

IDENTIFICACIÓN DE HUMEDALES EMPLEANDO IMÁGENES ETM+ Y OLI EN LAS ZONAS DE CABECERA DE LAS CUENCAS CHANCAY – LAMBAYEQUE Y JEQUETEPEQUE

IDENTIFICATION OF WETLANDS USING ETM+ AND OLI IMAGES IN THE HEADWATER AREAS OF CHANCAY - LAMBAYEQUE AND JEQUETEPEQUE BASIN

LEYVA M. W., GARCÍA D. J., & WILLEMS B. L.

Resumen

Se presentan los resultados preliminares del proyecto: *Strengthening resilience of Andean river basin headwaters facing global change*, el cual tiene entre sus objetivos la implementación de un sistema de monitoreo por satélite para el estudio de los ecosistemas de humedales (bofedales, jalca), ubicados en la cabecera de las cuencas Chancay-Lambayeque y Jequetepeque. En una primera etapa se analizan imágenes de los sensores ETM+ y OLI a bordo de los satélites Landsat, a fin de establecer un rango de valores de los índices de vegetación y agua de diferencia normalizada (NDVI y NDWI, respectivamente) para la ubicación y delimitación de los ecosistemas de interés. Los resultados son validados con visitas de campo, imágenes de alta resolución espacial e información provenientes de fuentes secundarias (p. ej., mapas, informes).

Palabras claves: Bofedales, jalca, imágenes de satélite, índices.

Abstract

We present preliminary results of the project: “Strengthening resilience of Andean river basin headwaters facing Global change”, which has as its objectives the implementation of a satellite monitoring system for the study of wetland ecosystems (wetlands, jalca) located at the headwaters of the Chancay-Lambayeque and Jequetepeque basins. In the first stage, we analyzed images of ETM+ y OLI sensors aboard Landsat satellites, in order to establish the range of values of normalized difference vegetation and water indexes (NDVI and NDWI, respectively) for the location and delimitation of the ecosystem of interest. The results were validated with field visits, high spatial resolution images and information from secondary sources (eg., maps, reports).

Keywords: Bofedales, jalca, satellite images, indexes.

Introducción

Las cabeceras de las cuencas andinas están conformadas por ecosistemas de humedales (jalca, páramos y/o bofedales) y, eventualmente, glaciares y nevados; ecosistemas que tienen la capacidad de almacenar el agua proveniente de las precipitaciones, para recargar depósitos subterráneos y generar un flujo continuo, cuenca abajo (Hofstede, Segarra, y Mena, 2003). Los humedales andinos proporcionan una variedad de servicios ecosistémicos (p. ej., suelos y agua), cumplen funciones de regulación hídrica y biorremediación y son el hábitat de una gran diversidad de flora y fauna (Crissman, 2003; Hofstede *et*

al., 2003). Por ejemplo, los páramos de Ecuador y Colombia presentan amplias extensiones y proveen oportunidades para el desarrollo agrícola y ganadera (Crissman, 2003). Sin embargo, una inapropiada gestión de los mismos, aunada con la expansión de proyectos mineros a gran escala, están generando procesos de deforestación y de degradación de suelos (Buytaert, Céleri, De Bièvre, Cisneros, Wyseure, Deckers, y Hofstede, 2006; Buytaert, Iñiguez y De Bièvre, 2007; Hofstede y Rossenaar, 1995).

Si bien, la mayor parte de las cuencas del Perú, en particular, aquellas de la vertiente hidrográfica del Pacífico dependen de los ecosistemas de humedales para la disponibilidad del recurso hídrico, son aún muy limitados los

estudios existentes sobre estos (Hofstede *et al.*, 2003). Uno de los factores que limitan la investigación de los humedales constituye la carencia de datos hidrometeorológicos, sobre todo series históricas de treinta años a más, en vista de que estas zonas cuentan con escasas estaciones meteorológicas e hidrométricas (Acuña, Ordoñez, y Arboleda, 2011). Adicionalmente, los pocos datos disponibles se presentan incompletos, con brechas de hasta varios años en su registro (Espinoza, 2005). Una alternativa a ello lo constituyen los datos-imágenes de satélite, que posibilitan complementar la data de campo y llenar los huecos espaciales temporales con el empleo de técnicas de inferencia estadística, entre otras.

