

Exploración de aguas subterráneas en la región Lambayeque–Perú usando imágenes Landsat y ASTER

Juan Neil Mendoza Nolorbe¹
Joel Rojas Acuña¹

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos - UNMSM
Av. Venezuela s/n. Pabellón de Física. Ciudad Universitaria, Lima 1
¹jmendozan@unmsm.edu.pe
¹jrojas@unmsm.edu.pe

Resumen. Con el propósito de complementar las diferentes técnicas de prospección geofísica aplicada a la exploración de aguas subterráneas se propone el uso de imágenes LANDSAT y ASTER. El análisis visual de las imágenes LANDSAT y ASTER ofrece la oportunidad de poder ubicar áreas potencialmente con aguas subterráneas a un nivel regional (Jha M. y Peiffer S., 2006; Meijerink, 2004; Bastiaanssen, 1998). El área de estudio es la región Lambayeque, que está ubicada en la costa norte del Perú, entre las coordenadas geográficas: ESTE: -80,625 y -79,121 y NORTE: -5,482 y -7,175. Los datos utilizados son las imágenes registradas por el sensor ETM+ del satélite Landsat 7, ortorectificadas y con un porcentaje de nubes inferior al 10% de fecha 31/10/2000. El análisis visual y estadístico de las imágenes ETM+ es realizado usando diferentes métodos como el ajuste de histogramas, composición de colores, componentes principales, filtros y fusiones de imágenes. La temperatura de la superficie es estimada a partir de la banda térmica (banda 6, high gain) usando el algoritmo monocanal y Barsi. El modelo de elevación digital ASTER GDEM es utilizado tanto para los procesos de corrección topográfica como para obtener información sobre la topográfica e hidrológica de la zona de estudio. La sinergia entre los resultados obtenidos del análisis visual caracterizados por los valores de la temperatura de la superficie, la pendiente, la red de drenajes y el NDVI permitieron la clasificación del área de estudio obteniendo como resultado un mapa temático de las zonas potencialmente con aguas subterráneas. El mapa temático es validado parcialmente con el inventario de pozos de aguas subterráneas realizadas por INRENA en la parte media baja de la cuenca Chancay-Lambayeque (INRENA, 2001) observando que el 99% de los pozos están ubicados dentro de las zonas consideradas como potencialmente con aguas subterráneas.

Palabras clave: ETM+, TM, Landsat, ASTER GDEM, Aguas subterráneas, NDVI.

Abstract. With the intention of complementing the different methods of geophysical exploration applied to the exploration of groundwater one proposes the use of images LANDSAT and ASTER. The visual analysis of the images LANDSAT and ASTER offers the opportunity to be able to locate areas potentially with groundwater to a regional level. The area of study is the Lambayeque region, which is located on the north coast of Peru, between the geographical coordinates: EAST:-80,625 and -79,121 and NORTH:-5,482 and-7,175. The data is the images registered by the sensor ETM+ Landsat 7 Orthorectified with a percentage of clouds lower than 10 % of date 31/10/2000. The visual and statistical analysis of the images ETM + is realized using different methods like the t histograms adjustmen, color composition, principal components, filters and fusions of images. The temperature of the surface is estimated from the thermal band (band 6, high gain) using monochannel and Barsi algorithms. The model of digital elevation ASTER GDEM is used for the processes of topographic correction and to obtain topographic and hydrological information. The synergy between the results obtained of the visual analysis characterized by the values of the temperature of the surface, the slope, the network of drainages and the NDVI allowed the classification of the area of study obtaining a thematic map of the areas potentially with groundwater. The thematic map is validated partially by the inventory of groundwater wells realized by INRENA 2001 observing that 99 % of the wells is located inside the zones considered with groundwater.

keywords: ETM+, TM, Landsat, ASTER GDEM, Aguas subterráneas, NDVI.

