

## El tratamiento de imágenes TM como ayuda para la actualización de mapas de usos del territorio

J.M. MOREIRA, A. LOBATO, A. RAMOS, F. OTERO y J. M. MARTINEZ

### Introducción

Resulta difícil, aún hoy en día, encontrar aplicaciones de la teledetección espacial que supongan aportaciones realmente operativas y funcionales. Los resultados procedentes del tratamiento de imágenes comienzan a ser espectaculares pero sólo para casos muy específicos y, las más de las veces, en estudios de índole científica en los que la complejidad de los tratamientos suele conllevar un elevado coste de los productos finales en comparación con procedimientos de tipo convencional. Este hecho unido al desconocimiento general de qué son y para qué pueden servir los tratamientos de informaciones procedentes de sensores remotos, hacen que la generalidad de usuarios potenciales de la teledetección siga manteniendo reticencias, no siempre injustificadas, con respecto a la operatividad de su utilización.

Es así absolutamente preciso "acercar" las posibilidades de la teledetección a los usuarios facilitándoles unos medios de trabajo específicos para satisfacer sus necesidades dentro del entorno concreto en el que se desarrolla su actividad. Por otra parte es conveniente que las herramientas de trabajo a través de las que los usuarios pueden intervenir en el tratamiento de imágenes ("software y hardware") presenten unas características de comodidad y facilidad de manejo suficientes como para que no sean imprescindibles conocimientos informáticos especiales.

Estos hechos han condicionado, entre otros, el desarrollo de un paquete de programas para tratamiento de imágenes por parte del Grupo de Trabajo en teledetección de la Agencia de

Medio Ambiente que presenta como peculiaridad el hecho de ser un sistema versátil, abierto a infinidad de posibles tratamientos dentro de la teledetección y que permite al usuario la iniciativa de elegir los módulos y los procedimientos estadísticos que considere más adecuados en función de las tareas que desarrolla en cada momento.

Es obvio que si la teledetección quiere ocupar un espacio dentro del campo de las ciencias aplicadas debe tender a resolver operativamente aquellos problemas que tienen planteados los más diversos usuarios. En este sentido, si bien el tratamiento de imágenes multiespectrales puede aportar nuevas informaciones sobre el territorio, hasta hoy no imaginadas, es en la resolución de los problemas convencionales sobre el espacio donde debe demostrar su validez y operatividad, traducida en términos de tiempo y dinero para conseguir así el lugar competitivo que hoy no tiene. Partiendo de estas premisas resulta necesario acomodar las técnicas de tratamiento de imágenes a los sistemas de trabajo más usuales e intentar mejorar los posibles resultados a obtener.

Bajo este punto de vista y en la hipótesis de trabajar para obtener estadísticas y cartografía de usos del territorio mediante el empleo del tratamiento digital de imágenes, se exponen seguidamente dos métodos diferentes que permiten obtener resultados absolutamente operativos en función de los objetivos perseguidos que serían, de una parte la actualización de los "Mapas de Cultivos y Aprovechamientos" realizados por el Ministerio de Agricultura (1976-1980) y de otra la actualización de los datos del inventario de cultivos bajo plástico realizado igualmente por dicho Ministerio (1984).

## Antecedentes

Los mapas de cultivos y aprovechamientos cuentan con una firme base en España, ya que el Ministerio de Agricultura inició su realización dentro de un Plan de Evaluación de Recursos Agrarios, a comienzos de los años sesenta, habiéndose cubierto a escala 1/50.000 todo el territorio nacional. En Andalucía los trabajos de campo se realizaron entre 1973 y 1980, estando la mayoría de las informaciones referidas al año 1976. La asunción de las competencias por parte de las comunidades autónomas en materia de evaluación de recursos agrarios ha llevado a algunos organismos a analizar la posibilidad de actualizar la información contenida en esta cartografía, que a once años vista ha quedado en muchos casos muy desfasada. Realizar dicha actualización conlleva un serio problema inherente a las características propias de estos mapas. De una parte la ejecución de cada hoja a escala 1/50.000 implicaría\*, bien disponer de un vuelo adecuado para la fecha de actualización, cosa que pocas veces ocurre, bien utilizar un vuelo anterior y revisar en campo todas las manchas de información, las cuales serían trazadas sobre fotogramas no corregidos y posteriormente restituidas con puntos de referencia sobre una cartografía a la escala final de presentación. De cualquier forma el coste en tiempo de una operación de tal calibre convierte el modo de trabajo tradicional en algo poco operativo desde el punto y hora en que una región como Andalucía necesitaría alrededor de 400 meses de trabajo de actualización, elevándose a 200 millones de pesetas el coste económico. Es evidente que si a estos trabajos se añaden los de publicación de los resultados volvería a ocurrir lo que sucediera con la realización original. Cuando el mapa sale publicado ya se encuentra desfasado en muchas de sus manchas de información.

