

Utilización de los datos SIR-A para el reconocimiento de los usos del suelo en la región centro española

R. Llop, F. González, J.M. Cuevas y S. López

Proyecto de Teledetección. Sección de Proceso de Datos. INIA.
Apartado 8111. Madrid.

INTRODUCCION

Desde hace algunos años, la tecnología Radar ha ido incrementando su importancia como herramienta, dentro de la Teledetección, para el estudio de los Recursos Naturales.

Si bien en sus comienzos las aplicaciones del Radar fueron fundamentalmente militares, el lanzamiento de varias estaciones orbitales de carácter científico (SEASAT-1, SIR-A, SIR-B) y los proyectos de futuro en curso (SIR-C, RADARSAT, ERS-1, etc), hacen concebir grandes esperanzas en el futuro desarrollo de la Teledetección con microondas.

La porción del espectro magnético denominada "microondas" abarca longitudes de onda comprendidas entre 1mm y 1 metro. Así pues, se trata de longitudes de onda enormemente mayores que las manejadas por los sensores montados en los satélites de observación de la Tierra más conocidos, y que operan en el VISIBLE e INFRARROJO (llegando incluso al INFRARROJO TERMICO). Intuitivamente cabe predecir que, si existen tales diferencias simplemente en cuanto a la longitud de onda, el comportamiento y las características de las imágenes de Radar será completamente distinto del que observan las obtenidas en el dominio visible-infrarrojo.

En primer lugar, el Radar es un sistema activo, que uti-

liza su propia fuente de iluminación, recogiendo los ecos de las señales que la antena emite. Además, las microondas son capaces de atravesar la atmósfera prácticamente bajo cualquier condición, no siendo afectadas por las nubes, niebla, lluvia, etc, salvo en las longitudes de onda más bajas.

Por otro lado, los mecanismos de interacción física de las microondas con los diferentes tipos de materiales, caracterizados por diferentes geometrías y rugosidades, comportamientos dieléctricos, estructuras físico-químicas, etc, son sumamente distintos a los que exhiben los detectores VIR, sensibles en gran medida al contenido en clorofila, a los cambios en la humedad superficial y al color del suelo.

Los campos de aplicación de la información obtenida mediante tecnología Radar, en cualquiera de sus versiones, son sumamente variados. Abarcan desde la planetología a la observación oceánica, identificación y evolución de los hielos, oleaje, etc, y estudios de fenómenos terrestres. Dentro de éstos últimos, si bien el campo más desarrollado es el de la geología, existen también numerosos e interesantes trabajos publicados en el dominio agrícola y forestal, abarcando temas como la clasificación de los usos del suelo, identificación de cultivos, estudios de humedad, productividad de suelos, etc, utilizando además, en muchos de ellos, datos VIR combinados con datos Radar.

Si bien no vamos a profundizar en la descripción de los procesos de obtención de las imágenes Radar, si cabe tomar en consideración un punto importante, entre otros motivos, por su influencia en los equipos a utilizar: la resolución. En una imagen Radar la resolución se mide en dos direcciones: (1) resolución en dirección perpendicular a la línea de vuelo o resolución transversal y (2) resolución en la dirección de la línea de vuelo o resolución longitudinal. Mientras que la resolución en dirección perpendicular a la línea de vuelo es proporcional a la duración de los impulsos emitidos, y para mejorarla sólo cabe la reducción de la duración de tales impulsos, la resolución en la dirección de la línea de vuelo es proporcional a la anchura del haz de microondas emitido por la antena, anchura que es inversamente proporcional al tamaño físico de la antena. Dado que un vehículo aerotransportado, y menos si es orbital, no puede transportar una antena de

grandes dimensiones, se recurre a "sintetizar" el efecto de una antena de gran tamaño, que emitiera un haz muy estrecho aprovechando el movimiento de una pequeña antena real, situada sobre el vehículo, y que emite un haz muy ancho.

De esta forma se puede conseguir que la resolución de la imagen en la dirección paralela a la línea de vuelo se mantenga constante y, por lo tanto, sea independiente de la distancia existente entre la antena y el objeto. Este sistema se llama Radar de Apertura Sintética, y es el empleado por los radares orbitales que nos ocupan en el presente estudio.

EL SIR-A. DESCRIPCION Y CARACTERISTICAS

El Shuttle Imaging Radar-A (SIR-A) fue un Radar de Apertura Sintética montado sobre el Transbordador Columbia en su segunda misión, con el objeto de demostrar la capacidad del transbordador para llevar a cabo misiones de carácter científico. Fue puesto en órbita el 12 de Noviembre de 1981 y su misión duró dos días y medio.

A lo largo de éste tiempo, el Radar obtuvo imágenes de unos diez millones de kilómetros cuadrados, dedicando 480 minutos a la toma de datos entre los 41 grados Norte y los 35 grados Sur.

