

Estimación de la fracción de agua subpixel utilizando imágenes MODIS. Aplicación en una cuenca del Sur de la provincia de Santa Fe.

Eugenia Chiarito, Erik D. Zimmermann

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM)

Departamento de Hidráulica. Escuela de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario.

CONICET

E-mail: echiarit@fceia.unr.edu.ar

RESUMEN: Se estudia la aplicación de una metodología para el monitoreo de inundaciones en zonas de llanura, a partir de la combinación de información de bandas del rango visible e infrarrojo cercano de imágenes de resolución moderada, para una tormenta registrada en la Cuenca del Arroyo Ludueña, al Sur de la provincia de Santa Fe.

El procedimiento consiste en comparar la fracción de agua sub-pixel estimada en dicha cuenca en dos imágenes desfasadas temporalmente: con anterioridad e inmediatamente posterior a la ocurrencia del evento de precipitación. Para ello se utiliza la diferencia de reflectancias entre las bandas 1 y 2 de la plataforma MODIS, identificando para cada fecha los pixeles de agua pura, los píxeles de tierra, y las condiciones intermedias entre estos dos estados.

Los resultados reflejan la robustez del método, constituyéndose mapas donde quedan evidenciadas las regiones de la cuenca que quedan completamente cubiertas por el agua frente a tales eventos, identificando claramente las áreas más anegadas.

La disponibilidad de información de estas características con relativa inmediatez a la hora de tomar decisiones en el marco de la ocurrencia de una inundación redunda en la ventaja de su aplicación.

INTRODUCCIÓN

La problemática hídrica en las cuencas del Sur de la provincia de Santa Fe está fuertemente ligada al riesgo de inundación de una parte importante de su territorio, dada su escasa pendiente y dificultades para evacuar el agua frente a desbordes de sus cursos principales, combinado con eventos de precipitación extraordinaria que afectan tanto áreas rurales, como cascos urbanos.

Frente a este panorama es de gran interés reconocer en tiempo casi real las zonas anegadas, para la toma de decisiones que compondrán el cuerpo de acciones de evacuación, monitoreo y evaluación de desastres. La teledetección se constituye como una herramienta de valor en estos casos, permitiendo identificar las



porciones de tierra que han quedado cubiertas por agua, y los habitantes de dicha región que son susceptibles de recibir cobertura y auxilio, ya sea por pérdidas en las cosechas, o afectación de viviendas.

Las metodologías aplicadas son múltiples, y dependen fundamentalmente de la tecnología disponible. Para el caso de imágenes satelitales de libre distribución, se realiza un análisis multiespectral con bandas del rango visible e infrarrojo cercano, aprovechando la significativa absortancia característica del agua en comparación con otras superficies. El principal limitante queda constituido entonces por la cobertura nubosa ya que la luz visible e infraroja es reflejada por las nubes impidiendo la captura de datos de superficie. Asimismo debido a que el factor tiempo es crucial, urge optar por una plataforma con elevada frecuencia de revisita, que permita captar la imagen tan pronto como se disipe el sistema nuboso. Es por esto que se ha decidido trabajar con imágenes MODIS, en las bandas 1(rojo) y 2 (infrarrojo cercano, NIR). Se efectuó también un ensayo con imágenes de 500 metros de resolución, intentando aprovechar la banda 5 de MODIS, tal como sugieren múltiples publicaciones (Presutti, 2013; Donglian et al, 2011), pero el nivel de detalle obtenido se considera insuficiente en sí mismo para la identificación de problemas locales dentro de una cuenca, por lo que esta línea fue reemplazada por el procesamiento de imágenes de mejor resolución espacial, aunque se propone complementar a futuro la información obtenida con modelos de elevación digital y análisis de coherencia espacial (Giraldo y García, 2009), para obtener mayores precisiones. En este sentido no se descarta la utilización de imágenes con píxeles de 500 metros.

Se propone un modelo de desmezclado lineal, identificando umbrales en el histograma de reflectancia (Sheng et al, 2001):

$$R_{mix} = WF * R_{agua} + (1 - WF) * R_{land}$$

$$1$$

Donde R_{mix} es la reflectancia del píxel observado (ya sea en Banda 2, Banda 1, o la diferencia entre ambas), WF la fracción de agua de dicho píxel, y R_{agua} y R_{land} son las respectivas reflectancias de un píxel de agua pura y de suelo puro adoptados como umbrales. Los valores de WF varían entonces entre 0 y 1, siendo tanto mayor la presencia de agua superficial en el píxel cuanto mayor sea WF.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se utilizaron los productos de reflectancia MODIS MOD09GQ y MYD09GQ de los satélites Terra y Aqua respectivamente, de resolución espacial de 250m por 250m, trabajando específicamente con las bandas 1 y 2 en la región Sur de la Provincia de Santa Fe, como se verá a continuación. Las fechas seleccionadas son una previa (pero de la misma temporada) y una inmediatamente posterior a la tormenta en estudio, apenas se verificó que la cobertura nubosa no obstruía la observación del área en estudio.

