El clima de los suelos de la Cuenca del Ebro. II. Regímenes de temperatura

Por J.L. ARRUE, F. ALBERTO y J. MACHIN

Estación Experimental de Aula Dei. ZARAGOZA

Recibido el 3-IX-84

ABSTRACT

J.L. ARRUE, F. ALBERTO and J. MACHIN. 1984. Soil climate in the Ebro River Basin, Spain. II. Soil temperature regimes. *An. Aula Dei* 17 (1/2): 21-32.

Estimates of soil temperature regime for 223 sites in the Ebro River Basin were made according to Newhall's model and a general equation to predict the mean annual soil temperature (MAST) from air temperature is proposed. Mapping soil temperature regimes in the basin was done locating cryic/mesic/thermic boundaries (8 and 15 °C MAST isolines) in the main subbasins from linear regression equations of MAST against elevation. Mesic soils are most extensive (53%) followed by thermic (43%) and cryic (4%) soils. The average soil temperature altitudinal gradient is —0.54 °C/100 m. Using data from 58 stations of the Ebro River water quality monitoring network, a linear regression prediction equation was developed for estimating mean annual water temperature with changes in elevation (—0.71 °C/100 m). The potential usefulness of this relationship, along with that existing between altitude and MAST, to infer soil and air temperatures is discussed.

INTRODUCCION

En determinados problemas ecológicos se ha comprobado que la sola consideración de variables climáticas atmosféricas no es suficiente para explicar el comportamiento físico, químico y biológico del suelo, sino que es necesario recurrir al clima del propio suelo, concepto éste cada vez más difundido.

Por su importante relación con el crecimiento de las plantas (Cooper, 1973, Landsberg y Cutting, 1977), la temperatura del suelo es un parámetro bioclimático cuya modificación mediante sistemas de cultivo (Cornillon, 1980; Wierenga et al., 1982) es práctica habitual para la optimización de la producción. Igualmente, la temperatura del suelo se contempla como propiedad esencial en el estudio de procesos edafogenéticos, de ahí su utilidad como elemento de diagnóstico en clasificación de suelos (Soil Survey Staff, 1975; Canada Soil Survey Committee, 1978).

Sin embargo, y a pesar de las reiteradas recomendaciones que desde hace tiempo se han hecho (Blanc, 1958), son tales las atenciones que entraña la medición de la temperatura del suelo que en muy pocas estaciones se registra esta variable de forma sistemática, por lo que es frecuente acudir a estimaciones de la misma en función de la temperatura del aire (Smith et al., 1964; Toy et al., 1978; Reimer y Shaykewich, 1980).

Ya que las consideraciones anteriores son plenamente válidas en la Cuenca del Ebro, el objetivo del presente trabajo es presentar en una primera aproximación el régimen de temperatura de sus suelos, estimado a partir de datos de temperatura del aire, ofreciendo alternativas provisionales de predicción dada la escasez de medidas directas existentes.

ESTIMACION DEL REGIMEN DE TEMPERATURA DE LOS SUELOS

Los parámetros que definen el régimen de temperatura del suelo según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), temperatura media anual a 50 cm de profundidad y diferencia entre las temperaturas medias de verano e invierno a dicha profundidad, se estimaron en 223 estaciones climáticas de la Cuenca del Ebro a partir de los valores medios mensuales de la temperatura del aire (Liso y Ascaso, 1969). Para ello se utilizó el mismo modelo (Newhall, 1976) que el empleado en la estimación de los regímenes de humedad del suelo (Alberto et al., 1984).

Tres han sido los regímenes de temperatura identificados: térmico (116 estaciones), mésico (102) y cryico (5). Este reparto es consecuencia de haber asumido en el programa de cálculo (Tavernier y Van Wambeke, 1976 a) que en toda la Cuenca del Ebro la temperatura media anual del suelo (TMAS) es superior a la temperatura media anual del aire (TMAA) en 2,5 ^{o}C (Cuadro 1). Llegados a este punto parece conveniente recordar que la elección de la constante de transformación de la TMAA es importante no sólo por su papel en la estimación del régimen térmico del suelo —obsérvese en el Cuadro 1 la distribución que puede darse en nuestro caso de estudio según diferentes constantes— sino también por su incidencia en el régimen de humedad (Billaux, 1976).

