

CAPITULO 1

INTRODUCCION

OBJETIVOS

A - MEDIO NATURAL: BREVE DESCRIPCION DE LA ZONA ESTUDIADA

- A.1 - Situación y límites
- A.2 - Municipios y recursos
- A.3 - Características fisiográficas
- A.4 - Suelos
- A.5 - Cultivos

B - REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS

- B.1 - Introducción
- B.2 - La sección control de humedad
- B.3 - Regímenes de humedad de los suelos; criterios para su determinación
 - B.3.1.- Régimen Aquic
 - B.3.2.- Regímenes Aridic y Torric
 - B.3.3.- Régimen Udic
 - B.3.4.- Régimen Ustic
 - B.3.5.- Régimen Xeric

C - EL MODELO SIMULATIVO DE F. NEWHALL (1976)

- C.1.- Introducción
- C.2 - Modelización del perfil del suelo
- C.3 - Simulación de la infiltración del agua
- C.4 - Simulación de la evapotranspiración
- C.5 - Tratamiento de las variables climáticas
- C.6- Cálculo del régimen de humedad
 - C.6.1.- La precipitación mensual
 - C.6.2.- La temperatura del suelo
 - C.6.3.- Determinación del régimen de humedad
- C.7.- Aplicaciones y modificaciones del modelo de Newhall

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Este trabajo es el resultado de una investigación llevada a cabo durante cuatro años sobre el concepto, determinación y estimación del régimen de humedad de los suelos, en el ámbito de una zona semiárida (el área meridional de Lleida) con el fin de elaborar un modelo simulativo de estimación del régimen de humedad de los suelos adaptado a la misma. Un segundo objetivo ha consistido en determinar cual es el régimen de humedad de los suelos estudiados , con el fin de poder establecer su clasificación ; al estar en duda de si el régimen era Aridic o no , la clasificación se veía afectada al máximo nivel , esto es , a nivel de Orden .

En concreto, puede decirse que este trabajo se ha elaborado teniendo en cuenta los siguientes:

OBJETIVOS

1) Profundizar en el estudio del concepto de régimen de humedad de los suelos y de su modelización matemática.

2) Mejorar el conocimiento de los parámetros físicos de los suelos de la zona estudiada, en particular: densidad aparente, curvas características de humedad, sección control de humedad y temperatura del suelo.

3) Profundizar en el estudio de los parámetros climáticos que intervienen en el régimen de humedad de los suelos y analizar su influencia e interrelación.

4) Tomando como referencia las discrepancias observadas entre los resultados obtenidos mediante el modelo simulativo propuesto por F. Newhall (1976) para estimar el régimen de humedad de los suelos y los datos de campo tomados en puntos de control del área meridional de Lleida, analizar las causas de las mismas y la aplicabilidad universal de dicho modelo.

5) Elaborar un nuevo modelo simulativo del régimen de humedad de los suelos adaptado a las condiciones semiáridas del área meridional de Lleida, que tenga en cuenta el resultado de los análisis anteriores.

6) Establecer las bases para mejorar el conocimiento sobre las disponibilidades de agua para los cultivos en el área meridional de Lleida.

7) Establecer las bases para la clasificación de estos suelos según su régimen de humedad, de acuerdo con Soil Taxonomy .

A - MEDIO NATURAL: BREVE DESCRIPCION DE LA ZONA ESTUDIADA

A.1. SITUACION Y LIMITES

Entre las zonas del ámbito de influencia de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de Lleida (ETSIAL) el área meridional de las tierras de Lleida en la parte occidental de Catalunya, conocida clásicamente como comarca "Les Garrigues", es una de las más interesantes para un estudio de este tipo por sus características climáticas y por la falta de información suficiente hasta el momento actual. En la figura 1 se representa el mapa de localización de la comarca (PORTA y col. 1983).

Se pueden considerar como límites naturales de la comarca los siguientes: al norte los llanos de Urgell y del Segrià; al sur la sierra de la Llena y sus estribaciones; por el sudeste limita con la Conca de Barberà y al oeste su límite es el río Segre. A los efectos de este trabajo se tomarán como referencia los límites mencionados, al igual que otros autores (PORTA y col., 1983) y se considerará el área meridional de Lleida como equivalente a "les Garrigues" aún cuando no se corresponde con la división administrativa actual sobre la cual no se entra en discusión. En consecuencia, la zona objeto de estudio tiene una extensión de 107600 ha (PORTA y col., 1983), de las cuales corresponden 83300 ha a la comarca administrativa actual. Tomando como referencia el mapa topográfico nacional a escala 1: 50000, corresponde a la totalidad de la hoja 416 (Maials) y a parte de las hojas 387 (Fraga), 388 (Lleida), 389 (Tàrrrega), 415 (Mequinzenza), 417 (Espluga de Francolí), 443 (Fabara) y 444 (Flix).

