarias

Las corrientes secundarias son las encargadas de redistribuir el campo de velocidades máximas y los esfuerzos de corte, que modifican el proceso de erosión y por consecuencia la morfo dinámica local, tales efectos se observan con más detalles en zona de curvas donde entra en juego la geometría del río (ver Figura 3).

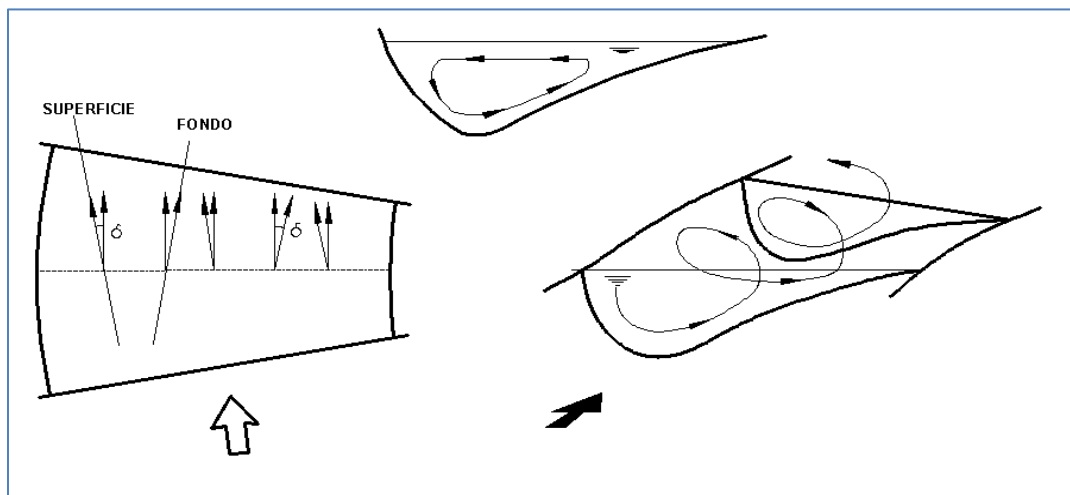
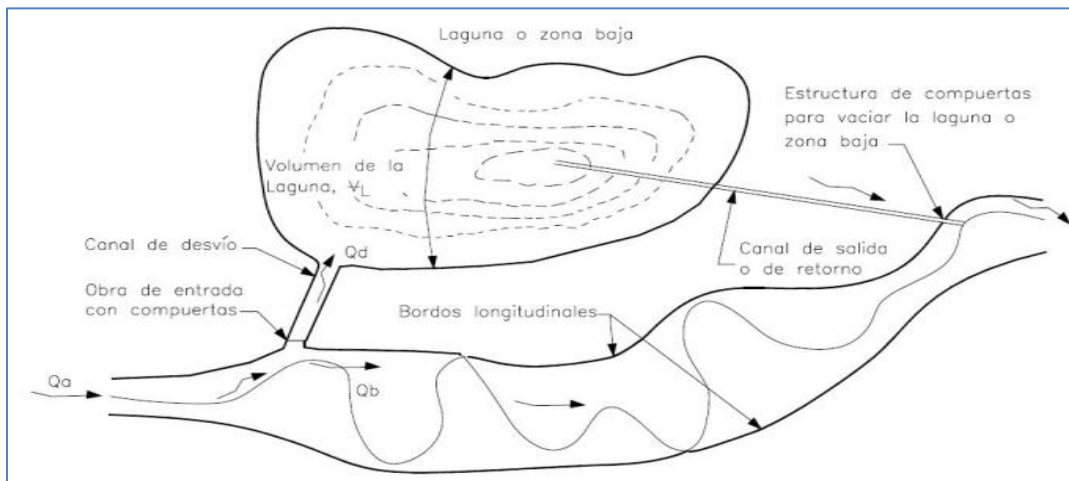


Figura 3. Flujo en espiral transmitido característico de las corrientes secundarias.