Diversos estudios sugieren que los sistemas de humedales cumplen un rol fundamental en el ciclo hidrológico de las cuencas andinas (Otto, Scherer y Richters, 2011; Tovar, Seijmonsbergen y Duivenvoorden, 2013), pero uno de los problemas que afronta su estudio constituye la falta de datos disponibles (hidrológicos, climáticos, biológicos). Aunado a ello está el hecho de que estos ecosistemas se encuentran ubicados a grandes altitudes (> 3,500 msnm) y en zonas de difícil acceso.

El presente trabajo busca identificar las zonas de humedales de la cabecera de cuenca Chancay-Lambayeque y Jequetepeque, empleando como insumo principal imágenes ETM+ y OLI.

Metodología

El área de estudio corresponde a la zona de cabecera de las cuencas Chancay-Lambayeque y Jequetepeque, denominada lagunas del Alto Perú, se muestra la ubicación en la figura 1.

Las lagunas de Alto Perú es una de las reservas de agua de Cajamarca, conformada por las 284 lagunas de Alto Perú, Yanacanchilla y San Cirilo que se encuentran ubicadas en los linderos de las provincias de San Pablo, San Miguel, Hualgayoc y Cajamarca, a una altitud comprendida entre los 3,650 a 4,800 msnm; la zona es cabecera de cuenca del Llaucano, Marañón, Cajamarquino, Chancay-Lambayeque y el Jequetepeque. En la foto 1a y b podemos ver el paisaje de la del área de estudio y algunas de las lagunas (imagen del 08/04/2014).

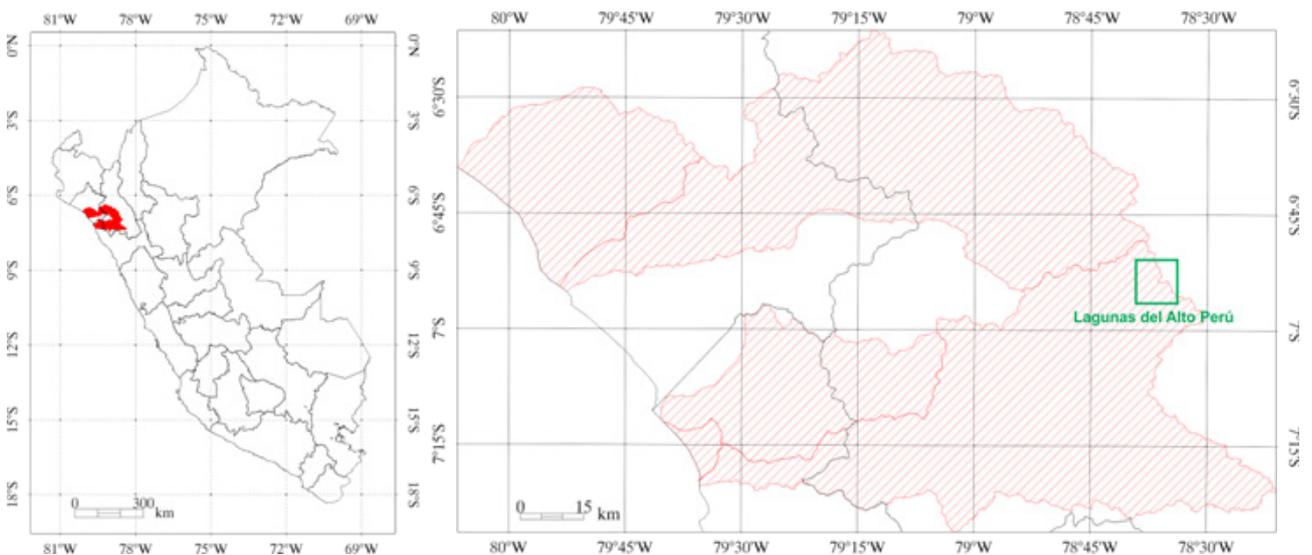
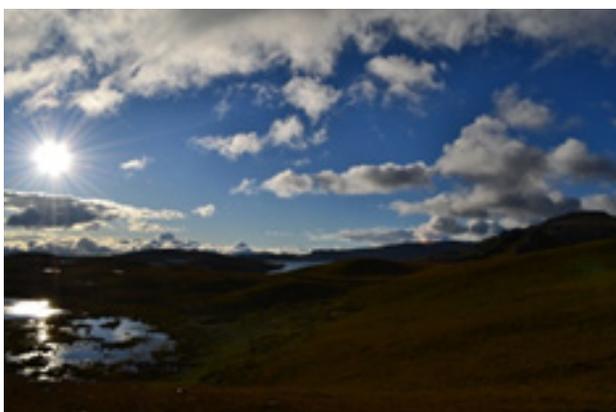