El cultivo de secano y en especial el olivar confieren una personalidad a esta comarca; pero precisamente no hay coincidencia exacta entre comarca y paisaje, pues por ejemplo Almatret, Maials o Llardecans (que no pertenecen a la comarca "Les Garrigues" actual) no son nada diferentes de Cervià o Castellsans, que pertenecen a la actual comarca. Por otra parte, en zonas como Vinaxa el olivo tiene menos presencia para dar paso a la vid que ocupa una parte no despreciable en el paisaje. En la zona norte

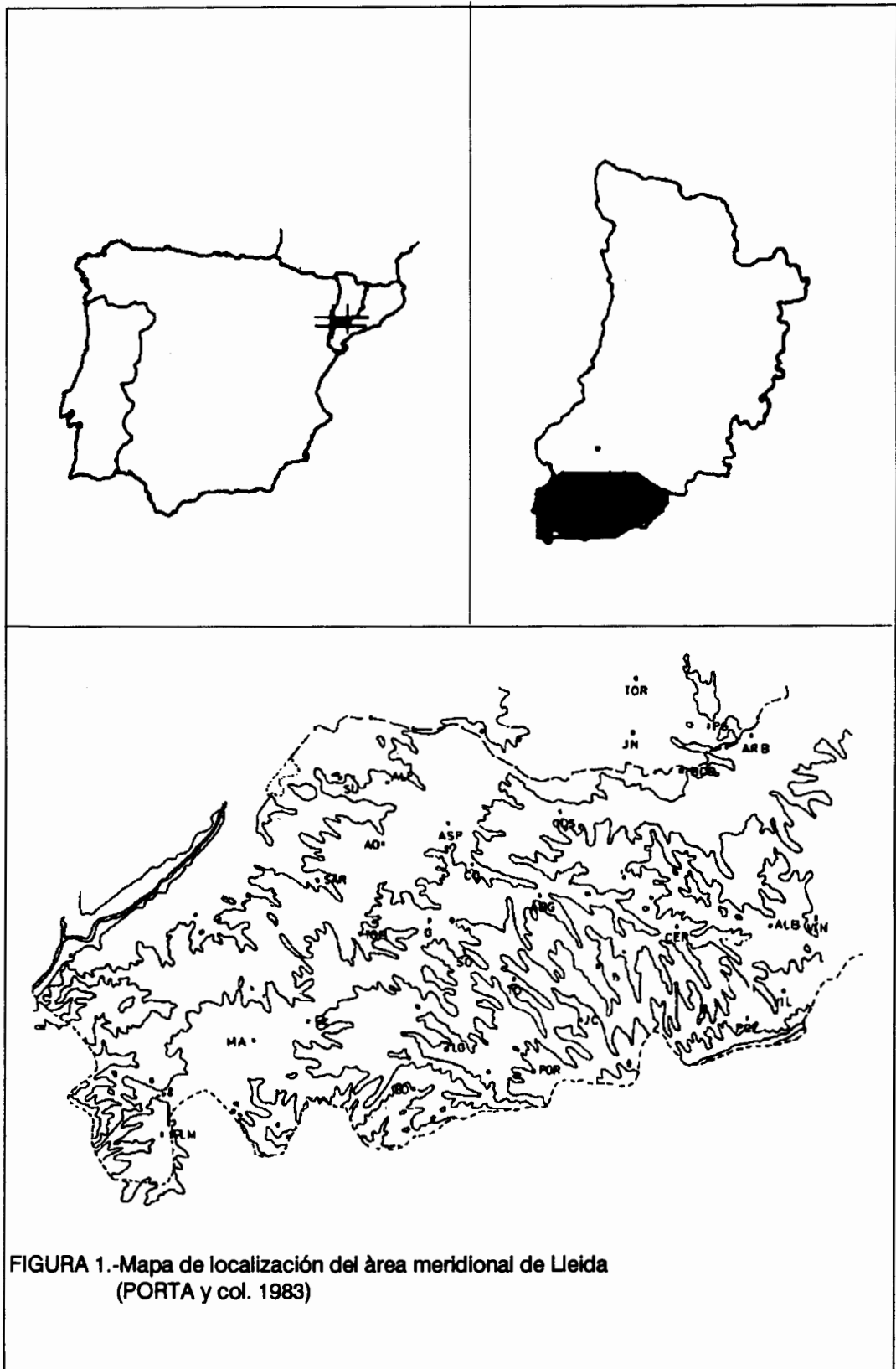


FIGURA 1.-Mapa de localización del àrea meridional de Lleida
(PORTA y col. 1983)

