

Romero Hernández, C.P., Carmona Moreno, C., Pedregal Mateos, B. y Bernal Márquez, M. (2010): Uso de imágenes de satélite para el análisis y seguimiento de los recursos hídricos disponibles en países en vías de desarrollo. Aplicación al Lago Chad – África. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 1.090-1.094. ISBN: 978-84-472-1294-1

USO DE IMÁGENES DE SATÉLITE PARA EL ANÁLISIS Y SEGUIMIENTO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DISPONIBLES EN PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO. APLICACIÓN AL LAGO CHAD-ÁFRICA

*Claudia Patricia Romero Hernández¹, Cesar Carmona Moreno²,
Belén Pedregal Mateos³, Manuel Bernal Márquez³*

(1) Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Calle 44 número 45-67 Bloque 2 Unidad Camilo Torres, Bogotá cpromero@unal.edu.co

(2) Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Institute for Environment and Sustainability, 1, via Fermi, 21020-Ispra (Italia). cesar.carmona-moreno@jrc.it

(3) Departamento de Geografía Humana, Universidad de Sevilla, C\ María de Padilla s/n, 41004 Sevilla, bpedregal@us.es; bernalmm@us.es

RESUMEN

El principal objetivo del estudio piloto sobre el lago Chad realizado por el JRC-IES era determinar la viabilidad de los datos de observación de la Tierra para la caracterización y seguimiento de superficies acuáticas y vegetación colindante. En este trabajo se plantea el desarrollo de una metodología que permita la validación de los primeros resultados.

En el caso analizado se procesó una serie temporal de imágenes (1998-2009) de la que se trataron, para cada año y para cada estación (período húmedo - período seco), dos imágenes NDWI y NDVI del satélite SPOT-VEGETATION.

A partir de este antecedente, se pretende profundizar en el análisis multi-temporal y espacial, utilizando la serie temporal completa de la que se dispone, así como otros sensores de baja-media resolución (ENVISAT-MERIS, ASAR, MSG y MODIS). El objetivo principal será establecer modelos de comportamiento-predicción y desarrollar un trabajo de campo que permita validar los resultados obtenidos.

A largo plazo, se pretende la contribución en el desarrollo de una metodología que permita el seguimiento de la evolución espacio-temporal de cuerpos de agua con características similares en otras regiones en desarrollo. La metodología deberá tener en cuenta la limitación de recursos (económicos, humanos y materiales) en estos países, de forma que la transferencia tecnológica pueda realizarse sin dificultades.

Palabras Clave: lámina de agua, Lago Chad, SPOT-VEGETATION, análisis multitemporal

ABSTRACT

The main purpose of the JRC-IES pilot study was to assess the viability of Earth observation data for water surfaces and adjoining vegetation characterization and monitoring at Lake Chad. In this paper, we present a methodology aimed to validate their results.

In the previous JRC-IES study, a time-series of satellite imagery (1998-2009) was analyzed, of which two SPOT-

VEGETATION NDWI and NDVI images, corresponding to wet-dry season, were processed by year. It is planned in this paper to go further on the multi-temporal analysis, using the complete available time-series imagery as well as additional low-medium resolution products (ENVISAT-MERIS, ASAR, MSG and MODIS). The main objective is to develop behaviour-prediction models as well as a fieldwork that make the results validation possible.

In the long term, it is expected to contribute to the development of a methodology that enables monitoring spatio-temporal evolution of water surfaces with similar patterns in other developing regions. This methodology would consider the resources limitation (economic, human and material resources) in these countries, so that technology transfer can take place there without any difficulties.

Key Words: water surface, lake Chad, SPOT-VEGETATION, multi-temporal analysis

INTRODUCCIÓN

La Comisión Europea, en soporte a la Comisión de Gestión de la Cuenca del Lago Chad, ha puesto en marcha recientemente el proyecto “Programme de Gestion Intégrée des Ressources des Bassins Transfrontaliers en Afrique – Composante du Bassin du Lac Chad” financiado a través de los fondos EDF (*European Development Funds*). Al mismo tiempo, de forma más general, la Comisión Europea está igualmente financiando, a través de la línea presupuestaria “Environmental Resources Thematic Programme (ENRTP)”, el proyecto “African Centres of Excellence on Water” (*ACE – Water*) que está siendo implementado por el *Joint Research Centre* (JRC) en el marco de las actividades del proyecto “Monitoring Natural resources for DEvelopment (MONDE – action 42001)”. En este marco programático, la Comisión ha visto la necesidad de contribuir a través de herramientas de alta tecnología a la gestión del Lago Chad y establecer un sistema de monitoreo-seguimiento de los recursos hídricos del lago.