Figura 1. Ubicación del área de estudio.



(a)



(b)

Foto 1. Lagunas de Alto Perú. (a) Paisaje de la zona. (b) Vista de algunas de las lagunas.

La metodología utilizada se inicia con la adquisición de las imágenes del sensor ETM+ y OLI del satélite Landsat, la cual se realizó del portal web de la USGS <<http://glovis.usgs.gov/>>. Luego se continuó con el procesamiento de las imágenes, cálculo de los índices y transformación *tasseled cap* para realizar la clasificación de la cobertura de superficie.

En el procesamiento de las imágenes, la corrección atmosférica se realizó utilizando el módulo FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), que es una herramienta de modelado de corrección atmosférica de principios básicos para recuperar la reflectancia espectral desde radiancia de imágenes hiperespectrales. Con FLAASH se puede compensar con precisión los efectos atmosféricos. FLAASH corrige longitudes en el visible a través de las regiones del infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta de hasta 3 mm.

Cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)

Las imágenes, luego de que sus valores han sido transformados a reflectancia, se procesan mediante el módulo *Band Math* del programa Envi 4.5. Este módulo permite crear y modificar ecuaciones con la información de bandas de una imagen. Se ingresa la expresión:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR}(banda_5) - \rho_R(banda_4)}{\rho_{NIR}(banda_5) + \rho_R(banda_4)}$$

El cálculo del Índice de Agua de Diferencia Normalizada. (NDWI, Normalized Difference Water Index)

Las imágenes en valores a reflectancia se procesan mediante el módulo *Band Math* del programa Envi 4.5, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$NDWI = \frac{\rho_G(banda_3) - \rho_{NIR}(banda_5)}{\rho_G(banda_3) + \rho_{NIR}(banda_5)}$$

La transformación *tasseled cap* (gorro borlado) es una transformación especial desarrollada por Kauth y Thomas (NASA, Departamento de Agricultura). Proporciona nuevas bandas con un significado físico a partir de la combinación de las bandas originales. Utiliza un conjunto de coeficientes obtenidos de Baig *et al.* (2014).

$$\begin{bmatrix} B \\ V \\ H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.3029 & 0.2786 & 0.4733 & 0.5599 & 0.508 & 0.1872 \\ -0.2941 & -0.243 & -0.5424 & 0.7276 & 0.0713 & -0.1608 \\ 0.1511 & 0.1973 & 0.3283 & 0.3407 & -0.7117 & -0.4559 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} OLI2 \\ OLI3 \\ OLI4 \\ OLI5 \\ OLI6 \\ OLI7 \end{bmatrix}$$

La banda B: Brillo (*Brightness*), relacionada con los cambios de reflectividad de la imagen es la suma ponde-

rada de todas las bandas. La banda V: Verdor (*Greenness*), definida por el contraste entre visible e infrarrojo. Ponderación positiva de bandas 4-5 y negativa del resto. La banda H: Humedad (*Wetness*), relacionada con el contenido de humedad de la vegetación. Ponderación negativa en IR medio. Las bandas permiten definir un nuevo sistema de referencia (nuevos ejes ortogonales) que definen a su vez tres planos, tales como plano de vegetación: ejes brillo y verdor; plano de suelos: ejes brillo y humedad; plano de transición: ejes verdor y humedad.

Resultados

En primer lugar se generó el modelo de elevación digital (DEM) de la cuenca, con el propósito de obtener los vectores de las áreas de cabecera de cuenca, tomando como criterio que estas se encuentran a una altura mayor que los 3,500 msnm (véase figura 1). Para ello se analizaron los datos del modelo digital GDEM ASTER, que se encuentran disponibles en la web <<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>>.

