

RECONOCIMIENTO DE PATRONES ESPACIALES PARA ENTENDER DESASTRES NATURALES: INUNDACIONES

JUDITH RAMOS Y JESÚS GRACIA

En los últimos cinco años los eventos extremos climáticos (huracanes, sequías, inundaciones, entre otros) son considerados por el Foro Económico Mundial en la lista de los cinco riesgos principales en términos de probabilidad y de impacto a nivel internacional (GRR, 2018). En particular, las inundaciones son altamente variables en espacio, tiempo e intensidad. Stephens *et al* (2011) señalan que la variabilidad espacial se asocia tanto a la interacción entre los flujos en el canal y su planicie, como a la topografía de la planicie de la inundación misma; mientras en términos de tiempo, Hirpa *et al* (2010) consideran que este tipo de fluctuaciones se pueden explicar con una caracterización completa del flujo del río en series de tiempo. Sin embargo, el flujo de un río es el resultado de múltiples factores como precipitación, pérdidas por infiltración y evaporación, así como de prácticas en el manejo de cuencas hidrológicas e ingeniería de ríos que alteran el sistema de transporte. Por ello, se debe considerar que la cuenca de un río es un sistema físicamente desestabilizado debido a las perturbaciones naturales y antropogénicas que modifican su morfología y los elementos de transporte de sedimentos. Así, su estabilización implica entender y evaluar las funciones naturales del sistema para proponer las medidas de planificación considerando los procesos que se llevan a cabo en la cuenca alta (fuente), media (transferencia) y baja (deposición). Asimismo, se deben abarcar los periodos: antes, durante y después de un evento (ej. huracán o depresión tropical), para entender, prevenir y mitigar sus riesgos, así como sus posibles efectos ambientales, sociales y económicos.

Benito y Hudson (2010) indicaron que una forma de analizar el riesgo de inundación es delineando las zonas de inundación no solo río abajo en el valle, sino también río arriba y en el medio. De esta manera, las inundaciones vistas desde la geomorfología fluvial, comprende diferentes formas de analizar el evento: a) estimación de la respuesta hidrológica de las cuencas pequeñas ($\leq 50 \text{ km}^2$); b) delimitar las zonas de riesgo de inundación en amplios valles aluviales mediante la asignación de las formaciones relacionadas con las inundaciones, los depósitos, los suelos, las asociaciones vegetales y las observaciones de las inundaciones pasadas; por último, c) estimar la energía con base en modelos hidráu-

licos inversos de paleo-inundaciones discretas situados en escenarios como estanques y otros indicadores de paleo-etapas (Kochel y Baker, 1982). Los tres puntos de vista se han beneficiado enormemente en las últimas décadas con los avances en la modelación numérica, con metodologías geoespaciales como el sistema de posicionamiento global (GPS), con fotogrametría digital, con Percepción Remota (PR) y con sistemas de información geográfica (SIG) (Benito y Houdson, 2010).

Patrones espaciales

El análisis mediante patrones espaciales se ha convertido en una importante herramienta para el estudio de inundaciones al representar el comportamiento de éstos en la superficie terrestre. Un patrón espacial puede ser considerado como un conjunto de datos $\{(X_i, Y_i); i = 1, \dots, n\}$ localizados en una región de estudio al estar compuesto por n eventos que a primera vista no parecen tener relación al no ser idénticos, pero al juntarlos muestran relación y coherencia (Clausi *et al*, 2007). En este caso, Blöschl y Grayson (2000) definen al patrón espacial en hidrología como cualquier imagen o superficie que muestre la distribución espacial de un atributo a través de algún grado de organización. En estos casos, se puede recurrir al uso de indicadores que ayuden a entender cómo los procesos tienen lugar en la naturaleza estableciendo patrones temporales o patrones presentados en una amplia gama de arreglos espaciales.

Grayson *et al* (2002) consideran tres tipos de patrones denominados: “muchos puntos” (LOP), “binarios” y “sustitutos” basados en los datos disponibles en una cuenca hidrológica. El patrón conocido como “muchos puntos” (LOP) permite una medición rápida de múltiples variables hidrológicas en poco tiempo. Los “binarios” son útiles para describir la cobertura (textura) de alguna fotografía aérea o imagen satelital, y los “sustitutos” corresponden a la fuente de datos más disponible. Los sustitutos son variables que muestran cierto grado de correlación (a menudo limitada) con el patrón de interés, pero son mucho más fáciles de recopilar en una forma distribuida espacialmente, aunque no son una medida real. En general, para que un patrón sea una buena representación de los valores reales, es necesario que el número de muestras sea adecuado, esto dependerá de una escala aceptable, la precisión de la medición y la complejidad del patrón por sí mismo (Pereira y Papa, 2016). Al observar la humedad del suelo y de la vegetación, considerados como patrones sustitutos, podemos representar las marcas de inundación después de un evento a través de la aplicación de índices normalizados con técnicas de percepción remota. Esto implica observar las condiciones prístinas del suelo y la vegetación durante la temporada de sequía y su