CUADRO 1.— *Distribución del régimen de temperatura del suelo en 223 estaciones climáticas de la cuenca del Ebro para diferentes constantes de conversión utilizadas en la estimación de la temperatura media anual del suelo.*

Constante de conversión	*Térmico*		*Mésico*		*Cryico*	
	Estaciones	%	*Estaciones*	%	*Estaciones*	%
+ 2,5 °C	116	52,0	102	45,7	5	2,2
+ 2,0 °C	102	45,7	115	51,6	6	2,7
+ 1,5 °C	77	34,5	139	62,3	7	3,1
+ 1,0 °C	50	22,4	166	74,4	7	3,1

La transformación que sugiere la Soil Taxonomy (TMAS = TMAA + 1,0), basada en las relaciones encontradas por Smith et al. (1964) en los suelos de Estados Unidos y con la que algunos autores parecen disentir (Toy et al., 1978), necesita modificarse cuando las condiciones climáticas del área de estudio se apartan de las de referencia o cuando se dispone en ella de una red meteorológica aceptable. En el Cuadro 2 se presentan algunas de las transformaciones utilizadas en la estimación del régimen térmico del suelo según la Soil Taxonomy, así como las diferencias reales observadas en algunos lugares, que, como puede verse, presentan una gran variabilidad tanto puntualmente como dentro de una misma región.

Las diferentes constantes de transformación halladas en la bibliografía presuponen la existencia de una correlación entre TMAS y TMAA representada por una recta paralela a la de ecuación y = x, con pendiente la unidad por tanto, y con un término independiente positivo que representa precisamente la constante de transformación.

Con relación a los suelos de España, las constantes empleadas (1,0 °C, Lázaro y et al. (1978) e Ingelmo y Cuadrado (1981), y 2,5 °C, Tavernier y Van Wambeke (1976 a) y este trabajo) no reflejan más que de forma aproximada las diferencias que en conjunto pueden darse en la práctica como respuesta a la gran variabilidad climática de nuestro país. Sería deseable, pues, emplear la alternativa que propugnan algunos autores (Toy et al., 1978), esto es, la utilización de ecuaciones generales como técnica de predicción más apropiada.

Lamentablemente, en España la red de medida de temperatura del suelo apenas está desarrollada. No obstante, con los datos relativos a las estaciones meteorológicas del CSIC en Jaca (Creus, 1978), Santiago de Compostela (Díaz-Fierros et al., 1973), Sevilla (J. Martín Aranda, comunicación perso-

CUADRO 2.— *Diferencia entre la temperatura media anual del suelo (TMAS) y la del aire (TMAA) en algunos lugares: A) medidas directas y B) estimaciones utilizadas en la clasificación del régimen de temperatura del suelo según la Soil Taxonomy (SOIL SURVEY STAFF, 1975).*

Localidad	*Prof. suelo (cm)*	*TMAS - TMAA (°C)*	*Referencia*
		A	
Montana, E.E.U.U.	50	— 2,2 a 2,2	Mueller (1970)
Irkutsk, U.R.S.S.	60	— 1,3	Soil Survey Staff (1975)
Montes Apalaches, E.E.U.U.	50	0,2 a 2,0	Carter y Ciolkosz (1980)
Montana, E.E.U.U.	60	0,3	Soil Survey Staff (1975)
Washington, E.E.U.U.	60	0,5	Soil Survey Staff (1975)
Belgrado, Yugoslavia	60	0,7	Soil Survey Staff (1975)
Illinois, E.E.U.U.	60	1,1	Soil Survey Staff (1975)
Jaipur, India	60	1,9	Soil Survey Staff (1975)
Idaho, E.E.U.U.	60	2,5 a 3,0	McDole y Fosberg (1974)
Texas, E.E.U.U.	60	3,0	Fluker (1958)
Colombo, Sri Lanka	60	3,2	Soil Survey Staff (1975)
Idaho, E.E.U.U.	—	2,3 a 3,6	McDole y Fosberg (1974)
		B	
South Island, Nueva Zelanda	30	0,9	Aldridge (1977)
E.E.U.U.	50	1,0	Newhall (1976)
Maghreb, Africa del Norte	50	1,5	Tavernier y Van Wambeke (1976 b)
North Island, Nueva Zelanda	30	1,6	Aldridge (1977)
España	50	2,5	Tavernier y Van Wambeke (1976 a)

nal) y Zaragoza (este trabajo) se ha establecido (v. Fig. 1) la regresión lineal entre TMAS y TMAA, cuya ecuación:

$$TMAS = 1{,}145\ (TMAA) - 0{,}432, \qquad R^2 = 0{,}974$$

puede utilizarse, en tanto no se amplíe la mencionada red de control, para estimar la temperatura media anual del suelo en cualquier punto de la península con sólo disponer en él de datos de temperatura del aire.

