

## EL USO DE LA TELEDETECCIÓN EN LA CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA APLICADA A LA AGRICULTURA

M.C. LIASAT<sup>1</sup>, R. ARBIOL<sup>2</sup>, J. CUNILLERA<sup>1</sup> Y M.R. SOLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Barcelona (UB), Barcelona.

<sup>2</sup>Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), Barcelona.

### RESUMEN

El presente trabajo constituye una primera aproximación al conocimiento de las propiedades radiactivas de los distintos tipos de superficie de Cataluña. Tras asociar los diversos usos del suelo (clasificación multispectral mediante imágenes del Thematic Mapper) con los respectivos valores de emisividad y albedo, se determina la temperatura y la inercia térmica del suelo mediante las imágenes del satélite NOAA-9. Los resultados, una vez digitalizados, se tratan junto a los datos climáticos de la red meteorológica convencional mediante distintas técnicas del análisis multivariante.

### ABSTRACT

*This paper aims at establishing an understanding of the radiative properties of the different types of soils in Catalonia. After correlating the different uses of soil (multispectral classification through imagery of the Thematic Mapper) with the respective values of emissivity and albedo, soil temperature and its thermal inertia are determined by means of NOAA-9 satellite images. The results, once digitized, are processed together with the climatic data of a conventional meteorological network by different techniques of multivariate analysis.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde hace varios años el Servicio de Agricultura de la Generalitat de Catalunya viene planteándose la necesidad de disponer de una caracterización de Cataluña tal que le permita delimitar zonas agroclimáticamente homogéneas. Entre todas las aplicaciones posibles, dos son las de mayor importancia: la localización de las estaciones de una red agrometeorológica automática en Cataluña (número mínimo de estaciones con una representatividad máxima) y la distribución razonada de cultivos y recursos agrarios.

Con tal fin se ha creado un marco de estudio denominado **Caracterización Agroclimática de Cataluña**, desarrollado fundamentalmente por la Universidad de Barcelona en colaboración con el I.C.C. y dentro del cual se contempla el presente trabajo.

## 2. ANTECEDENTES

Los tipos de clasificaciones climáticas son muy diversos, pero normalmente se basan en la lluvia y la temperatura. Así, las clasificaciones de Thornthwaite (Griffiths y Driscoll, 1982) y Köppen (Lutgens y Tarbuck, 1986) válidas tan sólo para grandes zonas de estudio o la de Papadakis (Elias y Ruiz, 1977; De León, 1989), que tiene también en cuenta valores extremos de temperatura y fechas fenológicamente notables.

El considerable avance en el uso de la teledetección experimentado en la última década ha convertido la agrometeorología en una de sus aplicaciones principales (Caselles, 1983; Caselles y Melià, 1985; Caselles et al., 1989). Sin

embargo, y pese a los notables avances, el proceso todavía debe ser más depurado. Por ejemplo, la mayor parte de algoritmos para la obtención de temperatura de la superficie tienen un alto grado de empirismo y se basan exclusivamente en dos o tres imágenes de satélite. Este problema se plantea principalmente cuando se trabaja con temperatura del suelo, ya que para el mar ha sido ampliamente desarrollado. Surgen entonces los interrogantes de la emisividad, el albedo, la inclinación del terreno y el ángulo de incidencia, el tipo de suelo, etc.

El presente trabajo constituye una aportación al desarrollo de estas técnicas. Supone una ampliación en el conocimiento de las propiedades radiactivas tanto en onda corta como en onda larga de los distintos tipos de superficie de Cataluña.

## 3. DETERMINACIÓN DE LA EMISIVIDAD Y ALBEDO DE LA SUPERFICIE

Con el fin de determinar la emisividad y albedo característicos de cada cobertura vegetal se ha recurrido al mapa de cultivos y aprovechamientos a escala 1:200.000 (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1984, 1986, 1988a, 1988b). El tipo de suelo se ha determinado, en primera aproximación, a partir del mapa geológico publicado por el Inst. Geológico y Minero de España en 1972, que está en la misma escala que el anterior.

Se ha realizado un análisis estadístico provincia a provincia relacionando cobertura y tipo de suelo, que posteriormente se ha integrado a escala regional para toda Cataluña.

Por otro lado se han distinguido los diferentes estados fenológicos de los cultivos ya que las propiedades radiativas varían en función de ellos.