La teledetección espacial puede prestar, en este sentido, una gran ayuda en cuanto a la "resolución" de tiempo necesario para la actualización de dichos mapas, como veremos a continuación.

\* Una estimación del coste de actualización mediante trabajos convencionales, por parte de técnicos de la Consejería de Agricultura, cifra en dos meses el tiempo necesario para efectuar los mismos y en  $1 \times 10^6$  pts el coste económico para una hoja.

Por otra parte los inventarios de determinados cultivos constituyen asimismo una tarea frecuente de los organismos vinculados con los recursos renovables. En algunos casos la dinámica económica y social de ciertas zonas provoca un "envejecimiento" prematuro de dichos inventarios y esto puede dar lugar incluso a graves problemas legales como el planteado actualmente en la comarca de Campo de Dalías, situada al sur de la provincia de Almería. En este espacio de unos 300 Km<sup>2</sup> de superficie se extiende la mayor concentración de cultivos forzados en invernaderos que existe en Europa, llegándose a hablar ya de un "mar de plástico". La dinámica socioeconómica y las excepcionales características climáticas de esta zona han llevado a un crecimiento reciente y sin control de las superficies de cultivos en invernaderos.

Frente a este crecimiento desmedido existe un problema insoslayable y que puede llevar a un deterioro sin retorno posible de toda la comarca. La falta de agua (aproximadamente 250 mm de lluvia media anual) y la sobreexplotación de acuíferos geológicos que no pueden recargarse (se estima un déficit anual de 30 hm<sup>3</sup>) y se comienzan a salinizar, han llevado a dictar normas cuya necesidad como protección del medio es obvia. En este sentido y en base a un informe elaborado por el IGME, tras la sequía sufrida por dicha zona en las campañas 1981-82, la administración adopta una serie de medidas legales para controlar el aprovechamiento de los recursos hidráulicos de la comarca y con ello la implantación de nuevos invernaderos. Un Decreto Ley de mayo de 1984 obliga a contar con autorizaciones de la Comisaría de Aguas del Sur, de los respectivos Ayuntamientos y de una comisión provincial integrada por representantes de la administración central y autónoma, para transformar en invernaderos los antiguos cultivos enarenados.

A pesar de que se habla de que esta medida ha frenado el crecimiento de la superficie de cultivos forzados, no la ha detenido y si el último inventario oficial realizado daba una cifra de 9.657 has de invernaderos en Campo de Dalías (Ministerio de Agricultura, 1984) en enero de 1986 se hablaba ya de unas 10.568 has (nuevos permisos de transformación concedidos), pero con el agravante de que es de sobra conocido que las nuevas implantaciones ilegales de invernaderos están a la orden del día, haciéndose cábala sobre la superficie real existente en función de las horas de trabajo realizadas por las empresas dedicadas a la construcción de invernaderos.

Ante este panorama y puesto que no hay conocimiento real de la superficie invernada, aunque sí de que se incumple la normativa existente, cabría plantearse hasta qué punto es posible controlar dicho crecimiento y localizar los lugares donde el mismo se produce, efectuando, al mismo tiempo, una actualización continuada del inventario de invernaderos existente en lo relativo a superficies y cartografía tema, este último, no contemplado en los inventarios tradicionales.

Realizar esto implicaría disponer de unos medios de análisis tan dinámicos al menos como las transformaciones que se operan en esta zona. La teledetección espacial, dada su resolución temporal y espacial puede ayudar a resolver este problema.

### **Material, métodos y resultados**

Han quedado hasta aquí planteados, para ser resueltos mediante el tratamiento digital de imágenes, dos claros problemas muy diferentes entre sí. El primero supone intentar facilitar la actualización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos realizado por el M<sup>o</sup> de Agricultura conservando una leyenda prefijada y que ha sido establecida haciendo uso de patrones procedentes de la interpretación de fotogramas aéreos y de criterios de manejo socioeconómico del territorio. El segundo pretende llegar a conocer la superficie y distribución de invernaderos y su crecimiento actual, lo cual supondría una actualización del inventario de este tipo de cultivos tan específicos.

Dada la disparidad de los dos objetivos, plantearemos cuales son, a nuestro entender, los materiales y métodos a utilizar para solucionarlos de un modo operativo, lo cual se traduce en competitividad con respecto a los métodos de trabajo convencionales.