Aplicando esta ecuación a los valores de TMAA de las estaciones de la Cuenca del Ebro consideradas en este trabajo, el reparto resultante de regímenes térmicos es el siguiente: 77 estaciones térmicas (34,5%), 137 mésicas (61,4%) y 9 cryicas (4,0%), aproximadamente la distribución resultante de aplicar (Cuadro 1) una constante de corrección de 1,5 °C.

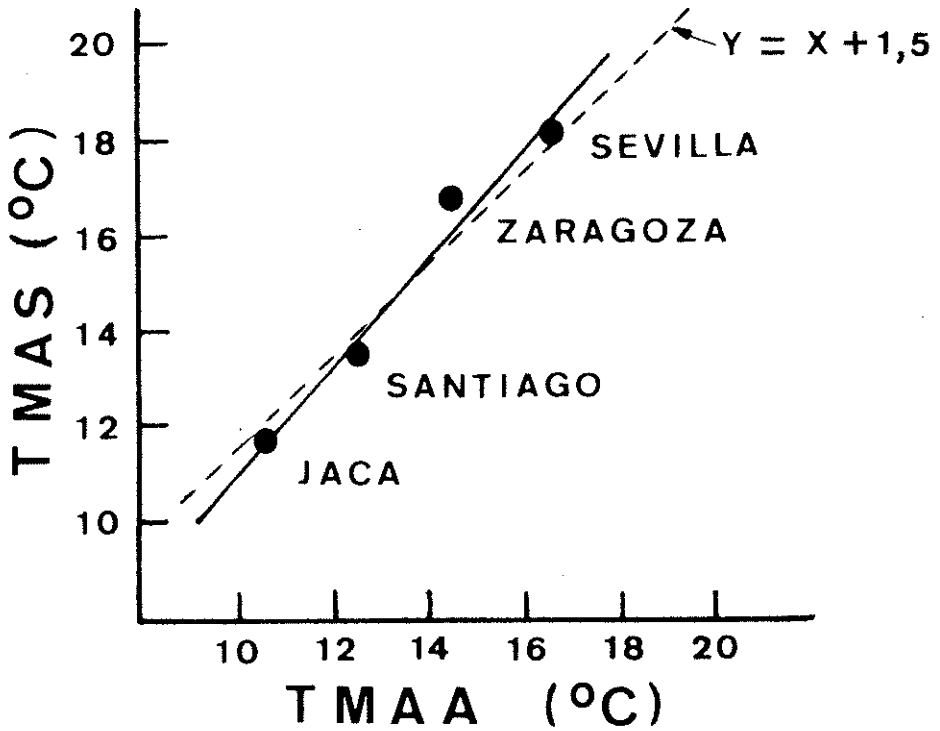

FIG. 1. — Relación general entre la temperatura media anual del aire (TMAA) y la temperatura media anual del suelo (TMAS).

RELACIONES ENTRE REGIMENES DE TEMPERATURA Y PARAMETROS GEOGRAFICOS

Al igual que en el caso de los regímenes de humedad del suelo de la Cuenca del Ebro (Alberto et al., 1984), se analizaron las relaciones entre los parámetros que definen los regímenes de temperatura del suelo y la altitud de las estaciones agrupadas por subcuencas. Así, sustituyendo en las ecuaciones de regresión lineal establecidas entre TMAS y altitud (ALT) los valores límite de TMAS que la Soil Taxonomy utiliza para clasificar los regímenes térmicos (15 °C entre térmico y mésico y 8 °C entre mésico y cryico) se obtuvieron las altitudes a las que tiene lugar el paso de un régimen a otro (Cuadro 3).

Salvo en las subcuencas de los ríos Aragón y Noguera Pallaresa, en aquéllas otras con posibilidades de poseer también suelos con régimen cryico, el límite altitudinal de este régimen se estableció según la regresión utilizada para fijar el contacto térmico-mésico.