Los valores de emisividad y albedo propios de cada cobertura y tipo de suelo se han determinado a partir de la bibliografía (Caselles, 1983; Pielke, 1984; Houghton, 1985) y de datos experimentales (Jordi, 1989). La asignación de los valores propios de cada uso del suelo se realiza a través de las ecuaciones:

$$\begin{aligned} a_k &= z \times a_i + (1-z) \times a_j \\ \epsilon_k &= z \times \epsilon_i + (1-z) \times \epsilon_j \end{aligned} \quad (1)$$

$z$  : % área con vegetación

$a_i, \epsilon_i$  : albedo/emisividad de la cobertura vegetal tipo

$a_j, \epsilon_j$  : albedo/emisividad del suelo tipo

$a_k, \epsilon_k$  : albedo/emisividad del "uso del suelo"

En las Tablas 1 y 2 se presentan los resultados obtenidos para 20 usos del suelo. El análisis de la evolución fenológica anual y su influencia sobre los valores de emisividad y albedo permite distinguir 7 estados diferentes. Las variaciones sólo afectan a frutales de regadío, cultivos herbáceos, frutales de secano, viña, árboles caducifolios y árboles esclerófilos.

En las Imágenes 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos para emisividad y albedo en el mes de septiembre, tomando píxeles de  $30 \times 30 \text{ m}^2$ . En todos los casos se supone una distribución normal y se toman  $\pm 3\sigma$  en torno a la media. El rango de emisividades representado contempla valores comprendidos entre 0,921 y 0,989. Se ha tenido en cuenta el inconveniente de que emisividades tales como las correspondientes a suelo desnudo (0,898) o incendio reciente (0,990) quedan excluidas, pero atendiendo a la escasa extensión relativa de estas áreas, se ha preferido disponer de una mayor gama de colores a costa de perderlas. Semejante criterio se ha utilizado para el albedo, que aparece comprendido entre 0,0965 y 0,2492.

#### 4. EL MAPA DE USOS DE SUELO

El Mapa de Usos del Suelo de Cataluña a escala 1:250.000 (Viñas et al., 1991) se elaboró mediante la clasificación asistida de imágenes digitales multitemporales del sensor Thematic Mapper del satélite LANDSAT-5 (tamaño del píxel  $30 \times 30 \text{ m}^2$ ). Como soporte de la clasificación se realizó un extenso trabajo de campo sobre la totalidad del territorio (un 5% de la superficie), dedicando la mayor parte al entrenamiento de la clasificación y el resto al control del resultado final. Este contraste permitió estimar la calidad de la clasificación en un 86% sobre las 19 clases temáticas de usos y cubiertas del suelo.

#### 5. IMÁGENES UTILIZADAS

Si los datos a utilizar en el modelo deben proporcionar una representación razonable de las variables climáticas de una zona amplia de territorio, debemos usar imágenes de satélite de forma prioritaria. En el caso que nos ocupa estamos interesados en obtener información de temperatura y de inercia

térmica aparente por comparación de dos imágenes de temperatura día-noche. De los satélites capaces de proporcionar este tipo de información hemos elegido los de la serie NOAA por el sensor AVHRR que incorpora.

De las características del sensor y de la plataforma deseáramos destacar en concreto: la disponibilidad de dos bandas en el infrarrojo térmico (banda 4:  $10,3 - 11,3 \mu\text{m}$  y banda 5:  $11,5 - 12,5 \mu\text{m}$ ), lo que permite un cierto grado de corrección atmosférica en la obtención de temperaturas, un píxel no excesivamente grande, de  $1,1 \times 1,1 \text{ Km}$ , y de una repetitividad orbital heliosíncrona que permite obtener casi dos imágenes diarias por satélite. En nuestro caso se utilizaron dos imágenes digitales captadas por el satélite NOAA-9 los días 17 (día: 14,30h) y (noche: 02,30h) de septiembre de 1987.

#### 6. CORRECCIÓN GEOMÉTRICA

Para la superposición entre los datos obtenidos de las imágenes y los mapas, es necesario realizar una corrección geométrica de aquellas. Esta corrección (Ho y Asem, 1986) necesita determinar una función que transforme las coordenadas del píxel (columna, línea) en coordenadas geográficas (latitud, longitud). En nuestro caso se ha propuesto un modelo orbital simplificado que supone que el satélite se mueve en una órbita polar, teniendo en cuenta la forma y los movimientos de la Tierra. El modelo se ajusta mediante puntos de control tomados sobre la imagen y la cartografía.

#### 7. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE SUPERFICIE

El satélite interpreta la radiancia que recibe procedente de la superficie como si ésta fuera un cuerpo negro ( $\epsilon=1$ ), cuando en realidad la superficie emisora se comporta como un cuerpo gris con  $\epsilon < 1$ . Luego para determinar la temperatura que capta el satélite en cada canal basta con tener en cuenta la definición de emisividad y sustituir en la ley de Planck invertida,

$$T_\lambda = \frac{C_2}{\lambda} \times \frac{1}{\ln\left(1 + \frac{C_1}{\lambda^5 \times \frac{L_\lambda}{\epsilon}}\right)} \quad (2)$$