La tormenta considerada se desarrolló entre los días 26 y 31 de Marzo de 2007, registrándose precipitaciones totales de 365mm en la estación Rosario Aeropuerto, y 440mm en Alberdi, provocando anegaciones en múltiples zonas, tanto por desborde de canales como por efecto de la lluvia total. Las imágenes procesadas corresponden a las fechas 31 de Enero y 03 de Abril del mismo año.



Con la información diferencia entre las bandas 1 y 2 se identificaron los rangos extremos de píxeles puros para cada fecha, sabiendo que dicha diferencia es negativa para los píxeles de agua ya que la reflectancia es casi nula en banda 2, mientras que presenta valores elevados en píxeles de suelo puro.



Figura 1 Identificación pixeles de agua pura para fechas 31/01/2007 (izq.) y 03/04/2007 (der.). Se observa asimismo el límite de la Cuenca del Arroyo Ludueña.

La región en estudio comprende la cuenca del Arroyo Ludueña, cuya divisora se puede observar en la Figura 1, caracterizada por una pendiente media de 1,4 por mil, 740Km² de extensión aproximada, y cuya cabecera se encuentra en la cota 70 IGN. Ubicada al Sur de la provincia de Santa Fe entre los paralelos 32°45'S y 33°08'S y los meridianos 61°04'O y 60°39'O, su red hídrica principal está compuesta por el Arroyo Ludueña, y los canales Ibarlucea y Salvat, aunque cuenta con aportes de pequeños cursos naturales (cañadones) y artificiales, en época de lluvias.

Sabiendo que el agua posee menor reflectancia que la vegetación y otras coberturas como urbanizaciones en NIR, y mayor reflectancia en el rango visible, se utiliza la diferencia entre la banda 2 y la banda 1 para la estimación de la fracción de agua sub-píxel. Se adopta el valor máximo de reflectancia del conjunto de píxeles de agua depurado como R_{agua} , y el mínimo del conjunto de suelo como R_{land} , y posteriormente se aplica la ecuación (1) para el resto de los píxeles. Cabe aclarar que no es ésta la única relación entre bandas propuesta para identificar cuerpos de agua, sino que tal como resumen Sheng et al. (2001), la relación lineal para determinar la porción de agua subpixel puede ser aplicada directamente sobre las bandas B1 ó B2, su diferencia (B2-B1), o inclusive sobre su cociente B2/B1, admitiendo la conservación de linealidad. La ventaja de trabajar con combinación entre bandas (ya sea por diferencias o cocientes) reside en que la misma logra resaltar el contraste entre píxeles de suelo y agua puros. Si bien según los autores el cociente ofrecería un realce aún más marcado, hemos optado por trabajar con la diferencia entre bandas ya que la misma ha mostrado resultados satisfactorios sin la necesidad de incorporar un error por la simplificación que surge producto de asumir la validez de la ecuación (1), siendo que la relación entre bandas no es exactamente lineal.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan a continuación las dos imágenes de fracción de agua subpíxel (WF) estimada para cada fecha, así como la composición color RGB lograda de asignar a la banda roja y la azul la escena post-tormenta, y a la verde la escena previa.



Figura 2 Porción de agua (WF) para las imágenes previa a la tormenta (izq.) y posterior a la tormenta (der.). La escala de colores va de blanco para WF=0 a negro para WF=1, variando las tonalidades de azul.

De la inspección visual de las mismas, y sabiendo que a menor fracción de agua el píxel presenta colores más cercanos al blanco, es posible apreciar en la Figura 2 no sólo cómo el crecimiento del nivel del río Paraná cubrió una parte de las islas del delta, sino también el crecimiento de la totalidad de los cursos de agua, con desbordes en algunos casos, como por ejemplo el río Salado. Esto se observa con mayor nitidez en la composición RGB de la Figura 3, donde los tonos que tienden a magenta resaltan las áreas que acusaron mayor WF para la imagen post-tormenta, mientras que los píxeles blancos indican las zonas donde en ambas escenas se encontró agua.