de la comarca una parte de la misma es atravesada por el canal de Urgell, lo cual ha permitido convertir esta zona en regadío y en consecuencia el paisaje ha cambiado notablemente así como el régimen de vida que es sensiblemente diferente del de la zona típicamente olivarera.

A.2. MUNICIPIOS Y RECURSOS

En la figura 2 se representa la comarca "Les Garrigues" con los municipios correspondientes, de acuerdo con la situación administrativa actualmente vigente. En la figura 3 se ha representado la zona objeto de estudio (área meridional de Lleida) con todos sus municipios. En el cuadro 1 se relacionan los municipios de la zona estudiada; junto al nombre del municipio figura el símbolo utilizado en la figura 3.

En la comarca pueden distinguirse dos zonas atendiendo a diferencias orográficas bastante marcadas: son las subcomarcas denominadas Garrigas Bajas y Garrigas Altas. Esta última está integrada por los siguientes municipios: Arbeca, Borges Blanques, Castellidans, Cogul, Espluga Calba, Floresta, Fullea, Juneda, Omellons, Puiggrós, Tarrés, Torregrossa y Vinaixa.

En la primera el terreno es agreste con valles estrechos y profundos; en ella puede encontrarse algún bosque de pinos y encinas. En la segunda el paisaje es menos agreste y va haciéndose más llano al acercarse a las comarcas del Segrià y el Urgell; debido a su orografía y a la llegada del agua a esta zona fue posible efectuar la transformación en regadío de bastantes terrenos.

La mayor afinidad entre los pueblos de la comarca es indiscutiblemente la producción del aceite; la localidad de les Borges Blanques es el centro de la zona de la denominación de origen. Otra problemática común a todos los pueblos de la comarca la constituye la falta de agua; para hacer frente a este problema se crea la mancomunidad

