

MAPEO DE ÁREAS INUNDADAS A TRAVÉS DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES EN IMÁGENES MULTIESPECTRALES

David GÓMEZ PALACIOS^a, Marco Antonio TORRES PÉREZ NEGRÓN^b, Eduardo REINOSO ANGULO^c

^{a,b,c} Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería, UNAM, Circuito Interior, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, D.F., CP. 04510.
dgomez@iingen.unam.mx^a, mtorresp@iingen.unam.mx^b, ereinosa@iingen.unam.mx^c

RESUMEN

Las inundaciones son las amenazas naturales más frecuentes y las cuales representan el mayor número de pérdidas humanas y materiales como consecuencia de ello. La Percepción Remota se ha convertido en una herramienta prioritaria debido a su capacidad de evaluar rápidamente la dimensión y magnitud de contingencias en superficie. Se propone una metodología para el mapeo de áreas inundadas a través del Análisis de Componentes Principales (ACP) para realizar una detección de cambios en imágenes multiespectrales, maximizando la resolución espacial y espectral de los sensores, limitados a las regiones del visible e infrarrojo cercano. A través de la interpretación de la matriz de carga del ACP se pueden detectar estos cambios. La metodología propuesta fue aplicada para mapear los efectos de la tormenta tropical Manuel durante septiembre del 2013 en Acapulco, Guerrero.

Palabras clave: Análisis de Componentes Principales, Detección de cambios, Inundaciones, Mapeo de inundaciones, Tormenta tropical Manuel, Matriz de carga.

ABSTRACT

Floods are the most frequent natural hazard in the world and they produce the major number of human and material losses. Remote Sensing has become a priority because its capacity to evaluate faster the dimension and the magnitude of a natural contingency on the surface of the earth, allowing a more efficient response. It is proposed a methodology for mapping flood areas including Principal Component in change detection analysis of multispectral images maximizing the spatial and the spectral resolution of the sensors, limited to the visible region of the electromagnetic spectrum and the Near IR region. PCA detects these changes through the interpretation of the load matrix. The proposed methodology is applied to mapping the effects of tropical storm Manuel during September, 2013 in Acapulco, Guerrero.

Keywords: *principal components analysis; change detection; flood; flood mapping, tropical storm Manuel, load matrix.*

1 INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son los fenómenos naturales que más pérdidas representan en cualquier parte del mundo (Amarnath, 2013). Como resultado de la desigual expansión humana, actualmente se encuentran densamente pobladas áreas que naturalmente están o han estado expuestas a este tipo de amenazas. Sin embargo, a pesar de ser un tema prioritario en la agenda nacional e internacional, con frecuencia las autoridades se ven sobrepasadas para hacer frente a inundaciones que pueden llegar a afectar grandes áreas o una parte de la población, por no mencionar los cuantiosos costos económicos que representan.

Los satélites de observación de la Tierra, debido a sus características y resolución espacial son instrumentos ideales para seguir fenómenos de esta naturaleza y cubrir amplias áreas en imágenes multiespectrales o de radar. Uno de los grandes retos para la detección de cambios a través de PR radica en la imperiosa necesidad de ofrecer un análisis rápido, metódico y consistente de la evaluación del daño. En los estudios multitemporales con Percepción Remota es muy importante que el sensor proporcione imágenes con cobertura periódica, condiciones similares de observación referente a la altura, hora, ángulo de adquisición.

Algunos autores han propuesto cocientes o índices enfocados a la delimitación de cuerpos de agua a través del empleo de rangos del espectro electromagnético con respuesta en este elemento, el más conocido de ellos es el NDWI (*Normalized Difference Water Index*, por sus siglas en inglés Gao, 1996), generalmente centrándose en los rangos del azul, verde e infrarrojo cercano (Near IR). Las imágenes provenientes de sensores pasivos en órbita, tienen una gran ventaja para el estudio de fenómenos naturales como inundaciones y avenidas extraordinarias, gracias a su capacidad de cubrir amplias áreas en una sola imagen. Sin embargo, se encuentran limitadas (dado el tamaño de su longitud

