

Exploración geológica mediante la utilización combinada de imágenes aeroportadas Thematic Mapper (ATM), Landsat TM y gravimetría en un área del valle de La Serena (Badajoz)

C. ANTON-PACHECO, A. PAYAS, P. GUMIEL, A BEL-LAN

#### RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos del análisis integrado de imágenes multispectrales ATM registradas a partir de un sistema de barrido aeroportado, de imágenes Landsat Thematic Mapper (TM) y de datos gravimétricos, sobre un sector de notable interés minero en el que se hallan ubicadas las mineralizaciones de Sn-W-Bi de San Nicolás.

Las diferencias espectrales que muestran los suelos desarrollados sobre rocas afectadas por metamorfismo de contacto respecto de aquellos desarrollados sobre rocas equivalentes pero sólo afectadas por el metamorfismo regional de bajo grado, han permitido poner de manifiesto la existencia de una aureola de metamorfismo de contacto que, hasta ahora, sólo había sido parcialmente reconocida.

Los valores de respuesta espectral de números digitales (ND) extraídos de la información ATM, para suelos situados dentro y fuera de la aureola, muestran diferencias similares a los extraídos de los datos Landsat TM. Los espectros de laboratorio realizados para ambos tipos de suelos confirman estas diferencias.

La realización de una clasificación supervisada Bayesiana de los datos

ATM ha permitido complementar la información extraída de las imágenes Landsat TM y realizar un mapa de clasificación de suelos que delimitan con gran precisión la extensión de la aureola de metamorfismo de contacto. La evaluación en el campo de las áreas clasificadas ha demostrado la fiabilidad de este método.

El análisis de la información gravimétrica registrada sobre el área de la aureola así definida, ha permitido localizar varios mínimos gravimétricos que probablemente están relacionados con cuerpos graníticos subaflorantes, cuya localización es un hecho de gran interés en investigación minera.

#### ABSTRACT

Combined airborne multispectral scanner images (ATM), Landsat Thematic Mapper (TM) and gravity data of San Nicolas mine area have been used to map contact metamorphic rocks around a small exposure of granite.

Spectral differences between soils developed on contact metamorphic rocks and soils developed on equivalent regional low-grade metamorphic rocks are detected using Landsat TM data. Digital numbers (DN) extracted from ATM data for

both types of soils show similar differences to DN values from Landsat TM images. Laboratory spectra confirm those differences.

A supervised Bayesian digital classification on ATM data has led to complete Landsat TM digital classification of contact soils. Field evaluation of classified contact soils has confirmed that they are underlain by spotted slates and hornfels.

A gravity survey has been carried out over the contact metamorphic aureole so defined. Several residual anomalies have been detected, suggesting that the outcropping granite is only a small apex of a much larger buried pluton.

#### INTRODUCCION

En Octubre de 1.986 se realizó un vuelo sobre un área situada al oeste de Valle de la Serena, en la provincia de Badajoz, utilizando un sistema aeroportado de barrido multispectral tipo DAEDALUS AADS 1268 THEMATIC MAPPER (ATM), en el contexto de un estudio de investigación conjunto IGME-US Geological Survey.

En este área se encuentran las mineralizaciones filonianas de San Nicolás, que aparecen en relación espacial y probablemente genética con un pequeño ápice granítico aflorante a unos tres kilómetros al oeste de la mina. Este leucogranito aparece afectado por importantes fenómenos de alteración deutérica y produce una aureola de metamorfismo de contacto en los materiales paleozoicos encajantes.

El vuelo ATM fue planeado con el fin de cartografiar en detalle la extensión de la aureola de metamorfismo de contacto de este leucogranito, utilizando el método de clasificación establecido en estudios anteriores realizados en un

contexto geológico similar, en los alrededores de Cáceres (Refs. 1 y 2).

El sensor ATM, también conocido como Thematic Mapper Simulator, se ha utilizado en numerosos estudios de simulación del Sensor Landsat TM (Ref. 3), y ha probado ser de gran interés en estudios de cartografía geológica e investigación minera. Además, este sensor obtiene información en cinco bandas espectrales adicionales en el visible e infrarrojo próximo, con una buena resolución espacial, lo que resulta fundamental en estudios de detalle.

La información registrada por el sistema ATM ha sido adquirida por HUNTINGS LTD y procesada por el IGME en el Centro Científico UAM-IBM de la Universidad Autónoma de Madrid.