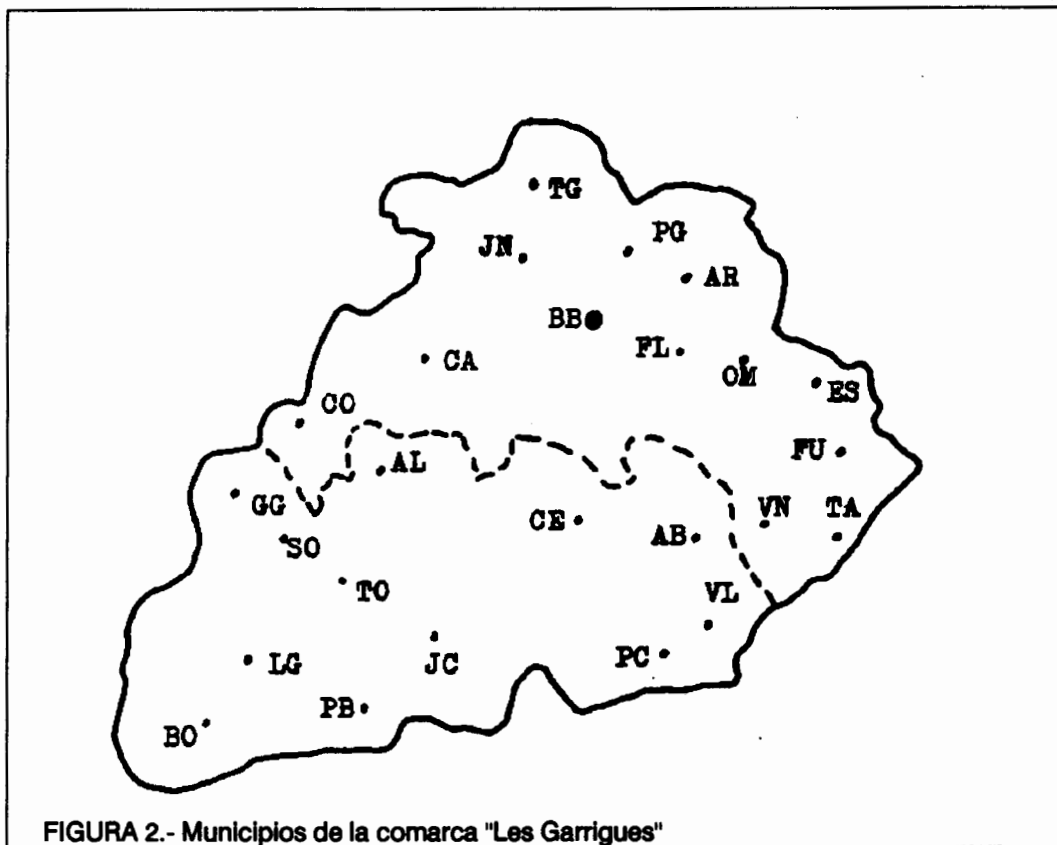


FIGURA 2.- Municipios de la comarca "Les Garrigues"

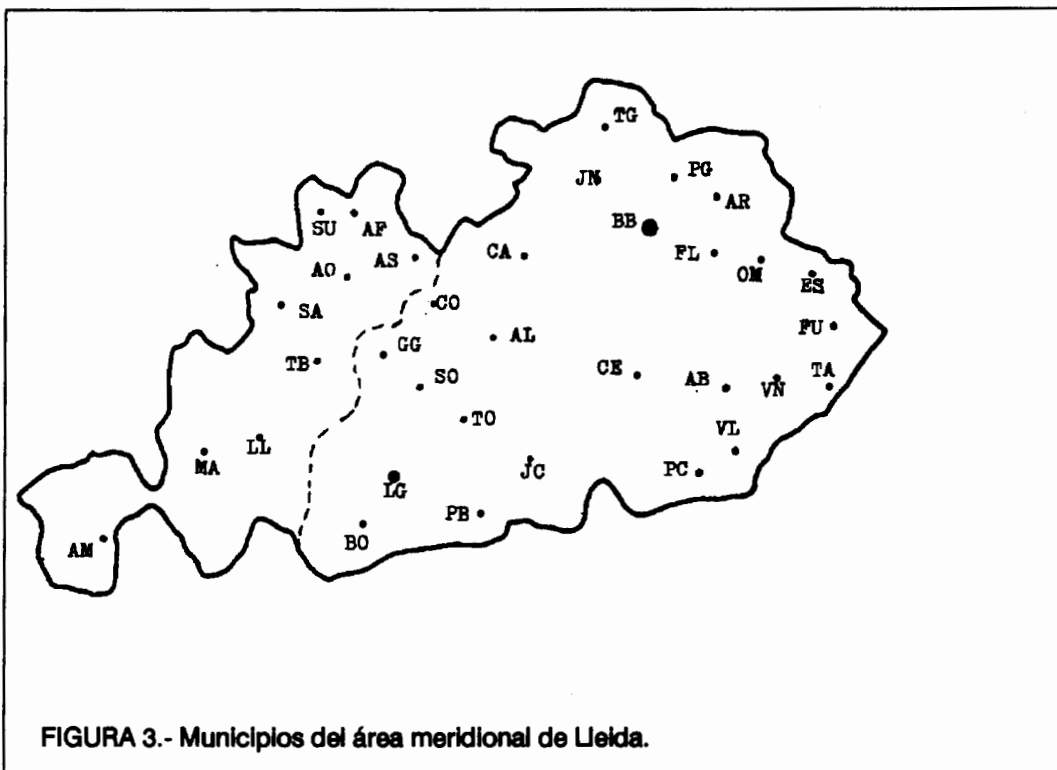


FIGURA 3.- Municipios del área meridional de Lleida.

CUADRO 1.- Municipios del área meridional de Lleida

ALBAGES (AL)	JUNEDA (JN)
ALBI (AB)	JUNCOSA (JC)
ALCANO (AO)	LLARDECANS (LL)
ALFES (AF)	MAIALS (MA)
ALMATRET (AM)	OMELLONS (OM)
ARBECA (AR)	POBLA DE CIERVOLES (PC)
ASPA (AS)	POBLA DE LA GRANADELLA (PB)
BOVERA (BO)	PUIGGROS (PG)
BORGES BLANQUES (BB)	SARROCA DE LLEIDA (SA)
CASTELLDANS (CA)	EL SOLERAS (SO)
CERVIA (CE)	SUÑE (SU)
COGUL (CO)	TARRES (TA)
ESPLUGA CALBA (ES)	ELS TORMS (TO)
FLORESTA (FL)	TORREBESES (TB)
FULLEDA (FU)	TORREGROSA (TG)
LA GRANADELLA (LG)	EL VILOSELL (VL)
GRANYENA (GG)	VINAIXA (VN)