$\lambda$ : longitud de onda representativa de cada canal ( $10,8 \mu\text{m}$  para el canal 4;  $11,9 \mu\text{m}$  para el canal 5)

$L_\lambda$ : radiancia proporcionada por el satélite

$\epsilon$ : emisividad del píxel radiante

$$C_1 = 1,19 \cdot 10^8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \mu\text{m}^4; C_2 = 1,439 \cdot 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

El paso de píxeles de  $30 \times 30 \text{ m}^2$  a  $1,1 \times 1,1 \text{ km}^2$  plantea el problema de la determinación de la emisividad efectiva del píxel y la influencia sobre ella del ángulo que forma la dirección de observación del satélite con la vertical (Figura 1). Si en el píxel coexisten subzonas de distinto valor de emisividad, se tendrá:

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum_i a'_i \epsilon_i}{a'}, \text{ donde } a' = a \sin(\varphi'_0) \\ a'_i = a_i \sin(\varphi'_i)$$

Debido a que el tamaño de las subzonas es generalmente pequeño, se puede considerar  $\varphi'_i \approx \varphi_i$ , luego la emisividad efectiva queda,

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum_i a_i \sin(\varphi_i) \epsilon_i}{a' \sin(\varphi_0)}$$

cumpliéndose que  $\varphi_0 \leq \varphi_i \leq \varphi_0$ . A medida que el satélite se acerque a la vertical, la diferencia entre  $\varphi_0$  y  $\varphi'_0$  será mayor. A pesar de esto, dicha diferencia nunca será mayor que  $0,068^\circ$ , con lo que se puede considerar  $\varphi_0 \approx \varphi_i \approx \varphi'_0$ , obteniendo finalmente,

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum_i a_i \epsilon_i}{a}$$

Aplicando esta expresión a la ecuación (2), se obtiene la temperatura en cada canal corregida de emisividad

$$T_\lambda = \frac{C_2}{\lambda} \times \frac{1}{\ln \left( 1 + \frac{C_1}{\lambda^5 \times L_\lambda \times \frac{A_T}{\sum_{i=1}^n \epsilon_i \times A_i}} \right)} \quad (3)$$

- $A_i$  : área que ocupa cada subzona;
- $\epsilon_i$  : emisividad de cada subzona;
- $A_T$  : área total del píxel del NOAA-9;
- $n$  : número de subzonas.

El siguiente paso sería la corrección atmosférica. Como la ventana utilizada es bastante transparente a la radiación en onda larga (Price, 1983), sólo es necesario considerar la absorción por vapor de agua (el efecto de CO<sub>2</sub>, aerosoles, etc. es despreciable), y dado que no existe estación de radiosondeo alguna sobre Cataluña, la única opción estriba en recurrir al método split-window y trabajar con algoritmos ya desarrollados.

Un primer caso sería tomar aquellos algoritmos preparados para obtener la temperatura del mar, como el que hace servir G. Bonn e (comunicación personal),

$$T_{SSR} = T_{10,8} + 2,6 \times (T_{10,8} - T_{11,9}) - 2,2 \quad (4)$$

o los propuestos por la N.O.A.A. (Price, 1984)

a) durante el día ( $T_\lambda$  en  $^\circ\text{C}$ )

$$T_{SSR} = T_{10,8} + 3,046 \times (T_{10,8} - T_{11,9}) + 0,035 \times (T_{10,8} - 34,9) \quad (5)$$

b) durante la noche ( $T_\lambda$  en  $^\circ\text{C}$ )

$$T_{SSR} = T_{10,8} + 3,168 \times (T_{10,8} - T_{11,9}) + 0,076 \times (T_{10,8} - 30,5) \quad (6)$$

e introducir las temperaturas corregidas por emisividad. Sin embargo hay que tener en cuenta que estas ecuaciones tienen una alta componente empírica y que, por tanto, una alteración tan fuerte en las condiciones de la superficie radiante puede desvirtuar los resultados.

A partir de la teoría de la transferencia radiativa (Chandrasekhar, 1960); Price, (1984) obtiene para una superficie cualquiera,

$$T_S = T_{\lambda_1} + \frac{1}{\frac{C(\lambda_2)}{C(\lambda_1)} - 1} \times (T_{\lambda_1} - T_{\lambda_2}) \quad (7)$$

donde los factores  $C(\lambda)$  aparecen al expresar el coeficiente de absorpci n  $K_\lambda$  como producto de  $C(\lambda)$  por una función de las condiciones atmosféricas  $f(U, T, p)$

$$C(\lambda) = k_\lambda \times f(U, T, p)$$

Price evalúa el anterior cociente en base a dos imágenes NOAA-7 del 20 de julio de 1981 y de cuatro puntos de medida obteniendo la ecuación final (todas las temperaturas en grados Kelvin),

$$T_S = T_{10,8} + 2,78 \times (T_{10,8} - T_{11,9}) \quad (8)$$

Para considerar el efecto de la emisividad, y suponiendo la existencia de nubes en la zona estudiada, propone la expresión:

$$T_S = [T_{10,8} + 3,33 \times (T_{10,8} - T_{11,9})] \left( \frac{3,5 + \epsilon_{10,8}}{4,5} \right) + 0,75 \times T_{11,9} \times (\epsilon_{10,8} - \epsilon_{11,9}) \quad (9)$$

Caselles et al. (1989) demuestran que la diferencia entre ambas emisividades es del orden de 0,004, con lo que este último término puede evaluarse en  $0,003 T_{11,9}$ .

