

Utilización de recursos Open Data en procesos de documentación cartográfica de bajo coste sobre territorios no estructurados de interés arqueológico mediante imágenes Landsat 8: Área de Mleiha-Khor Fakkan (E.A.U)

Mercedes Farjas Abadía⁽¹⁾, José Antonio Domínguez Gómez⁽²⁾, Alejandro Picazo Huerta⁽¹⁾ y Carlos Pérez Jimeno⁽¹⁾

⁽¹⁾ Universidad Politécnica de Madrid. C/ Ramiro de Maeztu s/n, 28040, Madrid-España. Email: m.farjas@upm.es

⁽²⁾ Dpt.Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Faculty of Environmental Sciences. Czech University of Life Sciences, Kamycka 1176, 165 21 Prague 6 – Suchdol Czech Republic

Resumen: Muchos proyectos de investigación, y especialmente los arqueológicos, se desarrollan en lugares remotos, territorios desestructurados o en países donde no existe cartografía de uso civil. El análisis de los emplazamientos arqueológicos, el proyecto de una campaña de excavación, poder relacionar los diferentes hallazgos, etc.; requieren de análisis espaciales sobre áreas que pueden llegar a abarcar muchos kilómetros cuadrados. Cartografías a escalas 1:100.000 ó 1:50.000, habituales en países occidentales con instituciones y recursos dedicados a su producción, pueden ser un sueño para los equipos de investigación arqueológicos. Es a esta necesidad a la que el presente trabajo intenta dar respuesta mediante imágenes de teledetección, y en concreto a partir de escenas Landsat-8. Se estudia la posibilidad de producir cartografía a escalas medias en territorios carentes de ella, proponiendo una metodología basada exclusivamente en la utilización de recursos gratuitos con fines de investigación. Se expondrá el proyecto realizado sobre 3 escenas Landsat-8, escenas que cubren el territorio del Emirato de Sharjah (Emiratos Árabes Unidos). Como resultado del tratamiento de las imágenes, tras la corrección de saltos radiométricos y fusión de canales, se obtuvo cartografía de límites administrativos de Emiratos Árabes Unidos a escala 1/1.125.000, y cartografía del Emirato de Sharjah a escala 1/250.000. El objetivo de una segunda fase del proyecto fue obtener la cartografía de coberturas de suelo a escala 1/200.000 y cartografía general de localización de yacimientos arqueológicos. Finalmente se realizaron planos de detalle a escala 1/75.000. La documentación cartográfica y temática proporcionada para el área arqueológica de Mleiha en este trabajo, permite no sólo localizar e interrelacionar los emplazamientos arqueológicos de grandes áreas geográficas, sino que además ofrece nuevas posibilidades de análisis prospectivo en arqueología correlacionando la posición espacial y los materiales de soporte sobre los que se ubica el arte rupestre.

Palabras clave: teledetección, Landsat 8, cartografía, arqueología

Open Data resources in low-cost cartographic documentation on unstructured areas of archaeological interest using Landsat 8: Khor Fakkan-Mleiha (UAE)

Abstract: Many research projects, especially archaeological ones, are developed in remote areas, unstructured territories, or in countries where there is no mapping for civilian use. The analysis of archaeological sites, excavation campaigns, the ability to connect different find, etc. require spatial analysis on areas that extend over many square kilometers. Maps at 1: 100,000 or 1:50,000, commonplace in Western countries with institutions and resources devoted to their production, may be a dream for archaeological research teams. This paper attempts to respond to this need by using remote sensing imagery, in particular Landsat-8 scenes. This paper studies the possibility of producing maps at intermediate scales for unmapped areas, and proposes a methodology based solely on the use of free resources for research purposes. A presentation is given of the project conducted with 3 Landsat-8 scenes covering the Emirate of Sharjah (United Arab Emirates). Image processing after correction for radiometric jumps and merged channels resulted in the mapping of the UAE's administrative boundaries at a scale 1/1,125,000 and the mapping of the Emirate of Sharjah at a scale of 1/250,000. The objective of the second phase of the project was to obtain land cover mapping at a scale of 1/200,000 and general location mapping of archaeological sites. Finally, detail drawings were produced at a scale of 1/75,000. The cartographic and thematic documentation provided for the archeological area of Mleiha in this work can not only locate and interrelate archaeological sites in large geographic areas, it also offers new possibilities for prospective analysis in archeology by correlating the spatial position and support materials on which the rock art is located.