CUADRO 2.- Observatorios de la comarca, con sus características

ALBAGES	P	
ALMATRET	P	(*)
ASPA	P	(*)
BORGES B	TP	
CASTELLDANS	P	(*)
GRANADELLA	TP	
JUNEDA	P	
LLARDECANS	P	
MAIALS	P	
OMELLONS	P	
SARROCA	P	(*)
EL SOLERAS	P	
SUÑE	P	(*)
TORREBESES	P	(*)
VILOSELL	P	
VINAIXA	P	(*)

P = Observatorio pluviométrico

TP = Observatorio termo-pluviómetrico

(*) Instalado a raíz de este trabajo

de aguas de Les Garrigues que incluye a la mayoría de los municipios del área meridional de Lleida.

Sin duda alguna la comarca de les Garrigues es una de las más deprimidas de Catalunya según se desprende de las estadísticas oficiales (GENERALITAT DE CATALUNYA, 1984). Entre los factores que sustentan esta afirmación pueden citarse los siguientes:

- un clima de tipo semiárido muy pronunciado con un balance hídrico que condiciona las producciones agrícolas
- red viaria deficiente
- falta importante de recursos naturales
- más de la mitad de la población activa dedicada a la agricultura
- densidad de población baja
- población envejecida
- bajo nivel de recursos financieros y presupuestos municipales muy reducidos.

A.3.- CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS

La zona estudiada (área meridional de Lleida) está ubicada en el Valle del Ebro, en el extremo sudoriental de la depresión central de Catalunya y es una zona de transición entre las llanuras centrales y las montañas prelitorales. Su relieve es elevado y decrece suavemente desde la Sierra de la Llena (cuya altitud máxima es de 1023 m) hacia el interior de la depresión al tiempo que va perdiendo su agrestidad y llega a su cota mínima de aproximadamente 300 m.

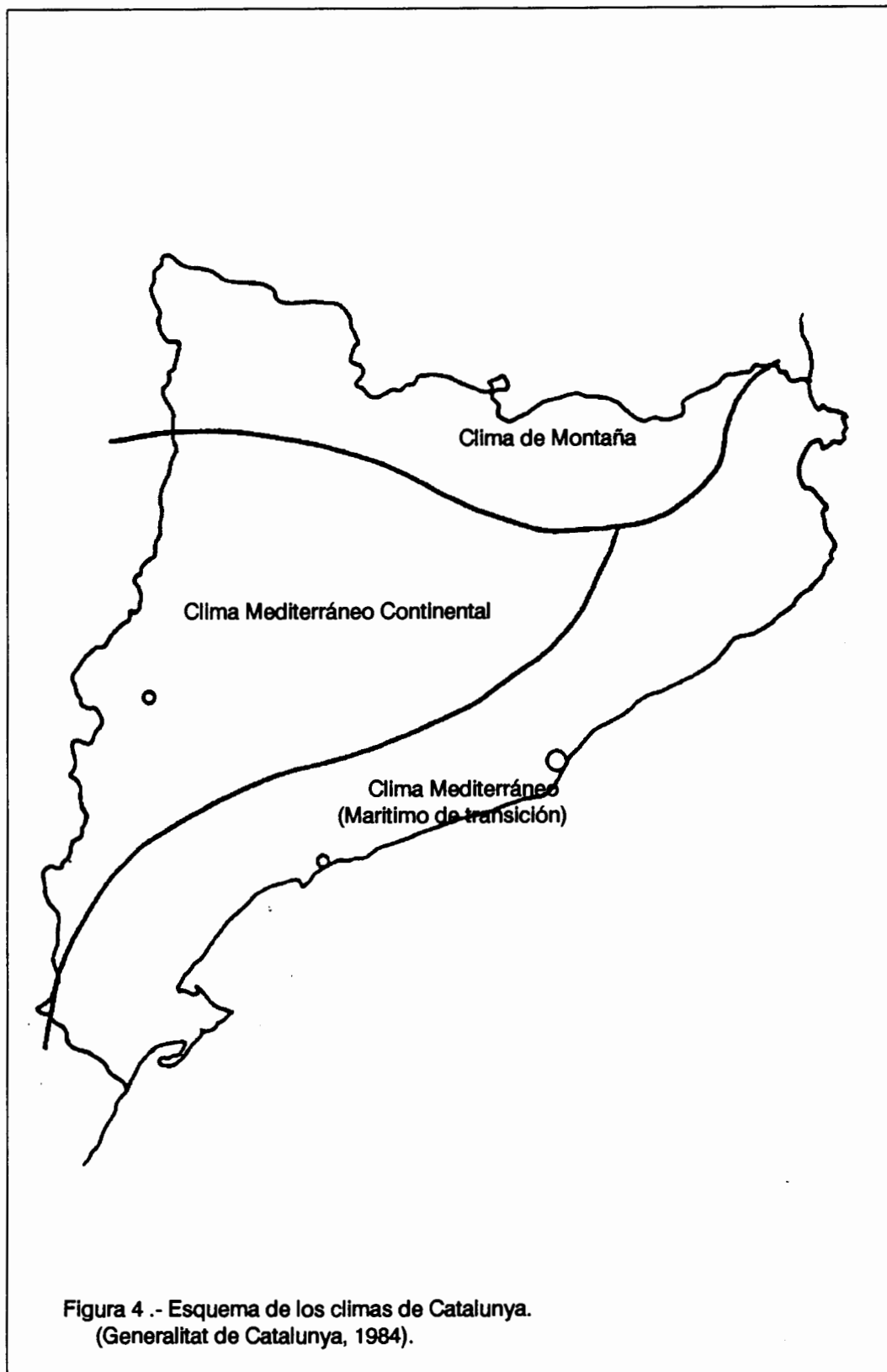
Puede decirse a grandes rasgos que la comarca es una plataforma inclinada hacia el NO, donde entronca con el llano de Urgell. La red de drenaje se encaja fuertemente en la plataforma sobre todo al Sur y al Oeste con el Ebro y sus afluentes y al SE con la cabecera del Francolí (PORTA y col., 1983). En la zona NE de la comarca se registran las