cambio después de un evento. Asimismo, permite predecir la distribución espacial del flujo terrestre para compararlo con un modelo de simulación de inundación. Hay pocas investigaciones que comparen predicciones o simulaciones de modelos y observaciones de campo de patrones de flujo terrestre a escala de cuenca debido a la variabilidad en el tiempo y el espacio. Es decir, las predicciones del modelo deben analizarse con buenos patrones que representen la variabilidad espacial en las propiedades del suelo (Vertessy *et al*, 2000 en Grayson y Blöschl, 2000). En este tipo de trabajos la meta es obtener los patrones espaciales del cauce y de la extensión de la inundación sobre la planicie de eventos históricos, recopilados mediante el uso de técnicas de percepción remota y SIG. De esta manera se tendrá el movimiento del río a través del tiempo y la inundación máxima presentada.

Metodología

La metodología usada consiste en tres pasos: registros históricos, análisis de las condiciones del sitio, y aplicación de técnicas de PR a imágenes de satélite y otra información ráster disponible. El registro histórico permite determinar eventos anteriores en la zona de estudio que han provocado cambios en la morfología del río y su planicie. La zona de estudio se caracteriza con base en la información de las cartas temáticas del INEGI (edafología, geomorfología, clima, hidrología, uso de suelo, asentamientos humanos, vegetación y topografía). De esta manera, al conocer las condiciones de la zona de estudio es posible determinar las causas de las variaciones morfológicas

por cambios en el tipo y uso de suelo, modificación del cauce, transformaciones en la vegetación o variaciones en la topografía, y si esas modificaciones fueron naturales o forzadas.

Algunas técnicas empleadas para la obtención de patrones espaciales son: combinación RGB, mejora de resolución (empleando imágenes de alta resolución espectral) y realce como la sustracción de suavizado. Asimismo, se cuenta con índices que permiten delimitar las zonas de inundación mediante variables que consideran la humedad del suelo y la vegetación. Los índices de vegetación, suelo y agua resaltan características que pueden asociarse con zonas húmedas en especial después del paso de un evento hidrometeorológico. Una de las técnicas empleadas para el realce de bordes mediante el uso de filtros non-directional edge del *software* Erdas (Fig. 1). Con esta técnica se obtiene un mapa que facilita la delimitación de las fronteras de los cuerpos de agua.

Posteriormente, se realiza la sustracción de suavizado para eliminar las frecuencias bajas presentes en la escena dejando únicamente las frecuencias altas que son las que representan los bordes y líneas; con la aplicación de la extracción de suavizado se resaltan: ríos, caminos, carreteras y líneas de contorno de lagos, sembradíos, etc.

Si bien es cierto que esta técnica de suavizado es de gran utilidad para identificar el cauce de los ríos, también existe la posibilidad de que se registre un borde falso o la falta de él, por lo que se deberá revisar el trazado de las zonas con imágenes de satélite de alta resolución con la utilización de ortoimágenes para obtener mayor detalle logrando un trazado óptimo del cauce, así como de la extensión de la inundación.