Figura 3 Composición RGB de las imágenes WF previo y posterior a la tormenta: R=03/04/07, G=31/01/07, B=03/04/07.



Realizando una clasificación que agrupe pixeles con fracciones de agua equivalentes según la discretización mostrada en la Figura 4, es posible apreciar el crecimiento del espejo de agua contenido por la presa retardadora de crecidas luego de la tormenta, en cuya imagen se identifica un conjunto de píxeles de color rojo concentrado dentro de la cuenca.



Figura 4 Clasificación píxeles por fracción de agua contenida. Izq.: imagen 31/01/07, der.: imagen 04/03/07.

El histograma de frecuencias relativas (Figura 5) refleja el mismo comportamiento, y se observa un mayor número absoluto de píxeles de agua pura, así como un aumento generalizado en la media, tal como se consigna en la tabla 1:



Figura 5 Frecuencias relativas WF, escena completa Sur provincia de Santa Fe. La curva blanca corresponde a la fecha 31/01/07, y la roja a la fecha 03/04/2007.

En la tabla 1 también se puede observar que no se presentan variaciones importantes en los parámetros analizados para la fecha previa a la tormenta. No obstante esto no es así para la escena post-tormenta, lo cual se puede deber a múltiples factores, fundamentalmente la variabilidad espacial de la precipitación, que podría haber presentado mayor intensidad en otra región de la imagen, así como la capacidad de respuesta propia de cada cuenca, sumado a la capacidad de retención de crecidas de la presa retardadora ubicada aguas arriba de la localidad de Rosario.



	Estadísticas Sur Santa Fe (1,851,228 píxeles)		Estadísticas Cuenca Arroyo Ludueña (33,884 píxeles)	
	31/01/2007	04/03/2007	31/01/2007	04/03/2007
Media	0.157	0.495	0.104	0.496
Píxeles WF=1	2.75%	12.15%	0.55%	1.45%
Píxeles WF=0	52.44 %	15.24%	60.35%	3.38%

 Tabla 1 Media aritmética WF y porcentaje de píxeles de agua pura y suelo puro estimados para dos escalas de estudio:

 Sur provincia de Santa Fe y cuenca Arroyo Ludueña.

Para el evento estudiado se produjeron importantes anegamientos en la cuenca del Río Carcarañá, afectando también a la ciudad de Santa Fe. Si bien no se consideró dicha cuenca para el presente trabajo, es posible apreciar el impacto en los márgenes de dicho curso en la imagen analizada, lo cual funge también como indicador de la coherencia de los resultados obtenidos con los sucesos reales.

CONCLUSIONES

El método propuesto para identificar zonas anegadas luego de eventos de precipitación extraordinarios ha mostrado ofrecer resultados de gran robustez, siendo la posibilidad de su provisión casi en tiempo real, con imágenes de libre disponibilidad, y la sencillez de su procedimiento, sus grandes ventajas comparativas respecto de otros métodos disponibles, especialmente en cuencas en las que no se encuentren instalados sistemas de alerta.

Los resultados presentan limitaciones en zonas urbanas, dado que la resolución espacial de la plataforma utilizada no ofrece un nivel de detalle adecuado, aunque mostraron gran utilidad para identificar zonas rurales anegadas.

Se prevé continuar con esta línea de investigación, complementando la información con modelos de elevación de terreno, y modelos de análisis de coherencia espacial que permitan describir con mayor precisión qué regiones del píxel se encuentran cubiertas de agua con mayor probabilidad.

REFERENCIAS

Sun D., Yu Y., Goldberg M., 2001. *Deriving water Fraction and Flood Maps from MODIS Images Using a Decision Tree Approach*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol. 4, No. 4, pp 814-825.

Grialdo J. D., García S., 2009. *Modelo de Análisis de Subpíxeles Aplicado a la Cartografía de Inundaciones en Zonas de Llanura*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud 23-26 Septiembre 2009. Pp. 529-572.

Presutti, M. E., 2013. *Cálculo de la fracción de agua subpixel en datos MODIS para el monitoreo de inundaciones en la provincia de Buenos Aires*. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, pp 1322-1329.

Sheng Y., Gong P., Xiao Q., 2001. *Quantitative dynamic flood monitoring with NOAA AVHRR*, Int. J. Remote Sens., vol. 22, no. 9, pp. 1709–1724, 2001.