#### **A. Actualización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos**

Puesto que una actualización de este mapa implica la conservación de una leyenda, fijada en función de una interpretación sobre fotografías aéreas y de encuestas de campo, sería absurdo plantear su puesta al día mediante tratamientos digitales dirigidos a clasificar el espacio en función de las firmas espectrales de los objetos. Con ello, y con suerte, sólo conseguiríamos definir algunas

de las clases de la leyenda que utiliza este mapa (regadíos herbáceos, frutales, pastizales,..). Puesto que la base del mapa se sitúa en una interpretación visual siguiendo los conceptos de textura y estructura sobre imágenes fotográficas será conveniente acercar el trabajo de teledetección al principio que inspiró la creación del mapa.

Hasta el momento presente, y a pesar de los recientes estudios destinados a establecer clasificaciones de imágenes de satélite en función del patrón textural de la información digital, son escasos los resultados realmente operativos que permitan definir, por ejemplo, un olivar en zonas de relieve variado y suelos diferenciados. Utilizar un método de clasificación automática, supervisada o no, implicaría obviamente graves problemas de confusiones de clases y una imposibilidad práctica de obtener un documento cartográfico como el pretendido.

El enfoque debe ser pues diferente, buscando un método que permita acercar la información numérica de la imagen a los procedimientos convencionales de trabajo, mejorándolos en lo posible. En este sentido al ser el mencionado mapa un producto, en parte, de la interpretación de documentos gráficos, será en los tratamientos de mejora de la calidad visual de imágenes donde, en principio, podrían obtenerse unos resultados de utilidad para la actualización de estos mapas.

Los sensores espectrales situados sobre plataformas espaciales poseen una resolución que condiciona la calidad visual de las imágenes obtenidas mediante restitución por ordenador. Suelen ser frecuentes presentaciones de escalas determinadas por el tipo de sensor. Así para el sensor MSS de la escala generalmente aceptada como óptima es 1/250.000 (1 pixel = 0.3 mm), para TM es de 100.000 (1 pixel = 0.3 mm) y para SPOT 1/50.000 (1 pixel en modo multiespectral = 0.4 mm, 1 pixel en modo panchromático = 0.2 mm). Estos datos, en función del objetivo perseguido, la actualización de una cartografía de escala 1/50.000, restringirían el uso de imágenes posibles al sensor HRV de SPOT. No obstante, mediante el empleo de determinadas técnicas de mejora de la calidad visual de las imágenes es posible llegar a obtener imágenes de alta calidad y conseguir escalas de 1/50.000 para el sensor TM y de 1/25.000 para los sensores del satélite SPOT. Ello permitiría utilizar el sensor TM, con su amplia gama de canales espectrales, para realizar la actualización de los mapas mencionados usando un método de fotointerpretación convencional sobre imágenes a escala 1/50.000.

Llegar a obtener un documento gráfico similar a una ortofotografía color a escala 1/50.000 permitiría a un fotointérprete analizar los cambios de información que desde la realización de la cartografía de usos y aprovechamientos se hayan podido suceder en la zona, y todo ello mediante la simple superposición de las manchas de información del mapa antiguo a la hipotética imagen obtenida a su misma escala y proyección. Este hecho supondría implementar una cadena de tratamientos destinados a conseguir una imagen corregida geométricamente y que ofreciese una óptima relación entre la escala 1/50.000 y su calidad visual. Para llegar a obtener este tipo de documentos hemos desarrollado una serie de estudios tendientes a fijar un método que optimice la relación escala-calidad visual.

### A.1. Metodología para la optimización de la relación escala-calidad visual.

Los trabajos realizados han tendido a establecer análisis de la calidad geométrica y radiométrica de las imágenes transformadas por diversos métodos de realce y remuestreo. Siendo el punto de partida una imagen digital del sensor TM, el objetivo final será llegar a obtener un producto analógico de suficiente calidad visual, radiométrica y geométrica como para poder realizar sobre él una interpretación a escala 1/50.000.

El proceso ha constado en resumen, de las siguientes etapas, seleccionándose en cada una de ellas las opciones más funcionales encontradas.

#### i.- Corrección geométrica de la imagen.

No nos referimos aquí a los principios que rigen la corrección geométrica de imágenes pero si mencionaremos aquellos puntos sobre los que se ha centrado la investigación, a saber el número y distribución de los puntos de control, el grado de los polinomios de transformación y los métodos de restitución.