Keywords: remote sensing, Landsat 8, cartography, archaeology.

1. INTRODUCCIÓN

El análisis espacial arqueológico puede plantearse desde dos dimensiones de estudio. Por un lado los trabajos arqueológicos se ocupan de registrar la ubicación geográfica de los restos y hallazgos que van apareciendo en el proceso de excavación, pero por otro lado el diseño de los trabajos previos, la localización de emplazamientos, la arqueología virtual...; necesitan contar con escalas cartográficas más pequeñas, que cubran amplias superficies de terreno. El análisis arqueológico requiere procesos espaciales de interrelación, que lleven de la escala local del yacimiento excavado a una escala global del fenómeno cultural. Se trata no sólo de determinar ubicaciones parciales sino también de reconstruir la evolución de lo que sucedió en un territorio y de conectar los hallazgos y lo que ellos representan, con lo sucedido en otros emplazamientos (Hadjimitsis, 2013).

El presente trabajo pretende analizar la capacidad de los recursos gratuitos disponibles en Internet con fines de investigación, para responder a esta necesidad de documentación espacial arqueológica. La arqueología previa a la excavación sobre territorios no estructurados en los que la cartografía oficial no está disponible para uso civil, o no existe, obliga a que se emprendan misiones, sin poder realizar un análisis previo de la morfología, topografía y obstáculos de las áreas de estudio y de las superficies a excavar. La hipótesis del trabajo que se expone a continuación es que es posible obtener nuevos documentos cartográficos para investigación arqueológica con información de teledetección gratuita disponible en Internet. Para ello se ha elegido como elemento de estudio el programa Landsat y en concreto el sensor Landsat-8, de lanzamiento reciente, para experimentar con las posibilidades que ofrece y contrastar resultados con trabajos realizados con sensores anteriores.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio seleccionada se ha denominado Mleiha-Khor Fakkan, y se encuentra en Emiratos Árabes Unidos (EAU). Este país, situado entre 22°50' y 26° latitud Norte y entre 51° y 56°25' longitud, en el Suroeste de Asia, bordeando el Golfo de Omán y el Golfo Pérsico, entre Omán y Arabia Saudí; es una localización estratégica a lo largo del Estrecho de Ormuz, y está considerado como uno de los quince estados pertenecientes a la supuesta "Cuna de la Humanidad". Un eslabón importante en la evolución histórica del emirato de Sharjah es la zona de Mleiha, en ella existen restos de los cuatro períodos: la Edad de Piedra (5000-3000 a. C.), Edad de Bronce (3000-1300 a. C.), Edad de Hierro (1300-300 a. C.) y la Época Preislámica (300 a.C.-350 d.C.). El objetivo arqueológico actualmente se centra en determinar las

rutas de conexión del interior, el área de Mleiha, con el enclave costero de Khor Fakkan, atravesando las montañas de Al Hayar, con alturas de hasta 2.980 m. Es por ello que ésta va a ser la zona seleccionada. La colaboración existente de la Universidad Politécnica de Madrid con el Departamento de Antigüedades, del Ministerio de Cultura y Educación del Emirato de Sharjah, son el origen del presente trabajo, en la zona indicada.

2.2. Selección de imágenes Landsat 8

Las imágenes seleccionadas para la realización del presente estudio de documentación cartográfica con fines arqueológicos, fueron tres. Los criterios de selección fueron: ausencia de nubes en la zona de estudio (máximo 2%), imágenes de fecha reciente (2013/6/9, 2013/5/31 y 2013/5/15) pero próximas a la fecha en las que fueron tomadas las empleadas en el proyecto "Elaboración de un soporte gráfico de localización de yacimientos arqueológicos en el Emirato del Sharjah y obtención de cartografía temática de usos del suelo en la región de Al-Madam a partir de imágenes ETM +", realizado en 2006 sobre el mismo territorio con el que se pretende poder comparar resultados en futuros trabajos; y que con las imágenes se englobase el área de estudio y se diera cobertura global al país. Se descargaron gratuitamente del servidor USGS del Instituto Geológico de los EEUU desde el portal GLOVIS.