#### GEOLOGIA GENERAL Y MINERALIZACIONES DEL AREA

El área de estudio se sitúa a 5,5 Kms. al oeste de Valle de la Serena (provincia de Badajoz) y a unos 60 Kms. al sureste de Mérida (Fig.1). Desde el punto de vista geológico, se enmarca en el límite entre las zonas Centro Ibérica y de Ossa Morena, en el Macizo Hespérico. Los materiales paleozoicos que conforman este área se consideran incluidos en el Dominio Obejo-Valsequillo-Puebla de la Reina (Ref. 4), caracterizado por la coexistencia de rocas precámbricas de afinidad Ossa-Morena y rocas paleozoicas de afinidad Centro-Ibérica.

La serie paleozoica está constituida por una potente serie de arcosas, pizarras y cuarcitas de edad Ordovícico inferior sobre las que se disponen, de forma discordante, pizarras y limos con intercalaciones de cuarcitas y calizas, de edad Devónica.

Estos materiales fueron deformados

durante la orogenia Hercínica, que originó pliegues de dirección NO-SE, así como un metamorfismo regional de muy bajo grado.

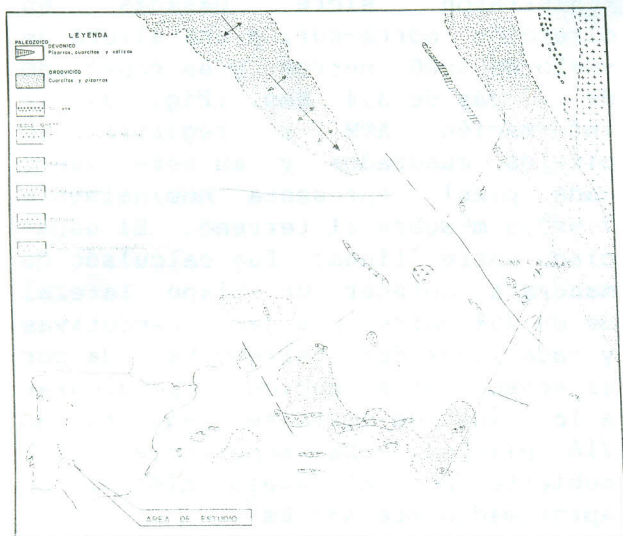


Fig. 1.- Esquema Geológico del Area de San Nicolás

Posteriormente a esta deformación se produjo un episodio intrusivo de materiales fundamentalmente graníticos que provocaron un metamorfismo de contacto en las rocas sedimentarias encajantes. Un intenso periodo de fracturación afectó a los materiales así estructurados, en tiempos posthercínicos.

Por último, una delgada capa de suelos de edad cuaternaria se ha desarrollado sobre las distintas litologías, en especial sobre las rocas de naturaleza pelítica.

Esta zona presenta un notable interés desde el punto de vista minero ya que en ella se encuentra la mina de wolframio de San Nicolás. Esta mineralización es de tipo filoniano, con filones de cuarzo, de dirección NE, que encajan en la serie alternante de pizarras y cuarcitas devónicas, y está formada fundamentalmente por wolframita, bismuto, pirita, arsenopirita, molibdenita, estibina, y fluorita de carácter accesorio.

Relacionados con los filones de cuarzo aparecen diques de greisen, constituidos por cuarzo, micas de litio, topacio, fluorita y casiterita diseminada. Aparece, así mismo, un cortejo de pórfidos ácidos que presentan una fuerte alteración hidrotermal con mineralizaciones de estaño y bismuto diseminadas.

Este conjunto de filones de cuarzo, diques de greisen y pórfidos ácidos está relacionado genéticamente con una cúpula granítica en profundidad, de la que solo aflora un pequeño ápice de unos 200 por 300 metros, en una cantera situada a 3 Kms. al oeste de la mina. Se trata de un leucogranito de grano medio a fino, en bolsadas pegmatíticas, que presenta fenómenos de alteración, principalmente de albitización y greisenización parcial, con desarrollo de abundante fluorita, berilo y topacio. Es un granito metalogénicamente especializado en el sentido de Tischendorf (Ref. 5).

En este sistema apogranito, y durante la etapa de greisenización que se produce en los diques acompañantes es donde se forma una concentración de elementos metalogénicos (W, Bi, Sn, Mo) que dan el interés económico al yacimiento.

Hay que resaltar que la supuesta cúpula existente en profundidad sería la responsable del metamorfismo de contacto existente en las rocas encajantes, la cual hasta ahora sólo había sido reconocida de forma parcial en los trabajos de cartografía geológica tradicional (Ref. 6).

#### USO DEL SUELO

Orográficamente, la zona presenta un relieve moderado en el que las principales alturas corresponden a las crestas de las cuarcitas ordovícicas, que están densamente cubiertas por pinos, eucaliptus y jara. Las pizarras y limos devónicos

dan una topografía suave y sus suelos son en gran parte utilizados para el cultivo de cereales.