En cuanto al número de puntos de control las pruebas realizadas indican que es conveniente tomar un número de puntos de control bastante superior al determinado por el número de coeficientes del polinomio a emplear. Es igualmente necesario que dichos puntos se distribuyan sobre la imagen de la forma más homogénea posible ya que si no pueden

producir deformaciones apreciables en las zonas con escasos puntos, sobre todo cuando el grado del polinomio es superior a 2.

Los grados de polinomio experimentados (1 a 5) nos han demostrado que los grados 4 y 5 son muy sensibles a la distribución de puntos de control, siendo precisa una simetría casi perfecta de su ubicación para conseguir imágenes no deformadas con respecto a la proyección buscada. Los resultados obtenidos con los polinomios de grado 1 a 3 son menos sensibles a deformaciones en función del reparto de los puntos de control, pero los valores de los residuos de ajuste son excesivamente elevados para el grado 1 y relativamente aceptables para los grados 2 y 3. Debido al menor consumo de tiempo de cálculo y a su escasa diferencia en cuanto a resultados hemos preferido el empleo de polinomios de grado 2 frente al de grado 3.

Respecto a los métodos de restitución han sido experimentados diferentes métodos basados en los cuatro sistemas básicos de interpolación: ve cino más próximo, bilineal (2x2), cúbica (4x4), Shannon (4x4).

Los dos primeros provocan una sensible disminución de la calidad de la imagen al introducir una apreciable turbidez debido a los problemas de "aliasing". La interpolación cúbica y el método de Shannon permiten superar este problema con éxito, siendo la imagen resultante prácticamente similar en sus valores radiométricos a la original. De ambos métodos se ha preferido utilizar la interpolación cúbica debido a su mayor rapidez de cálculo. El entorno de interpolación fué de 16 píxeles.

#### ii.- Procesos de remuestreo de la información.

Conseguir una escala 1/50.000 restituida a partir de una imagen Landsat-TM implica un problema al nivel de resolución del tamaño de pixel sobre un producto analógico. Un pixel de 30 mts restituido a esta escala presentaría un tamaño de 0.6 mm. Este tamaño sería perfectamente visible para el ojo humano, con lo que la calidad de la imagen obtenida dejaría mucho que desear para una interpretación visual. Es preciso aplicar métodos de remuestreo del tamaño del pixel para conseguir un "Zoom" de la imagen en el que el número de píxeles por mm., al ser restituida la imagen, sea suficiente como para impedir el efecto de cuadrículado de la misma. En este sentido diversos autores y organismos han adoptado soluciones en función de sus necesidades concretas (TRAIZET, 1981). Es normal remuestrear los

pixeles del sensor MSS a 50 mts, (remuestreo de 1.6) los de TM a 25 mts (1.2) y los de SPOT a 12.5 mts en multiespectral (remuestreo de 1.6) y a 6.25 mts en panchromático (1.6).

Para el sensor TM el mencionado remuestreo seguirá ofreciendo un problema de cuadrado a una escala 1/50.000. Es preciso sobre-remuestrear esta información para conseguir que el número de pixeles por milímetro a dicha escala no sea tan visible. Distintos métodos fueron experimentados para encontrar el mejor equilibrio posible entre la resolución y la escala:

- "Zoom" por repetición directa de los valores de los pixeles.
- "Zoom" por interpolación directa x2.
- "Zoom" por interpolación cúbica.

El primero incrementa obviamente el problema del cuadrado de la imagen, por lo que resulta completamente inadecuado.

El segundo realiza un "Zoom" suave de la imagen con una sensible mejora de la calidad respecto a la anterior, pero con ciertos problemas de turbidez.

El tercero dió los mejores resultados en cuanto a la calidad obtenida, llegando a aplicar un remuestreo a 10 mts sobre la imagen original TM.

iii.- La imagen obtenida mediante estos tratamientos puede ser mejorada por distintos procedimientos de realce. Fueron aplicados diferentes filtrados para reforzar las altas frecuencias sin eliminar las bajas, consiguiendo así aumentar la visibilidad de las estructuras y lineamientos de la imagen. El filtro finalmente seleccionado fué del tipo:

$$\begin{matrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{matrix}$$

iv.- Para efectuar la selección de bandas a utilizar y componer con ellas un falso color que diese la mayor cantidad de información posible, acentuando el contraste visual, se establecieron matrices de correlación de canales entre sí, con diferentes índices y con sus componentes principales dos a dos. Como resultado final se obtuvo una muy buena visualización empleando la

combinación:

- Azul: 1ª componente principal de los canales 1 y 2
- Verde: Canal 4
- Rojo: 1ª componente principal de los canales 5 y 7

v.- Seleccionados los canales o neocanales a utilizar una expansión lineal del rango de valores permite aumentar los niveles de contraste de color a obtener en la restitución final.

vi.- El resultado de todos los procesos anteriores es grabado en cinta magnética para su restitución mediante un "fotoplotter" que permite obtener 3 fotolitos, a partir de los cuales es posible publicar directamente los resultados.

