

## FRAGMENTACION TERMICA DEL TERRITORIO SEGUN CRITERIOS GEOGRAFICOS MEDIANTE LA UTILIZACION DE DATOS DE SATELITES METEOROLOGICOS

C. Pinilla Ruiz

*Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Escuela  
Politécnica Superior. Universidad de Jaén. Avda. de Madrid, nº 35. 23071 Jaén. Tel. :  
953-21 24 54. Fax: 21 24 00. e-mail: cpinilla@piturda.uja.es*

P. Zarco Tejada, F.J. Ariza López, R. López Luque.

*Grupo de Investigación en Energía y Recursos Renovables, Universidad de Córdoba.  
P.O.Box: 3.048, 14.071-Córdoba. Tel. : 957-21 85 53. Fax: 21 84 82. e-mail:  
st2zzatep@lucano.uco.es.*

**RESUMEN.**- El presente trabajo forma parte de un proyecto marco de caracterización climática de la provincia de Córdoba. En él se presenta la metodología que se está siguiendo en la ejecución del mencionado proyecto y se avanzan algunos resultados parciales. Entre ellos, destaca la dependencia entre la temperatura superficial y la cota, si bien este hecho queda a menudo enmascarado por la intervención de otros factores como la naturaleza de los cultivos y los aprovechamientos predominantes, el índice de vegetación y, en menor medida, otros elementos geográficos como la altitud media, la pendiente o la orientación.

**ABSTRACT.**- This work belongs to a master project for the climatic characterization of the province of Córdoba. The study test and develop the methodology that will be use during the execution of the project. Some partial results are advanced; between them is the dependence of the surface temperature with the altitude. However, this fact remains masked often by the intervention of other factors such as the nature of the crops and predominant uses, the vegetation index and, at minor measure, other geographical elements such as the mean altitude, the slope or the aspect.

### 1.- INTRODUCCION

Los satélites meteorológicos (NOAA, METEOSAT, GOES,...) son fuente de información para multitud de estudios de investigación medioambientales a escala de trabajo regional y en los que se requiere el uso de bandas térmicas (Mulders, 1986; Pinilla, 1995).

Si bien son muchos los factores que influyen sobre la climatología de un área (Artacho, 1991; Baldasano, 1992; López, 1993): insolación, topografía, topología del terreno, naturaleza del suelo y cubierta, movimiento de masas de aire, distancias a masas de agua, etc..., los estudios climáticos tradicionales se encontraban en cierta medida limitados al análisis de unos pocos de ellos (Ariza, 1994), ante la imposibilidad de la gestión geográfica de todas las variables de interés y por la falta de capacidades computacionales. En la actualidad, gracias por un lado a los satélites meteorológicos, que proporcionan una visión sinóptica de grandes zonas (Hiser, 1980), por otro a los SIG, que permiten la gestión espacial de grandes bases de datos climáticas y, finalmente, a las capacidades de proceso de las

herramientas de hardware y software, se hace posible el planteamiento de estos estudios bajo una perspectiva más amplia y generalista.

Debido a la integración de modelos espaciales de variación continua, y a la gran importancia de las imágenes de satélite, la estructura adecuada es de tipo raster (Burrough, 1986), lo cual, por otra parte, permite tratar la información temática como bandas dentro de cualquier sistema de análisis de imagen.

## 2.- OBJETIVO

El presente trabajo forma parte de una más extenso en el que se pretende caracterizar climáticamente la provincia de Córdoba. Dicho trabajo supone, en cierta medida, una revisión del Estudio Agroclimático de la Provincia de Córdoba desarrollado por el Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MAPA, 1.989). Los elementos que lo diferencian de él son los siguientes:

- \* Escala de trabajo.
- \* Incorporación de los datos de los últimos seis años.
- \* La utilización de la teledetección como fuente intensiva de datos, frente al carácter muestral de los estudios basados en estaciones meteorológicas.
- \* El uso e incorporación de los Sistemas de Información Geográfica como herramientas de análisis e integración.

