Teledetección y Desarrollo Regional. X Congreso de Teledetección. Cáceres, España, 2003. pp. 213-216.
Coordinadores: Rosa Pérez Utrero y Pablo Martínez Cobo.

DESARROLLO DE UN SIG ORIENTADO A LA IDENTIFICACIÓN DE YACIMIENTOS METÁLICOS (S.E. DE BADAJOZ)

C. Hernández (*), J.J. Gómez (**) y R. Rincón (**)

carlos.hernandez@amb.cie.uem.es

(*) Departamento Medio ambiente, Escuela Superior Politécnica, Universidad Europea de Madrid. C/ Tajo s/n Urb. El Bosque. 28670 Villaviciosa de Odón.
(**)Departamento Estratigrafía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

RESUMEN

Se ha desarrollado un Sistema de Información Geográfica (SIG) orientado a la identificación de prospectos con potencial para contener yacimientos de metales base o de metales preciosos. Esta metodología se ha aplicado en el SE de la provincia de Badajoz, abarcando nueve hojas topográficas a escala 1:50.000, que se sitúan geológicamente en la Zona de Ossa-Morena, en su límite septentrional con la Zona Centroibérica. En el SIG se recopilaron, procesaron e integraron 54 capas de información georreferenciadas, cuyas temáticas principales son: topografía, geología, datos geofísicos, indicios mineros, teledetección, geoquímica, análisis de lineamientos, etc.

ABSTRACT

A Geographical Information System oriented to the identification of prospective areas for base and precious metals orebodies has been developed. This methodology has been applied to the SE of the Badajoz Province, covering an area of nine topographic sheets at the scale of 1:50.000. Geologically, the area is located in the northern boundary of the Ossa Morena Zone with the Cantral Iberian Zone. In the GIS, 54 layers of georeferenced information were compiled and processed. Among these layers, topography, geology, geophysical data, mineral shows, remote sensing, geochemistry, and lineament analysis were integrated.

Palabras clave: Sistemas de Información Geográfica, teledetección, exploración minera, geofísica aeroportada, Zona de Ossa-Morena.

Los trabajos de exploración minera se realizan en las etapas iniciales sobre áreas muy extensas, e implican el análisis de numerosas capas de información de distinta índole: geología, indicios mineros, información obtenida mediante medios geofísicos, geoquímica, teledetección, etc. con el fin de identificar aquellas áreas con un mayor potencial para contener yacimientos minerales (prospectos) y pasar a realizar trabajos de más detalle en estos.

La gran cantidad de información, existente generada durante varios siglos de minería intensiva tanto por organismos públicos como por numerosas compañías mineras y petroleras privadas, y el gran número de capas de información utilizadas en este tipo de estudios hacen de los SIG una herramienta indispensable para la selección de nuevas áreas de interés tanto en las etapas de exploración / investigación como en la fase de explotación (Gómez *et al*., 1993).

SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

La zona investigada en el presente trabajo se encuentra ubicada en la parte SE de la provincia de Badajoz y en las zonas limítrofes de las provincias de Córdoba y Sevilla (Figura 1).

Geológicamente se encuentra situada en la Zona de Ossa-Morena (Lotze 1945, Julivert *et al*. 1972). En el sector NE de la zona de interés se encuentra la Zona de Cizalla Badajoz-Córdoba y el Batolito de Los Pedroches, que muchos autores consideran como límite entre la Zona de Ossa-Morena y la Zona Centroibérica (Ábalos y Eguiluz 1989; Quesada 1996).

Figura 1.- Situación y límites del área investigada, en el contexto provincial, y malla con los límites de las hojas del MTN a escala 1:50.000.

Se han recopilado, procesado e integrado en el SIG 54 capas de información georreferenciadas, cuyas temáticas principales son: topografía, geología, datos geofísicos –tanto aeromagnéticos/ radiométricos como gravimétricos–, indicios mineros, teledetección, geoquímica y análisis de lineamientos.