Las principales características del SIR-A, fueron:

Orbita:

Altitud (Km)	259
Inclinación (grados)	38

Radar:

Frecuencia (GHz)	1273
Longitud de Onda (cm)	23.5
Amplitud de la Banda (MHz)	6
Longitud del Pulso (ms)	30.4
Polarización	HH

Antena:

Dimensión (m)	9.4x2.16
Angulo de Observación (grados)	47
Angulo de incidencia (grados)	50±3

Anchura de la Banda(Km)	50
Resolución(m)	40x40
Registro de los datos	Optico

El SIR-A fue el segundo SAR orbital de observación de la Tierra con caracter científico puesto en Órbita por la NASA. El primero fue el SEASAT-1, lanzado en Junio de 1978. Si bien el SEASAT-1 estaba fundamentalmente orientado al estudio de los mares y zonas costeras, a lo largo de los 99 días que duró su misión obtuvo imágenes del 95% de la Tierra, operando en banda L con una resolución de 25x25 metros.

Además de diferenciarse del SIR-A en la resolución, altura de la Órbita, etc, cabe destacar que el SEASAT-1 trabajó con un ángulo de incidencia muy pequeño(20 grados), incrementando así las deformaciones geométricas que tienen lugar en las imágenes radar(sombra, acortamiento, inversión) , y dificultando la interpretación y mapificación de los resultados, pero, a la vez, poniendo de manifiesto accidentes e irregularidades muy sutiles,pero de gran interés, sobretodo en el aspecto geológico, que quedarían enmascarados empleando sensores de otras características.

En el SIR-A, el ángulo de incidencia(50 grados) no provocaba deformaciones tan espectaculares, resultando en su conjunto de mayor utilidad para la realización de estudios relacionados con usos de suelo y vegetación, puesto que la morfología ve menos acentuado su efecto en la imagen.

El SIR-A obtuvo dos conjuntos distintos de datos sobre la Península Ibérica: el primero comenzaba en la costa atlántica portuguesa y, atravesando la región centro española, salía al Mediterraneo por el Delta del Ebro. El segundo comenzaba también en la costa atlántica portuguesa y, atravesando el valle del Guadalquivir, salía al Mediterraneo por la Provincia de Alicante.

En este estudio se ha utilizado el primer conjunto de datos, acotándolo en la región central española y, más concretamente en la provincia de Madrid.

DESCRIPCION DE LA IMAGEN

El producto disponible original, tal como lo distribuye el Jet Propulsion Laboratory, es una banda fotográfica (registro óptico) de unos 50Km de anchura, con una resolución en pixel de 40x40 metros y a una escala aproximada de 1:500.000.

Debido a que esta escala permite una poca apreciación de los objetos que aparecen en la escena y a que la cartografía temática disponible, fundamentalmente geológica y de usos del suelo, estaba a escala 1:200.000, se decidió ampliar la parte de la imagen correspondiente a la zona de estudio a esta última escala (1:200.000).

De esta forma se posee una escala uniforme para toda la información gráfica a emplear, pudiéndose así efectuar superposiciones, comprobar contornos, etc, al no disponerse de datos digitales.

Por último, en este apartado, cabe reseñar que, debido a la falta de calibración de la imagen Radar, ésta sufre distorsiones geométricas que se acentúan con la ampliación fotográfica del negativo. Por ello, cualquier superposición imagen-plano resulta aproximada, no pudiéndose efectuar de forma continua sino en bandas de, a lo sumo, 20Km de anchura.

EL AREA DE ESTUDIO. DESCRIPCION FISIOGRAFICO-GEOLOGICA

Como área de estudio se seleccionó una zona de la imagen centrada en la provincia de Madrid, comprendida entre los 40° 10' y los 40°39' de Latitud Norte y los 3°15' y los 4°10' de Longitud Oeste.

Esta región ofrece el interés de ser una zona muy conocida y estudiada, existiendo por ello suficiente cartografía temática disponible y, a la vez, se trata en su mayor parte de una zona llana en la que apenas se dan los efectos de relieve que tanta importancia pueden adquirir para la interpretación de las imágenes Radar.

La zona se encuentra enclavada en la cuenca del río Tago, siendo las cotas mínima y máxima que se aprecian de 600m y 1200m respectivamente.

En el aspecto Geológico, las distintas figuras que pue-

den observarse, tanto en el plano como en la imagen, son:

1. Materiales cristalinos del Zócalo

Pueden apreciarse en el extremo N-W de la imagen.

Se trata de Granitos y Gneisses que constituyen el arco del Sistema Central. Estos antiguos materiales, anteriormente recubiertos de sedimentos, han soportado diferentes presiones tectónicas, procesos metamórficos y la acción de los agentes erosivos, proporcionando actualmente un aspecto ondulado, no demasiado escarpado.

