

ANÁLISIS GEOESPACIAL DEL CORRIMIENTO MARGINAL DE UN RÍO, CASO DE ESTUDIO: RÍO CARRIZAL

GEOSPATIAL ANALYSIS OF A RIVER EROSION, CASE STUDY: CARRIZAL RIVER

Gramajo C. José E.¹, Rodríguez B. Roberto²

RESUMEN

El río Carrizal, ubicado en el estado de Tabasco, es tal vez, la corriente donde se presentan los mayores problemas respecto a la inestabilidad de márgenes, y fallas en protecciones marginales. El artículo presenta una serie de actividades que tienen el objetivo de analizar el corrimiento marginal del río Carrizal, haciendo uso de imágenes satelitales en tiempos diferentes y en las cuales se pueden distinguir, describir y representar las características físicas, y así mismo, proporciona una referencia geográfica que el río manifiesta. Los resultados muestran las áreas totales de erosión y depósito, así como las tasas de corrimientos marginales, correspondientes al avance y retroceso que éstos presentan. Como conclusión, al analizar el corrimiento marginal, se identifican las tendencias de desplazamiento del cauce, y con ello, identificar zonas susceptibles de erosión, que incluye tanto a población como a infraestructura, y así tomar decisiones pertinentes y actuar de la mejor forma posible.

Palabras clave: erosión, depósito, margen, ortofoto, sistema de información geográfica.

ABSTRACT

In Carrizal River, located in Tabasco, were found the greatest problems regarding the instability of banks and faults in marginal

protections. The article presents a series of activities aiming to analyze the erosion of Carrizal River, making use of satellite images at different times, which, we can use to distinguish, describe and represent physical characteristics, and thus, they give us a geographic reference that the river presents. The results of the study show the total erosion and deposit areas, as well as the rates of erosion. As a conclusion, when we analyze the erosion of the river, it is possible to identify the displacement tendencies of the river, and the susceptible zones of erosion are identified, which includes vulnerable zones with the population and the infrastructure, to make the best decisions and be able to act properly.

Keywords: erosion, deposit, bankorthophoto, geographic information system.

INTRODUCCIÓN

La conformación y consolidación de asentamientos humanos en las orillas de los ríos aluviales generan amenazas de inundación (Amarocho, 2010), y dicho desconocimiento ha generado tragedias provenientes de la ausencia de implementación de obras de protección en las márgenes de los cauces. (Buitrago y Ochoa, 2013). Estos asentamientos son tan antiguos como la historia de la humanidad; debido a que el hombre los aprendió a aprovechar no solamente para su abastecimiento, sino también como fuente de alimento y vía de transporte. Los ríos aluviales son aquellos que discurren por materiales sedimentarios modernos, generalmente aportados por el propio río (Martin Vide, 2005), y son de baja pendiente y predominantemente meandriformes. Desde la perspectiva geomorfológica, la propiedad más importante de un río es el proceso de meandros, que está dominado y gobernado por las características hidráulicas, hidrológicas y topográficas del río y su área de drenaje (Deb et al, 2012). La evolución de los ríos meandriformes implica la compleja

¹ Egresado de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura (UJAT-DAIA).
Email: egramajo_@hotmail.com.

² Profesor-investigador, UJAT-DAIA. Email: roberto.rodriguez@ujat.mx

interacción de dinámica de fluidos, transporte de sedimentos y erosión de las orillas (Duan & Julien, 2010). Estos ríos experimentan desplazamientos laterales, donde la margen interior está sujeta a un proceso de erosión, mientras que la exterior, a uno de sedimentación (Guzmán et al, 2017). Resulta conveniente aclarar que este proceso de erosión se desarrolla en una escala de tiempo de corto plazo (asociada a una creciente) y su magnitud depende de las características hidrológicas de la cuenca (Farías et al, 2008)

Estos desplazamientos en cauces meandriiformes pueden tener impactos negativos para el ser humano, ocasionando daños en estructuras, interrumpiendo la navegación o alterando la calidad del agua (Rodríguez, 2012). Por lo tanto, analizar el corrimiento marginal de los ríos y comprender el fenómeno de migración de cauces es de gran importancia por tratarse de un problema que afecta a los centros de poblaciones adosadas a ellos.