GEOLOGÍA E INDICIOS MINEROS

Realizamos un mapa de síntesis geológica a escala 1:200.000 basado en la cartografía geológica que forma parte de la base de datos geológico-minera de la Zona de Ossa-Morena del ITGE (MAYASA *et al*. 1995).

El estudio de los indicios mineros y de las minas existentes, y la generación de una base de datos ha permitido obtener un inventario del tipo de mineralizaciones más frecuentes y su distribución espacial dentro de nuestra zona de estudio. Se ha generado una tabla con 297 registros y 21 campos, entre los que cabe destacar: coordenadas, sustancia mineral, paragénesis mineral, morfología, dirección-buzamiento, roca encajante, tipo de labor, etc. Los más numerosos son los filones hidrotermales de baja temperatura con paragénesis de Zn Pb Fe (Ag), seguidos por las mineralizaciones de Cu no ligadas a intrusiones ígneas y los filones de Ba que constituyen uno de los distritos con mineralizaciones más importantes de España (Miras y Galán 1992), así como minerarilaciones de cromita ligadas a la presencia de rocas básicas.

GEOFÍSICA

Entre los métodos geofísicos, se han utilizado en este trabajo el método magnético, el método radiométrico y el método gravimétrico.

Magnetometría y Radiometría

Hemos procesado los datos del vuelo aeromagnético-radiométrico AR-1/81 de la Junta de Energía Nuclear (ITGE, 1991) cuyas características principales son: altura de vuelo 120 m, distancia entre líneas de vuelo 1000m y registró los canales: intensidad del campo magnético total, K, Th, U y cuentas totales . La información aeromagnética sirve para localizar cuerpos magnéticos como posibles indicadores de mineralizaciones. Por otro lado, los datos radiométricos son una herramienta muy útil como ayuda a la cartografía geológica, especialmente el mapa ternario, generado a partir de las imágenes de K, Th, U y cuentas totales.

De los datos perfil del vuelo se generaron imágenes de los distintos canales. Partiendo de la malla de la intensidad del campo magnético total (ICMT) y mediante la transformada rápida de Fourier obtuvimos las imágenes de la continuación del campo magnético hacia arriba, la reducción al polo, el gradiente vertical (Figura 2) y las soluciones de la deconvolución de Euler. El análisis conjunto de todos estos mapas nos permitió la caracterización magnética de las distintas unidades litoestratigráficas y cuerpos geológicos de la zona de estudio y dentro de ellas ,la delimitación de una serie de anomalías magnéticas. Para verificar la fiabilidad del tratamiento efectuado a los datos aeromagnéticos, comprobamos sobre el terreno una serie de anomalías magnéticas mediante medidas de la susceptibilidad magnética realizadas con un susceptómetro de portátil, identificando los minerales causantes por estudios petrográficos y difractogramas de rayos X de muestras seleccionadas.

El método radiométrico es mucho menos penetrativo que el magnético; por ello sirve para delimitar o marcar contactos litológicos en superficie con mucha mayor precisión, siempre que exista un contraste claro en las concentraciones de estos elementos radiactivos entre litologías adyacentes. Por este motivo, el mapa ternario se considera la imagen geofísica de mayor correlación con la geología. El estudio de la radiometría nos fue especialmente útil para la caracterización de los cuerpos ígneos, pudiéndose apreciar incluso variaciones composicionales dentro de un mismo cuerpo.