La regresión lineal entre altitud y TMAS para el conjunto de la cuenca se ha representado en la Fig. 2 y responde a la ecuación:

$$TMAS = 18{,}1597 - 0{,}0054\ (ALT), \quad R^2 = 0{,}813$$

CUADRO 3.— *Correlación entre altitud y temperatura del suelo para las principales subcuencas del Valle del Ebro y límites altitudinales entre regímenes de temperatura en cada una de ellas.*

Subcuenca	*Dist. media al mar*	*Térmico - Mésico*			*Mésico - Cryico*		
		n	*r*	*Altitud límite*	*n*	*r*	*Altitud límite*[1]
	km			*msnm*			*msnm*
Cabecera	436	12	—0,85**	460	—	—	—
Zadorra	362	6	—0,53	500	—	—	—
Arga	289	15	—0,93**	430	—	—	—
Aragón	240	15	—0,95**	560	6	—0,99**	1610
Gállego	182	15	—0,97**	530	—	—	(1740)
Alcanadre-Flúmen	138	11	—0,94**	720	—	—	(2160)
Cinca	115	26	—0,87**	630	—	—	(2040)
Noguera Ribagorzana	84	18	—0,95**	640	—	—	(1950)
Noguera Pallaresa	72	23	—0,92**	570	13	—0,96**	1810
Segre	48	23	—0,92**	560	—	—	(2030)
Najerilla-Iregua	333	12	—0,98**	520	—	—	(1820)
Queiles-Huecha	230	8	—0,93**	570	—	—	(1810)
Jalón	200	6	—0,74	1070	—	—	—
Jiloca	166	10	—0,91**	750	—	—	—
Guadalope	74	11	—0,84**	710	—	—	—
Delta	33	11	—0,63	870	—	—	—

** Significación al nivel 0,01.

1 Los valores entre paréntesis se han deducido de la regresión que delimita el contacto térmico-mésico.

Según esta ecuación, la altitud del contacto térmico-mésico estaría a 585 metros y a 1650 la del contacto mésico-cryico, por lo que en áreas donde por falta de estaciones no se hayan establecido otros valores, dichas altitudes podrían ser consideradas en el trazado de las correspondientes isotermas.

Por otra parte, el gradiente térmico altitudinal es —0,54 °C/100 m, comparable con el máximo de —0,5 °C/100 m sugerido por Smith et al. (1964) o con los valores de —0,63 °C/100 m observados por Gloyne (1971) en Gran Bretaña.

En relación con la participación de la distancia al mar en los regímenes de temperatura del suelo se ha observado (Fig. 3) que a partir de la subcuenca formada por los ríos Alcanadre y Flúmen se invierte la tendencia a aumentar la altitud de la isoterma de 15 °C (contacto térmico-mésico) con el des-