## Estructuras derivadoras laterales

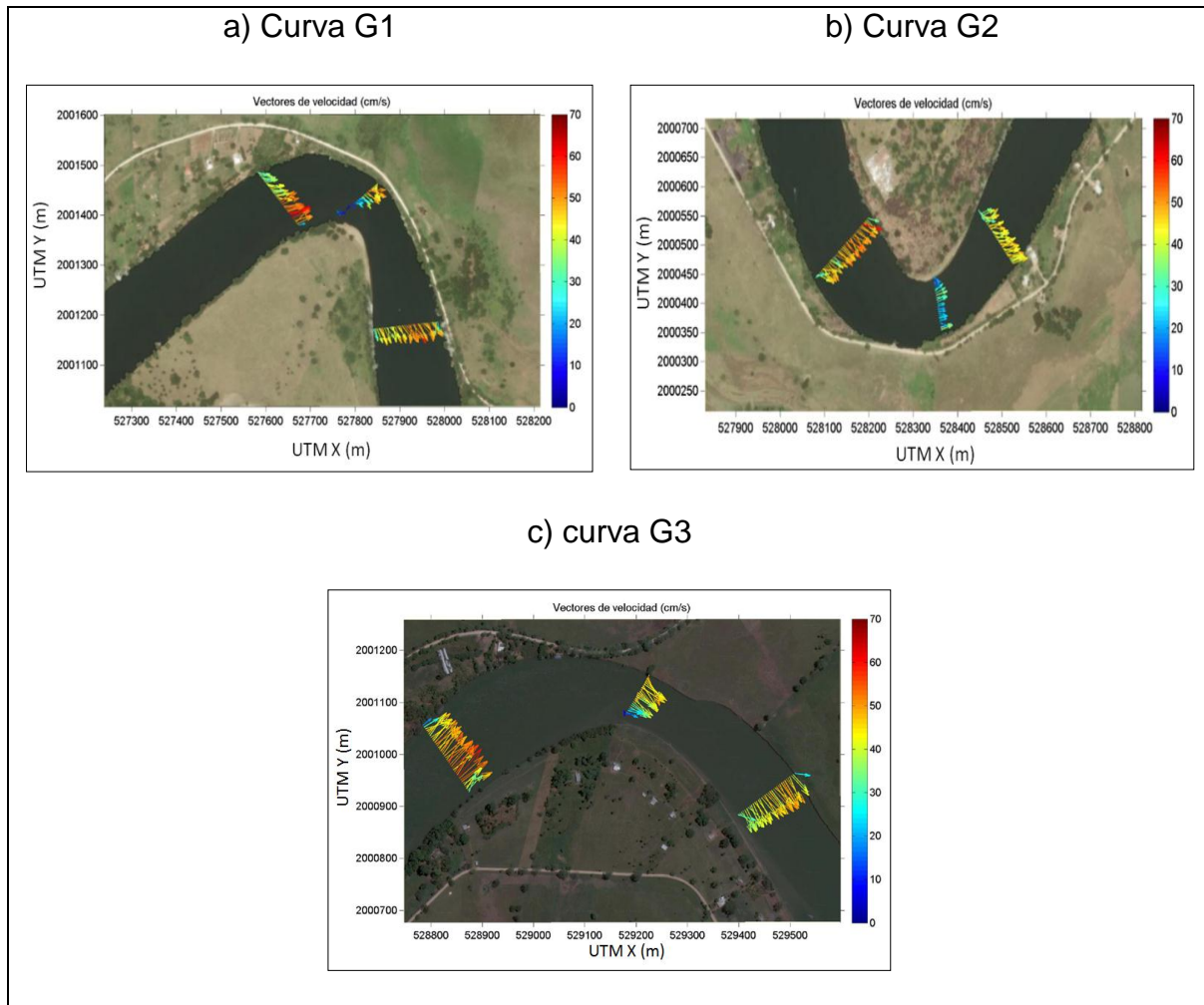
Su principal función es desviar mediante un canal hacia el mar, una laguna, otro cauce, a zonas bajas o a depósitos artificiales que puedan ser inundados mientras se presenta la avenida (ver Figura 4). Debido a que las zonas afectadas son elegidas para este fin, los daños son menores [6].



**Figura 4.** Arreglo general de un derivación lateral (Maza, 1993).

## RESULTADOS

Una vez procesada la información se determinó en planta mediante un promedio sobre la transversal los vectores con magnitud y dirección de las tres curvas analizadas (ver Figura 5).