La aplicación de las ecuaciones (4), (5), (6) y (8), con las temperaturas corregidas previamente por emisividad según la expresión (3), y (9) en un píxel situado en el centro de Cataluña y representado por la estación de Veciana, proporciona los siguientes resultados:

	a) Día	b) Noche
* (4) + (3):	$T_S = 35,73 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_S = 13,49 \text{ }^\circ\text{C}$
* (5,6) + (3):	$T_S = 38,24 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_S = 14,67 \text{ }^\circ\text{C}$
* (8) + (3):	$T_S = 38,03 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_S = 15,74 \text{ }^\circ\text{C}$
* (9):	$T_S = 30,59 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_S = 9,16 \text{ }^\circ\text{C}$

## 8. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO

Una forma de determinar la temperatura del suelo es utilizar los datos de temperatura de subsuelo a diferentes profundidades y comparar con los resultados obtenidos a partir de la temperatura a 1,5 m. Con tal fin se ha elaborado el siguiente

te modelo:

$$\frac{T(z)}{T_M} = A + Bx \frac{\sin\left[\frac{2\pi z}{Z_M}\right]}{\frac{2\pi z}{Z_M}} + Cx \frac{\cos\left[\frac{2\pi z}{Z_M}\right]}{\frac{2\pi z}{Z_M}} \quad (10)$$

**A, B, C** : coeficientes a determinar a partir de los datos de temperatura a distintas profundidades.

**Z<sub>M</sub>** : profundidad máxima a la que se mide la temperatura.

**T<sub>M</sub>** : valor máximo de las temperaturas medidas.

Price (1984) considera una diferencia de 10°C entre el suelo y el termómetro instalado a 2 m, es decir, un gradiente geométrico de temperatura de 5°C/m, lo cual sólo será aproximadamente válido en días despejados y de fuerte insolaración.

La aplicación de los anteriores métodos a la estación de Veciana proporciona:

T. modelo subsuelo ..... 36,49°C

T. hipótesis Price ..... 38,50°C

Así pues, sólo se hallan dentro de este intervalo los resultados obtenidos a partir de (5) y (8), escogiéndose ésta última por estar referida a tierra. Con ella el mapa que se obtiene para la temperatura del día (Imagen 3) abarca de 292,2 a 316,1 K, con máximos en la depresión central, en tanto que la temperatura de noche (Imagen 4) oscila entre 279,9 y 296,6 K, con la zona más caliente situada en la costa.

## 9. DETERMINACIÓN DE LA INERCIA TÉRMICA APARENTE

Se trata de una propiedad física que da a conocer la resistencia que ofrece una determinada superficie a cambiar su temperatura. Para obtenerla se aplica la siguiente ecuación donde  $a$  es el albedo y  $\Delta T_s$  es la oscilación diaria de la temperatura de la superficie.

$$\rho = 1,22 \times \frac{1-a}{\Delta T_s} \quad (11)$$

En la Imagen 5 se muestran los resultados obtenidos. El máximo valor calculado de ITA llega a 0,179 cal/cm<sup>2</sup>Cs<sup>1/2</sup>. Los valores más altos se encuentran en la zona litoral, ya que la oscilación diurna es mucho más pequeña que en el interior. Pero donde estriba el interés es en la distinción de zonas menores dimensiones.

## 10. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS MULTIVARIANTE

Para la determinación de zonas homogéneas se ha aplicado distintas técnicas del análisis multivariante (Dixon, 1985; Sánchez, 1984), como son el análisis en componentes principales, el análisis de clusters y el análisis discriminante, a los datos proporcionados por 228 estaciones meteorológicas distribuidas por toda Cataluña. De todas ellas se han seleccionado 107, en función de su fiabilidad, datos disponibles y

localización, tal que constituyan una red suficientemente representativa.

El análisis en componentes principales permite conocer hasta qué punto las variables están correlacionadas entre sí, a fin de disminuir el número de variables a tratar. El método utilizado para el análisis de "clusters" ha sido el "k-means", el cual parte de una configuración de grupos al azar, cuyo número es predefinido por el investigador. En cada paso se crea una nueva distribución de los grupos de manera que se reduzca la distancia media al cuadrado desde todos los casos del grupo a su centroide. Este proceso se detiene cuando, en un paso determinado, esta distancia aumenta.