En ese contexto, a través de un estudio piloto realizado conjuntamente por el JRC y la Universidad de Sevilla, se exploró la viabilidad de las imágenes de satélite para el análisis de la evolución de la lámina de agua y de la vegetación acuática del lago Chad en el período comprendido entre Abril de 1998 y Agosto de 2009. Para ello se utilizaron imágenes mensuales de (*Normalized Difference Water Index – NDWI* y *Normalized Difference Vegetation Index – DVI*) del satélite SPOT-VEGETATION.

Por su parte, existen numerosos trabajos que documentan el uso de las imágenes de satélite en la medición de la disponibilidad y calidad de las aguas superficiales, teniendo aplicaciones distintas en la determinación de la superficie, turbidez y profundidad según las características de los sensores, de las masas de agua y de la vegetación acuática (Sawaya, et al., 2003; Bustamente et al., 2005, entre otros).

El gran potencial de esta tecnología de captura de imágenes de observación de la tierra, convierte a esta fuente de datos y el desarrollo de la metodología asociada, en uno de los proyectos clave de las instituciones que velan por el manejo sostenible de los recursos naturales, especialmente en países en vías de desarrollo (Miahle et al., 2008; Combal et al., 2009).

ZONA DE ESTUDIO

El lago Chad es un cuerpo de agua de gran extensión (aproximadamente 1.500 km²) y poca profundidad (4 metros de media), situado entre cuatro países: Chad, Níger, Nigeria y Camerún. El lago abastece de agua a más de 20 millones de personas de los cuatro países, por ello constituye un recurso clave en el equilibrio geopolítico de la zona y su gestión ambiental sostenible es de primordial importancia.

En los años 1960, el lago tenía una superficie de más de 26.000 km² que se fueron reduciendo hasta su dimensión actual de 1.500 km². Esto fue debido a los importantes períodos de sequía de las últimas décadas combinados con el incremento de las poblaciones en el entorno del lago y un sistema anticuado de irrigación regional basado en la explotación de las aguas del lago y de los afluentes que lo alimentan.

OBJETIVOS PLANTEADOS Y METODOLOGÍA

En el estudio piloto realizado (Romero Hernández et al., 2009) se trataron dos imágenes NDWI y NDVI del satélite SPOT-VEGETATION por año, una del periodo de lluvias y otra del periodo seco desde 1998 a 2009. Se aplicaron programas para el procesamiento de imágenes de satélite ERDAS 9.0 y para el análisis espacial

de datos ARCGIS 9.2. para definir los parámetros geométricos como las áreas y perímetros de la lámina de agua y superficies vegetales.

Partiendo de este antecedente, se pretende profundizar en el estudio realizado hasta ahora, ampliando la serie temporal estudiada, añadiendo nuevas variables climáticas, así como desarrollar trabajo de campo que permita validar y corroborar los datos obtenidos, con objeto de establecer modelos de comportamiento-predicción.

Al mismo tiempo, se pretende identificar posibles correlaciones de la dinámica espacial del lago y su vegetación con datos estadísticos sobre variables socioeconómicas que permitan generar indicadores de gestión de los impactos de los proyectos y programas que se han puesto en marcha en las respectivas cuencas.

En concreto, se propone ajustar y desarrollar una metodología para el monitoreo a láminas de agua en países en vías de desarrollo, que permita usarla como una herramienta de apoyo para el control y seguimiento a estos recursos.

En su consecución se contemplan las siguientes fases de aplicación:

1) Análisis detallado del banco de imágenes NDWI del satélite SPOT-VEGETATION, con el fin de obtener datos más precisos sobre la evolución de la lámina de agua y posibles picos de cambios en periodos de sequia y lluvias.

Esta fase supone el análisis de unas 900 imágenes aproximadamente, del periodo de tiempo comprendido entre el 1 de abril de 1998 hasta el 21 de diciembre de 2009, mediante un proceso de interpretación digital para la identificación de áreas y perímetros, con el fin de hacer seguimiento a la evolución y posibles variaciones de puntos críticos. El estudio piloto analizó 46 imágenes de las 900 disponibles.

2) Análisis de series mensuales de precipitación, temperatura y humedad, con objeto de identificar la correlación existente entre estas variables y los resultados del procesamiento de las imágenes satelitales. El análisis año a año de la variabilidad climática en la región aportará información necesaria acerca de su influencia sobre la evolución de la lámina de agua y, a través de esto, de la vegetación colindante.