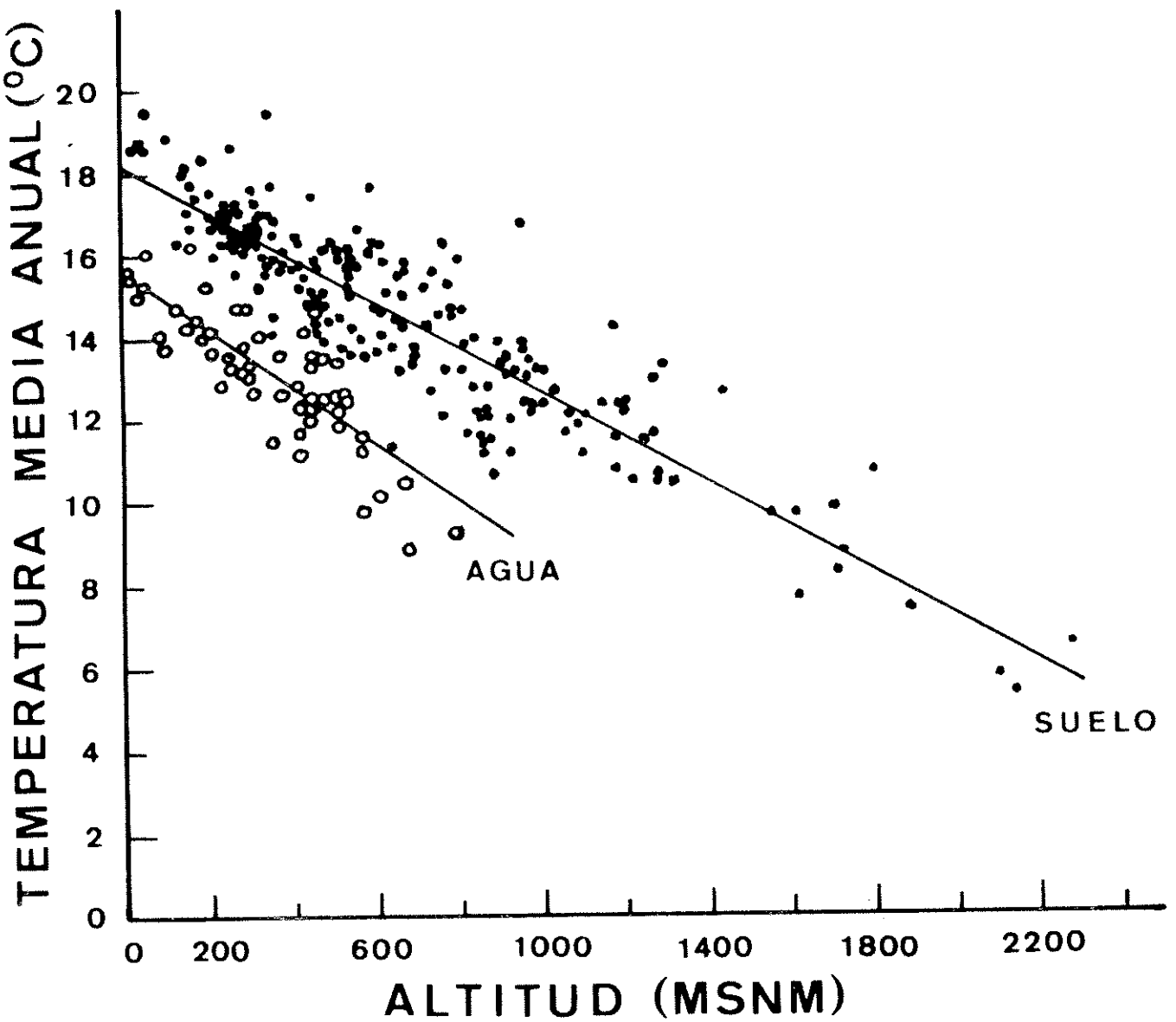

FIG. 2. — Relaciones entre las temperaturas medias anuales del suelo y del agua con la altitud en la Cuenca del Ebro.

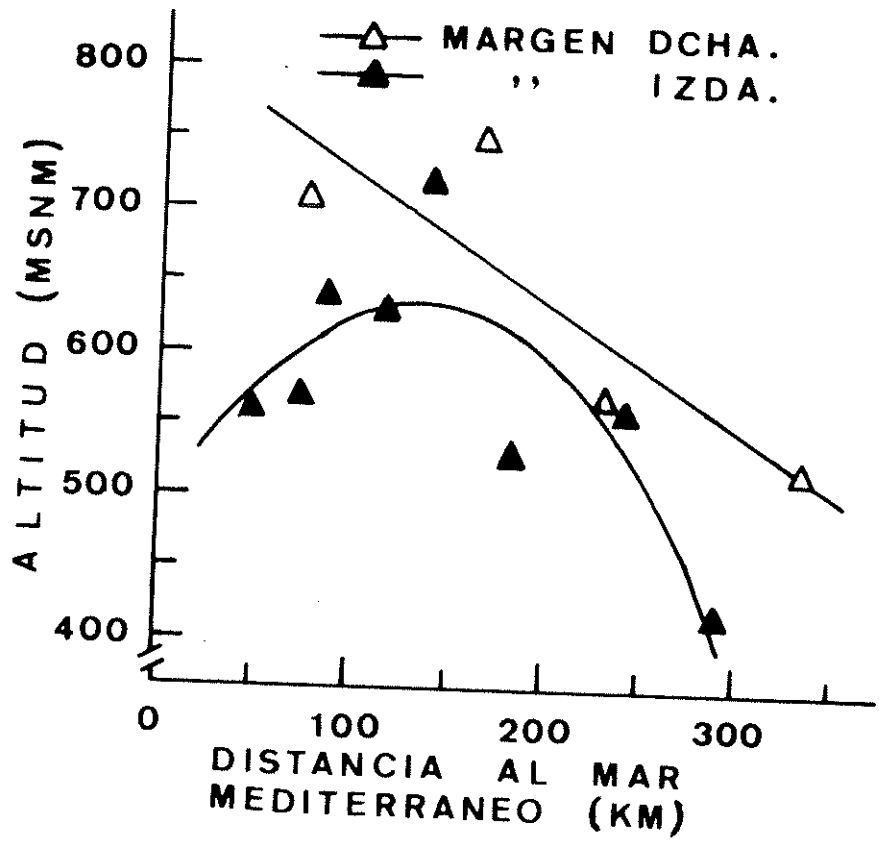

FIG. 3. — Variación con la distancia al mar de la altitud del contacto térmico-mésico en diferentes subcuencas del río Ebro.

censo de la distancia al Mediterráneo que presentan las subcuencas de la márgen derecha. La explicación a este hecho podría estar en un efecto "refrigerante" de los Pirineos: enfriamiento del aire descendente por laś laderas —mayor a mayor masa y altitud del tramo pirenáico correspondiente— en contraposición al efecto cálido del Mediterráneo. El resultado final sobre la temperatura del suelo podría ser contemplado como el de una situación de inversión térmica estacional.

