

## MODELO NUMÉRICO DE LA BIFURCACIÓN DEL RÍO MEZCALAPA USANDO PROGRAMACIÓN GENÉTICA

Katya Rodríguez Vázquez<sup>1</sup>, Rosalva Mendoza Ramírez<sup>2</sup> y A. Abel Jiménez Castañeda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas. <sup>2</sup>Instituto de Ingeniería  
Universidad Nacional Autónoma de México, México.

E-mail: [katya@uxdea4.iimas.unam.mx](mailto:katya@uxdea4.iimas.unam.mx), [rmm@pumas.iingen.unam.mx](mailto:rmm@pumas.iingen.unam.mx), [ajc@pumas.iingen.unam.mx](mailto:ajc@pumas.iingen.unam.mx)

### Introducción

El río Grijalva se localiza en el estado de Tabasco, en la región sureste de la República Mexicana (RM), ocupa el segundo lugar de los ríos más caudalosos en México. A lo largo de él se tiene construido un conjunto de cuatro presas hidroeléctricas, que son: La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas; la gran capacidad de regulación y de generación de las presas hacen de este río el más aprovechado en la RM para generar energía hidroeléctrica. El tramo que se tiene aguas abajo de la Hidroeléctrica Peñitas, cuya longitud es del orden de 70 km, se le conoce también como el río Mezcalapa, el cual se bifurca en los ríos Samaria y Carrizal, (figura 1).



Figura 1.- Sistema de ríos Mezcalapa – Samaria – Carrizal

Aproximadamente a 30 km a lo largo del río Carrizal, está la ciudad de Villahermosa, capital del estado, con una población cercana a los 400 mil habitantes, según el censo del año 2010 (INEGI, 2010).

Las lluvias atípicas que desde fines del siglo pasado se han presentado en el territorio nacional, principalmente en la parte sureste, han provocado serios daños materiales y pérdidas económicas y humanas. En particular, la ciudad de Villahermosa ha sido uno de los centros poblacionales que más ha sufrido su impacto; por ello y en aras de proteger a la población civil y disminuir el riesgo de que la ciudad se inunde por el desbordamiento del río Carrizal, se han realizado varios estudios para el diseño y construcción de obras hidráulicas; una de esas obras es la estructura de control que se localiza sobre el río Carrizal, a casi 1 km aguas abajo de la bifurcación, (Figura 1); el objetivo de dicha estructura es controlar el flujo del río Carrizal para evitar que éste se desborde. Así, por ejemplo, en Jiménez et al (2008), se presenta el estudio del funcionamiento hidráulico del sistema formado por la bifurcación Mezcalapa – Samaria – Carrizal, donde se explica el proceso de azolve del río Samaria, con la consecuente reducción de su capacidad de conducción, y el incremento del flujo por el río Carrizal, dando lugar a que se exceda su capacidad de conducción y el desbordamiento del cauce. Además, en Jiménez y Berezowsky (2009), se presenta el estudio realizado para proponer políticas de operación de la estructura de control del río Carrizal, la cual está en su etapa final de construcción.

La construcción de estas obras hidráulicas da lugar a que se modifique el funcionamiento hidráulico de los ríos y la bifurcación, por lo que en el mediano plazo se tendrán problemas de erosión y azolve a lo largo de los cauces; por ello, es conveniente estudiar los cambios que se presentan a lo largo de los ríos, principalmente en la zona donde está la bifurcación. Los autores del presente trabajo consideran que, una manera alternativa de cuantificar los procesos de erosión y/o sedimentación en la bifurcación, producida por la estructura en el mediano plazo se puede hacer teniendo un modelo numérico que permita representar de manera discreta la superficie de este tramo del cauce. Se presenta entonces aquí, un modelo numérico de terreno de la zona correspondiente a la bifurcación del río, a partir de mediciones obtenidas en campo por medio de un levantamiento topográfico. El modelo numérico que se presenta para generar la superficie topográfica está basado en el uso de Algoritmos Evolutivos (AE) (Bäck, 1996), específicamente PG (Koza, 1990; Banzhaf et al., 1998), los cuales han probado ser una buena alternativa para abordar problemas de interpolación. La literatura reporta pocos trabajos en el tema, y los que existen están basados principalmente en Algoritmos Genéticos (AG) (Holland, 1975; Goldberg, 1989), quienes emplean aproximaciones con base en polinomios para la estimación de parámetros. El código del modelo matemático de terreno está escrito en el lenguaje del intérprete MATLAB (The Mathworks, 1999) y las superficies generadas se obtienen al aplicar el paquete SURFER (Golden Software, 2010), que permite elaborar gráficas con vistas tridimensionales.