## 3.- METODOLOGIA

Se han considerado dos fases dentro del desarrollo metodológico:

1.- *Alimentación del sistema.* En ella, y en función del objetivo general, se estudian y determinan las variables de interés a incorporar, así como las fuentes de información existentes y a utilizar. Todas las variables seleccionadas se incorporan al sistema. Los temas presentes en la cartografía tradicional se digitalizan, y se adopta un sistema común de referencia geográfica.

2.- *Análisis.* Se desarrolla en un estudio multivariante con todas aquellas variables entre las que se presupone una cierta relación funcional o empírica. Para ello, se utilizan técnicas de regresión y de análisis multivariante. El estudio se desarrolla sobre el total de la provincia y sobre zonas homogéneas en relación a ciertas variables determinadas como predominantes.

### 3.1.- Introducción de variables

Los temas que en un principio se consideraron de interés son los que se presentan en la Tabla I, en la que, junto a cada variable, se mencionan las fuentes de procedencia.

En la fase actual del trabajo se han introducido en el sistema la mayoría de las variables citadas. Sobre ellas, cabe realizar las siguientes consideraciones:

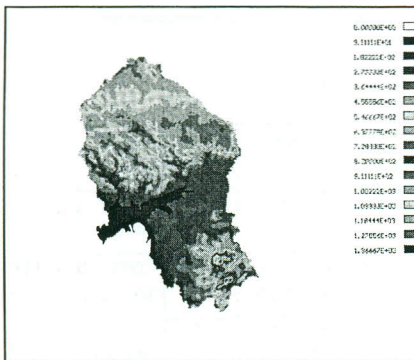
1.- En cuanto a los datos meteorológicos y climáticos (temperaturas, precipitación, etc...), dada la resolución espacial del trabajo se ha adoptado una escala temporal basada en el mes como unidad, a fin de hacer manejable el gran volumen de información que se origina.

2.- En relación a las imágenes de satélite, se decidió utilizar las procedentes de NOAA, frente a METEOSAT, fundamentalmente, por sus resoluciones espectral y espacial. La información de partida la constituye un conjunto de 120 imágenes (una por mes) para el período de estudio de los últimos 10 años. De estas imágenes se derivan los datos de albedo, temperatura e índices de vegetación.

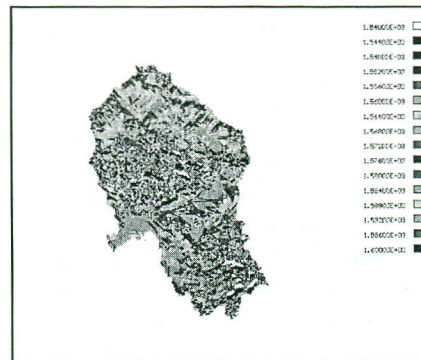
Albedo (NOAA)	Índice vegetación (NOAA)
Altimetría (IGN)	Inercia térmica (deriv.)
Concavidad/conxevidad (deriv.)	Masas de Agua (SGE)
Cubierta vegetal (MAPA)	Núcleos población (IGN)
Cuencas hidrog. (deriv.)	Orientación (deriv.)
Días de helada (IMN)	Pendiente (deriv.)
Distancia Atlántico Sur (deriv.)	Planimetría (IGN)
Edafología (varios, deriv.)	Precipitación (IMN)
Evapotranspiración (IMN, deriv.)	Centrales térmicas (IGN)
Geología/litología (IGME)	Radiación solar (IMN)
Horas insolación real (IMN, deriv.)	Régimen de vientos (IMN)
Horas insolación teóricas (IMN,deriv.)	Temperaturas (IMN)
Humedad del suelo (deriv.)	