DELIMITACION DE LOS REGIMENES DE TEMPERATURA DEL SUELO EN LA CUENCA DEL EBRO

Dado que en la Cuenca del Ebro no existen suelos con régimen de temperatura hiper o isohipertérmico (TMAS $\geqslant$ 22 ^{o}C) y que en todos los casos la diferencia entre las temperaturas medias de verano e invierno a 50 cm de profundidad es mayor de 5 ^{o}C, para establecer la distribución de los regímenes realmente presentes bastará, en una primera aproximación, delinear las isotermas de 8 y 15 ^{o}C. Con ello quedarán delimitadas las áreas de régimen cryico (TMAS $<$ 8 ^{o}C), mésico (TMAS entre 8 y 15 ^{o}C) y térmico (TMAS entre 15 y 22 ^{o}C).

Los criterios altitudinales expuestos en el apartado anterior permitieron el trazado de las citadas isotermas siendo la distribución final resultante la que se presenta en la Fig. 4. Según este mapa, aproximadamente el 43% de la superficie de la cuenca posee régimen de temperatura térmico, mésico el 53% y cryico el 4% restante, ocupado por las zonas pirenáicas de altitud superior a los 1800 metros y una pequeña superficie en el área del Moncayo.

REGIMENES DE TEMPERATURA DEL SUELO Y TEMPERATURA DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

Si bien las referencias sobre el régimen térmico de las aguas superficiales, especialmente los ríos, son escasas (Crowther, 1982) y los datos relativos a tales regímenes difíciles de obtener, algunos autores han propuesto utilizar las temperaturas de las aguas naturales como indicadoras de las del suelo y aire en áreas elevadas o de difícil acceso (Pitty, 1981).

En este sentido, y disponiendo para la Cuenca del Ebro de las temperaturas del agua en las estaciones de la red oficial de control de calidad (Anuarios sobre Análisis de la Calidad de las Aguas, M.O.P.U.) se pensó relacionar dichas temperaturas con las del suelo, pero ya que éstas últimas se han estimado a partir de las del aire se creyó más conveniente establecer tal relación a través de la existente entre la altitud de la estación y la temperatura media anual del agua (TMAAG) (Fig. 3).

La correlación encontrada, de ecuación:

$$TMAAG = 15{,}6924 - 0{,}0071\ (ALT),\ R^2 = 0{,}648$$

obtenida con los datos del período 1972-82 en 58 estaciones, y la existente entre altitud y TMAS (Fig. 3) podrían, por tanto, utilizarse de forma combinada para inferir en áreas con escasez de datos climáticos las temperaturas medias del aire y suelo. Igualmente, podrían ayudar en el trazado de isotermas en dichas áreas.

El gradiente térmico de la temperatura del agua, que supone —0,71°C por cada 100 metros de desnivel, coincide prácticamente con el de —0,74 °C/100 m que encuentra Pitty (1981) en el noroeste de Yorkshire, Gran Bretaña, y se aparta, en cambio, del de — 0,56 °C/100 m que el mismo autor obtiene en Derbyshire.

Finalmente, la aceptable correlación comentada anteriormente entre TMAS y TMAA (Fig. 1) no se repitió al analizar para las mismas estaciones las relaciones de la temperatura media anual del agua —se tomó la de la estación de calidad de agua más próxima a la estación meteorológica— con las del suelo y aire. Habrá que esperar, por tanto, a disponer en España de una red de medida de la temperatura del suelo y del agua mucho más amplia que la actual a fin de poder establecer ecuaciones de predicción aplicables a cualquier punto de la geografía nacional.