Una forma de analizar la evolución del corrimiento marginal es medir las tasas de avance y retroceso de las márgenes, lo cual se logra por la comparación de posiciones del cauce, mapeadas o fotografiadas en tiempos diferentes, obteniendo así, polígonos cerrados de erosión y depósito. Una manera fácil y precisa de realizarlo es mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual es una herramienta fundamental en el desarrollo de los estudios de dinámica fluvial; suponen un gran avance, facilitando el proceso de análisis y aportando datos cuantitativos sobre la variación temporal y espacial de los cursos fluviales (Granado et al, 2011). Esta técnica es reconocida, tal como lo hizo el Dr. Fernando Jorge González Villarreal en su trabajo correspondiente a las Acciones Complementarias del Plan Hídrico Integral de Tabasco en el año 2012.

La zona de estudio se localiza al sureste de la república mexicana, en el estado de Tabasco. El análisis se llevó a cabo sobre el río Carrizal, el cual rodea a la ciudad de Villahermosa en su parte norte y tuvo una importante influencia en las inundaciones de esta ciudad en los años 1999, 2007 y 2010.

Durante muchos años, la estabilidad de las márgenes ha sido un problema que preocupa, debido a que representa un riesgo para la población y los intentos por mantener una estabilidad no han producido los resultados esperados (Ramírez et al, 2010). Debido a esto y para evitar las inundaciones relacionadas con

el río Carrizal, se construyó la estructura de control El Macayo durante el periodo 2005-2013. Realizando así, el presente análisis, durante su construcción y con la estructura finalizada. El objetivo del trabajo fue analizar la evolución del corrimiento marginal en el río Carrizal, donde se presentan quizá los mayores problemas de inestabilidad de márgenes, considerando su evolución y su comportamiento años atrás.

METODOLOGÍA

El estudio corresponde a toda la longitud del río Carrizal, cuyas aguas recorren aproximadamente 61 km. Delimitado por el punto con coordenadas (469002.7103, 1984972.1982) aguas arriba y por el punto con coordenadas (511303.1624, 1990951.1423) aguas abajo, esto en el sistema UTM WGS84.

Para el estudio del corrimiento marginal del río, se aplicó el programa informático Google Earth y el software de sistema de información geográfica ArcView GIS 3.2, además, se utilizaron las imágenes satelitales del año 2015 (Figura 1), y en base a ellas, se delimitaron las márgenes, tanto derecha como izquierda del río.

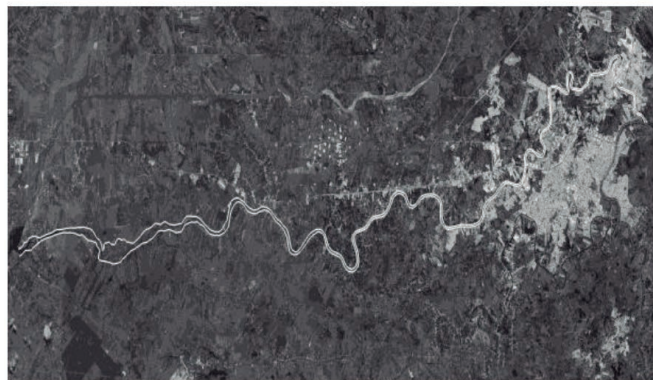


Figura 1. Tramo de estudio en el año 2015.

Asimismo, se empleó un juego de ortofotos, del año 2007. El juego incluye las imágenes E15B81D4, E15B81D3, E15D11A1, E15C19C2, E15C19C1, E15C19B2, E15C19B1, E15C19A2 y E15C19A1, proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en escala 1:10,000 (Figura 2).

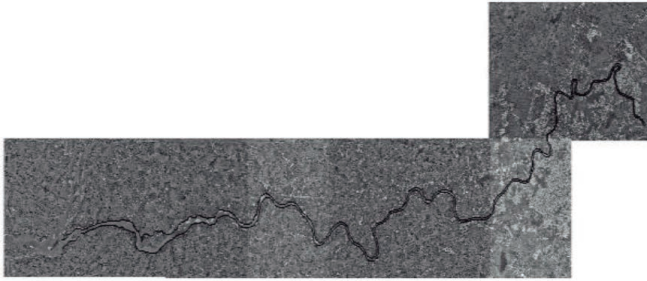


Figura 2. Tramo de estudio en el año 2007.