La principal limitación de estas series de datos es, por un lado, su heterogeneidad y, por otro, el reducido número de estaciones de superficie en las inmediaciones del lago Chad. Un análisis más homogéneo de la temperatura superficial, la evapotranspiración, e incluso el contenido de humedad del suelo, se llevará a cabo mediante el análisis y tratamiento de imágenes de satélite. Éstas tienen la ventaja de cubrir uniformemente el área de estudio.

A este respecto, se contará, gracias a la colaboración del JRC con EUMETSAT (www.eumetsat.int), con las imágenes del satélite Meteosat Second Generation (MSG) y una gran variedad de productos derivados (evapotranspiración, temperatura de superficie, índice de precipitación de alta resolución, humedad troposférica, albedo en superficie, índice de área foliar, fracción de cobertura vegetal, y otros), obtenidos por el proyecto Land Surface Analysis Satellite Applications Facility (LAND SAF) (<http://landsaf.meteo.pt/>). El objetivo de este centro es obtener productos relacionados con la superficie terrestre, la interacción atmósfera-superficie y las aplicaciones para la biosfera a partir de datos de los satélites EUMETSAT (MSG y EPS). La resolución espacial (1 km) y temporal (desde 15 minutos) de tales imágenes y productos hacen del LAND SAF una fuente de información de destacada importancia para este estudio.

3) Determinación de la evolución espacio-temporal de la cobertura vegetal de la cuenca, generando mapas de cobertura vegetal de mínimo dos fechas diferentes en el lapso de tiempo analizado. Estos mapas se realizarán a partir de las imágenes MERIS y Landsat, apoyados en la información cartográfica existente, mapa de Cobertura vegetal de África Global Land Cover 2000, bibliografía sobre especies vegetales de la zona e información cartográfica suministrada por la Comisión de la Cuenca, con el fin de identificar los posibles cambios en el uso del suelo, la pérdida de cobertura vegetal nativa principalmente en la cabecera de la cuenca, y su potencial repercusión en la evolución de la lamina de agua.

A partir de la generación del mapa de cobertura y uso de la tierra mediante los procesos de clasificación digital de los datos se procederá a una verificación de resultados con puntos de muestreo tomados en campo. Posteriormente se elaborará el mapa de cobertura y uso para la siguiente fecha, con el fin de identificar los

posibles cambios, incluyéndolos como una nueva variable a correlacionar con los datos obtenidos anteriormente en el desarrollo de esta etapa del proyecto.

4) Realización de trabajo de campo.

Para la validación de resultados se plantean un mínimo de dos salidas de campo a la zona de estudio. La primera salida se hará después de la obtención de los primeros resultados sobre el análisis de los datos satelitales y climatológicos. El objetivo del trabajo de campo será el de tomar puntos de control y afinar los primeros resultados obtenidos mediante la verificación de las categorías identificadas en la cartografía generada sobre el uso de suelo y las condiciones de afectación de la lamina de agua. Se tomará igualmente contacto con los residentes de la cuenca, en especial con la Comisión de la Cuenca del Lago Chad, con el fin de obtener una visión más cercana de la realidad del territorio y recopilar información adicional que pueda ser de utilidad para el buen desarrollo del trabajo.

Una segunda salida de campo será necesaria tras la verificación y el ajuste de los resultados de los análisis y la cartografía generada, con el fin de dar a conocer y socializar los avances del proyecto.

Finalmente, se explorarán otras correlaciones posibles de la dinámica espacial del lago con datos estadísticos sobre variables socioeconómicas que permitan generar indicadores de gestión de los impactos de los proyectos y programas que se han puesto en marcha en la cuenca.

RESULTADOS, DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Aunque en la elaboración del proyecto piloto no se encontraron referencias bibliográficas exactas sobre el área del cuerpo de agua en el período analizado que pudieran servir para su comparación y validación, se considera que la metodología empleada permite realizar un monitoreo permanente de la lámina de agua del lago, debido a su alta resolución temporal (una imagen de síntesis cada 10 días). Esto permite establecer las variaciones de la lámina de agua de forma muy precisa y la evolución de la vegetación acuática para la gestión del lago y sus recursos (Hernández *et al.*, 2009, ver Figura 1)