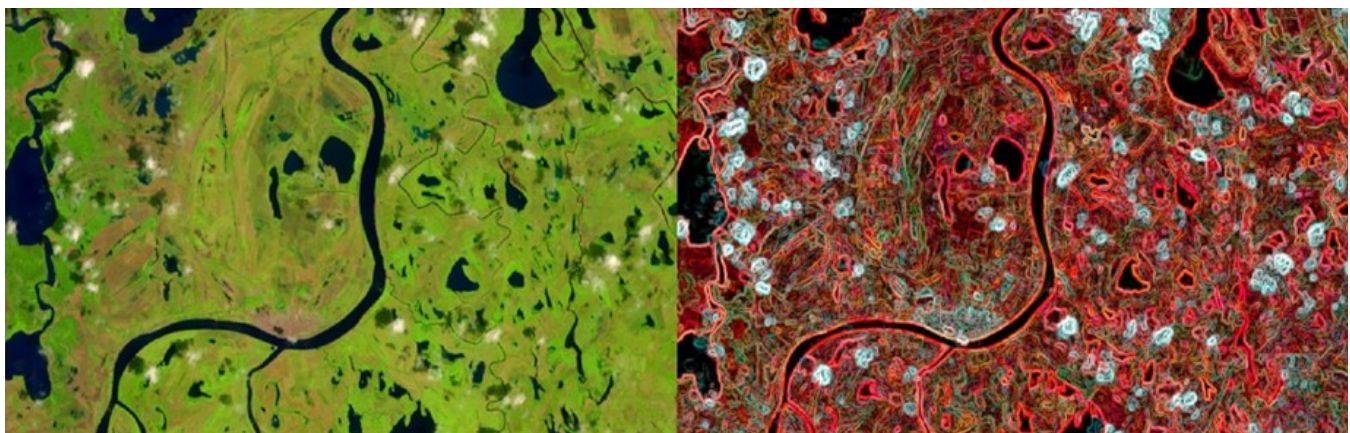


Figura 1. Comparación entre el resultado de la composición de falso color RGB (3,4,5) y el filtro *Non-directional Edge*.

Resultados

Se ha trabajado en diferentes regiones con la finalidad de conocer el dinamismo del río y su planicie de inundación. Algunos ejemplos son:

A. Río Papaloapan (Pineda, 2015), con el fin de proponer acciones para mitigar o eliminar el riesgo de inundación en esta zona como la ocurrida en 2010, se realizaron análisis espacio-temporal identificando los cambios geomorfológicos en el cauce del río y su planicie de inundación. En la Figura 2 se muestran los trazos del río obtenidos para cada imagen analizada, lo que permitió identificar cambios geomorfológicos de los cuales sobresalen seis zonas con modificaciones de mayor magnitud con cambios evidentes en las márgenes y en el eje del río que se pueden asociar a erosión o acreción, ya sea por causas naturales o del hombre. En general, se concluyó que el Río Papaloapan es altamente dinámico, por lo cual, se han presentado cambios constantes a lo largo del tiempo.

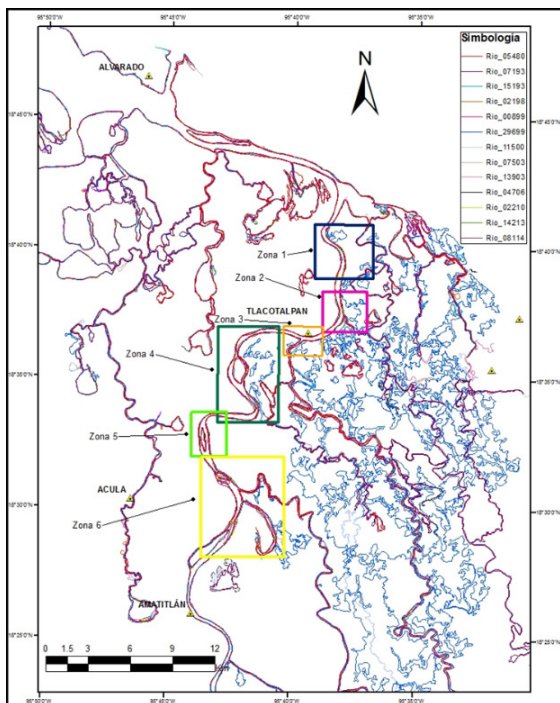


Figura 2. Trazos del Río Papaloapan de 1980 a 2014

B. Río Suchiapa (Mendoza, 2016), el objetivo del estudio fue la obtención de patrones espaciales generados de eventos hidrometeorológicos extremos (inundaciones), para comparar y validar los resultados obtenidos mediante una simulación matemática, empleando un modelo hidrológico de inundaciones, con diferentes tiempos de retorno para la subcuenca del Río Suchiapa. En la figura 3 se observa que los patrones espaciales de humedad corresponden con la forma estrecha del cauce del río, lo que indica que el Suchiapa está entre pendientes pronunciadas en sus dos márgenes.

Durante 1986, 1993, 2002 y 2013 se observaron cambios importantes en el cauce de este río y su dinámica, resultado de procesos hidrometeorológicos y de la evolución geomorfológica del mismo río. La formación de geoformas y cambios en la forma del cauce se presentaron sobre todo en los valles donde la baja pendiente de la cuenca permite mayor libertad de movimientos laterales al río (depósito o erosión), movimientos que ocurren con el paso del tiempo y después de eventos hidrometeorológicos severos.