de onda y por condiciones meteorológicas adversas) que afectan la grabación o calidad desde plataformas aéreas o satelitales; lo que impide en la mayoría de los casos obtener imágenes en el momento de la inundación. Dentro de la literatura se encuentran referencias en el empleo del mapeo de inundaciones; así como para el monitoreo de inundaciones (Sakamoto *et al.*, 2005; Jain *et al.*, 2006), análisis del daño por inundaciones (Dewan *et al.*, 2007), pronóstico de inundaciones (Patro *et al.*, 2009; Van Der Knijff *et al.*, 2010), validación de modelos numéricos y análisis de escurrimientos por lluvias (Machado y Ahmad, 2007).

La presente metodología está enfocada al mapeo de áreas inundadas y la detección de cambios empleando imágenes de alta resolución espacial a través de una combinación espectral de dos o más tiempos utilizando los rangos donde el agua tiene su respuesta espectral característica: el verde e infrarrojo, además del azul, pues se asume que al existir en la segunda fecha sedimentos en suspensión la respuesta espectral del agua tenderá a correrse al rango del azul.

2 METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES & ÁREA DE ESTUDIO

La metodología aquí propuesta se aplicó a Acapulco, Guerrero, con el fin de realizar un mapeo de detección de cambios tras el paso de la tormenta tropical Manuel en 2013, **Figura 1**. Se trabajó con imágenes del satélite SPOT-6 para dos fechas: 18-02-2013 y 10-10-2013, las cuales se encontraban orto rectificadas y ya presentaban una corrección radiométrica. Se trabajó con la resolución espacial de 6m x píxel de las bandas multiespectrales. En estudios de esta naturaleza, es necesario que las imágenes no se encuentren muy alejadas de la fecha de cambio; sin embargo, debido a las condiciones meteorológicas la imagen que uso para evaluar los cambios fue tomada casi tres semanas después del paso de Manuel.

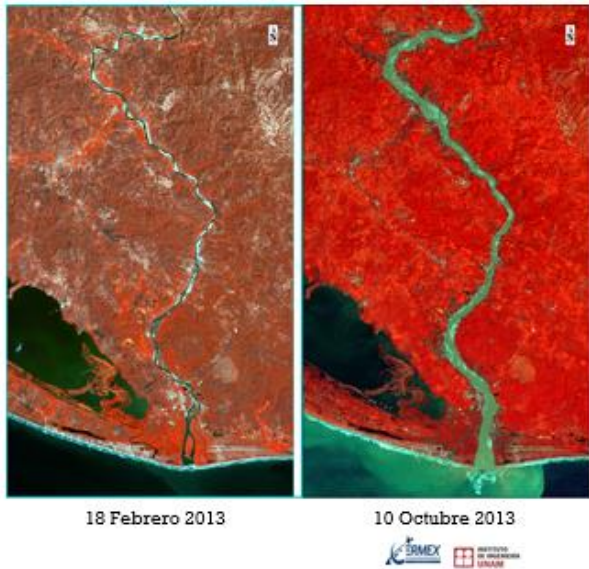


Figura 1. Composición en falso color para el antes y después del paso de Manuel en el río Papagayo, Guerrero.

2.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

La detección de áreas inundadas requiere de resoluciones espaciales altas o muy altas para poder cartografiarles. Sin embargo, la resolución espectral de la mayoría de los satélites comerciales se limita a las regiones del espectro del visible e infrarrojo cercano, lo que hace que la información se encuentre altamente correlacionada, ya que se trata de regiones continuas del espectro. Debido a esto, es necesario aplicar técnicas de detección de realces radiométricos como el Análisis de Componentes Principales (ACP), el cual se aplica a una selección multitemporal (de dos o más tiempos) con diferentes regiones del espectro electromagnético (aquellas en las que se encuentre la respuesta espectral del agua: azul, verde e infrarrojo cercano).