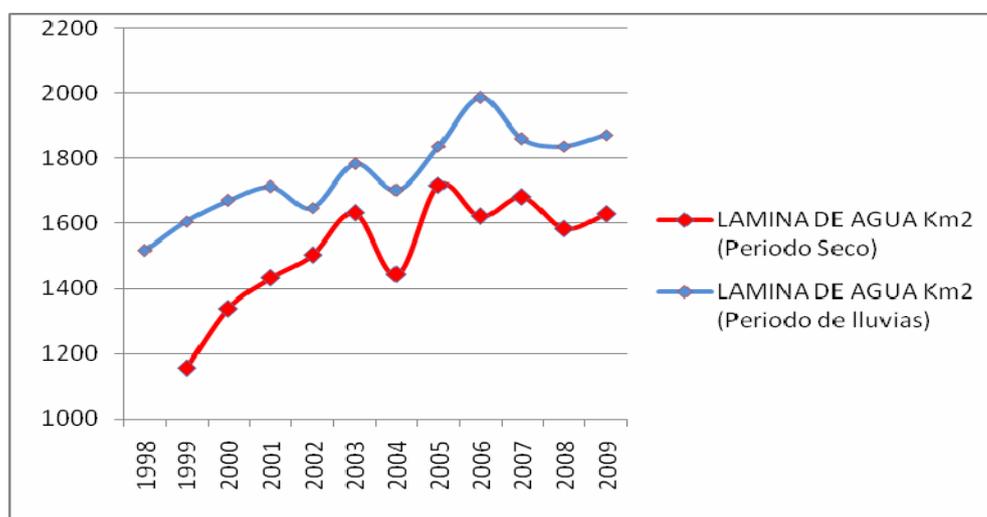


Figura 1. Superficie en km² de la lámina de agua para toda la serie 1998 a 2009 en el periodo de lluvia y seco

En el estudio piloto, los resultados demostraron que es posible aplicar esta metodología de monitoreo para identificar la evolución multitemporal de la lámina de agua y la vegetación acuática del lago Chad, mediante información de NDVI y NDWI, con resolución espacial de 1 kilómetro. Por el contrario, las clasificaciones supervisadas para la identificación de tipos de cobertura vegetal, no arrojaron resultados que permitan monitorear esta dinámica. Por tanto, se propone para obtener esta información analizar imágenes con mayor resolución espectral y espacial (ENVISAT-MERIS y MODIS).

Por ese motivo, en esta comunicación, se han detallado los aspectos a desarrollar en el apartado metodológico: 1) el análisis detallado de toda la serie de imágenes SPOT-VEGETATION; 2) la correlación con variables climáticas con objeto de establecer modelos de comportamiento-predicción y la identificación de posibles correlaciones de la dinámica espacial del lago y su vegetación con datos estadísticos sobre variables socioeconómicas que permitan generar indicadores de gestión de los impactos positivos y negativos de proyectos y programas que se han puesto en marcha en la zona.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto piloto sobre el lago Chad ha sido financiado por el JRC-IES: AIDCO - Knowledge Management: A test for managing Remote Sensing Products. Feasibility Study for Water and Vegetation spatial-temporal change monitoring.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Combal, B.; Haas, E. y Bartholomé, E. (2009): Detection of surface water with SPOT- VEGETATION Monitoring and assessing CILSS countries surface water availability, JRC Scientific and Technical Reports, European Communities.

JRC #2009-11-31487 NFP CSP – Administrative Arrangement between DG AIDCO and DG Joint Research Centre of the European Commission. “Support to the AfRican Network of Centres of Excellence in Water Sciences and Development” (ACE – WATER).

Mialhe, F., Gunnell, Y. y Mering, C. (2008): Synoptic assessment of water resource variability in reservoirs by remote sensing: General approach and application to the runoff harvesting systems of south India. *Water Resour. Res.*, 44, W05411, doi: 10.1029/2007WR006065.

Mueschen, B. y Hochschild, V. (2003): Remote sensing Applications for Water Resources Management of the Tisza River Basin. *30th International Symposium on Remote Sensing of Environment*. Disponible online <http://isrse.pdc.org/> [2/2/2010]

Romero Hernández, C., Carmona Moreno, C., Pedregal Mateos, B. (2009): Estudio de Viabilidad para el Análisis de la Dinámica Anual e Interanual del Lago Chad. Período comprendido entre 1998 y 2009 utilizando Imágenes de Teledetección Spot-Vegetation, EUR – Scientific and Technical Research series, Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Sawaya, K. E., Olmanson, L. G., Heinert, N. J., Brezonik, P. L. y Bauer, M. E. (2003): Extending satellite remote sensing to local scales: land and water resource monitoring using high-resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 88. 144-156.