En el caso de la figura 2, el DEM nos muestra dos zonas bien diferenciadas de la cuenca Chancay-Lambayeque, a saber: una zona baja o valle, ubicada entre el nivel del mar hasta los 500 msnm, y una zona alta o sierra desde los 500 hasta más de los 3,500 msnm. Estos resultados corroboran la información proporcionada por Nuñez *et al.* (2006).

Con el objetivo de identificar la distribución de la vegetación a lo largo de la cuenca, se generaron imágenes del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), empleando una relación de razón de bandas (bandas 5 y 4 del sensor OLI). El NDVI presenta valores altos cuando la vegetación es vigorosa, mientras que decae para el caso del suelo desnudo y cuerpos de agua (Ariza, 2013). Los valores de NDVI fluctúan entre 0 a 0.8, correspondiendo los mayores de 0.3 a zonas con plantas vigorosas, mientras que en las áreas con NDVI menor a 0.3 la vegetación es escasa.

Es importante señalar que el NDVI puede adquirir valores de -1 a 1, correspondiendo los valores de 0 a zonas sin vegetación y 1 cuando la cobertura de la vegetación es

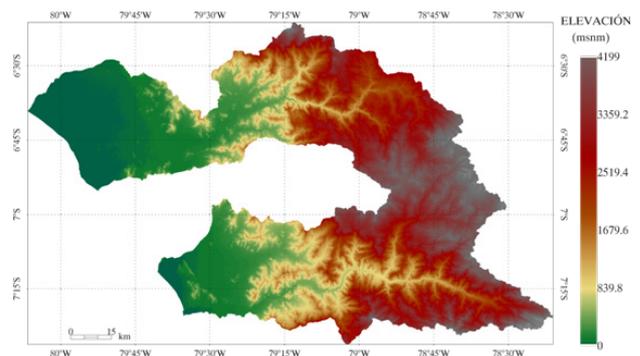


Figura 2. DEM de la cuenca Chancay-Lambayeque y Jequetepeque.

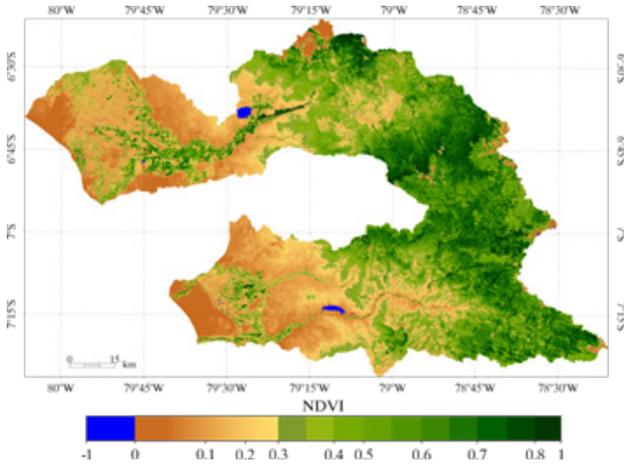


Figura 3. NDVI-OLI de la cuenca Chancay-Lambayeque y Jequetepeque para diciembre del 2013.

máxima; además debemos de tener en cuenta que algunas coberturas, como agua, pueden dar valores negativos en el cálculo de NDVI, como se muestra en las figuras 3 y 4, correspondiendo a la ubicación del reservorio de Tinajones y el reservorio Boró.

En la figura 4, a diferencia de la figura 3, podemos ver que la cobertura vegetal en la zona Lambayeque varía, esto es debido a que el mes de diciembre es época de cosecha de caña de azúcar y arroz.

De otro lado, el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) permite analizar la distribución de la humedad presente en la vegetación, así como el nivel de saturación que posee el suelo. El NDWI es obtenido a partir de las bandas 3 y 5 del sensor OLI (Ariza, 2013).