Una vez formados los grupos, se ha realizado un análisis discriminante para comprobar que todas las estaciones meteorológicas clasificadas en un determinado grupo pertenecían realmente a ese grupo. Para ello se han hallado unas funciones lineales de clasificación (funciones discriminantes) a partir de las variables consideradas en el estudio, lo cual se ha hecho a través de un proceso "stepwise", de manera que en cada paso se introdujese en la función la variable que aportase más información para la separación de los grupos. Además, este análisis discriminante permite clasificar estaciones meteorológicas no utilizadas en el anterior análisis, con lo que se puede delimitar mejor las zonas homogéneas obtenidas.

En las Tablas 3 y 4 se presentan los valores máximos y mínimos correspondientes al mes de Septiembre obtenidos para distintas variables así como para las desviaciones típicas, reflejando en ellas el cluster en el cual se ha obtenido dicho valor.

En la Imagen 6 se muestra el mapa obtenido para el mes de septiembre. Los puntos singulares corresponden a estaciones de mayor altura que el entorno.

## 11. DISCUSIÓN

Aunque aquí no pueden presentarse todos los mapas obtenidos, se observa que las diferencias en los de albedo (que aparece comprendido entre 0,078 y 0,293 para el mes de febrero) son superiores a las de emisividad. Efectivamente, en el albedo influyen mucho más el color, la humedad, el contenido de materia mineral y orgánica y el estado de la superficie. Además, varía con la altura solar durante el día, aumentando a medida que disminuye ésta. Los mapas obtenidos representan un considerable avance (de hecho Price considera una emisividad de 0,96 para todo el centro de Estados Unidos), pero todavía pueden mejorarse, no sólo aumentando la información del suelo y su cobertura, sino atendiendo a las diferentes longitudes de onda, a la altura solar y a la inclinación del terreno.

Se considera que el mejor algoritmo para la obtención de la temperatura a partir de los datos del satélite es el (8) por ser lo más coherente la corrección previa por emisividad y estar referido a tierra. En la actualidad se está probando el propuesto por Coll (com. personal). En cuanto a la calibración de las futuras imágenes, se cuenta con datos de SST y con la red de estaciones agrometeorológicas del Departament

mento de Agricultura de la Generalitat de Catalunya.

La mejora del proceso realizado hasta el momento y la determinación de los algoritmos más adecuados implican una información más detallada. Con tal fin se seleccionarán unas zonas experimentales bien instrumentadas, es decir, en las que se disponga de:

- Usos del suelo, atendiendo al proyecto Corine-Land Cover en el sector este peninsular (Baulies et al. 1991).
- Determinación experimental de la emisividad y albedo para aquellos usos no suficientemente trabajados en la bibliografía y que aparezcan en el área estudiada.
- Tipos de suelo referidos a la capa más superficial.
- Sensores de temperatura en el suelo y a diversos niveles por encima de él.
- Información topográfica.

Por último, y con respecto a los datos climáticos, el estudio se está mejorando al añadir la información relativa a viento, humedad y radiación solar.

## 12. AGRADECIMIENTOS

Nuestro más sincero agradecimiento al Sr. Ramón Lletjós, Cap de Servei d'Agricultura, por la confianza y el apoyo prestado desde el inicio del proyecto; al Sr. Xavier Ferrer, Cap de Secció d'Agricultura, por la información facilitada sobre la evolución y estados fenológicos de los cultivos, y al Sr. Ernest Guillé por los datos facilitados de la estación de Veciana, de la cual es responsable.