1. Introducción

La exploración y el monitoreo de aguas subterráneas es de mucha importancia en un país minero y agrícola por tradición, como lo es el Perú. Proporcionar una alternativa que permitan explorar aguas subterráneas y monitorearlas adecuadamente es imperativo en nuestra sociedad. Las regiones de la costa y la sierra peruana son las zonas más vulnerables a los efectos de la desertificación y la sequía, lo que perjudicaría irreversiblemente la capacidad productiva y las perspectivas económicas de estas zonas consideradas generadoras de riqueza para el país. El rol del agua subterránea en las operaciones mineras es decisivo, para muchos proyectos mineros el agua subterránea resulta ser una buena alternativa de abastecimiento (Balvin, 1995).

2. Datos satelitales

Los datos son las imágenes multiespectrales proporcionadas por el satélite Landsat 7 y los datos del modelo elevación digital obtenidos a partir de las imágenes ASTER, estas imágenes son ideales para este tipo de estudios (Travaglia C.A., 2003)

Los datos correspondientes al satélite Landsat 7 usados fueron seleccionados en una época seca, para evidenciar las características de la vegetación y del suelo relacionados con la presencia de aguas subterráneas (Travaglia C.A., 2003), se seleccionó los datos de las imágenes de fecha de adquisición 31-10-2000 por contener la menor cantidad de nubes, menos del 10% y por ser de fecha cercana al estudio realizado por INRENA en el 2001.

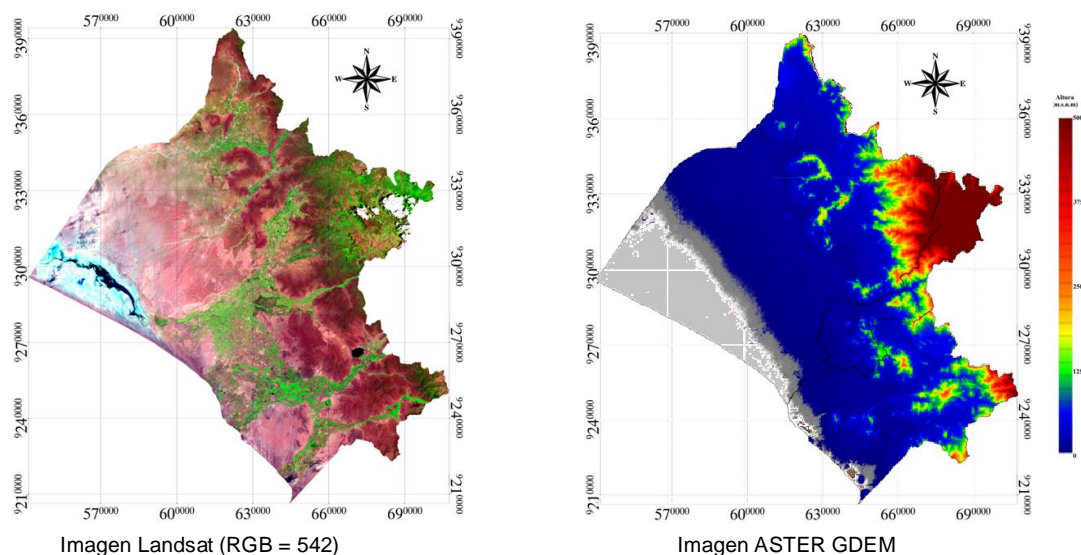


Figura 1. Datos de las imágenes Landsat y ASTER GDEM de la región Lambayeque.

3. Metodología

Debido a sus características técnicas, se utilizarán imágenes adquiridas por el sensor ETM+ del satélite Landsat 7. Estas imágenes presentan una resolución radiométrica, espectral y espacial que se ajusta claramente a la necesidad de información para cubrir el objetivo del presente trabajo, las imágenes que se analizarán deben corresponder a una época seca, para identificar mejor las diferentes cubiertas terrestres y relacionarlas con la presencia de aguas subterráneas. (Travaglia C.A, 2003).