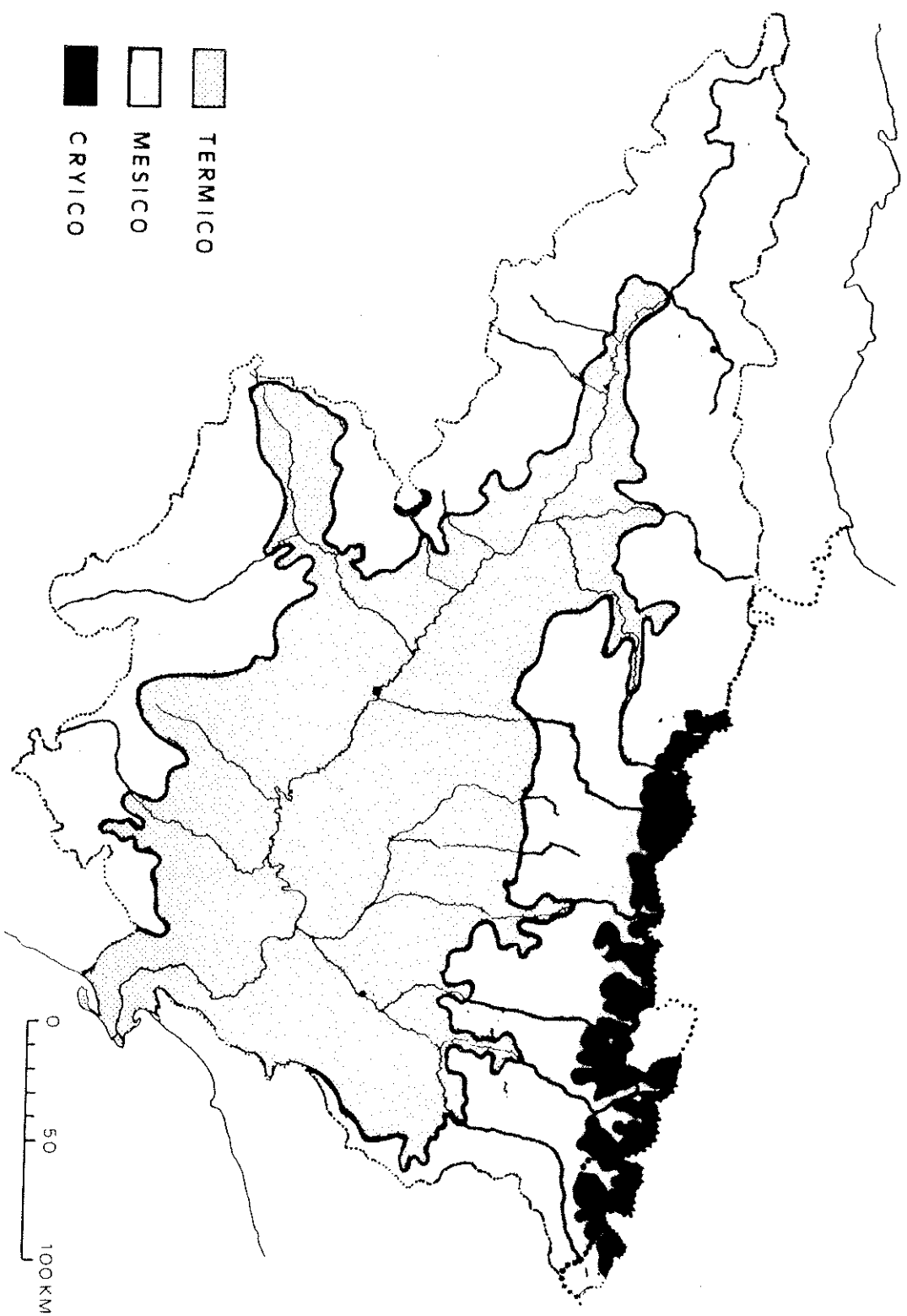

FIG. 4. — Distribución de los regímenes de temperatura del suelo en la cuenca del Ebro según el modelo de Newhall.

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra la distribución del régimen de temperatura del suelo de la Cuenca del Ebro obtenida aplicando el modelo matemático de Newhall a 223 estaciones climáticas. El trazado de las isotermas de 8 y 15 °C se efectuó en función de los límites altitudinales deducidos de las correlaciones entre temperatura media anual del suelo (TMAS) y altitud en la principales subcuencas. Los suelos con régimen mésico ocupan aproximadamente el 53% de la cuenca, seguidos de los de régimen térmico (43%) y cryico (4%). Se analizan los inconvenientes del método convencional de estimación de TMAS y se propone en su lugar el empleo de una ecuación de predicción general. Por otra parte, se presenta la correlación existente entre altitud y temperatura media anual del agua (obtenida con los datos de 58 estaciones de la red oficial para el control de la calidad de las aguas) y se discute la utilidad de dicha relación en la estimación de las temperaturas del suelo y del aire. Los gradientes altitudinales de las temperaturas del suelo y del agua en la cuenca son —0,54 y —0,71 °C/100 m, respectivamente.

REFERENCIAS

Alberto, F.; J.L. Arrúe y J. Machín. (1984). El clima de los suelos de la Cuenca del Ebro. I. Regímenes de humedad. *An Aula Dei*, **17(1-2)**: 7-20.