Los campos de cereales se aran durante la primavera, se siembran al final del verano y principios del otoño, y se siegan durante el principio del verano del año siguiente. La mayor parte de estos campos permanecen en barbecho durante tres años consecutivos hasta que son arados de nuevo. En este ciclo, pues, sólo aproximadamente una tercera parte de los campos aparecen arados, y por tanto abiertos, durante cada año.

sensor ATM respecto de las bandas de los satélites Landsat.

En el área de San Nicolás se registraron siete pasadas en dirección norte-sur, a una altura de vuelo de 3000 metros y un espaciado de líneas de 3,4 Kms. (Fig. 3). La información ATM se registra en pixeles cuadrados y en este vuelo cada pixel representa nominalmente  $7,5 \times 7,5 \text{ m}^2$  sobre el terreno. El espaciado entre líneas fue calculado de manera a obtener un solape lateral de un 30% entre pasadas consecutivas y cada línea del terreno barrida por el sensor en dirección perpendicular a la línea de vuelo se registra en 716 pixeles. La superficie total cubierta por el vuelo ATM es de aproximadamente  $450 \text{ km}^2$ .

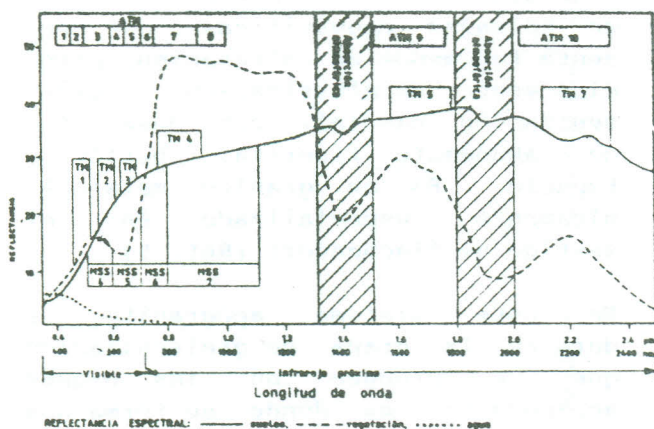
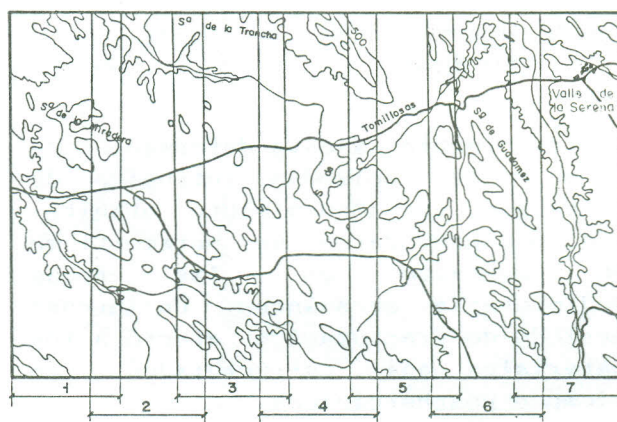


Fig. 2.- Bandas espectrales de los sensores ATM y Landsat Tm

### SISTEMA ATM Y CARACTERISTICAS DEL VUELO

El sensor ATM es un sistema pasivo aeroportado de barrido multiespectral que registra la radiación procedente del suelo en diez canales del visible e infrarrojo próximo y uno del infrarrojo térmico. Estas bandas incluyen las utilizadas por los satélites Landsat y SPOT. Sin embargo, la resolución espectral de la banda térmica ( $8,5-13,0 \mu\text{m}$ ) es igual al resto de las bandas por lo que no es necesario realizar ningún tipo de transformación geométrica para realizar combinaciones de bandas que incluyan esta última. En la figura 2 aparecen las bandas del



VUELO DAEDALUS AADS-ATM SOBRE EL AREA DE SAN NICOLAS (VALLE DE LA SERENA) (25 OCTUBRE 1988)

Altura del vuelo: 3000 mts.  
Resolución espacial: 7,5 mts.  
Anchura de bandas: 5 Km.  
Solape lateral entre bandas: 30%

Fig. 3.-

### ESTUDIOS ESPECTRALES Y MINERALOGICOS

En la figura 4 se presentan las curvas espectrales de laboratorio para suelos derivados de cuarcitas, de rocas metamórficas de contacto, de diabasas y de calizas negras. Estas medidas de reflectancia espectral se han realizado mediante un espectrofotómetro Beckman 5240 con una esfera integradora para nueve muestras de suelos, realizándose posteriormente un

promedio para cada grupo. Paralelamente se han llevado a cabo determinaciones mineralógicas semi-cuantitativas mediante técnicas de difracción de Rayos X.