Como conclusión final de esta cadena de tratamientos hemos conseguido obtener imágenes TM corregidas geométricamente a escala 1/50.000, en proyección UTM de alta calidad y utilizables directamente como documentos para fotointerpretación temática.

## A.2. Aportaciones de la interpretación visual de imágenes de alta calidad a la actualización del Mapa de Cultivos y Aprovechamientos.

Obtenidos los documentos analógicamente se procedió a su utilización para actualizar las hojas del Mapa de Cultivos, seleccionándose una hoja con el máximo nivel de complicación posible, siendo ésta de zona de montaña (hoja del M.T.N. 1050) y con gran número de manchas de información.

El método seguido ha consistido en emular los procedimientos convencionales de interpretación fotográfica.

Un transparente de la información cartográfica a escala 1/50.000 de fecha 1.976 fué superpuesto sobre la imagen corregida de fecha 1.986. A partir de aquí fueron interpretándose las unidades cartográficas, obteniéndose los siguientes resultados:

- |  |     |
|--|-----|
| a) Nuevas unidades de información interpretables por la imagen:                    | 34  |
| b) Unidades que conservan la información pero están desplazadas cartográficamente: | 43  |
| c) Manchas de información absolutamente nuevas y no reconocibles:                  | 15  |
| d) Unidades que sufren cambios parciales:  | 346 |

- e) Unidades que conservan su forma y textura 442

Siendo el total de manchas de información de la hoja de 880, resulta que mediante este trabajo de gabinete, realizado en 4 jornadas laborales, la revisión de campo se reduce a la suma  $c + d$ , siendo  $a + b + e$  las manchas que permanecerían sin alteración o cuya modificación se puede realizar por interpretación analógica.

El resultado final, prodecente del tratamiento de imágenes para obtener un documento de alta calidad, directamente interpretable y publicable, más su interpretación, se lleva a cabo en un plazo máximo de 10 días por una persona. Efectuadas las pertinentes constataciones, este trabajo supone una reducción del 62% del tiempo necesario para la actualización de la interpretación, considerando que fuese preciso visitar todas las unidades en campo. Hay que añadir el hecho de que se dispone de un documento directamente publicable y sin problemas de ajuste cartográfico de la información.

De este modo con un coste en tiempo del 16% con respecto al método convencional se consigue realizar un 62% del trabajo de actualización. Sin embargo el coste económico de ese 62% del trabajo supone un 80% del presupuesto establecido en origen. No obstante el peso que representa la adquisición de una imagen TM llega a significar aquí un 25% del coste final, y si se considera que un cuarto de escena TM puede ser empleado en varias hojas del M.T.N. a escala 1/50.000, este coste se reduce hasta llegar a ser un 55% en vez del 80% mencionado anteriormente.

Este hecho significa que con un 16% del tiempo y un 55% del presupuesto originalmente establecido se llega a ejecutar un 62% del trabajo, lo cual demostraría la bondad de la utilización de este método para actualizar los Mapas de Cultivos y Aprovechamientos.

## **B. Evaluación de superficies de cultivos bajo plástico.**

En este segundo supuesto el método a utilizar habrá de ser muy diferente al seguido en el anterior apartado. Aquí es preciso identificar un único tipo de uso del territorio que presenta unas peculiaridades que "a priori" deben ser fácilmente discernibles haciendo uso de sus patrones de respuesta

espectral. El empleo de la información digital y de métodos de clasificación de los píxeles mediante ordenador aparecen así como más apropiados.

Puesto que el problema planteado consiste en determinar la superficie de invernaderos y su ubicación a partir de 1.984, fecha de la última actualización del inventario, será preciso emplear varias imágenes posteriores a dicha fecha para examinar la evolución de los cultivos bajo plástico. En el presente estudio han sido utilizadas dos imágenes TM 200-34-4 de fecha 3 de febrero de 1.985 y 20 de octubre de 1.986. Para ambas fechas el proceso de trabajo ha sido similar, buscando como resultado final una evaluación del crecimiento de los invernaderos. La realización de todos los análisis se lleva a cabo sobre dos subescenas que abarcan por completo el Campo de Dalías, y que presentan el mismo número de píxeles en líneas y columnas. No obstante problemas ligados a la calidad geométrica de ambas tomas impiden su superposición absoluta.