**Tabla I.** Variables del estudio y fuentes de documentación

3.- La información altimétrica, así como la de tipo geológico, cultivos y aprovechamientos, etc... se han introducido a partir de la digitalización de los mapas a escala 1:200.000 que editan los diversos organismos productores. Con ello se ha confeccionado el modelo digital de elevaciones del terreno (Figura 1), y a partir de él, mediante algoritmos de desarrollo propio (Ariza, 1994), los modelos de insolación (Figura 2).



**Figura 1.-** MDT de la Provincia de Córdoba



**Figura 2.-** Modelo de radiación anual

4.- Finalmente, dado que toda la información anteriormente enumerada posee diversos orígenes, escalas, calidades, y formatos, se hizo indispensable homogeneizarla mediante la adopción de un sistema de referencia único y un formato común. La estructura adoptada para las imágenes fueron: formato raster; resolución de 100 x 100 m<sup>2</sup>; proyección UTM sobre elipsoide internacional.

### 3.2.- Análisis

A ciertas variables del estudio puede presuponérseles una cierta relación funcional caracterizada por una determinada expresión matemática (por ejemplo entre la radiación interceptada por la superficie y el binomio orientación-pendiente). Otras, en cambio, no dependen explícita o matemáticamente de las demás, pero si cabe encontrar para ellas funciones estocásticas que ligen los fenómenos. Tal es el caso, por ejemplo, de la temperatura con respecto a otros factores. El análisis está fundamentalmente centrado sobre



el segundo grupo y pretende identificar y caracterizar las dependencias existentes entre las variables; y como consecuencia de ello, obtener un mapa de zonas de comportamiento homogéneo.

Las herramientas de análisis utilizadas son técnicas de regresión simple y múltiple, test de hipótesis sobre igualdad o diferencia entre variables y análisis multivariante (cluster).

A partir de la serie de imágenes NOAA se prevé también la realización de un análisis de Fourier sobre la serie de datos de albedo, temperatura e índice de vegetación, con el objeto de caracterizar los comportamientos estacionales de esas variables y detectar algún eventual cambio de tendencia.

#### 4.- RESULTADOS

Como avance del estudio planteado, se está obteniendo un conjunto de resultados parciales, en respuesta a los ensayos efectuados sobre la selección de imágenes NOAA, correspondientes al período comprendido entre Julio de 1.994 y Junio de 1.995, cuya misión no es otra que depurar el método de trabajo y conducir el proceso completo. La muestra de imágenes está constituida por una imagen mensual del período mencionado, cuya fecha responde al doble criterio de máxima proximidad al correspondiente día de Klein (Yañez, 1982) y la ausencia de nubes en la escena. Las dimensiones de las escenas son de 290 columnas x 350 filas.

	Primavera		Verano		Otoño		Invierno		Año	
	a b	r <sup>2</sup> %	a b	r <sup>2</sup> %	a b	r <sup>2</sup> %	a b	r <sup>2</sup> %	a b	r <sup>2</sup> %
Regadío	-.0119 305.23	63.58	-.0002 311.74	0.05	-.0130 299.58	57.11	-.0080 283.93	28.96	-.0075 300.31	48.41
Labor intensiva	-.0035 303.53	7.36	-.0002 312.20	0.01	-.0007 298.14	0.14	-.0035 283.20	43.26	-.0007 299.58	0.25
Olivar	-.0096 306.53	64.63	-.0030 312.45	9.88	-.0053 298.46	20.85	-.0020 282.36	12.03	-.0054 300.54	74.18
Matorral	-.0041 303.99	15.44	-.0016 311.59	2.80	-.0026 295.89	17.49	-.0028 282.53	12.65	-.0026 298.86	34.64
Labor extensiva	-.0074 308.98	5.30	-.0018 311.59	0.58	-.0049 298.19	4.00	-.0023 279.28	4.00	-.0041 300.90	41.27
Coníferas	-.0001 302.19	0.05	-.0030 311.80	4.85	-.0007 297.07	0.36	-.0032 282.24	6.30	-.0019 298.35	6.52
Total Provincia	-.0031 304.73	15.40	-.0032 312.58	14.43	-.0059 298.67	26.37	-.0037 283.00	6.24	-.0038 300.15	47.45