Para el tramo correspondiente al año 2015, se procedió a trazar una poligonal abierta en Google Earth para delimitar las márgenes del río. Para el caso de las ortofotos del año 2007, se utilizó la versión ArcView GIS 3.2 para trazar la poligonal correspondiente a las márgenes del río.

Para lograr la superposición de las imágenes del tramo de estudio, se empleó ArcView GIS, uno de los softwares más potentes y versátiles de procesamiento de datos SIG.

Superponiendo las poligonales referentes a las márgenes del río, fue posible observar el desplazamiento de las márgenes de 2015 con las de 2007. En la figura 3 se puede observar que las márgenes del río Carrizal en 2015 (líneas negras) se han desplazado con respecto a las márgenes del río en 2007 (líneas blancas).

Las zonas de avance y retroceso marginal están representadas por los polígonos que se forman al cruzarse, entre sí, las líneas correspondientes a las márgenes del río en los diferentes períodos. Las zo-



Figura 3. Posiciones de las márgenes en 2007 (líneas blancas) y en 2015 (líneas negras).

nas de avance marginal (Figura 4) se identifican con los polígonos que delimitan áreas de la ribera por las cuales antes pasaba el cauce del río, y las zonas de retroceso (Figura 5) se identifican cuando los polígonos delimitan áreas dentro del cauce que antes fueron de la ribera.



Figura 4. Zonas de avance marginal, se muestran rellenas en color negro.



Figura 5. Zonas de retroceso marginal, se muestran rellenas en color blanco.

Se trazó una poligonal abierta a través de toda la longitud del río, iniciando aguas arriba y finalizando en el extremo aguas abajo, el cual representa el eje del río. Con la superposición de las imágenes y, por lo tanto, de las márgenes, se obtuvieron polígonos cerrados de erosión y depósito referidos a un cadenamiento, definidos por el eje del cauce. Después, se determina la longitud de cada polígono como la diferencia entre cadenamientos al final y al inicio de éste.

Para obtener la tasa anual de corrimiento marginal se propuso la siguiente expresión (González, 2012):

$$Tasa (E, D) = \frac{A_{poligono}}{L_{poligono}(T_{imágenes})} \quad [1]$$

donde Tasa (E,D) es la tasa anual de corrimiento marginal en m/año de una determinada margen;
 $A_{poligono}$ es el área de cada polígono en m^2 , obtenida con el uso del software de procesamiento de datos SIG; $L_{poligono}$ es la longitud del polígono en m y $T_{imágenes}$ es la diferencia de tiempo en años entre fechas de las imágenes que se utilizaron.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado del trazo de los polígonos de corrimiento marginal, se lograron obtener las áreas correspondientes de avance y retroceso de ambas márgenes, y lo cual sirvió para calcular la tasa anual de corrimiento marginal, haciendo uso de la ecuación 1.

La Tabla 1, muestra las áreas totales de erosión y depósito de ambas márgenes del río. Se puede observar que en la margen izquierda hubo mucho mayor avance que retroceso y en la margen derecha se da el caso contrario.

Tabla 1. Áreas totales de erosión y depósito de ambas márgenes.

| Corrimiento Marginal | Margen Izquierda [m ²] | Margen Derecha [m ²] | Total [m ²] | Total [Has] |
|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|-------------|
| Avance | 320,917.16 | 142,469.51 | 463,386.67 | 46.34 |
| Retroceso | 45,289.75 | 293,725.69 | 339,015.44 | 33.90 |

Al aplicar la ecuación 1, se obtuvieron las tasas de corrimiento marginal mostradas en las Figuras 6 y 7. En la Figura 6 se observa que las tasas de erosión y depósito para la margen izquierda son en su mayoría de menos de 1 m/año. La Figura 7 muestra las tasas de erosión y depósito de la margen derecha y se observan picos que llegan a alcanzar los 6 m/año de retroceso y un pico pronunciado que llega a alcanzar los 20 m/año de avance. En este análisis se utilizó signo negativo para referirse al retroceso de la

margen (erosión) y signo positivo para el avance de la margen (depósito).