En la imagen, se trata de la única zona en la que se aprecian contrastes entre la intensidad de la respuesta entre vertientes, según estén orientadas o no hacia el haz del Radar. Así pueden observarse localmente algunas laderas con gran intensidad de respuesta, y la ladera opuesta oscurecida a consecuencia de la sombra Radar. También puede observarse el nítido contraste existente entre esta zona y la situada al S-W de ella (depósitos sedimentarios), que se articula a lo largo de una fractura también claramente visible en la imagen SIR-A.

2. Materiales de depósito que rellenan la cuenca.

Se trata esencialmente de depósitos de la Era Terciaria, Miocénicos y Pliocénicos fundamentalmente, formados por areniscas, conglomerados, calizas, limos y, ocasionalmente, yesos.

Aparecen en formas llanas desmanteladas por los cursos de agua que forman actualmente la red de drenaje del río Tajo.

A lo largo de estos cursos se encuentran situados actualmente los materiales más recientes, de la Era Cuaternaria, y que son aluviones, coluviones y terrazas.

En cuanto a la apariencia en la imagen, resulta muy difícil diferenciar los distintos tipos litológicos debido a la fuerte humanización existente en la zona, con la variedad de usos del suelo que acarrea y, con ello, la modificación de la respuesta Radar.

Sí resulta, en cambio, notable, la caracterización de la red de drenaje, que se observa con gran nitidez incluso en los cursos de orden más bajo. Las zonas por las que

discurre el agua, o están próximas a ella, tienen al menos un contenido alto de humedad, poseen una constante dieléctrica compleja elevada y no permiten que penetren apenas las microondas en el terreno, resultando así en áreas con una mayor intensidad de respuesta, fácilmente caracterizables.

USOS DEL SUELO

Dado lo minucioso de la clasificación de los usos del suelo que ofrecía la cartografía existente, se han agrupado algunas de las clases originales, resultando finalmente en un mapa temático, a escala 1:200.000, con las siguientes clases:

-Clase 0: Formaciones en galería, riberas y áreas inundables

Se trata de vegetación que abarca desde las escuetas galerías de los barrancos de la sierra, hasta las extensas plantaciones de chopos situadas en las áreas adyacentes a los ríos, en sus tramos más bajos.

Las especies más frecuentes suelen ser *Populus* sp., *Alnus* sp. y, en menor medida, *Tamarix* sp. y *Ulmus* sp.

-Clase 1: Regadíos

Existe una gran variedad en cuanto a especies y condiciones de cultivo en regadío, siendo los más frecuentes:

-Huerta y otras herbáceas: trigo, cebada, avena, maíz, pimiento patata, etc

-Praderas: *Trifolium* sp., *Lolium* sp., *Festuca* sp. etc.

-Existen pequeñas superficies de viñedos e incluso frutales en regadío.

-Clase 2: Secano

Se incluyen todos los terrenos dedicados a secano, tanto intensivos como extensivos. Los principales son:

-Viñedos

-Cebada, trigo, centeno, girasol, etc.

-Clase 3: Matorrales

Entendemos por matorrales los terrenos poblados por especies arbustivas o subfruticosas ocupando más del 60% de la superficie, así como el matorral-pastizal ocupando éste entre el 20 y el 60%.

La presencia de árboles nunca supera el 20% de la superficie.

Las especies más abundantes pertenecen fundamentalmente a cuatro familias: Labiadas, Cistáceas, Leguminosas y Ericáceas.

-Clase 4: Pastizales

Se trata de terrenos poblados por especies, entre las que predominan las herbáceas, susceptibles de aprovechamiento mediante pastoreo, que se caracterizan por una gran variabilidad en la producción a lo largo de los años. Además se incluyen los pastizales de montaña.

En cuanto a las especies más frecuentes, las herbáceas tienen áreas de distribución muy particulares, estando también influidas por los animales que las aprovechan. Por ello, dada su diversidad, la enumeración de las especies predominantes resultaría demasiado prolija para este apartado.

-Clase 5: Los pinares existentes en esta región son formaciones naturales unas veces y otras fueron introducidos mediante repoblaciones más o menos recientes.

Las especies mejor representadas son: *Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster* y *Pinus nigra*.

-Clase 6: Frondosas

Las principales especies que constituyen las manchas de frondosas están constituidas, en la mayor parte de los casos, por Quercíneas (*Quercus ilex*, *Q. suber*, *Q. faginea* y *Q. pyrenaica*) y Salicáceas, fundamentalmente Chopos. Asimismo existen manchas sueltas de Fresnos y Castaños.

-Clase 7: Enebrales y Sabinares (Juniperus)

La mayor parte de la superficie que ocupa esta clase está formada por la asociación Sabina-Encina. Dada la frugalidad de la Sabina, en las zonas en las que las condiciones son más adversas puede llegar a dominar a la Encina, llegando a formar manchas casi puras.