Cuando la luz penetra en el agua su intensidad decrece exponencialmente conforme la profundidad se incrementa. Este proceso es conocido como atenuación. La intensidad de la atenuación difiere de acuerdo con el rango del espectro electromagnético. En la región del visible, la parte del rojo es la que más rápidamente se atenúa,

seguida por el azul. Cuando el agua es azul muestra un pico en la región del verde, que disminuye conforme la profundidad de la columna de agua se incrementa. En el infrarrojo cercano, por el contrario presenta un segundo pico, de reflectancia. La absorción en el agua es dependiente de la longitud de onda. La materia orgánica disuelta absorbe de una forma más intensa en las regiones de longitud de onda más cortas (azul) del espectro y refleja más fuerte en la región del borde del rojo (Red-edge (706 – 746 μm)) Mumby *et al.*, 2000.

La técnica de ACP consiste en transformar un determinado número de bandas en un nuevo conjunto de bandas, a través de una rotación y reacomodo de la información que concentra la mayor parte de la varianza de una escena en una sólo escena y el resto distribuido en las siguientes componentes principales (CP).

En detección de cambios, esta técnica de transformación radiométrica se emplea de una forma particular, ya que no se busca la información común entre ambas fechas sino la que cambia. Al utilizar un archivo multitemporal con dos o más tiempos, conformados por una selección de bandas que concentran la respuesta espectral del agua (la región del verde, el infrarrojo cercano y también el azul, ya que existe un aporte significativo de sedimentos en la segunda fecha) se genera un espacio vectorial sobre el cual se generan nuevas bandas: las componentes principales, tal como se muestra en la **Figura 2)**

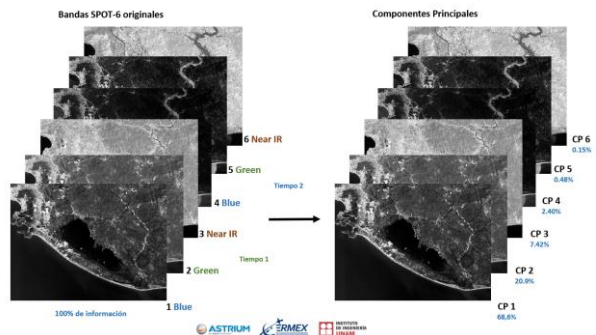


Figura 2. El ACP lleva a cabo una transformación radiométrica a partir de las bandas originales para generar un nuevo grupo de bandas independientes entre ellas.

El uso de ACP está dirigido a la identificación de características o elementos específicos muy difíciles de separar a través de sus propiedades espectrales. Fraser, 1991 y Loughlin, 1991 propusieron el empleo de esta técnica para realizar prospección minera en un solo tiempo, su propuesta de análisis de la matriz de carga es útil para la identificación de las componentes principales donde se encuentran los principales aportes del agua y por tanto las áreas con cambios, **Figura 3**.

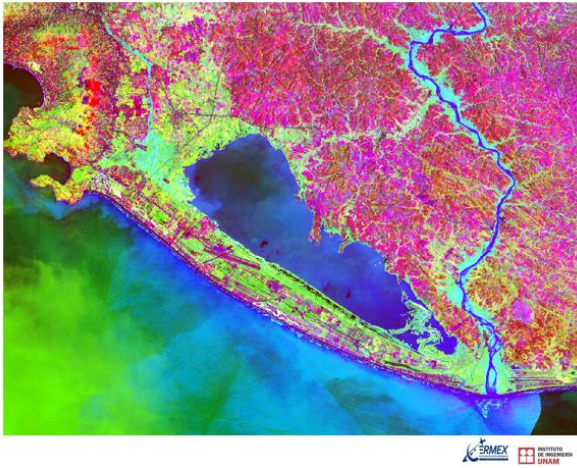


Figura 3. Despliegue con la CP1, CP4 y CP5 en los canales RGB.

Al observar la matriz de autovectores se puede obtener la magnitud del vector de cada uno de los componentes, el cual corresponde a la varianza. De esta manera, el primer y la segunda componente almacenan el mayor porcentaje de la varianza, es decir los elementos comunes entre los dos tiempos, mientras que los siguientes componentes almacenan porcentajes menores y corresponden a los cambios en la escena, **Tabla 1**.

Tabla 1. Porcentaje de la varianza contenido en las CP.