Existen indicadores de la presencia de aguas subterráneas que están relacionados directamente con la ocurrencia de aguas en las superficies, como manantiales, canales, lagos y humedales. También existen indicadores que incluyen características hidrogeológicas que reflejan la existencia de aguas subterráneas, tales como, drenajes, sistema de fracturas y depósitos aluviales. Estos indicadores serán identificados en el análisis de las imágenes ETM+, pancromática y térmicas que nos proporcionarán indicios de la presencia de aguas subterráneas (Meijering et al, 2007).

Adicionalmente se propone el uso del modelo de elevación digital ASTER GDEM, para obtener información topográfica importante que complementará el análisis de las imágenes Landsat 7. Estas imágenes tienen una resolución de 30m que son similares a la resolución de las imágenes ETM+ de las imágenes Landsat 7, lo que permite combinar la información proporcionada por ambas plataformas

Las escenas que corresponden a la región Lambayeque del satélite Landsat 7 y ASTER GDEM serán descargadas gratuitamente desde la página web de la USGS y de la NASA. Las escenas descargadas son unidas y cortadas para delimitar el área de estudio, luego los datos de las imágenes son sujetos a calibraciones radiométricas y correcciones atmosféricas y topográficas **para obtener la reflectancia y la radiancia emitida por la superficie.**

A partir de las imágenes ETM+ de las bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7 se realizan composiciones de colores y un análisis de componentes principales para identificar las principales unidades hidrogeológicas y las diferentes cubiertas terrestres. La imagen pancromática (banda 8) de resolución 15m es sometida a un filtro de paso alto para resaltar las características estructurales de la imagen y remuestreada a 30m para fusionarse con las imágenes ETM+ de modo que pueda distinguirse los diferentes patrones de drenajes de la zona de estudio.

La imagen térmica (banda 62, high gain) es calibrada radiométricamente y corregida atmosféricamente para determinar la temperatura de la superficie.

Los datos de la imagen ASTER GDEM son utilizados para obtener información topográfica como la altura, la pendiente y el ángulo de orientación o de aspecto de la superficie, esta información es utilizada tanto para las correcciones topográficas de las imágenes ETM+ como para obtener información hidrológica de la región Lambayeque.

La sinergia de las imágenes resultantes del análisis visual y estadístico tales como la temperatura de la superficie, modelos topográficos, composición de colores, componentes principales, red de drenajes y el NDVI determinaran las zonas potencialmente con aguas subterráneas.

Se aplicará un proceso de clasificación a través de un árbol de decisiones basados en los valores estadísticos del análisis de las imágenes y una pos clasificación supervisada para unir clases similares o eliminarlas. El resultado será un mapa temático de zonas potencialmente con aguas subterráneas que será validado parcialmente con el inventario de pozos realizado por INRENA en el año 2001 (INRENA, 2001) en la parte media de la cuenca Chancay – Lambayeque.

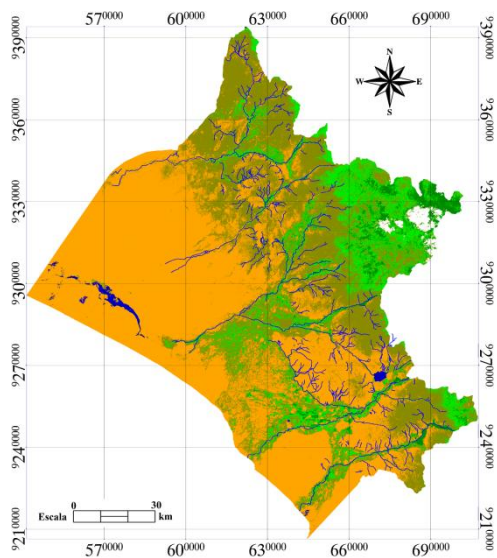


Figura 1. NDVI, de la región Lambayeque 31/10/2000, usando la reflectancia de las bandas 3 y 4 del sensor ETM+