Seleccionadas estas subescenas y poseyéndose un conocimiento previo de la zona se procedió a ubicar parcelas de control para evaluar las respuestas espectrales de diferentes objetos en las dos fechas mencionadas. Cabe decir que a pesar de perseguir fundamentalmente la definición de la clase invernaderos se hace precisa una clasificación del resto de objetos para disponer de una posibilidad de comparación en cuanto a la bondad de las clasificaciones obtenidas.

El paquete de programas desarrollado permite seleccionar las parcelas de control en función de su grado de homogeneidad de respuesta espectral, así como establecer contrastes entre ellas, determinando de un modo automático, qué canales o neocanales son los mejores para su óptima discriminación. Similar resultado puede deducirse de un estudio de las formas espectrales de los grupos definidos (aguas, suelos, vegetación e invernaderos).

Un examen de las firmas espectrales de los invernaderos (Gráfico 1) nos hace ver claramente que su caracterización esencial viene definida por unos valores muy altos de luminancia en el canal 1, sólo superados por los cristalizados de sal de las salinas existentes en la zona. Es igualmente característica la muy baja respuesta en los canales del infrarrojo medio (canales 5 y 7), posiblemente como consecuencia de la absorción llevada a cabo por el

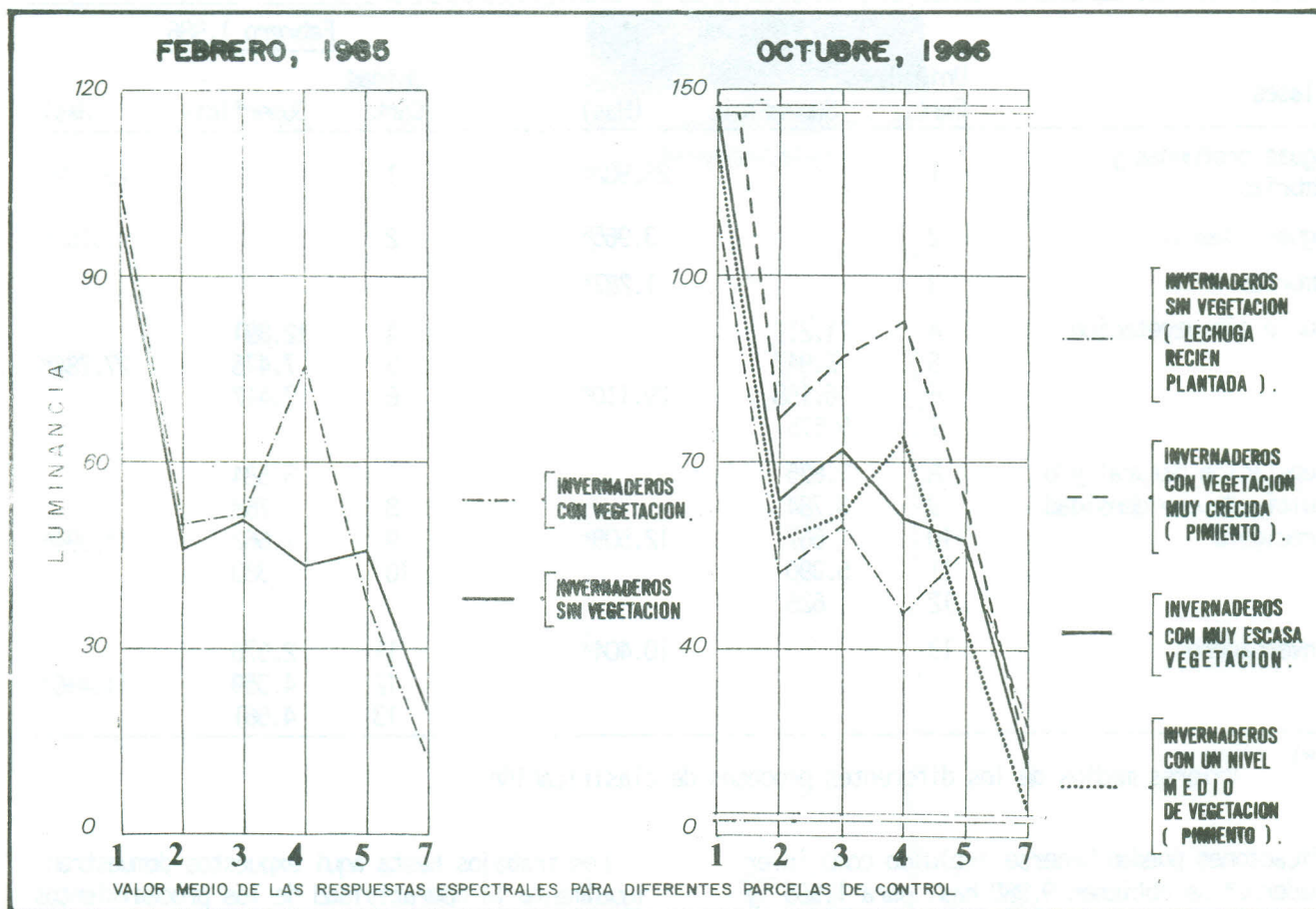


Fig. 1.- Fimas espectrales de parcelas de control situadas sobre invernaderos en Campo de Dalías.

agua condensada en la superficie interior del plástico y de las características de los plásticos (plásticos térmicos). Por otra parte en el canal 4 aparecen dos tipos de respuestas, una que indica reflectancia elevada, ligada a presencia de vegetación y otra de baja respuesta cuando la vegetación existente bajo invernaderos es nula o escasa.

El uso de neocanales, como componentes principales de los canales visibles dos a dos, e índice de brillo ( $\sqrt{3^2 + 4^2}$ ), ha sido igualmente empleado para comprobar su papel discriminador de los invernaderos.

El proceso de clasificación elegido ha sido el de agrupaciones de píxeles en torno a centros de gravedad móviles utilizando un reducido número de iteraciones dado que se buscaba un conjunto de clases similar al de las parcelas de control consideradas.

Para ambas fechas se realizaron tres clasi-

ficaciones. Dos de ellas con los canales 1, 3, 4 y 5 haciendo una reubicación de las parcelas de control. Una tercera empleaba la primera componente principal de los canales 1 y 2 la de los canales 4 y 5 y un índice de brillo.

En los tres casos los resultados fueron similares pero diferentes en más-menos 1.000 has. Como consecuencia hemos optado por obtener como valores estadísticos la media de las diversas clasificaciones para cada fecha. Estos resultados aparecen en el Cuadro 1.