	SD	Eigenvalue	%
CP 1	1,034,877	21,082,125,446	68.60
CP 2	1,393,005	6,440,975,536	20.96
CP 3	2,530,498	2,296,383,525	7.47
CP 4	1,897,472	739,087,082	2.40
CP 5	1,741,645	125,459,545	0.04
CP 6	3,831,867	47,768,274	0.15
	Σ	30,731,799,408	100

3. RESULTADOS

Los principales cambios se encuentran reflejados en las CP 4 y CP5 (**Figura 4**), y las cuales tienen un mayor aporte del azul y verde del segundo tiempo. La delimitación de los histogramas se realizó con una extracción por reglas, donde se identificaron los umbrales con cambio.



Figura 4. Izquierda, CP 4 la cual recoge los cambios en los márgenes del río con aporte y CP 5 recoge los cambios en el volumen del río Papagayo.

Para comparar los resultados obtenidos con ACP se realizó el mapeo con otro método de detección de cambios (cocientes multitemporales con NDWI), se obtuvieron resultados de precisión más altos para la metodología propuesta, esto se explica ya que las áreas inundadas que quedaron en la región del azul del segundo tiempo, fueron identificadas dentro del análisis de la matriz de carga. El porcentaje de fiabilidad global para la metodología aquí propuesto fue de 91% y el estadístico de Kappa del 82%, lo cual comprueba la robustez de los resultados cartografiados, **Figura 5**. Sin embargo, este método supuso un porcentaje mayor de errores de comisión respecto a las áreas no inundadas que fueron clasificadas como tal. Es interesante resaltar que dentro de los autovectores no aparecen como aportes en ninguna de las componentes principales el verde e infrarrojo del primer tiempo. Esto es relevante ya que en la mayoría de los estudios orientados hacia el estudio de los cuerpos de agua se suelen utilizar únicamente el verde e infrarrojo cercano.

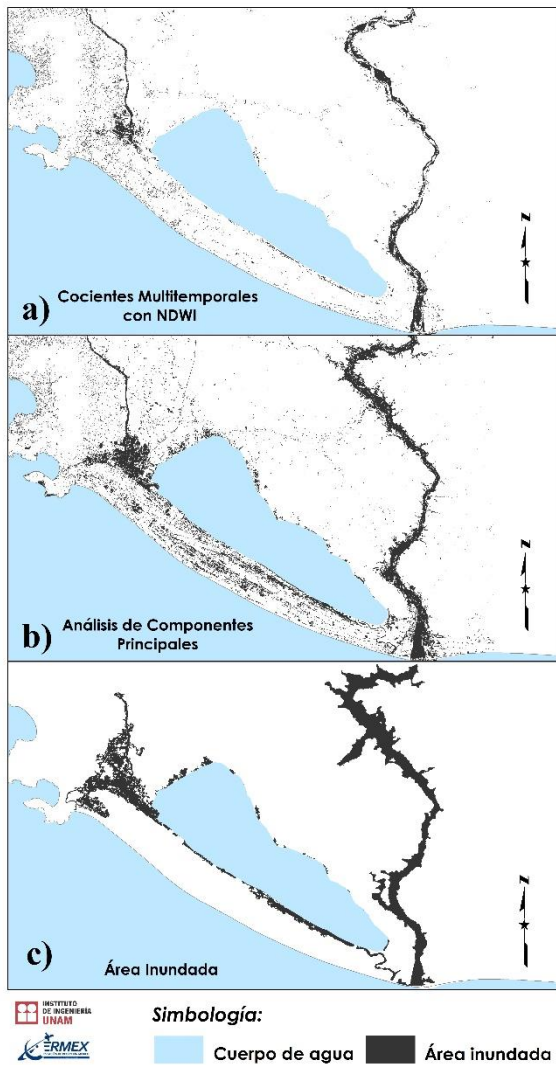


Figura 3. Comparación de los resultados obtenidos con Cocientes Multitemporales NDWI y la mancha de inundación real.