En las zonas en las que la estación es más benigna predomina, normalmente, la Encina sobre la Sabina.

-Clase 8: Olivar

Se trata de olivares monoespecíficos con un marco de plantación de 10-12m, por lo que sus densidades medias oscilan entre 70 y 100 árboles por hectárea.

En ocasiones existen masas asociadas a encinas, y también algunas clases combinadas con vid.

-Clase 9: Zonas Urbanas y Urbanizadas

Incluye fundamentalmente los núcleos urbanos de cualquier tamaño y las zonas rurales utilizadas como áreas de expansión urbanística legalizadas o no.

-Clase E: Embalses

-Clase e: Zonas extractivas

En esta clase se incluyen aquellas explotaciones a cielo abierto, normalmente utilizadas para la extracción de áridos, que suelen estar ubicadas próximas a los ríos, en las terrazas aluviales de los propios cursos.

CRITERIOS PARA LA INTERPRETACION VISUAL

Una vez construido el mapa de usos de suelo y, mediante superposición con la imagen, pueden delinearse sobre ella los polígonos de usos teóricos, al margen de su caracterización. De lo único pues que se tiene constancia es de que, en la mayoría de los casos, los contornos corresponden a superficies

de usos del suelo contrastados y recientemente actualizados.

Ahora bien, cabe preguntarse si realmente la imagen del SIR-A puede servir para caracterizar cada una de las clases elegida y en qué grado. Para ello contamos, dada la carencia de información digital, que podría permitir el empleo de algo ritmos de clasificación automática, con dos parámetros fundamentales para la caracterización visual de las distintas clases:

TONO: Respuesta media sobre una parcela uniforme, respecto al uso del suelo, en la imagen.
Dentro de una misma parcela pueden haber variaciones en la intensidad de los píxeles, pero el ojo humano tiene la capacidad de promediarlo.

TEXTURA: Este parámetro incorpora información acerca de la distribución espacial de las variaciones tonales, dentro de una parcela uniforme, de un de terminado uso del suelo.

La textura puede ser, en las imágenes SAR, una herramienta de mayor valor que el tono para la discriminación de los u sos del suelo.

La diversidad espacial de las imágenes SAR es atribuible por un lado a la textura intrínseca de la escena y, por otro, al centelleo o difuminación debido a la naturaleza coherente de las microondas.

En una clasificación automática, al aplicar algún criterio de clasificación tonal de píxeles, en imágenes Radar, los resultados obtenidos son peores que los logrados al clasificar imágenes MSS-LANDSAT debido, en parte, a la presencia del cen telleo (speckle) coherente de las imágenes Radar. Los métodos tradicionales para reducir el centelleo mediante promediado espacial coherente (filtrado) reducen tanto la difuminación como la resolución. Por lo tanto cualquier método de clasificación automática que se aplique debe, reduciendo el cen telleo, respetar la variabilidad intrínseca de las imágenes, su tex tura.

En una interpretación visual como la que nos ocupa, este tipo de cuestiones se minimizan, respetando por su importancia el concepto de tex tura intrínseca de todas las imágenes Radar.

Dentro de cada uno de los parámetros anteriores se esta-

blece una gradación para facilitar la caracterización de cada una de las clases:

<u>TONO</u>	<u>TEXTURA</u>
1.Muy claro	1.Muy uniforme
2.Claro	2.Uniforme
3.Medio	3.Media
4.Oscuro	4.Rugosa
5.Muy oscuro	5.Muy rugosa

Además, es necesario aplicar un criterio de VARIABILIDAD en el que se refleje la mayor o menor constancia de los criterios de TONO/TEXTURA entre los polígonos de cada una de las clases de usos del suelo estudiada.

La variabilidad también puede jerarquizarse, aunque de forma menos exhaustiva, de la siguiente manera:

VARIABILIDAD

- 1.Alta
- 2.Media
- 3.Baja

La variabilidad no es un criterio discriminante. Nace de la falta de una completa homogeneidad dentro de cada una de las clases de usos del suelo seleccionados. La gran extensión del área de estudio y la enorme diversidad de usos imponen una no deseada generalización, en algunos casos, pero imprescindible, sin embargo, a efectos de trabajo.

Se dispone, además, de una imagen MSS-LANDSAT de la misma zona aunque de fecha distinta a la de la imagen SIR-A.

Se trata de una imagen obtenida en Marzo de 1983 en la que, si bien no se esperan cambios importantes en cuanto a usos de suelo (supresión o cambio de alguno de ellos), sí cambia totalmente el estado fenológico de la vegetación, dado que la imagen SIR-A se obtuvo en Noviembre (periodo vegetativo finalizado o a punto de finalizar) mientras que la imagen LANDSAT se obtuvo al comienzo de dicho periodo.