Los valores alrededor de 0.1 de NDWI que muestran las figuras 5 y 6, pueden aparentemente entrar en contradicción con los resultados mostrados de NDVI en la foto 1 y figura 2, que nos indican zonas áridas. Estas zonas, con NDWI alrededor de 0.1, son debido a la cantidad de lluvia acumulada para dicha fecha. Esta infor-

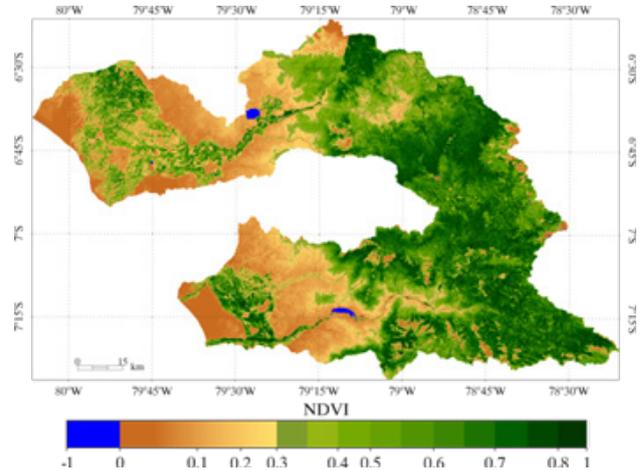


Figura 4. NDVI-OLI de la cuenca Chancay-Lambayeque y Jequetepeque para abril del 2014.

mación se ha podido corroborar con datos de TRMM (http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daac-bin/G3/gui.cgi?instance_id=TRMM_3-Hourly).

Para el NDWI del mes de abril del 2014, en la figura 7, es evidente una disminución en la cobertura del agua del reservorio de Tinajones, comparada con el mes de diciembre del 2013, mostrado en la figura 5.

Para el análisis de la zona de las lagunas de Alto Perú, se procesó una imagen OLI del 29 de marzo del 2013 con path/row: 09/65. Una vez obtenida la imagen de reflectancia se continuó con la aplicación de la transformación *tasseled cap* (Baig, Zhang, Shuai y Tong, 2014), para dar realce a las zonas con humedad. Se pueden ver los resultados en la figura 7.

La humedad se calcula aplicando directamente la transformación *tasseled cap* con base en el factor de reflectancia de una imagen de satélite. La imagen de humedad se muestra similar a la imagen de NDVI y ambos revelan el patrón espacial donde se halla mayor humedad de la vegetación.

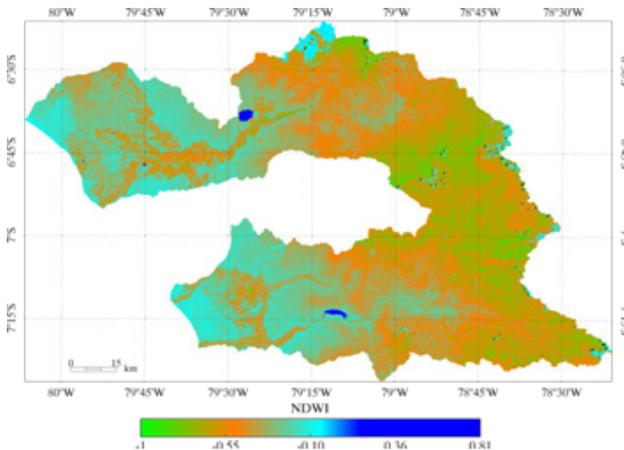


Figura 5. NDWI-OLI de la cuenca Chancay-Lambayeque y Jequetepeque para diciembre del 2014.

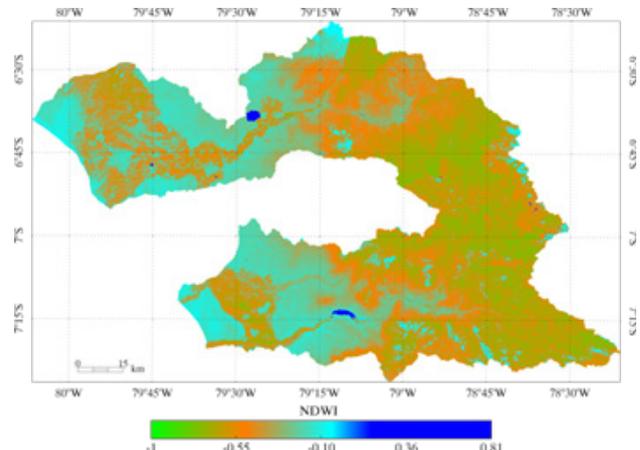


Figura 6. NDWI-OLI de la cuenca Chancay-Lambayeque y Jequetepeque para abril del 2014.