Aldridge, R. (1977). The aplication of soil temperature regimes as defined in Soil Taxonomy to the New Zealand situation. *Proc. 25th New Zealand Soil Bureau Conference, D.S.I.R., New Zealand*, pp. 43-48.

Billaux, P. (1978). Estimation du "régime hydrique" des sols au moyen des données climatiques. La méthode graphique: son utilization dans le cadre de la Taxonomie américaine des sols. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* **16**: 317-338.

Blanc, M.L. (1958). The climatological investigation of soil temperature. *World Meteorological Organization Technical Note No. 20.*

Canada Soil Survey Committee (1978). The canadian system of soil classification. *Canada Department of Agriculture, Publ. 1646*, 164 p.

Carter, B.J. and E.J. Ciolkosz (1980). Soil temperature regimes of the Central Appalachians. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 1052-1058.

Cooper, A.J. (1973). Root Temperature and Plant Growth. *Research Rev. No. 4. Comm. Bur. Hort. Plant. Corps, C.A.B.*

Cornillon, P. (1980). Etude bibliographique. Incidence de la température des racines sur la croissance et le developpement des plantes. *Ann. agron.* **31**: 63-84.

Creus, J. (1978). Estudio de las temperaturas del suelo en Jaca (Huesca). *Trabajos Compostelanos de Biología* **6**: 69-86.

Crowther, J. (1982). The thermal characteristics of some West Malaysian rivers. Malay. *Nat. J.* **35**: 99-108.

Díaz-Fierros, F.; M.C. Grandal y F. Guitián (1973). Estudio de la variación diaria y estacional de la temperatura de un suelo gallego. *An. Edafol. Agrobiol.* 32: 1119-1133.

Fluker, B.J. (1958). Soil temperatures. *Soil Sci.* **86**: 35-46.

Gloyne, R.W. (1971). A note on the average annual mean of daily earth temperature in the United Kingdom. *Meteorol. Mag.* **100**: 1-6.

Ingelmo, F. y S. Cuadrado (1981). Ensayo de clasificación climática de suelos de la cuenca del Duero. *An. Cent. Edafol. Biol. Apl. Salamanca*, vol. VII, pp. 181-194.

Landsberg, J.J. and C.V. Cutting (1977). Environmental Effects on Crop Physiology. *Academic Press.*

Lazaro, F. F. Elias y M. Nieves (1978). Regímenes de humedad de los suelos de la España peninsular. *Colección Monografías. I.N.I.A.* núm. 20.

Liso, M. y A. Ascaso (1969). Introducción al estudio de la evapotranspiración y clasificación climática de la Cuenca del Ebro. *An. Aula Dei* **10**: 524 pp.

McDole, R.E. and M.A. Fosberg (1974). Soil temperatures in selected southeastern Idaho soils. I. Evaluation of sampling techniques and classification of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **38**: 480-486.

Mueller, O.P. (1970). Soil temperature regimes in a forested area of the Northern Rockies. *Soil Sci.* **109**: 40-47.

Newhall, F. (1976). Calculation of soil moisture regimes from the climatic record. *Report SCS, USDA, Washington, D.C.*

Pitty, A.F. (1981). The use of natural water temperatures as a guide to upland temperature regimes in air and soil. *Agric. Meteorol.* **24**: 219-222.

Reimer, A. and C.F. Shaykewich (1980). Estimation of Manitoba soil temperatures from atmospheric meteorological measurements. *Can. J. Soil Sci.* **60**: 299-309.

Smith, G.D., F. Newhall L.Robinson, and D. Swanson (1964). Soil temperature regimes: their characteristics and predictability. *USDA, SCS, SCS-TP* **144**.

Soil Survey Staff (1975). Soil Taxonomy. *Agric. Handbook No. 436, USDA, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.*

Tavernier, R. y A. Van Wambeke (1976 a). Determinación del régimen hídrico de los suelos de España según el modelo matemático de Newhall. *Agrochimica* **20**: 406-412.

Tavernier, R. et A. Van Wambeke (1976 b). Determination du régime hydrique des sols du Maghreb d'aprés Newhall. *Pédologie, Gand* **26**: 168-178.

Toy, T.J., A.J. Kuhaida and B.E. Munson (1978). The prediction of mean monthly soil temperature from mean monthly air temperature. *Soil Sci.* **126**: 181-189.

Wierenga, P.J.; D.R. Nielsen, R. Horton and B. Kies (1982). Tillage effects on soil temperature and thermal conductivity. In: Predicting Tillage Effects on Soil Physical Properties and Processes. *ASA Special Publication No. 44, p. 69-90.*