Num. muestra	Mineralogía
1	Q, P, K, C, M, V
2	Q, P, C, M, V
3	Q, P, C, M, V
4	Q, P, C, M, E, V
5	Q, P, C, M
6	Q, P, C, M
7	Q, P, C, M
8	Ca, Q, G, K, E, C, M
9	Q, A, P, E, C, M

Tabla 1: Análisis mineralógico para muestras de suelos derivados de cuarcitas (1, 2, 3), de rocas metamórficas de contacto (4, 5, 6, 7), de diabasas (9) y de calizas negras (8); Q, cuarzo; P, plagioclasas; K, feldespato potásico; E, esmectita; C, caolinita; V, vermiculita; M, mica; A, anfíbol; Ca, calcita; G, geothita. (La mineralogía está expresada por orden de abundancia).

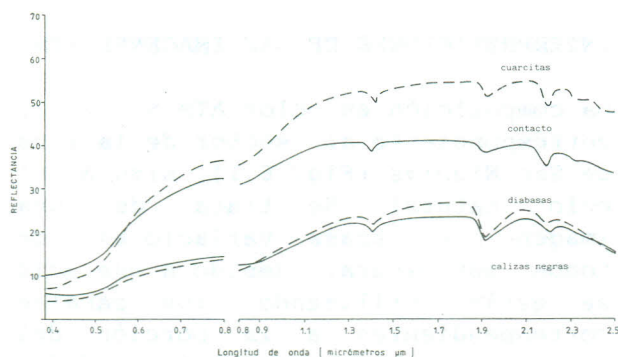


Fig.4.- Curvas espectrales de laboratorio de suelos derivados de cuarcitas, rocas metamórficas de contacto, diabasas y calizas negras.

En las curvas espectrales de la figura 4, se observa que todos los suelos presentan un rasgo de absorción centrado en 2,2  $\mu\text{m}$  atribuible al grupo Al-OH de las micas o de la caolinita presente en todos ellos. La absorción en 2,3  $\mu\text{m}$ , que aparece moderadamente intensa en los

suelos derivados de cuarcitas y muy débilmente en los suelos de contacto, se atribuye al grupo Mg-OH de la vermiculita o bien de la absorción Al-OH de la esmectita. El rasgo a 1,4  $\mu\text{m}$  se relaciona con la absorción del grupo OH de estos minerales y el centrado a 1,9  $\mu\text{m}$  a la presencia de agua en forma molecular, común en las redes de las vermiculitas, esmectitas y cuarzos.

Los espectros de los suelos derivados de cuarcitas presentan los mismos rasgos que los derivados de rocas de contacto, sin embargo en los últimos los picos de absorción son más débiles y, en general, son mucho más oscuros, sobre todo en la región del infrarrojo próximo. Este hecho se atribuye a la presencia de materia carbonosa cuya opacidad se ha incrementado a causa del aumento de temperatura asociado al metamorfismo de contacto a que estas rocas han estado sometidas (Ref. 1). Las diferencias máximas de reflectancia entre ambos grupos, se dan en la región del espectro entre 1,6 y 1,8  $\mu\text{m}$ .

Los espectros de los suelos derivados de diabasas y calizas negras son muy similares, presentan los mismos rasgos con intensidades parecidas y ambos son muy oscuros, no excediendo de un 30% de reflectancia. La reducción de reflectividad en la porción más corta del infrarrojo próximo (0,8-0,9  $\mu\text{m}$ ) para los suelos de diabasas, se debe a la presencia de anchas bandas de absorción producidas por los iones ferroso y férrico procedentes de los anfíboles. La presencia de hierro opaco hace también que todos los rasgos espectrales sean débiles y que, en general, la reflectividad sea muy baja (Ref. 7).

El espectro de los suelos derivados de calizas negras, presenta características similares a las de las diabasas pero en este caso deben atribuirse a la abundancia de

materia carbonosa opaca, que también debe ser la responsable del enmascaramiento de la absorción que produce la calcita a 2,33  $\mu\text{m}$  que debería estar presente en el espectro.