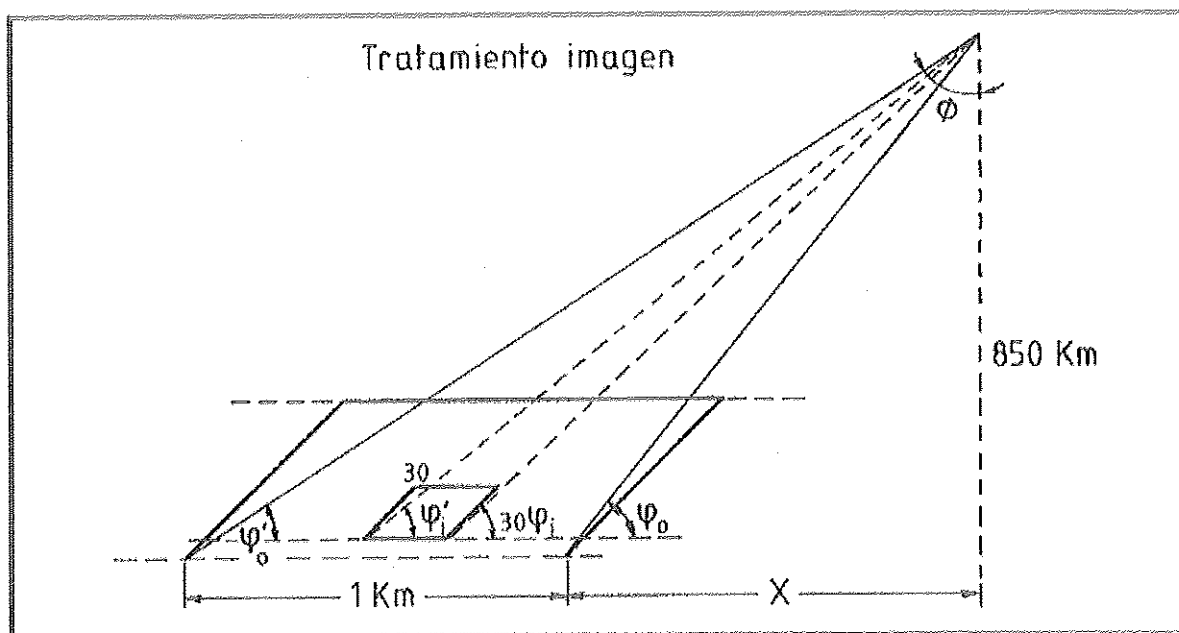


Figura 1.- Influencia del ángulo de observación sobre la determinación de la emisividad efectiva de un píxel de 1,1 x 1,1 km².

Tablas 1 y 3

Tabla 1. Emisividad en función del uso del suelo y de la época del año

	DIC-FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL-SEP	OCT-NOV
Niños Hábano	0.933	0.933	0.933	0.933	0.933	0.933	0.933
Urbanización	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942	0.942
Zonas industriales	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926	0.926
Infraestruct. viarias	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956	0.956
Hedionces de regadío	0.969	0.969	0.969	0.969	0.969	0.969	0.969
Frutales de regadío	0.964	0.964	0.964	0.966	0.968	0.972	0.968
Hedionces de secano	0.955	0.972	0.981	0.985	0.956	0.956	0.956
Frutales de secano	0.965	0.965	0.966	0.967	0.967	0.967	0.965
Vitales	0.962	0.962	0.963	0.965	0.970	0.970	0.967
Caulifolios	0.968	0.968	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978
Escrofolios	0.968	0.968	0.978	0.978	0.978	0.978	0.978
Actinofolios	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979	0.979
Incensio recienos	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990	0.990
Matorrales y prados	0.928	0.928	0.928	0.928	0.928	0.928	0.928
Frutales alpinos	0.959	0.959	0.959	0.959	0.959	0.959	0.959
Veg. zonas inundadas	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970	0.970
Agua	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973	0.973
Bosques decanados	0.898	0.898	0.898	0.898	0.898	0.898	0.898
Arenales	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920
Glaciara	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920	0.920

Tabla 3. Valores máximo y mínimo de distintas variables

VARIABLE	VALOR MAXIMO	CLUSTER	VALOR MINIMO	CLUSTER
ALTURA	2219.30 m	1	23.28 m	14
DISTANCIA AL MAR	161.75 km	1	8.11 km	14
TEMPERATURA MEDIA	21.56 °C	14	8.80 °C	1
PRECIPITACION	125.40 mm	1	65.44 mm	9
EVAPOTR. POTENCIAL	99.96 mm	14	64.50 mm	8
INERCI A TÉRMICA	0.0976 (°)	7	0.0529 (°)	9

(\*) Las unidades de la inercia térmica son cal / cm<sup>2</sup> °C s<sup>1/2</sup>.

Tablas 2 y 4

Tabla 2. Albedo en función del uso del suelo y de la época del año

	DIC-FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL-SEP	OCT-NOV
Riebo urbano	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270	0.270
Urbanizada	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256	0.256
Zonas industriales	0.273	0.273	0.273	0.273	0.273	0.273	0.273
Infraestruct. viaria	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240	0.240
Herbáceas de riego	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185
Frutales de riego	0.196	0.196	0.196	0.191	0.185	0.173	0.183
Herbáceas de riego	0.275	0.237	0.215	0.208	0.163	0.163	0.163
Frutales de riego	0.250	0.250	0.248	0.244	0.241	0.241	0.250
Villado	0.225	0.225	0.221	0.221	0.214	0.214	0.218
Cedusifolia	0.125	0.125	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163
Bacteroflora	0.125	0.125	0.163	0.163	0.163	0.163	0.163
Arctifolia	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111	0.111
Incaubio reciente	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140	0.140
Matorrales y prados	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196	0.196
Prados alpinos	0.171	0.171	0.171	0.171	0.171	0.171	0.171
Veg. zona húmeda	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150	0.150
Agua	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
Suelo desnudo	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120	0.120
Antártica	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370	0.370
Glaciares	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200	0.200