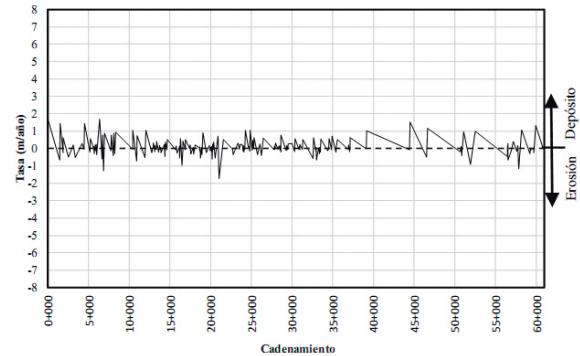


Figura 6. Tasa de corrimiento marginal de la margen izquierda.

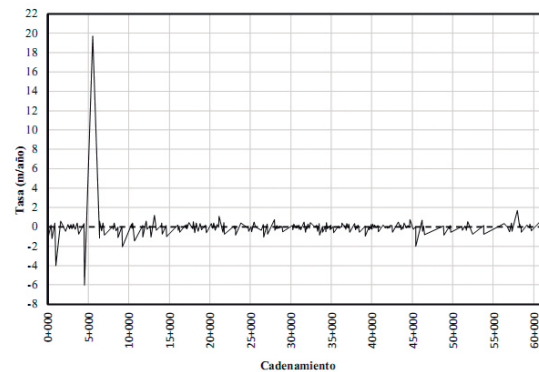


Figura 7. Tasa de corrimiento marginal de la margen derecha.

Como resultado de la superposición de imágenes aéreas y la obtención de los polígonos fue posible cuantificar el área que ha ganado (depósito) o que ha perdido (erosión) cada margen.

En las Figuras 8 y 9 se muestran graficadas las áreas ganadas o perdidas de cada margen, mostradas para contemplar las características morfológicas que presenta el río Carrizal, tomando en cuenta que las erosiones se presentan con signo negativo y los depósitos con signo positivo. Se observa que en zonas de erosión en una margen se compensa con zonas de depósito en la otra, esto debido a que la erosión es balanceada por la formación de llanuras de inundación en el otro lado del río, por lo que el río migra mientras mantiene aproximadamente un ancho

constante (Van Dijk et al, 2012). Para cuestiones prácticas, el río se dividió en tres zonas definidas por los cadenamientos y que en las figuras antes citadas se pueden notar las diferencias físicas que el río Carrizal presenta en cada una de ellas. En la zona 1 es donde se presentó gran movimiento en la margen derecha y está caracterizada por la presencia de islas dentro del cauce. En la zona 2, se observó un comportamiento similar, donde el retroceso ha predominado en la margen derecha, mientras que en la margen izquierda ha predominado el proceso de avance. La zona 3 es la que pertenece a la ciudad de Villahermosa, y se observa un gran aumento de áreas de depósito para la margen izquierda y en la margen derecha importantes áreas de erosión.

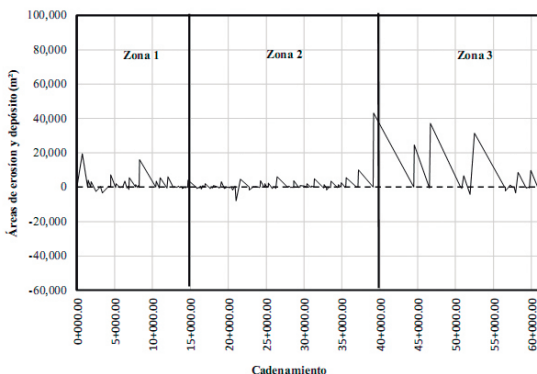


Figura 8. Áreas de erosión y depósito en la margen izquierda.

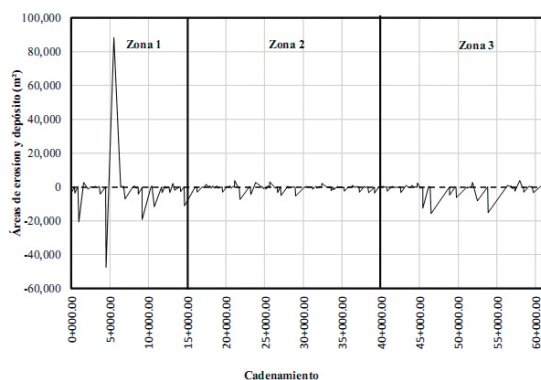


Figura 9. Áreas de erosión y depósito en la margen derecha.