### Objetivo

Revisar la aproximación que se tiene al generar un modelo de terreno con base en los llamados algoritmos evolutivos, a partir de mediciones de campo obtenidas de un levantamiento topográfico de un tramo de cauce, y comparar las elevaciones medidas en campo con las calculadas con el modelo numérico.

### Materiales y Métodos

El conjunto de puntos medidos  $(x_i, y_i, z_i)$  corresponde a 3 secciones transversales del río Mezcalapa, 26 secciones transversales del río Samaria, y 13 secciones transversales del Carrizal (véase la figura 2). La ubicación de cada una de las secciones transversales y sus correspondientes coordenadas se presenta en Jiménez et al (2007).

Para el desarrollo del código del modelo computacional se utilizaron las funciones que el intérprete MATLAB tiene incluidas para PG, haciéndose las siguientes consideraciones:

- El conjunto original de datos topográficos se dividió en 6 regiones; esto se hizo porque al estudiar la topografía de la zona (fig. 3), se observó que sería muy difícil encontrar una sola función que pudiera reproducir de manera adecuada la accidentada y abrupta topografía de toda la superficie en estudio.
- El conjunto de funciones está compuesto por: los 4 operadores aritméticos básicos, dos funciones trigonométricas (seno y coseno) y la función de raíz cuadrada. Con esto, la aridad

(definida como el número de argumentos u operandos que las funciones necesitan) será: {2, 2, 2, 2, 1, 1, 1, 1}, indicando que las funciones aritméticas tienen dos argumentos de entrada y el resto de las funciones solo requieren de uno. El conjunto de terminales serán las coordenadas  $(x_i, y_i)$  y los valores aleatorios de constantes definidas en el intervalo cerrado de -1 a 1.

- c) El criterio para terminar la búsqueda será el máximo número de generaciones. El desempeño de cada individuo en la población se medirá calculando el error cuadrático medio. La selección se hizo empleando el mecanismo de torneo de tamaño 3.
- d) La población está compuesta por 100 individuos con un máximo de 256 nodos. Los valores de las probabilidades de cruce y mutación se fijaron en 0.95 y 0.05, respectivamente.
- e) La notación que se eligió para escribir la función fue la prefija.



Figura 2.- Secciones transversales levantadas

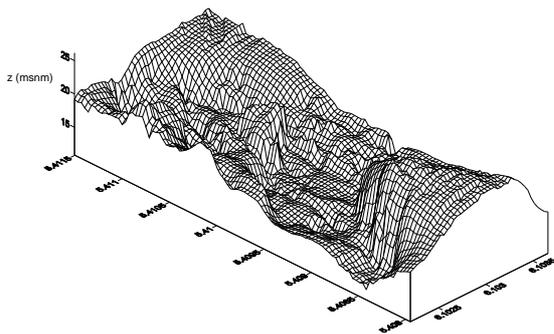


Figura 3.- Topografía real de la zona de estudio

## Resultados y Conclusiones

La Figura 3 muestra la topografía real de la zona, se puede ver que es bastante abrupta, predominan en ella las zonas con picos rodeados de valles; estas zonas son las de difícil estimación en el modelo numérico, pues la información con la que cuenta el predictor para hacer el pronóstico no es de gran ayuda. En general los resultados del modelo son buenos, en las zonas en donde la información aledaña no le ayuda para hacer una buena estimación tiende a suavizar los picos o los valles; esto se puede apreciar en la fig 4 la cual muestra la región 1 del modelo del terreno y que correspondería a la parte inferior derecha de la zona