Tabla 4. Valores máximo y mínimo de la desviación típica de distintas variables

VARIABLE	VALOR MÁXIMO	CLUSTER	VALOR MÍNIMO	CLUSTER
ALTURA	70.71 m	4	0.71 m	12
DISTANCIA AL MAR	49.92 km	12	7.07 km	4
TEMPERATURA MEDIA	1.97 °C	2	0.35 °C	12
PRECIPITACION	37.90 mm	1	6.86 mm	4
BVAPOTRA. POTENCIAL	6.26 mas	2	0.21 mas	12
INERCIa TERMICA	0.1329 (*)	7	0.0057 (*)	1

(\*) Las unidades de la inercia térmica son cal / cm<sup>2</sup> °C s<sup>1/2</sup>.

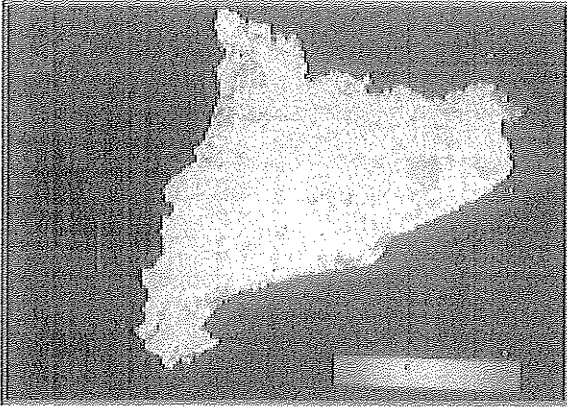


Imagen 1.- Véase Anexo de color.

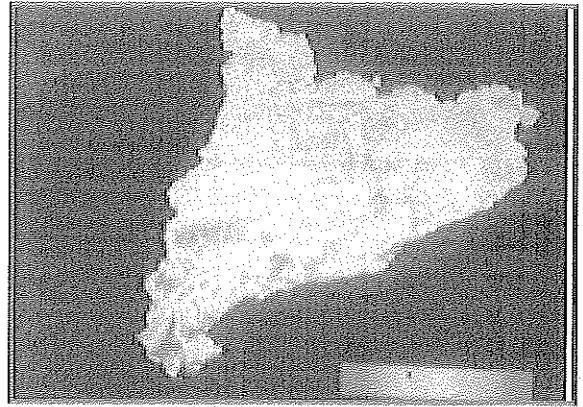


Imagen 2.- Véase Anexo de color.

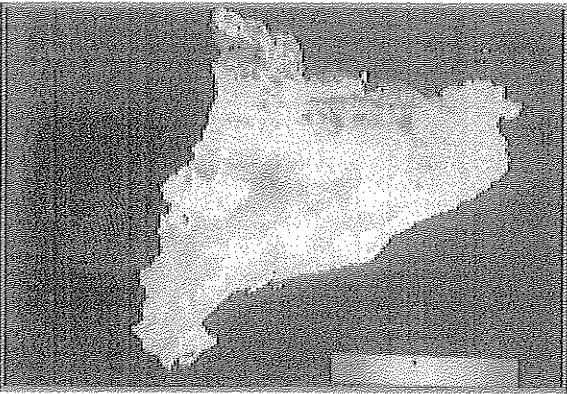


Imagen 3.- Véase Anexo de color.

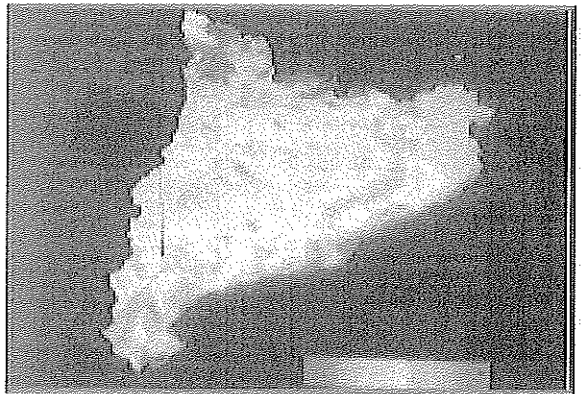


Imagen 4. Véase Anexo de color.