4. CONCLUSIONES

La aplicación de ACP al estudio de detección de cambios se ha concentrado casi exclusivamente a la detección de cambios de uso de suelo (Rojas, 2011 & Ponce, 2008), esto debido a la dificultad que supone con frecuencia el análisis e interpretación de la matriz de carga y la amplitud de los histogramas de cada CP, aunado al desconocimiento referente al aporte que da la combinación de bandas

multitemporales a cada componente (Lira, 2010). Esta metodología propone una combinación espectral y multitemporal como archivo de entrada, en la cual se realiza la respuesta espectral del agua considerando el corrimiento de su respuesta de la región del verde hacia el azul, como resultado de los sedimentos presentes en la columna de agua para el segundo tiempo.

Finalmente, la metodología aquí propuesta es aplicable para el seguimiento de inundaciones o cambios en cuerpos de agua. La decisión de emplear esta selección multiespectral recayó en las características de los insumos con los que se contaba, sin embargo ésta puede enriquecida o modificada si el sensor cuenta con otras bandas en el infrarrojo cercano o el costero. Es necesario señalar, que los resultados están condicionados de fuertemente por la disponibilidad de información y la calidad de las mismas. Es muy importante para el mapeo de áreas inundadas que las fechas de estudio sean lo más cercano posibles a la fecha de cambio, ya que estos fenómenos naturales tienen una pervivencia menor en el espacio.

AGRADECIMIENTOS

La metodología aquí expuesta se desarrolló con imágenes del satélite SPOT-6 proporcionadas por la ERMEX NG al IINGEN a través de la solicitud 201403-11-163620-593 correspondiente a la región de Costa Chica-Tierra Caliente en el estado de Guerrero para dos periodos: antes y después del paso de la tormenta tropical Manuel en 2013.

REFERENCIAS

- Amarnath, G. (2013) An algorithm for rapid flood inundation mapping from optical data using a reflectance differencing technique. *Journal of Flood Risk Management* 239-250.
- Dewan *et al.*, (2007) Evaluating Flood Hazard for Land-Use Planning in Greater Dhaka of Bangladesh Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Water Resources Management*, 21, 1601-1612.
- Fraser, S.J. (1991) Discrimination and identification of ferric oxides using satellite Thematic Mapper data: A Newman case study. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 12, No. 3, 635-641.

- Gao, B. C. (1996) NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sensing Environment*, 58:257-266.
- Jain et al. (2006) Flood inundation mapping using NOAA AVHRR data. *Water Resources Management*, 20, 949-959
- Loughlin, W.P. (1991) Principal Component Analysis for Alteration Mapping, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 57, No. 9, September, pp. 1163-1169.
- Machado S.M & Ahmad S. (2007) Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia. *Water Resources Management*, 21, 591-609
- Mumby, A & Edwards, A. (2000) Water Column Correction Techniques in *Remote Sensing Handbook for Tropical Coastal Management*. Coastal Management Sourcebooks 3, UNESCO, Paris (p. 121-128).
- Patro S. et al., (2009) Flood Inundation modeling using MIKE FLOOD and remote sensing data. *J. Indian Soc. Remote Sensing*, 37, 107-118.
- Ponce V., C. (2008) Analysis of land cover changes and fragmentation in the community conservation corridor El Ángel-Bosque Golondrinas, Carchi Province (1996-2005). Thesis presented to obtain the degree of Geographer and Environment Engineering. Army Polytechnic School, Ecuador.
- Rodríguez S. J., A. (2014). Estimation of areas with potential landslides due to natural phenomenon occurrence through satellite images processing. Thesis presented to obtain the degree of Geomatic Engineering. Faculty of Engineering, UNAM, Mexico.
- Rojas U., S. (2011) Assessment methodology's for satellite image processing for change use land identification. Thesis presented to obtain the degree of Geographer and Environment Engineering. Army Polytechnic School, Ecuador
- Sakamoto et al., (2007) Detecting temporal changes in the extent of annual flooding within the Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta from MODIS time-series imagery. *Remote Sensing Environment*, 109, (3), 295–313
- Van Der Knijff, et al., (2008) LISFLOOD: A GIS-based distributed model for river basin scale water balance and flood simulation. *International Journal of Geographical Information Science*, 24, 189-212.