#### ANALISIS DE IMAGENES

Una vez transformadas las cintas de alta densidad (HDDTs), en las que se registra la información ATM, en cintas compatibles (CCTs), el tratamiento digital interactivo de esta información es inmediata. Para realizar el procesado inicial y evaluar las combinaciones más adecuadas se seleccionó una subescena de 1024x710 pixeles, correspondiente al área central de la zona de estudio. Para el análisis de las imágenes ATM, se han utilizado los datos espectrales de laboratorio (Fig. 4) y los valores brutos en números digitales (ND) para cada una de las litologías consideradas (Fig. 5). Del estudio comparado de estos datos, se han seleccionado las bandas ATM más adecuadas para las discriminaciones, y que han sido utilizadas para la realización de composiciones en color y clasificaciones.

del infrarrojo próximo son más adecuadas para estudios geológicos que aquellos que solo utilizan canales del visible. Esto se debe a que en las bandas espectrales 1,55-1,75  $\mu\text{m}$  (ATM 9) y 2,08-2,35  $\mu\text{m}$  (ATM 10) se producen respectivamente máximos y mínimos de reflectancia de la mayor parte de los minerales arcillosos. Además, la reflectancia de los óxidos de hierro es relativamente alta en ambas regiones y sin embargo es baja en el visible. Así, una combinación que incorpore las bandas ATM 10,9,3 permite discriminar concentraciones anómalas de arcillas y óxidos de hierro, que en ciertos casos son indicativos de procesos de alteración hidrotermal ligados a determinadas mineralizaciones (Ref. 8).

Los cocientes entre bandas se utilizan con el fin de resaltar diferencias espectrales. Los cocientes ATM 9/2, ATM 7/3 y ATM 5/2 se emplean para poner de manifiesto concentraciones de hierro (Ref. 3). Para la discriminación de minerales arcillosos se utiliza ATM 9/10.

#### INTERPRETACIONES DE LAS IMAGENES ATM

La composición en color ATM 5, 3, 2, correspondiente al sector de la mina de San Nicolás (Fig. 6.1), simula el color natural. Se trata de una imagen con escasas variaciones de tonos, muy oscura, debido a que sólo se están utilizando los canales correspondientes a la porción del espectro visible. Las tonalidades que se observan responden principalmente al tipo y distribución de vegetación: suelos arados, áreas de pastos y zonas de arbolado circunscritas fundamentalmente a las áreas de mayor relieve.

La combinación ATM 11, 9, 8 (Fig. 6.2) presenta comparativamente una mayor variedad de colores. En esta combinación, que incorpora canales del infrarrojo próximo y del térmico, las áreas rojas, que

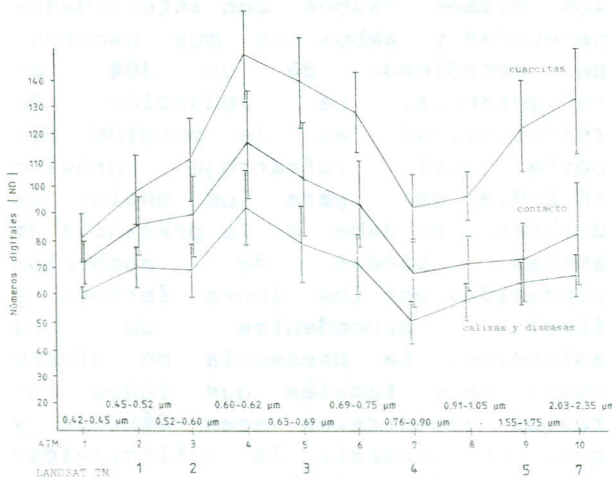


Fig.5.- Media y desviación estándar de los valores brutos ATM para suelos derivados de cuarcitas, pizarras de contacto y diabasas y calizas en general.

De forma general, las imágenes que incorporan combinaciones de bandas

denotan una alta respuesta térmica, corresponden a suelos muy oscuros, y por tanto más calientes, derivados de calizas negras (A) y diabasas (B), y en menor grado de rocas metamórficas de contacto (C). Los suelos derivados de cuarcitas presentan tonos verdosos (D), indicando valores de respuesta muy altos en el infrarrojo próximo (1,55-1,75  $\mu\text{m}$ ), tal y como se observa en las curvas espectrales y los valores ND extraídos de la imagen (Fig. 4 y 5). La vegetación (E) aparece en tonos azules indicando una respuesta muy baja en ATM 11 y ATM 9, y alta en ATM 8.