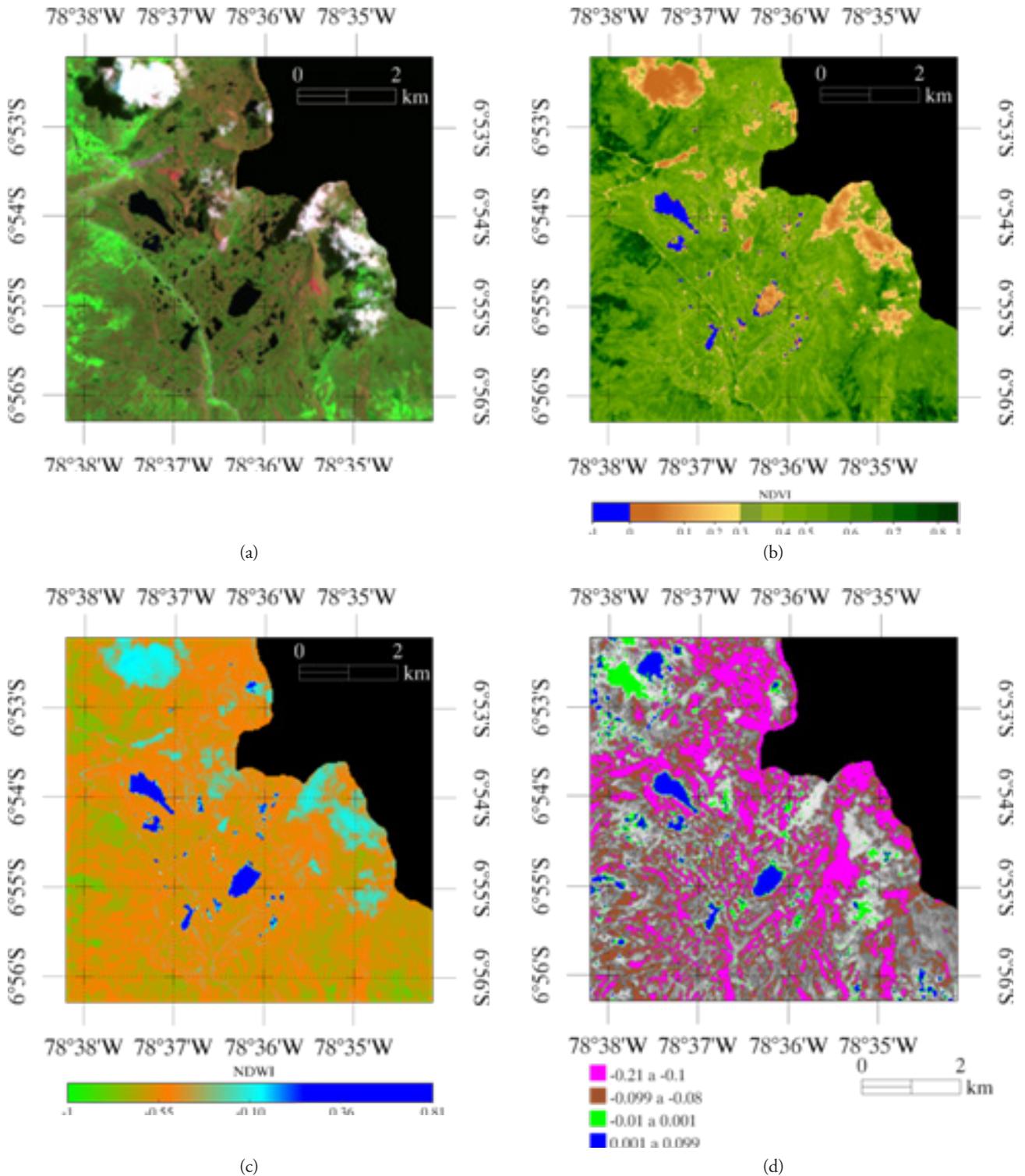


Figura 7. Imagen en falso color e índices de la zona de estudio (a) Bandas OLI 7, 5 Y 3 como RGB, (b) NDVI calculado del sensor OLI (c) NDWI calculado del sensor OLI y (d) Humedad calculada de la transformación *tasseled cap*.