total de estudio, el gráfico izquierdo corresponde a la  $z$  estimada y el derecho es con la  $z$  real. Aun así, este primer intento para tener un modelo numérico de la zona tiene resultados promisorios, en la gran mayoría de los puntos se logra hacer una estimación muy cercana a la del valor real. Sin embargo, para que el modelo numérico se pueda utilizar de manera confiable, por ejemplo para conocer la forma como se mueve el lecho del río o para cuantificar los volúmenes de sedimento depositados en ciertas zonas, así como los lugares en donde existan procesos de erosión, etc., es necesario mejorar la precisión de la estimación, sobre todo en aquellos puntos en los cuales el error de estimación sobrepasa el medio metro. Con esto, se deja abierta la línea para futuros estudios, por ejemplo se puede probar a ampliar el conjunto de funciones propuesto o tal vez, hacer ventanas que aislen las zonas en donde la estimación es difícil (zonas de picos y valles).

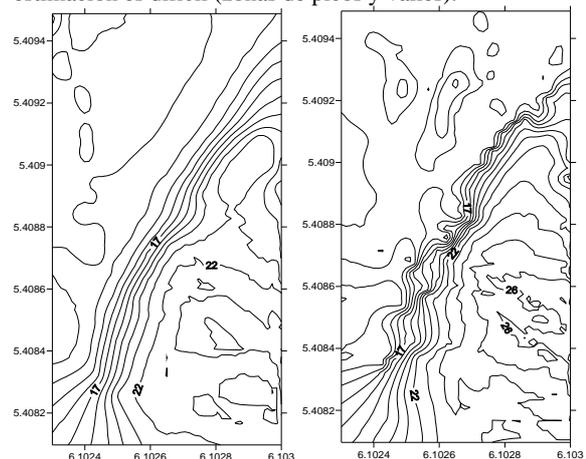


Figura 4.- Región 1:  $z$  estimada vs  $z$  real

## Referencias

- Bäck, T. (1996). *Evolutionary Algorithms in Theory and Practice*. Oxford University Press.
- Banzhaf, W., P. Nordin, R., E. Keller and F. D. Francone. (1998). *Genetic Programming: An Introduction*. Morgan Kaufmann Publishers.
- Goldberg, D. E. (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley.
- Golden Software Inc. (2002). Surfer, Versión 8-02 Surface Mapping System, Golden, Colorado, USA.
- Jiménez, AA, Gracia, J, Berezowsky, M. y Martínez, J. (2007). *Estudio de la bifurcación de un río con modelación numérica*, Series del Instituto de Ingeniería. CI-29. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Jiménez, AA, Gracia, J, Berezowsky, M. y Martínez, J. (2008). "Funcionamiento hidráulico de la bifurcación Mezcalapa – Samaria – Carrizal". *Ingeniería hidráulica en México*. Vol. XXIII. Núm. 4, pp. 53-67.
- Jiménez, AA y Berezowsky, M. (2009). *Modelación matemática de la operación de la estructura de control del río Carrizal*. Serie INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SID/662. Instituto de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. The University of Michigan Press.
- INEGI (2010). Censo de población y vivienda. Disponible en: <http://inegi.gob.mx/>
- Koza, J.R. (1990). *Genetic Programming: A Paradigm for Genetically Breeding Populations of Computer Programs to Solve Problems*. Stanford University, Computer Science Dept. Technical Report STAN-CS-90-1314.
- The Mathworks. (1999). *Matlab Reference Guide*. The MathWorks Inc.