La composición ATM 10, 9, 3 (Fig. 6.3) se ha seleccionado por ser las bandas ATM 10 y 9 en las que mejor se discriminan los suelos de contacto (Fig. 5). Estos aparecen en tonos violáceos (C) debido a que la respuesta espectral en ATM 10 y 9 es muy baja con relación a las otras bandas. Este hecho se atribuye a la absorción que produce la materia carbonosa presente en estos materiales y que ha sido afectada por el metamorfismo de contacto, reduciendo la reflectividad principalmente en la porción del infrarrojo próximo. Los suelos de cuarcitas (D) presentan tonos claros, denotando una respuesta alta en todas las bandas, y los de calizas y diabasas aparecen en tonos más oscuros, marrones, debido a su baja reflectividad general (A y B).

#### CLASIFICACION DIGITAL DE LAS IMAGENES

Con objeto de discriminar de la forma más objetiva posible las diferencias espectrales entre los suelos derivados de rocas de contacto y los suelos derivados de otras litologías, se ha realizado una clasificación supervisada Bayesiana basada en la caracterización de áreas de entrenamiento y asignación de clases por técnicas de máxima probabilidad.

Mediante el análisis de las composiciones en color y los datos de campo, se han seleccionado doce áreas de entrenamiento representando siete clases: cuatro correspondientes a suelos derivados de distintas litologías (A, B, C, D) y tres a distintos tipos de cobertura vegetal (E, F, G). Para la clasificación sólo se han utilizado siete de los once canales ATM debido a la alta correlación presente entre determinados canales del sensor ATM.

En la Fig. 6.4 se presenta la porción central de la imagen clasificada. La vegetación se ha diferenciado en tres clases: pinos, eucalipto y jara (E, verde oscuro) que ocupan los relieves constituidos por las cuarcitas; hierba verde, campos cultivados y encinas (F, verde claro), dominando las áreas topográficamente más bajas; barbecho (G, gris) constituido por hierba seca, rastrojo, campos abandonados y localmente por áreas con vegetación baja tipo matorral. El resto de las coloraciones corresponden a suelos abiertos en campos labrados, sin vegetación, y que están constituidas en gran parte por fragmentos de roca de los materiales del sustrato. Las calizas (A) y diabasas (B) aparecen en color azul oscuro, no siendo posible su diferenciación, debido a que tienen un comportamiento espectral similar (Fig. 4). Los suelos derivados de cuarcitas aparecen en blanco (D). Las pizarras afectadas por el metamorfismo de contacto aparecen en color rojo (C). Estas áreas así clasificadas han sido verificadas en el campo y corresponden a pizarras mosqueadas y pizarras con andalucita y/o cordierita de neoformación.

La combinación de las áreas clasificadas digitalmente como de contacto a partir de los datos ATM, con las áreas de contacto resultantes de clasificar una imagen Landsat TM correspondiente a la misma zona (Ref. 1), ha permitido definir una aureola de metamorfismo



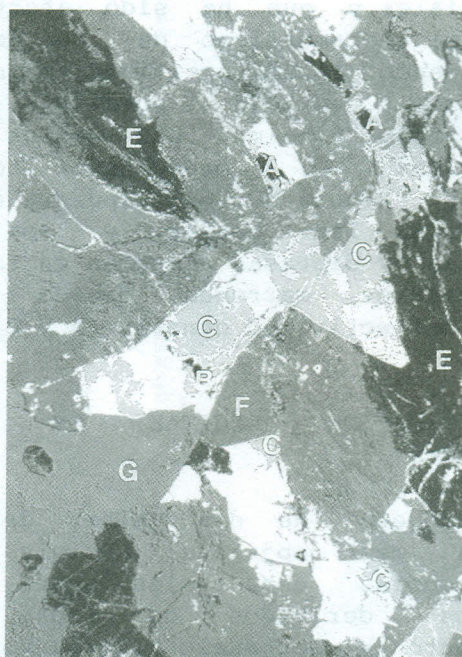
Ver Foto color n.º 1 en página 365



Ver Foto color n.º 2 en página 365



Ver Foto color n.º 3 en página 365



Ver Foto color n.º 4 en página 365



de contacto de 13x6 Km<sup>2</sup> mucho más extensa que la que había sido reconocida previamente por simples métodos de cartografía de campo (Fig. 7).

### INTERPRETACION DE DATOS GRAVIMETRICOS

Una vez comprobadas en el campo las áreas clasificadas como de contacto, la Sección de Geofísica del IGME realizó en Abril de 1987 una campaña gravimétrica sobre el área correspondiente a la aureola de metamorfismo de contacto (Ref. 9).

En el mapa resultante de calcular los valores de las anomalías residuales, que aparece superpuesto al mapa geológico y al de clasificación digital en la figura 7, se observan tres mínimos:

α presenta una buena correlación espacial con el pequeño ápice granítico aflorante, extendiéndose hacia el oeste lo que sugiere la prolongación del cuerpo intrusivo en esta dirección.