En la Figura 10 se muestra una ortofoto del año 2007, mostrando la zona del río ubicado aproximadamente en el cadenamiento 5+000, en la que se observa la mayor tasa de corrimiento marginal, correspondiente a la margen derecha. Indicando mediante las poligonales correspondientes a las márgenes se puede observar el polígono de avance que se forma, teniendo así la mayor área de depósito y la mayor tasa de corrimiento, y que se observan en las Figuras 7 y 9.



Figura 10. Zona con mayor tasa de corrimiento marginal.

Con respecto al trabajo realizado para el Plan Hídrico Integral de Tabasco, se pueden notar menores de tasas de cambios en ambas márgenes, así como menores áreas de depósito y erosión, esto debido a la ayuda que la estructura de control "El Macayo" proporciona sobre el cauce, regulando el gasto que fluye desde el río Mezcalapa hacia el río Carrizal y controlando la variación de sus niveles, reduciendo la erosión en las márgenes del río (Ochoa, 2013). De igual manera construida debido a la necesidad de proteger contra las inundaciones a la ciudad de Villahermosa.

CONCLUSIONES

Con las actividades que se presentan en este artículo es posible determinar las tasas anuales de corrimiento marginal que se presenta en el río Carrizal, así como zonas de avance o retroceso del cauce, identificando tres zonas con comportamientos diferentes. La importancia de este estudio se ve reflejada

al momento de analizar los resultados, ya que permite identificar zonas susceptibles a la erosión, y como tal, volviendo vulnerable a las márgenes, poniendo en riesgo a la población y a estructuras que se encuentren en el lugar, y a partir de esto, reducir los riesgos tomando las decisiones correctas y actuando de la mejor forma posible antes de una catástrofe.

REFERENCIAS

- Amorocho Pérez, A.P. (2010). La construcción de asentamientos humanos precarios en zonas de inundación y la conservación de cauces de río. *Prospectiva: Revista de trabajo social e intervención social*. (15), 295-328.
- Buitrago, C. y Ochoa, D.M. (2013). Recomendaciones para la implementación de obras de protección y control de cauces. Tesis de especialista, Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Deb, M., Das, D. & Uddin, M. (2012). Evaluation of Meandering Characteristics Using RS & GIS of Manu River. *Journal of Water Resource and Protection*. Vol. 7 (3), 163-171.
- Duan, J.G. and Julien, P.Y. (2010). "Numerical simulation of meander evolution", *Journal of Hydrology*, Elsevier, Vol. 391, 34-46
- Fariás, H.D., Pilán, M.T., Olmos, L.A. y Pece, F.J. (2008). Erosión general en ríos aluviales, *Ingeniería del Agua*, Vol. 15 (2), 107-122. González Villarreal, F. J., J. Carrillo Sosa,
- D. Espinoza Figueroa, C. Tellez Quintanar y A. J. Ramírez Rascon (2012). Análisis geomorfológico y geotécnico del corrimiento de las márgenes del río Carrizal, Acciones complementarias del Plan Hídrico Integral de Tabasco.
- Granado, D., Acín, V., Díaz, E., Ibisate, A. y Ollero, A. (2011). Análisis diacrónico de la migración de cauces fluviales mediante técnicas de SIG vectorial. I Congreso ibérico de restauración fluvial restauraríos. León, 18 – 20 octubre 2011.
- Guzmán, F.A, Flowers, R.S., León, J.E., Balladares, M.A. y Nungaray, J.A. (2017). Corrientes secundarias en curvas de ríos con espigones, usando técnicas acústicas. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*. Vol. 1. (2), 73-90.
- Martin Vide, J.P. (2005). *Ingeniería de ríos*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Ochoa, R. (2013). *Secretos en el Macayo, Construcción y tecnología en concreto*, 2013, México: IMCYC
- Ramírez, A., Espinoza, D., Rodríguez, R. y Meza, R. (2010). Estudio de las protecciones y márgenes inestables de los ríos Carrizal, Usumacinta, La Sierra y Grijalva. Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT) Etapa 3. CONAGUA
- Rodríguez, R., Flowers, R.S., Rivera, F., Villegas, C. y León, J.E. (2012). Evaluación del corrimiento marginal de un río planicie utilizando el sistema de información geográfica. XXII congreso Nacional de Hidráulica.
- Van Dijk, W.M., Van de Lageweg, W.I. and Kleinhans, M.G. (2012). Experimental meandering river with chute cutoffs, *Journal of geophysical research*, vol. 117.