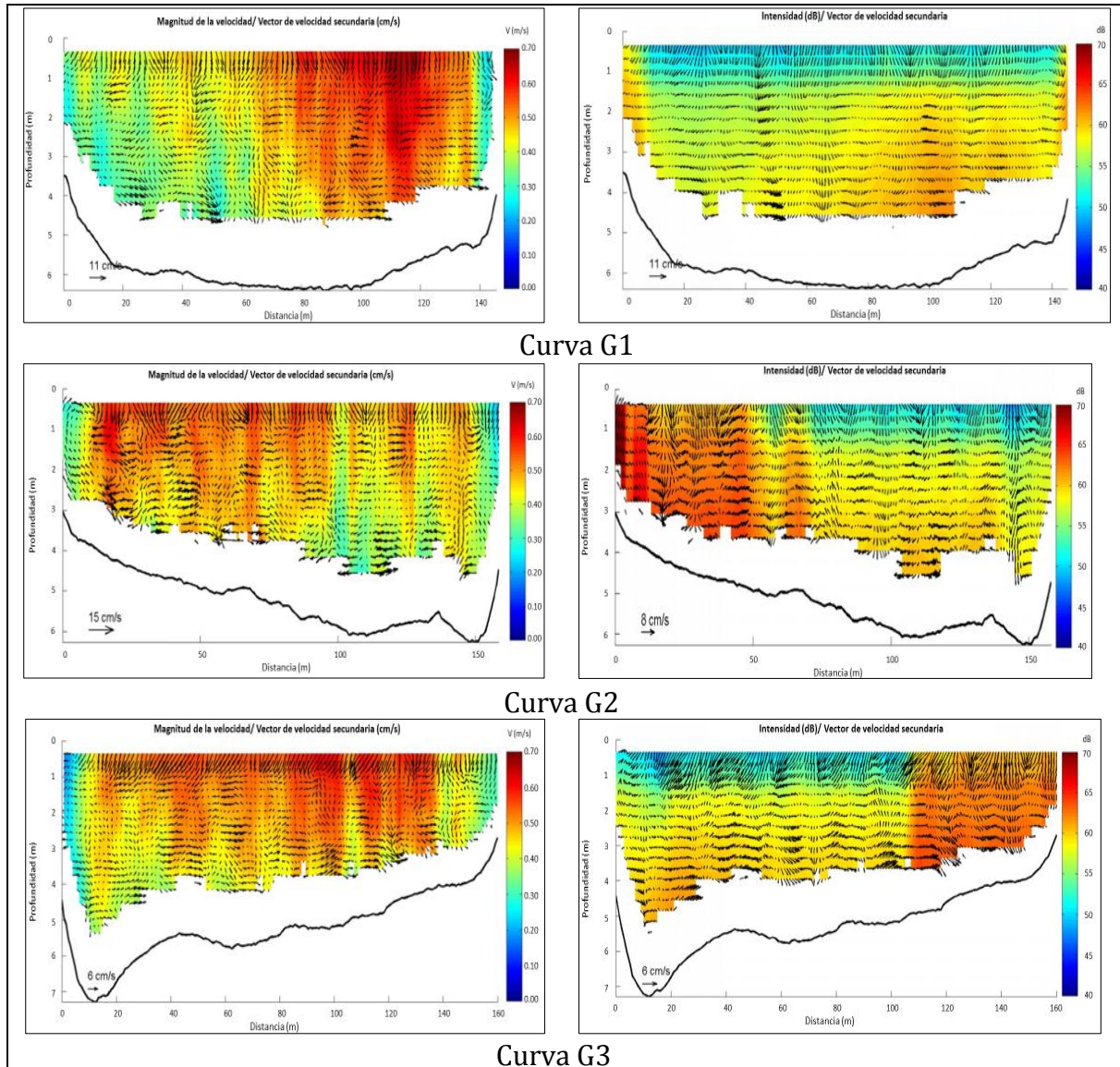


**Figura 5.** Velocidad en planta de la curva G1, G2 y G3 en el río Bajo Grijalva.

Observando en la figura 5a y 5c, las curvas G1 y G3 describen un proceso de distribución de velocidades altas en la entrada sobre la margen derecha, sobre los ápices en las márgenes izquierdas, manteniendo esta distribución de igual forma en las salidas de las curvas, sin embargo este proceso teórico y demostrado en laboratorio de la distribución de velocidades por [7], no es congruente con la curva G2. En la Figura 5b el patrón que se observa es una orientación diferente del meandro respecto al flujo y la