Este factor, si bien podría introducir distorsiones en el caso de que se tratara de clasificar la imagen incorporando la

imagen SIR-A como una banda más al sistema, no es relevante a la hora de caracterizar unos usos del suelo previamente identificados mediante el empleo de una cartografía temática suficientemente contrastada y recientemente actualizada.

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE LAS CLASES DE USOS

A continuación se estudia como queda caracterizada cada una de las clases de usos del suelo, según los criterios de tono, textura y variabilidad de la imagen SIR-A y el aspecto en la imagen LANDSAT.

Clase 0: Bosques de Galería, Riberas y Zonas Inundables
Estas zonas son fácilmente reconocibles en la imagen SIR-A, sobretodo cuando se trata de masas arbóreas que aparecen muy rugosas para la longitud de onda del Radar (23.5cm), apreciándose por lo tanto con tonos claros, no siendo así, en cambio, en aquellas zonas menos pobladas con vegetación arbórea o con menor densidad de pies de gran tamaño. La imagen LANDSAT proporciona tonos rojizos importantes como consecuencia de la actividad vegetativa detectada en las masas de árboles.

Clase 1: Regadíos

Existe una gran variabilidad en la clase Regadíos, puesto que en Noviembre no coinciden exactamente las zonas cartografiadas como regadío y las que efectivamente se encontraban en explotación. Además debe tenerse en cuenta que 1981 fue uno de los años más castigados por la sequía, existiendo importantes restricciones para la utilización del agua en algunas zonas. La imagen LANDSAT añade poca información, marcándose únicamente con tonos rojizos aquellas parcelas con actividad vegetativa.

Clase 2: Secano

Es la clase con mayor representación superficial. En la imagen SIR-A se aprecia una cierta variedad de tonos gris oscuro no muy claramente definidos, definiéndose más bien por contraste con otras clases adyacentes. Sí cabe, en cambio, apreciar una cierta parcelación que ayuda a su diferenciación. En la imagen LANDSAT aparece en tonos grisáceos salvo en las parcelas con actividad vegetativa, donde adopta tonos rojizos.

También se aprecia claramente la parcelación de las explotaciones.

Clase 3:Matorrales

La clase Matorrales no es fácilmente caracterizable salvo cuando se trata de parcelas próximas a otras que sí que lo son, como es el caso de los pinares, por ejemplo. En general aparecen con tonos oscuros, existiendo también áreas con tonos más claros debidos seguramente a un aumento en la densidad del matorral. En la imagen LANDSAT presenta asimismo un aspecto difuso grisáceo poco diferenciado.

Clase 4:Pastizales

Los pastizales aparecen en la imagen SIR-A con tonos oscuros intermedios de acuerdo con el tipo de superficies, normalmente poco rugosas sobre las que se asientan, manteniéndose de forma bastante constante a lo largo del área de estudio. En la imagen LANDSAT no ofrecen un aspecto muy claro, tonos grises difusos, salvo los escasos pastos tempranos observables.

Clase 5:Pinares

Los pinares resultan ser una de las cubiertas más rugosas para la longitud de onda del Radar, resultando una respuesta en tonos brillantes muy contrastados con el resto de las clases y de muy fácil caracterización. En la imagen LANDSAT aparecen en manchas de color rojizo muy apreciables debido a la fuerte actividad fotosintética.

Clase 6:Fronzosas

Las fronzosas también representan una cubierta rugosa para el Radar, pero el hecho de tratarse en su mayor parte de Quercíneas adhesionadas, por lo tanto con una menor densidad de árboles que los pinares, así como un sotobosque más reducido, hace que la respuesta no sea tan brillante como en aquellos, aunque sus tonos sean medianamente claros, como corresponde a sus características. En la imagen LANDSAT aparece con tonos algo menos rojizos que los pinares.

Clase 7:Juniperus

Escasamente representada en la imagen, la clase Juniperus, con sus tonos oscuros y su textura apreciablemente rugosa, resulta difícil de diferenciar, aunque muestre una cierta regularidad en sus características de respuesta.

Clase 8:Olivar

Si bien la clase anterior presentaba ciertas características que se mantenían en la imagen, la clase Olivar varía su respuesta en gran medida debido a la disposición de los árboles y la del suelo sobre el que se asientan. Se trata además de una clase que ocupa muy poca superficie en el área de estudio, existiendo pocas unidades para establecer criterios consistentes de comparación y variación. En todo caso aparece con tonos más o menos oscuros y textura rugosa. En la imagen LANDSAT su aspecto también resulta confuso, intermedio entre los cultivos de secano y los montes de Quercíneas.