2.3. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de las imágenes se realizó de acuerdo a las siguientes fases: corrección radiométrica; fusión de la banda pancromática y multispectral; recorte de la zona de estudio arqueológico; corrección atmosférica, análisis exploratorio, clasificación, edición cartográfica temática, modelo de elevación digital. Las escenas que componían el mosaico presentaban saltos radiométricos debido a diferencias de fechas y a que la luminosidad y las condiciones atmosféricas en cada día varían. La normalización de las imágenes para corregir los saltos radiométricos se han realizado empleando el programa ENVI 4.8. Las fases han sido (Domínguez *et al.*, 2011): detección de saltos radiométricos; identificación de la zona de recubrimiento; obtención de la zona de recubrimiento; obtención del histograma y los valores estadísticos; cálculo de la función de normalización; aplicación de la función de normalización; y obtención del mosaico final.

Una vez corregida la radiometría de la imagen, se procedió a fusionar el canal pancromático (banda 8) con los canales multispectrales. Se obtenía así una única imagen que contiene toda la información de cada banda sin que sus ND varíen y que será de una resolución espectral de 15 metros (Liu, 2000). Para realizar este proceso se utilizó el programa ERDAS IMAGINE 2011. La opción utilizada fue la denominada *LayerStac*.

Mediante este proceso se ha pasado de tener una resolución espacial de 30 metros a contar con una de 15 metros, pudiéndose generar y trabajar con escalas cartográficas mayores de las que se obtendrían a partir de las imágenes originales. Finalizada la fusión se recortó la zona de estudio mediante el programa informático ENVI 4.8, a partir de las coordenadas UTM de los vértices del rectángulo proporcionadas por el equipo arqueológico para la zona Mleiha-Khor Fakkan (E.A.U). Para validar el recorte, se comprobó que los píxeles no habían sufrido variación radiométrica.

Como consecuencia de las partículas y moléculas atmosféricas que los rayos deben cruzar en su trayecto hacia la superficie terrestre, se producen cambios en los valores de los píxeles, cambios que deben ser corregidos. Para este trabajo se utilizó de nuevo el programa ENVI, que cuenta con dos Módulos de Corrección Atmosférica para obtener la reflectancia espectral de imágenes multispectrales e hiperespectrales: *Quick Atmospheric Correction* (QUAC) y *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes* (FLAASH) (Bernstein *et al.*, 2005). A diferencia de los métodos básicos de corrección atmosférica, QUAC determina los parámetros de compensación atmosférica directamente desde la información contenida dentro de la escena (espectros de píxel observados), sin información auxiliar. FLAASH (Matthew, *et al.*, 2000) es una herramienta básica de corrección atmosférica que corrige longitudes de ondas en los rangos de espectro visible, SWIR y NIR. Las eliminaciones (recuperaciones) del vapor de agua y del aerosol son únicamente posibles cuando la imagen contiene bandas posicionadas en definidas longitudes de ondas. Además, FLAASH puede corregir imágenes registradas con geometría de visión oblicua. Para este trabajo, en el que se perseguía como resultado final obtener un mapa de coberturas de suelo para el análisis arqueológico de correlación de soportes pétreos y ubicación de petroglifos, en la zona de Mleiha-Khor Fakkan, no se necesitaba corregir por vapor de agua ni por aerosol; además la zona de estudio es una composición de tres imágenes y para utilizar el módulo FLAASH es necesario conocer parámetros referidos al sensor, fecha, hora y altura de vuelo en el momento de la toma, intensidad de iluminación solar, y las coordenadas del centro de la imagen. Por todo esto, y porque es significativamente más rápido, se utilizó el módulo QUAC.