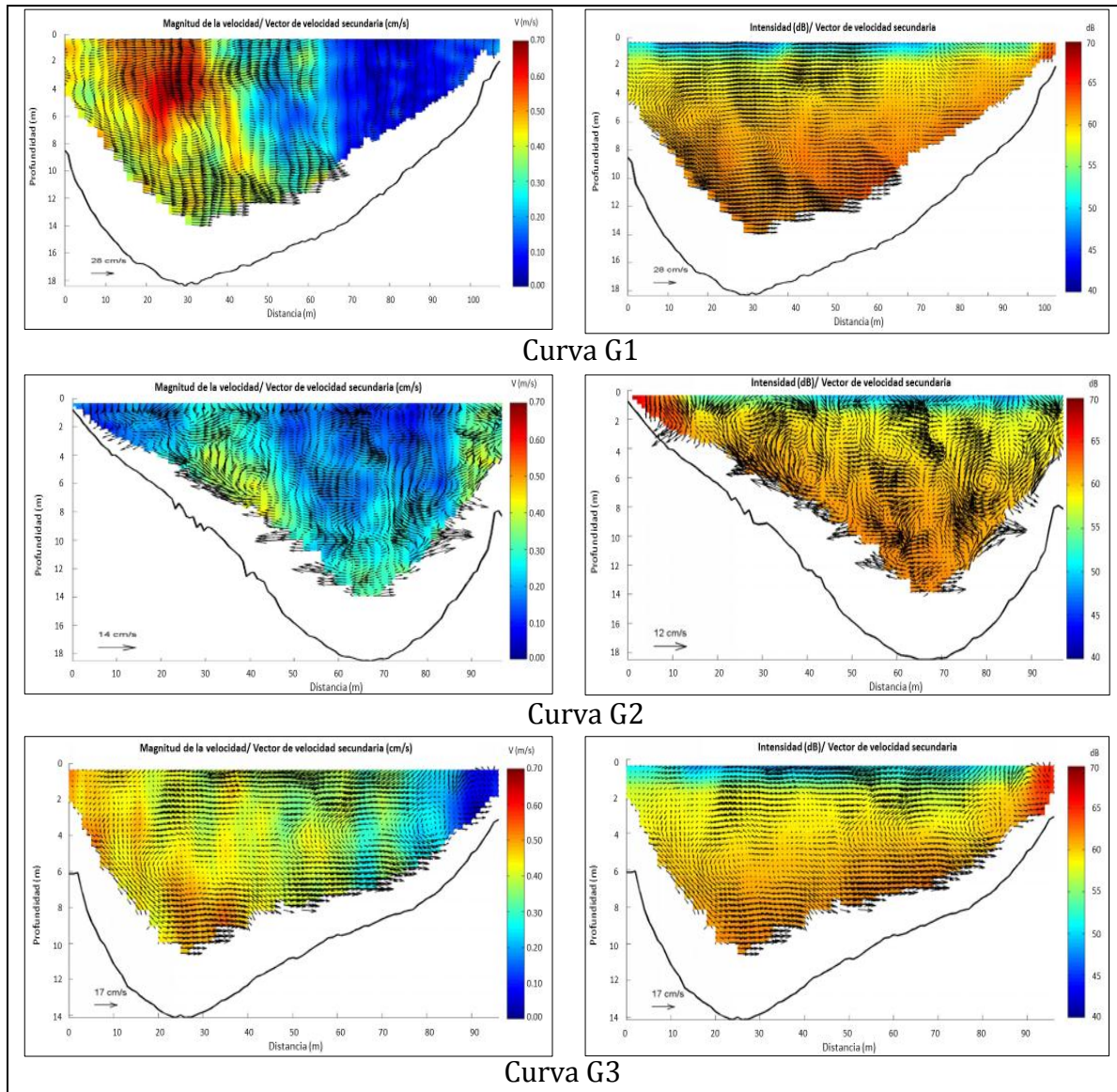
distribución de los vectores de velocidad es más homogénea en la sección transversal antes, durante y en la salida de la curva.