Clase 9:Zonas urbanas y urbanizadas

Presentan la respuesta más brillante de todas las clases observadas. La profusión de rincones reflectores hace que una gran parte de la energía emitida por la antena sea reflejada por la superficie y alcance de nuevo la antena, saturando en ocasiones al sensor. Resulta interesante reseñar que, cuando la superficie reflectiva de los edificios no es normal al haz del Radar, éstos dejan de actuar como rincones reflectores, disminuyendo significativamente la intensidad de la respuesta. En la imagen LANDSAT las zonas urbanas aparecen con tonos grises oscuros bien diferenciados.

Clase E:Embalses

Los embalses son superficies completamente lisas que actúan como reflectores especulares, reflejando toda la energía incidente y proporcionando, por lo tanto, una respuesta muy oscura como consecuencia de que la antena no capta dicha energía reflejada. En la imagen LANDSAT, asimismo, también se obtiene una respuesta muy oscura, debido a la fuerte absorción, resultando en su conjunto una clase muy característica.

Clase e: Zonas extractivas

Las zonas de explotaciones a cielo abierto, en este área, suelen ser de extracción de áridos. Destacan porque en ellas no existe vegetación alguna y porque, además, al excavar en zonas próximas a los cursos de agua, alcanzan fácilmente la capa freática, formándose lagunas artificiales de una cierta extensión que resultan fácilmente observables aunque, dada la escala de trabajo, sólo son visibles cuando alcanzan grandes

extensiones. En conjunto se aprecian claramente, con las limitaciones de la escala, en ambas imágenes.

El resultado de este análisis se puede encontrar sintetizado en la Tabla I.

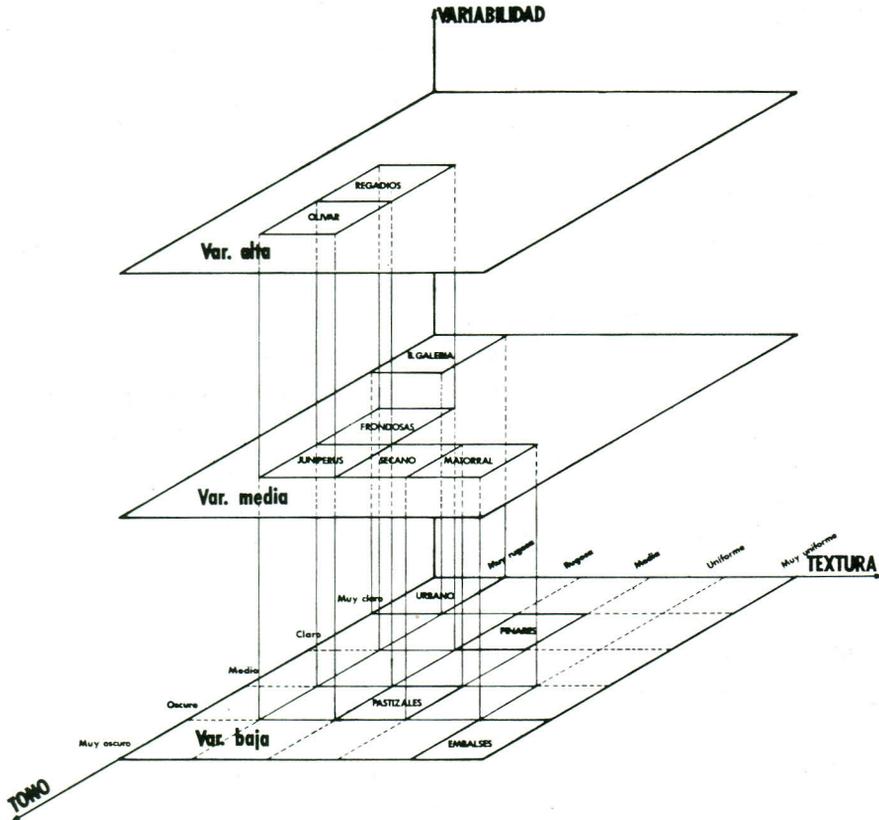


Figura 1

CONCLUSIONES

Si se representan cada uno de los parámetros que han servido para el análisis de la imagen SIR-A en un eje coordenado, figura 1, pueden observarse las características de cada una de las clases, así como sus condiciones de agrupación y separabilidad.

En el plano inferior (variabilidad baja) se encuentran situadas las clases Pinares, Urbano, Pastizales y Embalses. Las clases Urbano y Embalses son, evidentemente, las más claramente diferenciables como consecuencia de sus extremados valores tanto en tono como en textura. No obstante, los Pinares (por su brillante respuesta en todos los casos) y los Pastizales (por sus tonos oscuros y su textura intermedia que se mantienen constantes a pesar de la diversidad florística), también muestran una notable regularidad a lo largo de la imagen, lo que les hace fácilmente reconocibles.