Finalizada esta tarea y previa a la clasificación de la imagen, se realizó un análisis exploratorio mediante una interpretación de combinaciones de bandas, la definición de las posibles clases existentes y con análisis de firmas espectrales. Se ensayó realizando una clasificación no supervisada de la imagen, que hace agrupaciones automáticas en función del valor que toman los píxeles (Song *et al.*, 2001); pero no se obtuvieron resultados válidos. La imagen presentaba

cantidad de tonalidades parecidas y por ejemplo las zonas de sombra se confundían con otras clases a las que no pertenecían. Por todo ello, se descartó la clasificación no supervisada para los fines del proyecto, y se optó por el método supervisado. Para los objetivos de la investigación, orientada hacia territorios no estructurados, para obtener documentación cartográfica previa al desplazamiento a la zona arqueológica objeto de estudio, la toma de datos en campo no se prevé. En este caso los conocimientos previos sobre las posibles clases temáticas presentes en la imagen, podrán ser obtenidos mediante consultas a documentos variados, y mediante el estudio e interpretación de las propias imágenes digitales, como se ha indicado anteriormente, se realizó en este trabajo. Con este método, para una primera clasificación supervisada se constituyó una leyenda con 9 clases espectrales: tres de ellas de uso artificial (zona urbana, vías de comunicación, roca desnuda); una correspondía a la vegetación de cultivos; dos para agua (una terrestre y otra marina) y tres correspondían a diferentes composiciones de suelo desnudo. Se obtuvieron las estadísticas de cada clase y el diagrama de signatura espectral correspondiente a las medias.

La conclusión que se obtuvo del primer procesado de clasificación fue que se trataba de un método eficaz para identificar usos del suelo y materiales pero ineficaz para determinar zonas artificiales de tamaño reducido. No podemos olvidar que estamos trabajando con una imagen con resolución del píxel igual a 15 metros y este tamaño no tiene por qué ser suficiente para poder definir los elementos artificiales mencionados. Se consideró válida la clasificación supervisada realizada para identificar los suelos y se decidió digitalizar de forma manual los elementos artificiales. Esta ineficacia se repitió en las clases *Vías de Comunicación* y *Aguas Interiores*, por lo que también se descartaron y fueron digitalizadas posteriormente. Se optó por realizar una nueva clasificación eliminando las clases indicadas, además de la clase *Aguas Interiores*. Una vez realizada la clasificación final y definida la leyenda de coberturas del suelo, se procedió al diseño cartográfico para generar la cartografía temática de coberturas superficiales. Para llevar a cabo la edición cartográfica se utilizó el programa ERDAS Imagine 2011. Se definieron las dimensiones papel de la composición final y las unidades de medida, la escala de trabajo y el área de la imagen, teniendo en cuenta el límite de resolución sobre la imagen que iba a ser utilizada en formato papel (0,1mm) y el tamaño del píxel (15m); y se definió un marco y una retícula asociada a la imagen, según las coordenadas de la proyección asociada al sistema de referencia (UTM), y huso 40. Una vez definidos estos parámetros, el último paso es determinar la información adicional contenida en la cartografía (Simonetti *et al.*, 2014). Todas las cartografías obtenidas tienen una resolución espacial de 15m, y están en el Sistema de Referencia WGS84 y Sistema de Proyección

UTM para el huso 40 y hemisferio Norte.

Finalmente se obtuvo un modelo de elevaciones de la zona arqueológica Mleiha Khor Fakkan, utilizando cuatro imágenes del sistema de observación espacial *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER). La cobertura de una escena ASTER es de 61,5 Km por 63 Km. Las imágenes Aster capturan información en 15 bandas del espectro electromagnético: cuatro en el espectro visible y el infrarrojo cercano (VNIR, 0,5 μm -1,0 μm) con 15 m de resolución espacial; seis en el Infrarrojo de onda corta (SWIR, 1,0 μm -2,5 μm) con 30 m de resolución espacial; y cinco en el infrarrojo térmico (TIR, 8 μm - 12 μm) con una resolución espacial de 90 m. Para obtener el modelo de elevación de la zona de estudio, se utilizó la aplicación ArcScene del programa ArcGIS. Esta aplicación es un visualizador 3D que permite generar escenas con perspectiva en las que navegar e interactuar con la entidad 3D y los datos de ráster. Basado en OpenGL, ArcScene admite simbología de línea 3D compleja y representación cartográfica de texturas, así como también la creación de superficies y la visualización de TIN. Los modelos obtenidos permitirán la delimitación de cuencas hidrográficas y el cálculo de las principales características morfométricas del área de estudio y su correlación con los asentamientos.