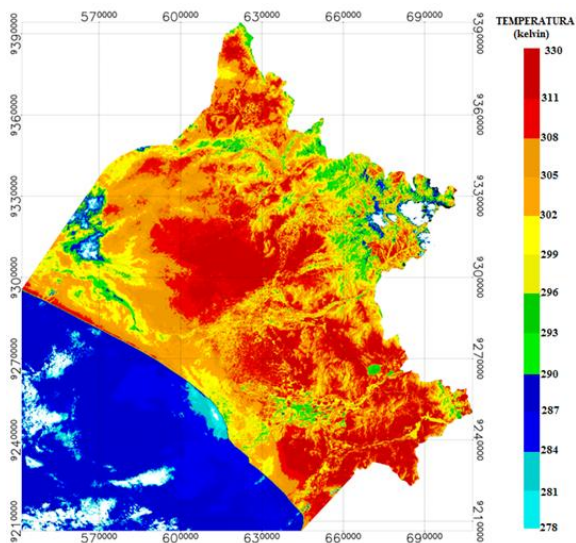


Figura 2. Temperatura de la superficie terrestre, valores promedio del algoritmo Monocanal, Barsi y la temperatura de brillo, de la región Lambayeque 31/10/2000, usando la banda 6 high gain del sensor ETM+.

4. Resultados y Discusiones

El análisis visual de las imágenes multiespectrales muestra que las aguas subterráneas yacen sobre la terraza de los depósitos aluviales, siendo las áreas de alta probabilidad aquellas donde hay notoriamente desarrollo de vegetación y están cerca de los ríos u otros patrones de drenajes. La temperatura de la superficial terrestre permite contrastar las zonas desérticas, de la vegetación, los suelos húmedos y depósitos lacústricos, además permite observar la descarga de las aguas subterráneas en el mar.

En la siguiente sección se procederá a clasificar las zonas que tienen alta potencialidad de aguas subterráneas (AS), el método de clasificación será mediante un árbol de decisiones usando las imágenes de TEMPERATURA SUPERFICIAL (TS), PENDIENTE (PEN), COMPONENTE PRINCIPAL 3 (CP3) y NDVI, figura 5.38. Las clases consideradas fueron: AR1, AR2, AR3 y AR4 como afloramientos rocosos, DE1, DE2 y DE3 como depósitos eólicos o aluviales, DA como depósitos lacústricos y AS1, AS2 como zonas potencialmente con aguas subterráneas.

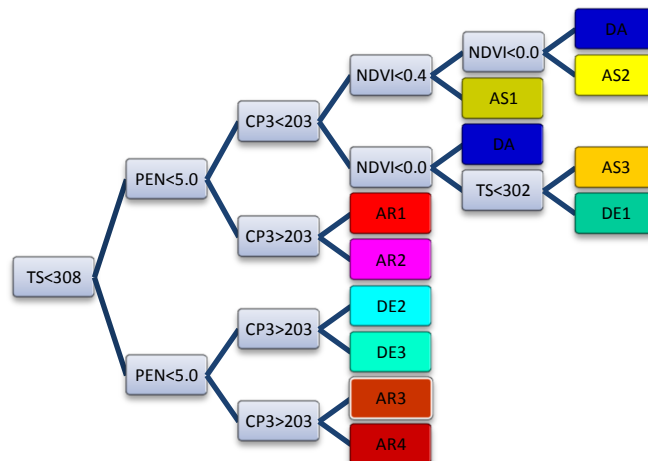


Figura 3. Árbol de decisiones usado para clasificar las zonas de mayor potencialidad de aguas subterráneas

El árbol de decisiones mostrado en la figura 3, considera en el primer nivel los valores de temperatura mayores o menores que 308K; en el segundo nivel los valores de la pendiente mayores o menores que 5°, en el tercer nivel los valores digitales mayores o menores de 203 del componente principal 3, en el cuarto y quinto nivel los valores mayores o menores que 0.4 y 0.0 del NDVI y los valores de temperatura menores o mayores a 302K, para precisar mejor la zonas con vegetación y los depósitos con agua, como reservorios y lagos. Los valores considerados resultan del análisis visual y estadístico de los datos de las imágenes. Se realiza una post clasificación para combinar las clases que son similares en forma supervisada y el producto final es un mapa temático de las zonas potencialmente con aguas subterráneas junto con el patrón de drenajes, figura 4 .