En el plano intermedio (variabilidad media), están situadas cinco clases de usos del suelo: Bosques de Galería, Frondosas, Juniperus, Secano y Regadíos. Todas ellas se encuentran muy agrupadas, salvo la clase Bosques de Galería, que toma valores extremos de Tono y Textura, resultando muy característica su respuesta aunque con variaciones, como ya se indicó al analizar la clase. En cuanto a las demás, puede afirmarse que en dos de ellas (Frondosas y Matorral) la variación en su respuesta se debe fundamentalmente a cambios de densidad, mientras que en la clase Juniperus se debe a cambios en la asociación Sabina-Encina y en el Secano el estado de cada uno de los campos en Noviembre así como la diversidad de especies que abarca esta clase, no permiten más que una cierta homogeneidad en sus respuestas.

Ya en el plano superior (variabilidad alta), las características de las dos clases allí situadas impiden, apenas, la asignación de una respuesta media en cuanto a tono y textura. Los olivares se encuentran escasamente representados, con un aspecto que se confunde generalmente con la respuesta de las Frondosas (dehesas normalmente) y Secanos, mientras Regadíos, que sí ocupan una superficie importante, ven como su respuesta varía según el tipo de cultivo, si está activo o no, o incluso con el sistema de riego empleado.

En conclusión, la interpretación visual de la imagen SIR-A ofrece notables limitaciones para la caracterización de los usos del suelo, pero permite albergar ciertas esperanzas de que con la ayuda de imágenes digitales y tratamientos especificos para imágenes SAR, en solitario o combinadas con imágenes VIR, se obtendrán buenos resultados y, sobretodo, se es

tudiarán, de forma rigurosa, aspectos que, hasta ahora, los otros sensores encontraban imposible su detección.

CLASE DE USO DEL SUELO	IMAGEN SIR-A		IMAGEN LANDSAT - MSS
	TONO/TEXTURA	VARIABILIDAD	ASPECTO
0. B. Galería	Tono muy claro/Textura muy rugosa	Media	Tonos rojizos en grandes plantaciones
1. Regadíos	Tono medio/Textura rugosa	Alta	Poco contrastada salvo expl. avanzadas
2. Secano	Tono oscuro/Textura media	Media	Parcelación clara. Tonos grises y rojos
3. Matorral	Tono oscuro/Textura uniforme	Media	Aspecto difuso. Poco diferenciado
4. Pastizal	Tono oscuro/Textura media	Baja	Aspecto difuso salvo pastos tempranos
5. Pinar	Tono claro/Textura media	Baja	Tonos rojizos oscuros. Bien contrastada
6. Frondosas	Tono medio/Textura rugosa	Media	Tonos rojizos algo mas claros
7. Juniperus	Tono oscuro/Textura rugosa	Media	Aspecto difuso. Muy poco diferenciado
8. Olivar	Tono oscuro/Textura rugosa	Alta	Tono y aspecto intermedio clases 2 y 6
9. Urbano	Tono muy claro/Textura rugosa	Baja	Tonos grises bien diferenciados
E. Embalses	Tono muy oscuro/Textura muy uniforme	Baja	Tono muy oscuro. Aspecto característico
e. Z. Extractiv.	← VARIABLE SEGUN LA ESCALA →		