Alcance del trabajo

Si bien es de amplio consenso que los sistemas de cabeceras de cuenca son de vital importancia para la provisión del recurso hídrico en el país, son muy pocos los estudios existentes, mucho menos se cuentan con metodologías que permitan seguir su evolución.

El presente trabajo está enmarcado dentro del proyecto PEER: *Strengthening resilience of Andean river basin*

headwaters facing global change, el cual tiene entre sus propósitos implementar un sistema de monitoreo por satélite para el estudio de los sistemas de cabeceras de cuenca. Dicho sistema viene siendo diseñado de manera conjunta con la Autoridad Nacional del Agua, y está visionado como una herramienta de soporte para las tareas de gestión integrada de los recursos hídricos de la institución en sus diferentes niveles (ANA, AAA, ALA).

Conclusiones

- ♦ Las imágenes OLI permiten realizar una identificación tentativa de zonas de humedales que pertenecen a la cabecera de cuenca Chancay-Lambayeque (lagunas de Alto Perú), pero es necesario realizar la validación con datos de campo y además un filtrado de nubes para asegurar completamente la información.
- ♦ La transformación *tasselled cap*, permite dar realce a la zonas con humedad y de esta manera identificar la ubicación de lagunas y humedales, que para la fecha en la cual se analizó tienen un rango de humedad 0.001 a 0.099.

Bibliografía

- ACUÑA, J., FELIPE, O., ORDOÑEZ, J. y ARBOLEDA, F. (2011). Análisis regional de frecuencia de precipitación anual para la determinación de mapas de sequías. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA*, 3:104-115.
- ARIZA, A. (2013). *Productos LDCM - Landsat 8*, Grupo Interno de Trabajo en Percepción Remota y Aplicaciones Geográficas. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- BUYTAERT, W., CÉLLERI, R., DE BIÈVRE, B., CISNEROS, F., WYSEURE, G., DECKERS, J. y HOFSTEDE R. (2006) Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79:53-72.
- BUYTAERT, W., IÑIGUEZ, V. y DE BIÈVRE, B. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo, *Forest Ecology and Management*.
- CRISSMAN, CH. (2003). *La agricultura en los páramos. Estrategias para el uso del espacio*. CONDESAN. Lima.
- ESPINOZA, J. C. (2005). *El método de vector regional de índices pluviométricos*. Manual Curso Taller Utilización del método de Vector Regional con HYDRACCESS. LIMA, PERÚ: SENAMHI.
- HOFSTEDE, R. y ROSSENAAR, A. (1995). "Biomass of Grazed, Burned, and Undisturbed Páramo Grasslands, Colombia. II. Root Mass and Above ground: Below ground Ratio". *Arctic and Alpine Research* 27(1): 13-18.
- HOFSTEDE, R., SEGARRA, P. y MENA, P. (2003). *Los páramos del Mundo*. Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Quito: Global Peatland Initiative/NC-IUCN/Ecociencia.
- MUHAMMAD HASAN ALI BAIG, LIFU ZHANG, TONG SHUAI y QINGXI TONG (2014). Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance, *Remote Sensing Letters*, 5(5): 423-431.
- NÚÑEZ, S., VILLACORTA, S., CHIRA J. y RIVERA R. (2006). Estudio geoambiental de la cuenca Chancay-Lambayeque, *Geodinámica e Ingeniería Geológica*. INGEMMET, Serie C., n.º 33, 139 pp.
- OTTO, M., SCHERER, D., y RICHTERS, J. (2011). Hydrological differentiation and spatial distribution of high altitude wetlands in a semi-arid Andean region derived from satellite data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15:1713-1727.
- TOVAR, C., SEIJMONSBERGEN, A. C. y DUIVENVOORDEN, J. F. (2013). Monitoring land use and land cover change in mountain regions: An example in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes. *Landscape and Urban Planning*, 112: 40-49.