Si comparamos las estadísticas oficiales de 1.984 (9.957 has.), con las medias obtenidas para 1.985 (10.404 has.) y 1.986 (11.496 has.), observaremos un crecimiento de aproximadamente 1.000 has. anuales, cifra muy similar a la media de crecimiento de los últimos años. Si a las cifras medias de las clasificaciones se les resta el 4% que significa la parte de la superficie de caminos y áreas de servicio que en las clasi-

Cuadro 1.- Resultados medios obtenidos en los diferentes procesos de clasificación y fechas.

| Clases  | Octubre 1.985 |            |         | Febrero 1.986 |            |         |
|---|---------------|------------|---------|---------------|------------|---------|
|   | Unidad Cart.  | Superficie | (Has)   | Unidad Cart.  | Superficie | (Has)   |
| Aguas profundas y Umbrías                               | 1             |            | 26.902* | 1             |            | 23.629* |
| Aguas someras Umbrías                                   | 2             |            | 3.965*  | 2             |            | 7.163*  |
|   | 3             |            | 1.287*  |               |            |         |
| Suelo sin vegetación                                    | 4             | 11.219     |         | 4             | 12.891     |         |
|   | 5             | 5.947      |         | 5             | 7.476      | 27.784* |
|   | 6             | 6.158      | 29.110* | 6             | 7.417      |         |
|   | 7             | 5.575      |         |               |            |         |
| Vegetación natural y/o cultivada con densidad creciente | 8             | 1.875      |         | 7             | 5.584      |         |
|   | 9             | 3.784      |         | 8             | 768        |         |
|   | 10            | 667        | 12.509* | 9             | 7.662      | 14.394* |
|   | 11            | 5.390      |         | 10            | 380        |         |
|   | 12            | 625        |         |               |            |         |
| Invernaderos  | 13            |            | 10.404* | 11            | 2.576      |         |
|   |               |            |         | 12            | 4.359      | 11.496* |
|   |               |            |         | 13            | 4.561      |         |

(\*) Valores medios de los diferentes procesos de clasificación.

ficaciones pueden haberse incluido como invernaderos\* se obtienen 9.988 has. para 1.985 y 11.038 para 1.986, lo que hace evidente la ineficacia de las normas que pretendían impedir el crecimiento de los invernaderos.

Cartográficamente la comparación de ambas clasificaciones permite delimitar aquellas zonas donde se ha producido un cambio entre 1.985 y 1.986. Dicho crecimiento se está produciendo fundamentalmente en el sector occidental del Campo de Dalías y casi siempre rellenando aquellos espacios que quedaban libres entre masas de invernaderos. El único frente pionero que se desarrolla sobre zonas no afectadas previamente por invernaderos se sitúa en la depresión de Dalías, donde no está vigente el decreto de control de transformaciones.