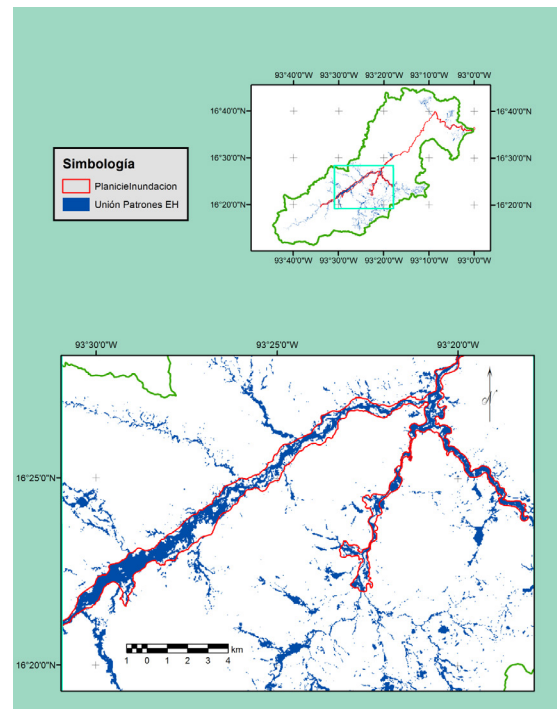


Figura 3. Unión de patrones espaciales de humedad y planicie de inundación

Conclusiones

Actualmente, los datos espaciales son la primera etapa en la integración de la predicción de desastres ya que proveen información de eventos pasados, así como elementos empleados en el modelado de una inundación. Los avances en el desarrollo de metodologías aplicando patrones espaciales han permitido el desarrollo de los mapas de riesgo de inundación, los cuales son una herramienta fundamental para el reconocimiento de formas fluviales (valles, abanicos y meandros, entre otros) así como para la evaluación y gestión de la amenaza de estos eventos. El uso de la percepción remota (PR) y del SIG, permitieron, entre otras cosas, caracterizar las dimensiones del impacto de un evento extraordinario en cualquier tipo de río, así como cuantificar el movimiento del agua e identificar los elementos con riesgo potencial. |

En este proyecto participaron estudiantes de licenciatura y servicio social.

Referencias

1. Benito G. y Houdson P. (2010). Flood hazards: the context of fluvial geomorphology. In I. Alcántara-Ayala, A. Goudie (eds.), *Geomorphological hazards and disaster prevention*, Cambridge University Press, pp.111-128.
2. Blöschl y Grayson (2000). Spatial Observations and Interpolation. En Grayson, R., Blöschl G. *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Reino Unido, Cambridge University: Cambridge University Press (2001).
3. Clausi, D. A.; Askoy, S.; Tilton, J. C. (2007). Foreward to the Spatial Issue on Pattern Recognition in Remote Sensing. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 45 (2), 217.
4. Grayson, R. y Blöschl G. (2001). *Spatial Patterns in Catchment Hydrology: Observations and Modelling*. Reino Unido, Cambridge University: Cambridge University Press. GRR (2018). *The Global Risks Report 2018, 13th Edition*. World Economic Forum.
5. Hirpa, F. A.; M. Gebremichael y T. M. Over (2010), River flow fluctuation analysis: Effect of watershed area, *Water Resour. Res.*, Vol. 46, W12529.
6. Kochel, R. C. y Baker, V. R. (1982). Paleoflood hydrology, *Science*. pp. 353-361.
7. Mendoza R. (2016). Uso de patrones espaciales para la validación de un modelo hidrológico de inundaciones. Caso de estudio: Subcuenca del Río Suchiapa. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
8. Pereira, D. R.; Papa, J. P. (2016). A new approach to contextual learning using interval arithmetic and its application for land use classification. *Pattern Recognit. Lett.*, 83 (13), 188-194. doi: 10.1016/j.patrec.2016.03.020.
9. Pineda D. (2015). *Sistemas fluviales. Evolución y desarrollo del Río Papaloapan*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
10. Stephens E. M.; P. D. Bates; J. E. Freer y D. C. Mason. The impact of uncertainty in satellite data on the assessment of flood inundation models. *Journal of Hydrology*, 414-415, 2012, pp.162-173.
11. Vertessy, R.; Elsenbeer, H.; Bessard, Y. y Lack, A. (2001). Storm runoff generation at La Cuenca. In R. Grayson and G. Blöschl (Eds.), *Spatial patterns in catchment hydrology*. London: Cambridge University Press. ISBN 0-521-63316-8.