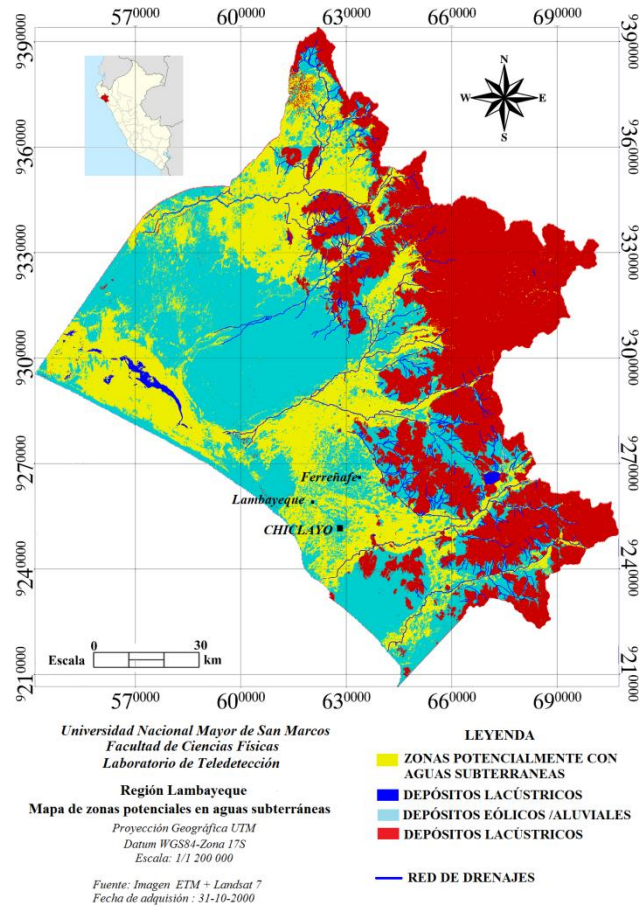


Figura 4. Mapa temático de zonas potencialmente con aguas subterráneas de fecha 31-10-2000, de la región Lambayeque

La fiabilidad de la clase aguas subterráneas, que aparece de color amarillo en la figura 5, es determinada a partir de los datos del inventario de pozos realizado por INRENA 2001, el resultado es de 99.9%.