\* Para la evaluación de esta cifra se efectuaron medidas muestrales sobre fotografías aéreas a escala 1/10.000 y sobre el propio terreno, obteniéndose como valores representativos que en una masa de invernaderos entre un 6% y 9% son espacios de servicio. La mitad de esta cifra puede considerarse que ha sido clasificada como invernaderos.

Los trabajos hasta aquí expuestos demuestran igualmente la operatividad de los procedimientos que, en un período de 15 días, permiten evaluar estadística y cartográficamente las superficies de cultivos bajo plástico de una zona como Campo de Dalías.

### Conclusiones

Las conclusiones que podrían obtenerse de un trabajo como el hasta aquí presentado son de dos tipos. Unas de matiz metodológico, aplicables a la necesidad evidente de desarrollar para cada caso específico a solucionar mediante el empleo de imágenes digitales, unas herramientas que estén destinadas fundamentalmente a dicho fin.

Otras de tipo práctico referidas a cada uno de los ejemplos que hemos mostrado y para cada una de las soluciones funcionales adoptadas de cara a resolver los problemas abordados.

Como conclusión general es preciso repetir lo ya enunciado al principio de esta comunicación, la necesidad de acomodar los trabajos de teledetección a objetivos de tipo convencional, en los que estos pueden competir. Unas veces con una mejora en cuanto a tiempo y dinero necesarios para su realización (caso de la actualización del



Mapa de Cultivos y Aprovechamientos). Otras aportando datos imposibles de obtener por medios clásicos a no ser con un elevado coste en tiempo y dinero, (caso de la actualización estadística y cartográfica de los cultivos bajo plástico en Campo de Dalías).

## BIBLIOGRAFIA

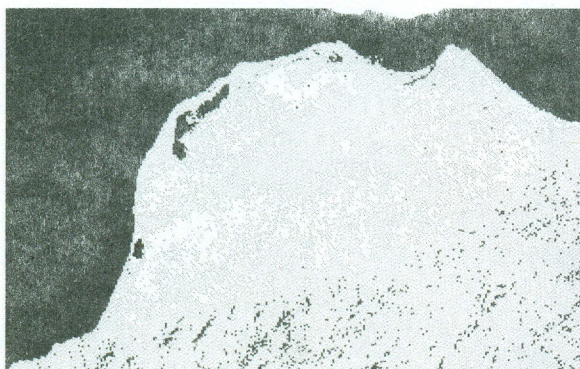
- C.N.E.S. 1978.  
Principes Physiques et mathematiques de la télédetection. Toulouse.
- HERNANDEZ PORCEL, M.C. 1987.  
Campo de Dalías. Rev. Paralelo 37º. Revista de Estudios Geográficos. (En prensa). Excm<sup>a</sup> Diputación Provincial de Almería. Almería.
- LOBATO, A. 1.987  
Técnicas de tratamiento digital de imágenes en teledetección. I Jornadas sobre teledetección y Geografía. Almería. 1.987.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1.987  
Cultivos forzados en Almería. Actualización a 1.984 del inventario agronómico y caracterización productiva. Madrid.
- MOREIRA, J.M. 1.987.  
Nuevas tendencias en Teledetección: Imágenes espaciales y Sistemas de Información. I. Jornada sobre teledetección y Geografía. Almería. 1.987.
- TRAZET, M. 1.981.  
Qualité radiométrique des images rectifiées  
Illustration des diverses méthodes de re-echantillonnage. Note technique N° 102.  
C.N.E.S. Toulouse.



Ver Foto color n.º 33 en página 374



Ver Foto color n.º 34 en página 374



Ver Foto color n.º 35 en página 374



Ver Foto color n.º 36 en página 374

### Pies de figuras

- Fig. 2.- Falso color de imagen TM procesada para conseguir una -  
optima relación entre la escala, la radiometría y la ca  
lidad visual. (Hoja del M.T.N. E: 1/50.000 n°1050.Ubri-  
que).
- Fig. 3.- Ejemplo de análisis en componentes principales de un -  
sector de Campo de Dalías. Los invernaderos destacan en  
tonos de color oscuro.
- Fig. 4.- Cartografía automática de invernaderos. Fecha: octubre,  
1.985. Superficie 10.404 has.
- Fig. 5.- Cartografía automática de invernaderos. Fecha: febrero,  
1986. Superficie 11.496 has.