γ coincide con un dique porfídico ácido que no había sido cartografiado previamente

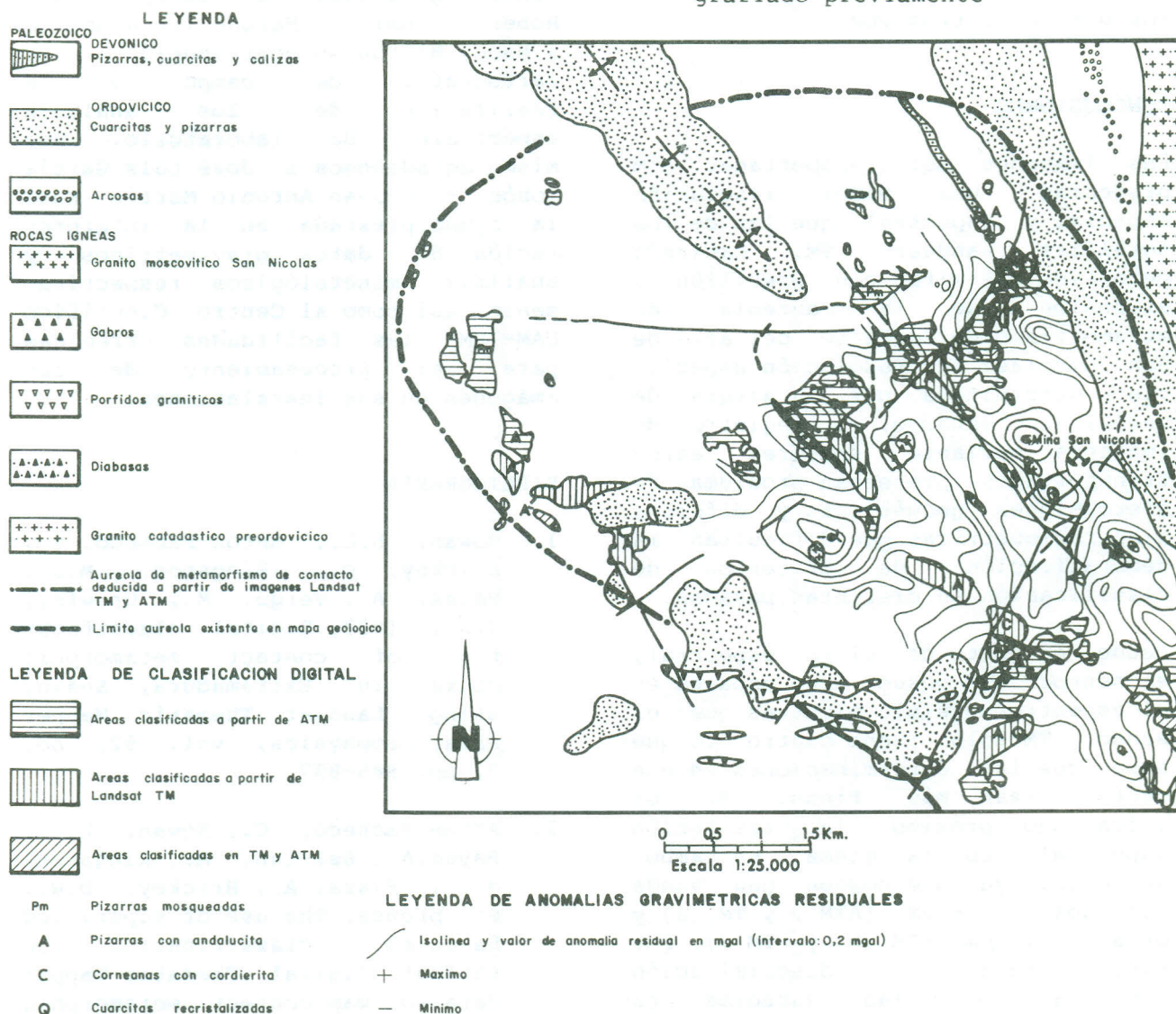


Fig.7.- Mapa integrado obtenido a partir de la geología, de la clasificación digital y de las anomalías gravimétricas residuales del área de San Nicolás.

$\beta$  aparece asociado con un áreas en la que afloran pizarras carbonosas muy alteradas, gossans y un skarn.

Tanto la existencia de la aureola de metamorfismo de contacto como de los mínimos gravimétricos residuales, sugieren que el pequeño granito expuesto en la cantera es sólo una pequeña cúpula de uno o varios cuerpos intrusivos no aflorantes de mayores dimensiones. Estos datos permiten extender sustancialmente el potencial minero para Sn-W-Bi y Mb de este área ya que estas mineralizaciones se alojan fundamentalmente en las zonas apicales de los cuerpos intrusivos.