Tabla II.- Funciones de regresión entre la temperatura (K) y la cota de la celdilla

Algunos de los resultados aquí expuestos son aún incompletos, debido a que el trabajo se encuentra en fase de ejecución y de depuración del método. La finalización del análisis en toda su extensión es previsible que suponga cambios en las tendencias que presentan algunos de los resultados numéricos parciales obtenidos. De otra parte, dada la magnitud del trabajo, se exponen a continuación sólo algunas de las conclusiones a las que se ha llegado. La presentación de los resultados no pretende ser exhaustiva, sino más bien un ejemplo de las muy diversas facetas de análisis que se pueden dar en los estudios de teledetección

integrados.

Como resultados del estudio se generan tres tipos de productos: a) funcionales, b) tabulares y c) cartográficos. Dentro de los primeros se ha constatado que la dependencia entre la temperatura y la cota de la celdilla está muy influenciada por variables como la naturaleza de la cubierta vegetal, el índice de vegetación y el intervalo de altitud al que pertenece el píxel. Con objeto de caracterizar más adecuadamente la relación funcional, se procedió a enmascarar sucesivamente la zona de estudio utilizando como base el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos (Figura 3), una fragmentación del índice de vegetación y la siguiente sucesión de intervalos de altitud: 100-200, 200-400, 400-600, 600-800, 800-1.500 m, que engloban, respectivamente, comarcas tan bien diferenciadas de la provincia de Córdoba como son el Valle del Guadalquivir, las Campiñas Baja y Media, la Sierra, el Valle de los Pedroches y las Subbéticas (MAPA, 1987). El estudio pone de manifiesto que estas dependencias responden bien al modelo de regresión lineal ( $t = aZ + b$ ) solamente en determinadas épocas del año y no en otras. Más aún, la variación de la temperatura con la altitud queda bien explicada sólo cuando hay predominancia de ciertos cultivos (el olivar, por ejemplo). La práctica del riego en las vegas del Guadalquivir introduce una distorsión notable en el ajuste de la temperatura de verano con respecto a la cota, empeorando la correlación existente entre las demás estaciones.

Zona	T. media (°C)	desv.típica	n (casos)
Provincia completa	25,45	1,3732	55.158
Regadío	25,87	1,1435	2.942
Labor intensiva	26,76	0,8207	10.457
Olivar	25,04	1,4570	12.927
Matorral	24,58	1,1366	9.395
Labor extensiva	25,52	1,1058	17.429
Coníferas	24,25	0,9423	2.003
100-200 m	26,56	0,9350	4.945
200-400 m	26,14	1,1098	16.358
400-600 m	25,19	1,2234	18.878
600-800 m	24,86	1,2282	13.640
800-1500 m	22,79	1,1079	1.454

**Tabla III.-** Valores medios y dispersiones de la temperatura en función de las zonas

Un resumen de los ajustes obtenidos se muestra en la tabla II, en la que las temperaturas, agrupadas estacionalmente como medias aritméticas entre las mensuales, vienen expresadas en  $K$ , las cotas en  $m$  y las ecuaciones de ajuste son del tipo  $t(K) = aZ(m) + b$ . En la Figura 4 se muestran algunas de las gráficas de regresión entre temperatura media anual ( $K$ ) y la cota media ( $m$ ) y el ajuste obtenido fragmentando el territorio en zonas homogéneas de vegetación, a partir de las clases del mapa de cultivos y aprovechamientos.

Se ha estudiado también la dependencia existente entre el tiempo diario de insolación directa, la orientación y la pendiente, en la medida en que puede ser un factor que explique, aún en modo parcial, la temperatura alcanzada por la celdilla. Sin embargo, de momento no se ha encontrado una influencia significativa.