3. RESULTADOS

A partir de las cuatro escenas Landsat 8 los resultados obtenidos fueron: cartografía de límites administrativos de Emiratos Árabes Unidos (E: 1/1.125.000); documentación cartográfica del Emirato de Sharjah (E: 1/250.000); documentación cartográfica de la zona de estudio Mleiha-Khor Fakkan (E: 1/200.000); documentación cartográfica de la localización de yacimientos arqueológicos de Mleiha-Khor Fakkan (E: 1/200.000); cartografía temática de coberturas de suelos de Mleiha-Khor Fakkan (E: 1/200.000); cartografía temática de coberturas de suelos de Mleiha-Khor Fakkan (E: 1/75.000); y cuatro planos de detalle de otras zonas arqueológicas de Sharjah y de la localización de sus yacimientos (E:1/75.000) Buhais – Filli, Mleiha – Faya, Mleiha – Faya – Buhais – Filli, WadiHelo – Kalba. Los resultados obtenidos a partir de los datos ASTER, tratados en la aplicación ArcScene, fueron los modelos digitales del territorio Mleiha-Khor Fakkan.

4. DISCUSIÓN

En esta investigación se planteó el uso de las imágenes satelitales Landsat 8, y se formuló la hipótesis de que mediante esta tecnología de adquisición de datos, es posible documentar cartográficamente para fines arqueológicos zonas geográficas extensas, permitiendo estudios previos a las excavaciones de campo e interrelación de los datos obtenidos. Las herramientas utilizadas y los resultados cartográficos obtenidos,

demuestran el enorme potencial de estas técnicas, desde los productos métricos a escala 1:75.000 o menores, indicados. La metodología expuesta, en la que no se prevén visitas previas al campo, hace viable dotar de cartografía a territorios no estructurados carentes de mapas territoriales, o a aquellos territorios en los que la cartografía no esté a disposición civil. La gran ventaja de estos métodos no invasivos radica tanto en la calidad métrica de los productos finales, como en la gratuidad de las bases de datos disponibles en internet, para el público en general o para fines de investigación.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Bernstein, L., Adler-Golden, S., Sundberg, R., Levine, R., Perkins, T., Berk, A., Ratkowski, A., Felde, G. & Hoke, M. 2005. *A New Method for Atmospheric Correction and Aerosol Optical Property Retrieval for VIS-SWIR Multi- and Hyperspectral Imaging Sensors: QUAC (QUick Atmospheric Correction)*. En: Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. July 25-29, Seoul, Korea. 5: 3549-3552.
- Domínguez Gómez, J.A. Chao Rodríguez, Y. Marcos Martín, C. & Delgado Rojas, G. 2011. *Estudio en aguas continentales mediante teledetección*. UNED, Madrid.
- Hadjimitsis, D. (ed.). 2013. *Remote Sensing of Environment - Integrated Approaches*. InTech Cyprus.
- Liu J. 2000. *Evaluation of Landsat-7 ETM+ panchromatic band for image fusion with multispectral bands*. Natural Resources Research, Vol. 9, No. 4, pp. 269-276.
- Matthew, M. W., Adler-Golden S.M., Berk, A., Richtsmeier, S.C., Levine, R.Y., Bernstein, L.S., Acharya, P.K., Anderson, G.P., Felde, G.W., Hoke, M.P., Ratkowski, A., Burke, H.H., Kaiser, R.D. & Miller, D.P. 2000. *Status of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm*. SPIE Proceedings, Algorithms for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery. VI. Vol. 4049, pp. 199-207.
- Simonetti, E., Simonetti, D & Preatoni, D. 2014. *Phenology-based land cover classification using Landsat 8 time series*. European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability
- Song, C., Woodcock, C., Seto, K., Lenney, M., & Macomber, S. 2001. *Remote Sensing Environmental*. Vol.75. pp. 230-244