**Figura 6.** Velocidades y distribuciones de los sedimentos en las secciones Transversales de entradas en las curvas G1, G2 y G3

Una vez procesada la información del campo de velocidades e intensidad de sedimentos (ver Figura 6). Se observó un gradiente de concentraciones en la curva G2

y G3, de la parte interna de la curva hacia la parte externa con un gradiente de velocidades más distribuido. Sin embargo en la curva G1 donde las concentraciones fueron más homogéneas, la distribución de velocidades tuvo un gradiente más definido. Los flujos secundarios no estuvieron bien definidos.

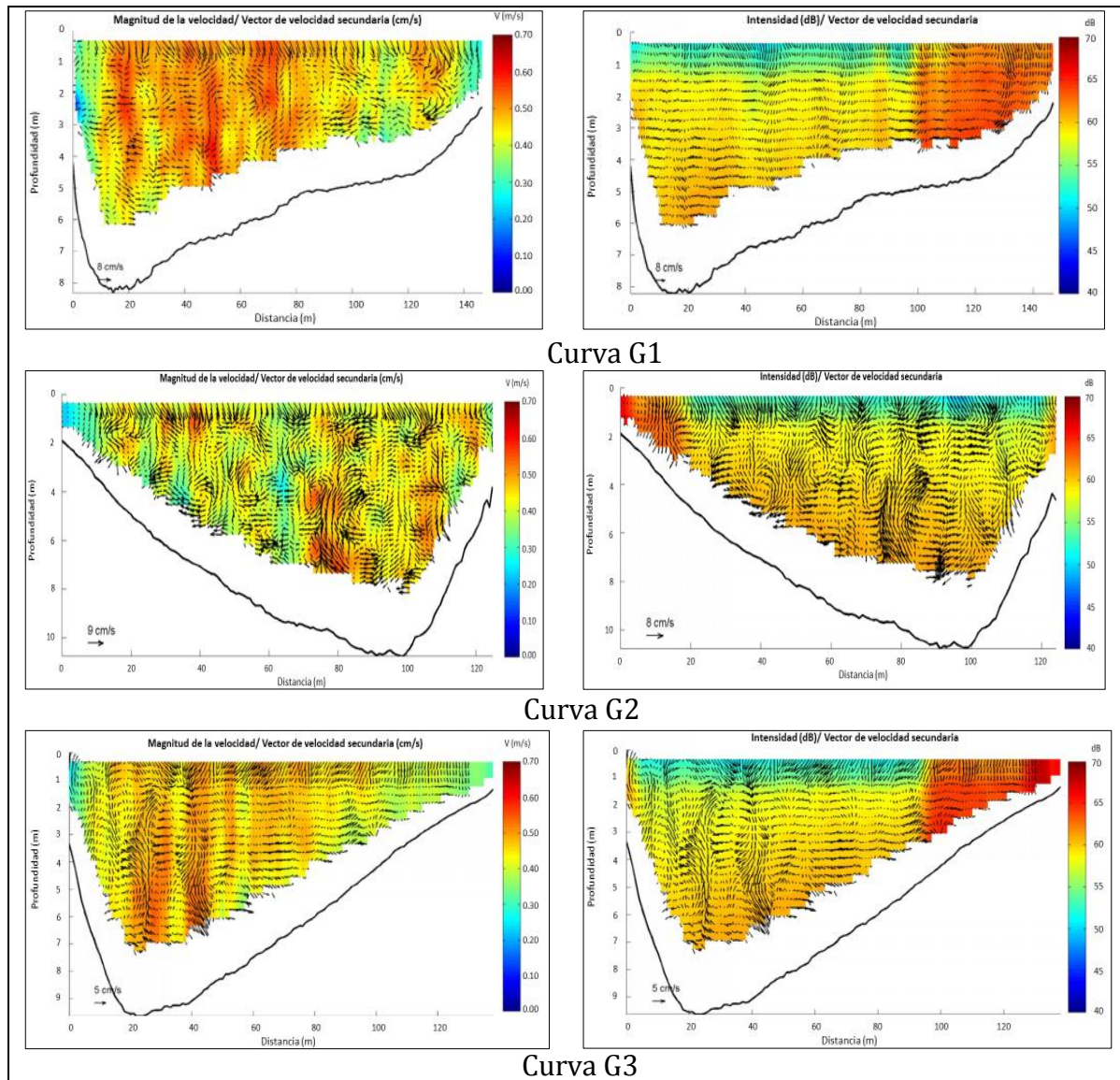


**Figura 7.** Velocidades y distribuciones de los sedimentos en las secciones Transversales de los ápices en las curvas G1, G2 y G3