Entre los datos tabulares, destaca la fragmentación de las temperaturas realizada a partir de las zonas de igual ocupación del suelo y de intervalos de altitud (Tabla III). La consistencia de tal fragmentación viene fundamentada en los test de comparación de medias, que señalan que, dos a dos, todas las medias de temperaturas son significativamente diferentes con una

confianza del 95%, salvo en dos casos. Uno por similitud de cubierta vegetal y otro por coincidencia espacial (Tabla IV).

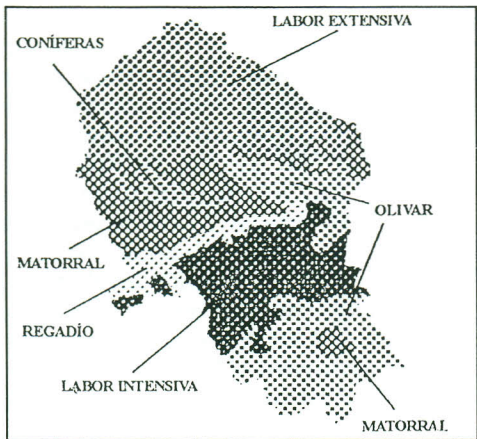


Figura 3.- Mapa de Aprovechamientos

Los resultados cartográficos son la expresión gráfica y espacial de las interacciones detectadas en el estudio. En la Figura 5 se muestra el agrupamiento estadístico de las temperaturas sobre el territorio, destacando la gran coincidencia visual que tiene dicha imagen con el mapa de cultivos y aprovechamientos de la provincia.

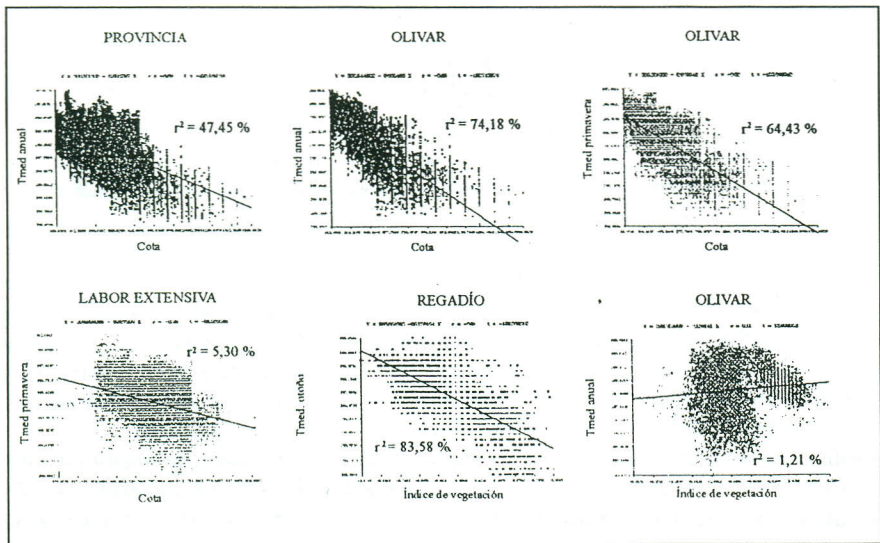


Figura 4.- Dependencia entre variables



	Provincia Completa	Regadio	Labor intensiva	Olivar	Matorral	Labor extensiva	Coníferas	100-200 m	200-400 m	400-600 m	600-800 m	800-1500 m
Provincia Completa	X											
Regadio	* X											
Labor intensiva	* * X											
Olivar	* * * X											
Matorral	* * * * X											
Labor extensiva	* * * * * X											
Coníferas	* * * * * X * X											
100-200 m	* * * * * * * X											
200-400 m	* * * * * * * X											
400-600 m	* * * * * * * X											
600-800 m	* * * * * X * * * * X											
800-1500 m	* * * * * * * * * * X											

\* Medias significativamente diferentes  
X Medias iguales  
(Nivel de confianza: 95%)

Tabla IV.- Consistencia de la fragmentación térmica por zonas.