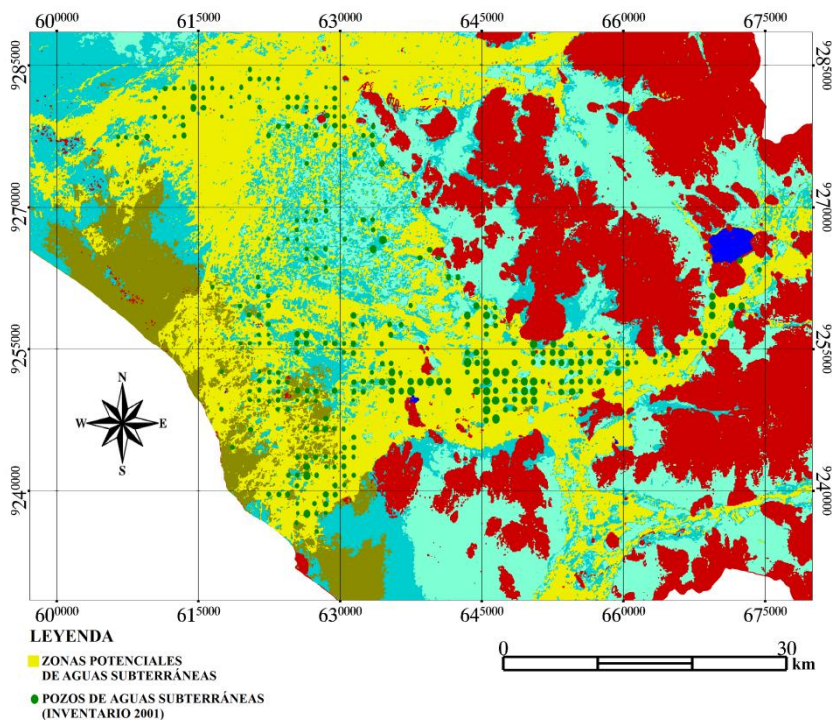


Figura 5. Validación de los resultados, los pozos de aguas subterráneas inventariadas por INRENA en el 2001, se ubican dentro del mapa de aguas subterráneas obtenidas del análisis de las imágenes.

5. Conclusiones

1. Las imágenes Landsat debido a su resolución espacial y espectral permite obtener información de la superficie terrestre relacionada con la presencia de aguas subterráneas a un nivel regional. La información es obtenida a partir del análisis de las imágenes multiespectrales a través de diferentes técnicas como las desarrolladas en el presente trabajo, ajuste de histogramas, combinación de colores y componentes principales que permiten identificar en forma cualitativa y cuantitativa diferentes unidades hidrogeológicas y cubiertas terrestres. Sin embargo, los resultados obtenidos no son determinantes debido a que la exploración se realiza precisamente a partir de indicadores en la superficie. Por lo tanto la exploración de aguas subterráneas por teledetección es una herramienta complementaria para otras técnicas de mayor precisión.
2. El análisis de los componentes principales de las imágenes multiespectrales ETM+, la fusión de las imágenes ETM+ con la imagen pancromática y el modelo de elevación digital ASTER GDEM proporciona información sobre la red de drenajes, tales como su identificación, orientación y gradientes. La red de drenajes permite conocer las principales cuencas, ríos y quebradas que a su vez están relacionadas con el proceso de recargas de los acuíferos.
3. La presencia de vegetación en épocas secas es un indicador importante de la presencia de aguas subterráneas, por lo tanto el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) es determinante en el proceso de clasificación para obtener un mapa de zonas potencialmente de aguas subterráneas. Se ha observado vegetación muy cerca de quebradas o drenajes que parecen secos y que están cerca a zonas desérticas, lo que puede indicar el afloramiento de aguas subterráneas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la UNMSM en el año 2009 y por programa INCAGRO del Ministerio de Agricultura en los años 2007-2009..

Referencias

Balvin, D. (1995). Agua , Minería y Contaminación. Editorial Labor. Ilo-Perú

Bastiaanssen W. (1998). Remote sensing in water resources management: the state of the art. International Water Management Institute (IWMI) Publication, Colombo, Sri Lanka.

Jha M. y Peiffer S. (2006). Applications of Remote Sensing and GIS Technologies in Groundwater Hydrology: Past, Present and Future. Universitat Bayreuth. 201 p., ISBN 3-00-018890-8.

INRENA. (2001). Evaluación de recursos hidricos subteraneos, en la parte media y baja de la cuenca Chancay-Lamabayaque. Lambayeque-Perú: DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS Y SUELOS.

Meijerink, A. et al. (2007). Remote Sensing Application to Groundwater (Vol. 16). Paris, Francia: UNESCO

Meijerink, A. (1996). Remote sensing applications to hydrology: groundwater. Hidrological Sciences-Journal des Sciences Hydrologiques .

Travaglia, C. A. (2003). Groundwater search by remote sensing: A methodological approach. (FAO, Ed.) Environment and Natural Resources Working Paper No. 13 .