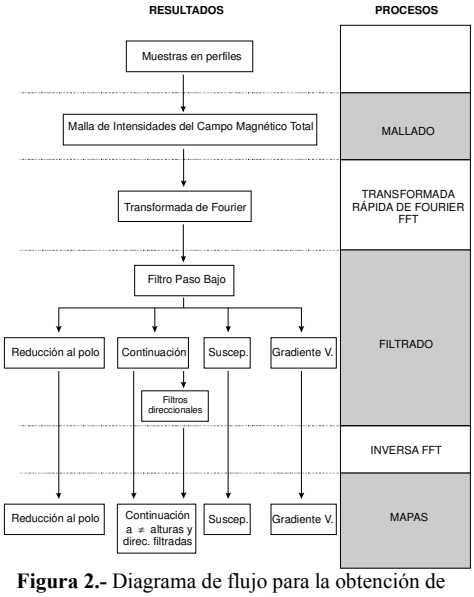

Figura 2.- Diagrama de flujo para la obtención de distintos mapas procedentes de los valores de intensidad del campo magnético total.

TELEDETECCIÓN

El objetivo principal del tratamiento de la imagen de satélite en este trabajo ha sido la cartografía automática de zonas que hayan sufrido procesos de alteración hidrotermal. Estas zonas de alteración, constituidas por minerales ganga, aparecen frecuentemente asociadas a yacimientos minerales, tanto de metales base como de metales preciosos y de rocas industriales; constituyendo su localización un método de exploración minera que ha demostrado ser extremadamente útil. Para su identificación hemos distinguido áreas ricas en óxidos de hierro –fundamentalmente limonita– y áreas ricas en arcillas asociadas a procesos hidrotermales, ya que los materiales que las componen poseen características espectrales que permiten su discriminación a partir de la información proporcionada por la imagen de satélite.

La imagen procesada es la escena Landsat TM 202/33 obtenida el 5-09-1988. Tras su corrección radiométrica y geométrica realizamos una serie de mapas paras las áreas ricas en óxidos de hierro y otra para las zonas ricas en arcillas asociadas a procesos hidrotermales, mediante técnicas como: los cocientes de bandas, pseudococientes, análisis selectivo de componentes principales (Loughlin 1991) y análisis de regresión múltiple (Lamb 1993). Tras un estudio conjunto de cada serie de mapas, delimitamos las zonas anómalas más interesantes que podrían indicar zonas de alteración hidrotermal. Para la verificación de estas anomalías espectrales hemos desarrollado una metodología basada en estudios edafológicos –análisis texturales y del color de los suelos por escaneado- para identificar los minerales índice de la existencia de alteraciones hidrotermales (Hernández Medina 2002).

ANÁLISIS DE LINEAMIENTOS

Como muchos yacimientos metálicos se encuentran asociados a sistemas de fracturas, se realizó un análisis de los lineamientos interpretados en la imagen de satélite y en los mapas aeromagnéticos, así como en las estructuras geológicas cartografiadas, obteniendo las direcciones estructurales predominantes y las zonas con una mayor densidad de lineamientos.

El interés del estudio de lineamientos radica en que pueden reflejar fallas y zonas de fracturas que hayan actuado como líneas de debilidad, a favor de las cuales pueden generarse yacimientos minerales. Además, los lineamientos son una fuente de información geológica y estructural muy interesante. El SIG, a partir de los mapas vectoriales, permitió calcular automáticamente la dirección de cada estructura o lineamiento facilitando la generación automática del diagrama de la rosa de los vientos y de los mapas de densidad de lineamientos.

SELECCIÓN DE ZONAS

Utilizando el SIG como una herramienta de apoyo a las decisiones y mediante el análisis y cruce de toda la información georreferenciada incluida en nuestra base de datos, seleccionamos las tres zonas con mayor potencial para albergar yacimientos de metales base y metales preciosos. En cada una de ellas se efectuó una recopilación de todos los trabajos previos y un estudio de mayor detalle, comprobando su interés real como prospectos mineros.

Para la visualización y consulta de toda la información tratada en este trabajo se ha diseñado y desarrollado una aplicación ejecutable, personalizada y de uso sencillo a la que hemos denominado ORESTES® (Figura 3), que incluye las operaciones de análisis más comunes en los SIG (Hernández Medina 2001). Este tipo de aplicación informática supone un importante avance en la difusión de trabajos de investigación que incluyen cartografía o cualquier otra clase de información

georreferenciada.