Tabla I



Figura 2. Mapa Topográfico



Figura 3. Mapa Geológico

Figura 4. Mapa de Usos del Suelo

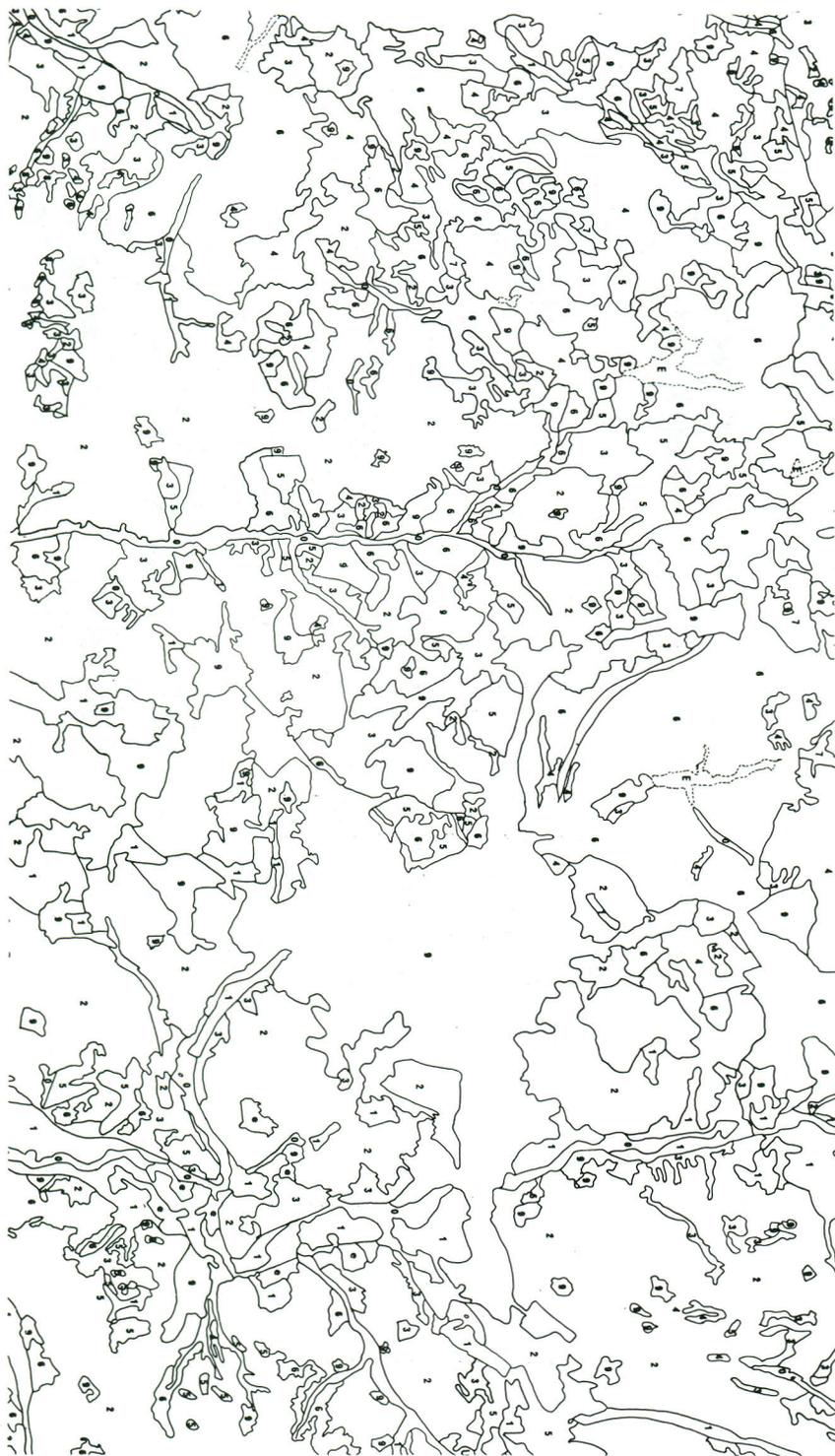




Imagen SIR-A

BIBLIOGRAFIA

- ANTHONY, D. D., 1986. Forest Cover Analysis Using SIR-B Data. Proceedings of IGARSS '86 Symposium. Sept. 1986. ESA SP-254. pp. 1683-1688.
- BRISCO, B. and R. PROTZ, 1982. Manual and Automatic Crop Identification with Airborne Radar Imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 48, No. 1, January 1982, pp. 101-109.
- FORD, J.P. , J. B. CIMINO and C. ELACHI, 1983. Space Shuttle Columbia Views the World with Imaging Radar: the SIR-A Experiment. NASA-JPL, January 1983.
- JIYUAN, L., T. XUYAN and X. JINKAI, 1986. Application of Shuttle Imaging Radar Data for Land Use Investigations. Remote Sensing of the Environment. Vol. 19, No. 3, June 1986, pp.291-301.
- LI, R. Y., F. T. ULABY and J. R. EYTON, 1980. Crop Classification with a Landsat/Radar Sensor Combination. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium, June 1980, pp.78-87.
- LI, F. K. and M. L. BRYAN, 1983. Tradeoffs Among Several Synthetic Aperture Radar Image Quality Parameters: Results of a User Survey Study. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 49, No. 6, June 1983, pp. 791-803.
- LLOP, R., F. GONZALEZ, J.M. CUEVAS y S. LOPEZ, 1986. A Study of the Utilization of SIR-A Data to the Recognition of the Land Uses in Central Spain. SAR Applications Workshop , Frascati, Septiembre, 1986(en prensa).
- MOORE, R. K., LL. J. CHASTANT, L. J. PORCELLO and F. T. ULABY 1975. Microwave Remote Sensors. Manual of Remote Sensing. Vol I. American Society of Photogrammetry.
- ORMSBY, J. P. and B. J. BLANCHARD, 1985. Detection of Lowland Flooding Using Active Microwave Systems. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, No. 3, March 1985, pp. 317-328.
- ROSENTHAL, W, D. and B. J BLANCHARD , 1984. Active Microwave Responses: An Aid in Improved Crop classification. Photogram-

metric Engineering and Remote Sensing, Vol 50, No.4, April 1984, pp. 461-468.

SIEBER, A. J. 1983. Approaches to Radar Image Interpretation. Proceedings of Alpbach Summer School. ESA SP 205. Sept. 1983, pp. 1683-1688.

ULABY, F. T., F. KOUYATE, B. BRISCO and T. H. LEE WILLIAMS, 1986. Textural Information in SAR Images. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing . Vol. GE-24, No. 2, March 1986, pp. 235-245.