Sin embargo en la Figura 7, en las curvas G1 y G3 se pudo observar un desarrollo estable de los flujos secundarios en el sentido de las manecillas del reloj, caso contrario de la curva G2 en donde no se tuvo un patrón homogéneo del desarrollo de los flujos secundarios. Dado que la diferencia de profundidades de las curvas G1 y G2, con respecto a G3 fue de cuatro metros de profundidad, se plantea la hipótesis que curvas orientadas en el sentido del flujo son más eficientes para el desarrollo de flujos secundarios a esas profundidades y menores, que las orientadas en sentido contrario al flujo y de grandes profundidades. Todo esto dado que los gradientes de las densidades en las tres curvas son homogéneos a pesar de que el de velocidades no lo es.

La distribución de la concentración de los sedimentos en suspensión en los ápices de las curvas, es sobre la parte interna y las vorticidades en sentido contrario no permiten la mezcla.

De igual forma es importante destacar que este patrón de comportamiento está dado por los flujos newtonianos con densidades constantes e irrotacionales y se observa que los patrones del flujo tienen tránsitos preferentes en las entradas, mismos que se pierden sobre los ápices y se recuperan en las salidas. Por lo que el comportamiento teórico se da, en mayor proporción en esas zonas y dado que la vorticidad en la transversal no permite la mezcla de las propiedades del fluido y se dan en sentidos contrarios, se pueden considerar venas líquidas en lo expuesto por Bernoulli (ver Figuras 6 y 8).



**Figura 8.** Velocidades y distribuciones de los sedimentos en las secciones Transversales de las salidas en las curvas G1, G2 y G3

## CONCLUSIONES

De las magnitudes en planta de las velocidades, se observó que en las curvas G1 y G3, las mayores se presentan en la margen derecha, en el ápice y a la salida sobre la

margen izquierda. La curva G2 no obedece dichos patrones, por lo que contrapone lo expuesto teóricamente por Rozovskii en 1957.

La distribución teórica de mayor concentración es sobre la parte interna de la curva y este patrón se observa en la entrada y la salida de las curva G1, G2 y G3, siendo la menos profunda la de un mejor distribución. Por lo que teóricamente obedecen las limitantes teóricas de los flujos newtonianos.

Finalmente en las curvas G1 y G3, Los flujos secundarios son más desarrollados y estas se orientan en sentido del flujo. No así la curva G2, en donde la turbulencia con vorticidades poco desarrolladas se presentan en toda la sección transversal, por lo que podemos concluir que estas curvas orientadas en sentido contrario al flujo y muy profundas son menos eficientes en el desarrollo de los flujos secundarios y por ende el proceso de migración del meandro es más lento.

**REFERENCIAS**

- [1] Domínguez-Sánchez, T. A., Lomelí-Meza, J., Ibáñez-Castillo, L. A., & Balandra, M. A. G. (2015). Determinación de Caudal Ecológico del Río Mezcalapa en Base a la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 con Consideraciones Hidrológicas e Hidráulicas. 1er Congreso.
- [2] Schumm, S.A. y Lichty, R.W. (1965): "Time, Space and Causality in Geomorphology", American Journal of Science 263. pp. 110–119.
- [3] Lane, S.N. y Richards, K.S. (1997): "Linking River Channel Form and Process: Time, Space and Causality Revisited", Earth Surface Processes and Landforms 22. pp. 249–260.
- [4] Tarrab, L., G., G. M., & M., G. C. (2010). Optimización de Estrategias de Muestra de Técnicas de Medición Hidroacústica a Partir del Uso de Simulaciones Numéricas Directas. Asociación Argentina de Mecánica Computacional, Buenos Aires, Argentina.
- [5] Barua, D.K., Rahman, K.H. (1998). Some Aspects of Turbulent Flow Structure in Large Alluvial Rivers, J. Hydr. Res. 36 (2), pp. 235–252.
- [6] Sala, S. M. (1999). Obras de protección contra inundaciones. México: CENAPREP.
- [7] Rozovskii I. L., 1957. Dvizhenie Vody na Povorote Otkrytogo Rusla. Kiev, USSR, 188 pp. Transl. 1961, Flow of water in bends of open channels. Jerusalem Israel Program for Scientific Translations, Israel, 234 pp.