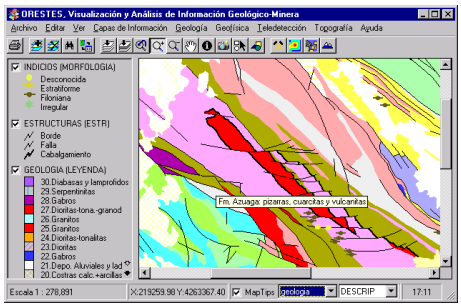

Figura 3.- Ventana principal de la aplicación ORESTES.

CONCLUSIÓN

El principal objetivo de este trabajo: identificar los prospectos de mayor potencial minero, hubiese sido mucho más difícil y costoso sin el SIG diseñado para este trabajo de investigación. Su capacidad para realizar el análisis y el cruce de los datos de las 54 capas de información estudiadas, la generación de nuevos mapas derivados partiendo de los ya existentes, la posibilidad de realizar estudios de áreas de influencia, etc. hacen del SIG una herramienta de apoyo de enorme valor en la toma de decisiones. Mediante la superposición de las diferentes anomalías y características geológicas y mineras de interés, ha permitido llegar a la selección de aquellas zonas que se consideran del máximo potencial para contener un yacimiento minero de interés económico.

BIBLIOGRAFÍA

Ábalos, B. y Eguiluz, L. 1989. Structural analysis of deformed early lineations in black quartzites from the central Badajoz-Córdoba shear zone (Iberian Variscan Fold Belt). *Rev. Soc. Geol. España;* 2: 95-102. Madrid.

Gómez, J J.; Hernández Medina, C.; Rincón, R. 1993. Requisitos de un SIG geológico minero. *Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica*: 465-481. Madrid.

Hernández Medina, C. 2001. ORESTES. *Conferencia ESRI 2001*. Ponencias sectoriales, 9 y 10 de octubre. Madrid.

Hernández Medina, C. 2002. *Desarrollo de un SIG orientado a la identificación de prospectos de yacimientos metálicos y su aplicación al sureste de la provincia de Badajoz*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Dpto. Estartigrafía. Vol. I: 331 pp, Vol II: 41 planos. Madrid.

ITGE (1991). *Proyecto de reprocesado e interpretación de varias campañas de geofísica aeroportada en el Macizo Hespérico*. Informe número 40416. Madrid.

Julivert, M.; Fontboté, J.M.; Ribeiro, A.; Conde, L.S. 1972. *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares E:1/1.000.000*. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. Madrid.

Lamb, A. 1993. *Quantitative techniques*. Processing guidelines for Landsat Thematic Mapper data, Technical note; RS93/3. Bristol.

Lotze, F. 1945. Einige Probleme des Iberischen Meseta. *Geotektonische Forschungen;* 6: 1-12.

Loughlin, W.P. 1991. Principal Components Analysis for alteration mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*; 57-9: 1161-1169.

MAYASA –Minas de Almadén y Arrayanes S.A.–; Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras S.A.; INI Medio Ambiente S.A. 1995. *Base de datos geológico mineros de la Zona de Ossa-Morena: Memoria*. Ministerio de Industria y Energía; Junta de Andalucía y Junta de Extremadura: 145 pp.

Miras, A. y Galán, E. (1992). Distribución, características generales y aplicaciones de la barita del suroeste español (Badajoz y Sevilla). *Boletín Geológico y Minero*; CV-5 : 893-900. Madrid.

Quesada, C. 1996. Evolución Geodinámica de la Zona de Ossa-Morena durante el ciclo cadomiense. *Estudos sobre a geologia da zona de Ossa-Morena (Maciço Ibérico). Livro de homenagem ao prof. Francisco Gonçalves*: 205-230. Evora.