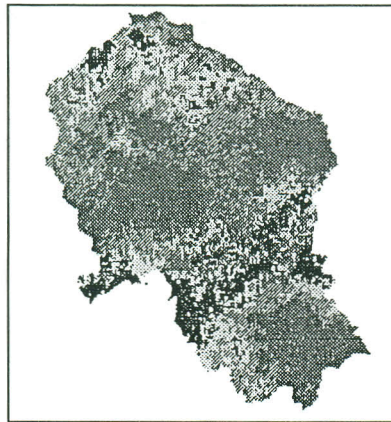


Figura 5.- Agrupamiento estadístico de las temperaturas sobre el territorio (C. 23)

## 5.- CONCLUSIONES

Los resultados del estudio multivariante permiten establecer un conocimiento más preciso de las interacciones que existen entre los factores contemplados, los cuales, cuando se trata de un estudio bivariante, pueden quedar enmascarados *a priori* por la acción de algún tercero. Existe una clara relación entre las horas de sol teóricas y las variables pendiente y orientación. Sin embargo, en la zona de estudio, caracterizada por pendientes relativamente suaves, la dependencia que de ellas tiene la temperatura detectada por NOAA resulta muy atenuada, como consecuencia de la interacción de otros factores todavía no cuantificados, como podrán ser la inercia térmica y el efecto convectivo del movimiento atmosférico.

La temperatura presenta una estrecha dependencia de la latitud cuando se estudian superficies ocupadas por determinados cultivos. La extracción de temperaturas anuales mediante promedio de las mensuales suaviza los valores, enmascarando esa tendencia.

El uso de características geográficas permanentes (cota, orientación, pendiente, litología, ocupación del suelo y tiempo diario de insolación) permite establecer una sólida fragmentación del territorio en zonas de comportamiento térmico homogéneo.

## 6.- REFERENCIAS

- Ariza, F.J., 1994. *Electrificación Fotovoltaica versus Electrificación Convencional. Fragmentación del Territorio según Viabilidad Económica mediante Sistemas de Información Geográfica*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, 200 p.
- Artacho, C., 1991. *Caracterización Estocástica de las principales Variables Meteorológicas que Influyen en la Evapotranspiración*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, 266 p.
- Baldasano, J.M., 1992. Trabajos para la realización de los Mapas Eólicos y de Radiación de Cataluña. *VI Trobades Científiques de la Mediterrania*. Generalitat de Catalunya, CIRIT. Barcelona, pp 37 - 55.
- Burrough, P., 1986. *Principles of Geographical Information Systemes for Land Resources Assesment*. Clarendon Press, Oxford, 193 p.
- Hiser, H., 1980. Mesoscale Mapping of Available Solar Energy at the Earths Surface by use of Satellites. *Solar Energy*, Pergamon Press Ltd, New York. 24: 129-141.
- López, R., 1993. *Caracterización del Balance Energético en Instalaciones Fotovoltaicas Autónomas en la España Peninsular*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba, 160 p.
- Mulders, M., 1987. *Remote Sensing in Soil Sciences*. Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, 379 p.
- MAPA, 1.986. *Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de la Provincia de Córdoba. E 1:200.000*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación-SGT, Madrid, 136 p.
- MAPA, 1.982. *Caracterización Agroclimática de la Provincia de Córdoba*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación-SGT, Madrid, 184 p.
- Pinilla, C., 1995. *Elementos de Teledetección*. Ra-Ma. Madrid, 313 p.
- Yañez, G., 1982. *Energía Solar, Edificación y Clima* (Tomo I). Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid. 584 p.
- Yañez, G., 1982. *Energía Solar, Edificación y Clima* (Tomo II). Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid. 400 p.