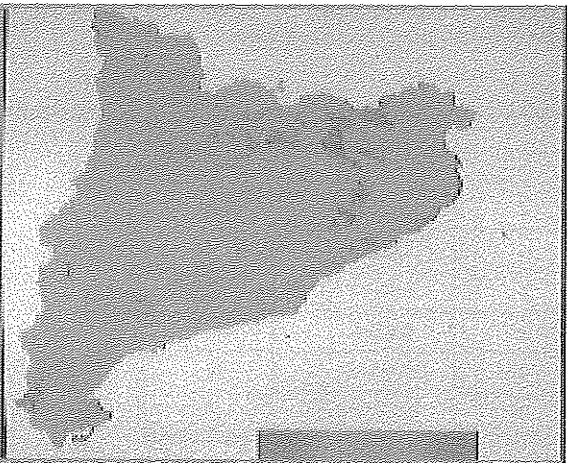


Imagen 5.- Véase Anexo de color.

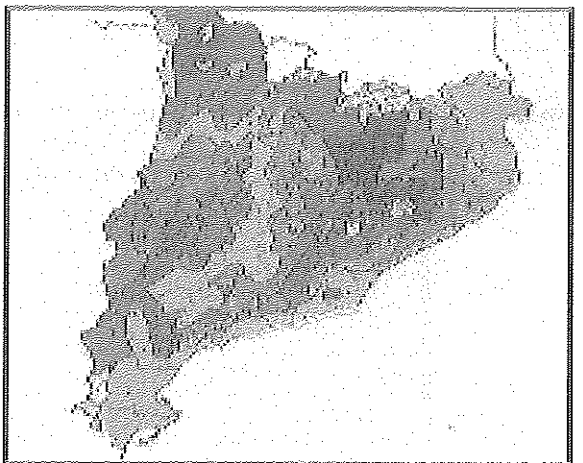


Imagen 6.- Véase Anexo de color.



### 13. BIBLIOGRAFIA

- ✓ BAULIES, X.; JOAQUINET, M.; PINEDA, L. y TARDÁ, A. (1991): *El proyecto Corine-Land Cover en el sector Este Peninsular. IV Reunión Científica. Asociación Española de Teledetección*. Sevilla.
- ✓ CASELLES, V. (1983): *Estudio de las medidas radiométricas realizadas desde satélites artificiales. Aplicación a la Agrometeorología*. Universidad de Valencia.
- ✓ CASELLES, V. y MELIÁ, J. (1985): Use of Satellite Images in the design of a standard meteorological station network. Proc. EARSEL/ESA Symposium "European Remote Sensing Opportunities", Strasbourg.
- ✓ CASELLES, V. y SOBRINO, J.A. (1989): Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 29: 135-146.
- ✓ CHANDRASEKHAR, S. (1960): *Radiative Transfer*. Dover, New York.
- ✓ DE LEÓN, A. (1989): *Caracterización agroclimática de las provincias de Barcelona, Gerona, Lérida y Tarragona*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- ✓ DIXON, W.J. (1985): *BMDP Statistical Software*. University of California Press.
- ✓ ELÍAS, F. y RUÍZ, L. (1977): *Agroclimatología de España*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- ✓ GRIFFITHS, J.F. & DRISCOLL, D.M. (1982): *Survey of climatology*. Columbus, Merrill y A. Bell & Howell.
- ✓ HO, D. & ASEN, A. (1986): NOAA AVHRR image referencing. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, nº 7: 895-904.
- ✓ HOUGHTON, H.G. (1985): *Physical Meteorology*. The MIT Press.
- ✓ INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1982): *Mapa geológico de España*, E 1:200.000. I.G.M.E. Madrid.
- ✓ JORDI, I.I. (1989): *Contribució a l'estudi de les característiques radiatives de l'àrea urbana de Barcelona*. Universidad de Barcelona.
- ✓ LUTGENS, F.K. & TARBUCK, E.J. (1986): *The Atmosphere. An Introduction to Meteorology*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- ✓ MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN: *Mapa de cultivos y aprovechamientos de las provincias de Barcelona, 1984; Gerona, 1986; Lérida, 1988a; Tarragona, 1988b*. Madrid.
- ✓ PIELKE, R.A. (1984): *Mesoscale Meteorological Modeling*. Academic Press.
- ✓ PRICE, J.C. (1983): Estimating surface temperatures from satellite thermal infrared data. A simple formulation for the atmospheric effect. *Remote Sensing of Environment*, 13: 353-361.
- ✓ PRICE, J.C. (1984): Land surface temperature measurements from the split-window channels of the NOAA 7 AVHRR. *Journal of Geophysical Research*, 89: 7231-7237.
- ✓ SÁNCHEZ, J.J. (1984): *Introducción a las técnicas del análisis multivariable aplicadas a las Ciencias Sociales*. Centro de Investigaciones Sociológicas. Madrid.
- ✓ VIÑAS, O.; BAULIES, X.; ROMEU, J. y VIÑA, M. (1991): *Mapa 1:250.000 de usos y cubiertas del suelo de Catalunya, a partir de datos TM. Jornada Técnica de la Soc. Española de Cartografía, Fotogrametría y Teledetección: Cartografía Temática*. Madrid.