#### CONCLUSIONES

Las imágenes aerotransportadas ATM presentan una mayor resolución espacial y espectral que las de los satélites Landsat TM, habiendo permitido delimitar con precisión la extensión de la aureola de metamorfismo de contacto del área de San Nicolás. La resolución espacial viene determinada por la altura de vuelo; sin embargo, el registro de imágenes mediante sensores aerotransportados presentan problemas de distorsiones geométricas y diferencias radiométricas que dificultan la generalización de criterios de clasificación en distintas pasadas.

Desde el punto de vista espectral, el sensor ATM posee ocho canales en el espectro visible mientras que el sensor TM sólo tiene cuatro lo que hace que las determinaciones en ese sector sean más finas. En el infrarrojo próximo la resolución espectral es la misma en ambos sensores, ya que poseen una banda centrada en 1,6  $\mu\text{m}$  (ATM 9 y TM 5) y otra en 2,2  $\mu\text{m}$  (ATM 10 y TM 7). Por esta causa la discriminación espectral de las aureolas es equivalente en ambos tipos de imágenes.

La utilización de imágenes aerotransportadas ATM y Landsat TM ha demostrado ser de gran utilidad en la detección de rocas afectadas por metamorfismo de contacto que son una importante guía para la búsqueda y prospección de cuerpos graníticos subaflorantes y de sus mineralizaciones asociadas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de un proyecto conjunto de investigación IGME-U.S. Geological Survey, financiado por el Comité Conjunto Hispano-Norteamericano. Agradecemos a Larry Rowan, Robert Schmidt, Marguerite Kingston y Nancy Milton su contribución en la cartografía de campo y la realización de los análisis espectrales de laboratorio. Así mismo agradecemos a José Luis García Lobón y a Juan Antonio Martín Rubí la ayuda prestada en la interpretación de datos gravimétricos y análisis mineralógicos respectivamente, así como al Centro Científico UAM-IBM las facilidades ofrecidas para el procesamiento de las imágenes en sus instalaciones.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Rowan, L.C., Antón-Pacheco, C., Brickey, D., Kingston, M.J., Payás, A., Vergo, M., Crowley, J.K., 1987, Digital classification of contact metamorphic rocks in Extremadura, Spain, using Landsat Thematic Mapper Data, Geophysics, vol. 52, no. 7, pp. 885-897.
2. Antón-Pacheco, C., Rowan, L.C., Payás, A., Bel-lan, A., Kingston, M.J., Riaza, A., Brickey, D.W., en prensa, The use of supervised Bayesian classification on Landsat digital Thematic Mapper data to map contact metamorphic rocks around the Trujillo and Plasenzuela plutons, Extremadura Spain, II European workshop on

Remote Sensing in Mineral Exploration, CEE, Bruselas, Junio 1986, 22 págs.

3. Abrams, M.J., Ashley, R.P., Rowan, L.C., Goetz, A.F.H., Kahale, A.B., 1977, Mapping of hidrothermal alteration in the Cuprite Mining District, Nevada, using aircraft scanner images for the spectral region 0,46-2,36  $\mu\text{m}$ . *Geology*, v.5, pp. 713-718.
4. Delgado Quesada, M., Liñan, E., Pascual, E., Pérez Lorente, F., 1977, Criterios para la diferenciación en dominios de Sierra Morena Central. *Studia Geológica*, v.12, pp. 121-141.
5. Tischendorf, G., 1977, Geochemical and petrographic characteristics of silicic magmatic rocks associated with rare elements mineralization. *Geol. Survey, M.A.W.A.N.*, vol. 2, pp. 41-96.
6. IGME. Mapas Geológicos: 804 (Oliva de Mérida) y 830 (Hornachos) a escala 1:50.000, en prensa, 2a. serie.
7. Hunt, G.R., Salisbury, J.W., Lenhoff, Ch.J., 1974, Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: IX Basic and Ultrabasic Igneous Rocks, *Modern Geology*, vol. 5, pp. 15-22.
8. Loughin, W.P., Tawfiq, M.A., 1985, Discrimination of rock-types and alteration zones from airborne MSS data: the Samram-Shayban and Mahd Adh Dhahab areas of Saudi Arabia, *Proc. Remote Sensing for Exploration Geology*, 4th Thematic Conf., San Francisco, California, ERIM, pp. 207-226.
9. IGME. Prospección Gravimétrica en la zona de San Nicolás (Badajoz), 1987, Informe Interno, 32 págs.