pendientes más suaves (que rara vez superan el 10 %) y constituyen la zona más rica y poblada de la comarca, pues las pendientes permiten todo tipo de usos del suelo. A medida que se avanza en dirección Sur y en dirección Este, van encontrándose pendientes más fuertes que en puntos concretos llegan al 40 %. La excepción la constituye el altiplano de Maials, en el cual las pendientes oscilan entre el 0 y el 10 % aún cuando los límites de este altiplano presentan pendientes muy pronunciadas.

En la comarca abundan los valles encajados casi paralelamente; estos valles de curso pequeño y poca importancia condicionan la red hidrográfica que se encuentra poco desarrollada. Todos los ríos de la comarca tienen carácter esporádico y la mayor parte de ellos se originan en la Sierra de la Llena y sus estribaciones. El más importante es el río Set que nace al pie de la Tossa y va a desembocar en el Segre. A ambos lados de este río hay grandes valles secos casi durante todo el año, a causa de las condiciones climáticas y de la estructura del terreno.

Por lo que respecta al clima, en el mapa esquemático de climas de Catalunya (figura 4), se observa que la comarca se encuentra en la zona del clima denominado mediterráneo continental. Puede decirse que, a grandes rasgos, el clima de la comarca es menos moderado que el clima mediterráneo típico, siendo además más seco, con el invierno más largo y frío y con el verano más caluroso.

Según puede constatarse en los estudios realizados sobre la comarca (PORTA y col., 1983) hay una gran falta de datos meteorológicos que dificulta notablemente las posibilidades de un conocimiento adecuado del medio natural que haga posible la ordenación del territorio y de los cultivos. Con motivo de la presente investigación se ha incrementado notablemente el número de observatorios de la comarca, tal como se pone de manifiesto en el cuadro 2. En el cuadro 3 figuran las series de precipitación diaria y de temperaturas de que se dispone sobre cada uno de los observatorios de la comarca.



CUADRO 3.-Series de precipitación diaria y de precipitación mensual disponibles los observatorios del área meridional de Lleida

Albagés	1958 - 1963	1966 - 1988
Almatret	1984 - 1988	
Aspa	1985 - 1988	
Borges B	1943 - 1957	1968 - 1988
Castelldans	1984 - 1988	
Granadella	1972 - 1988	
Juneda	1968 - 1988	
Llardecans	1951 - 1957	1968 - 1988
Malals	1980 - 1988	
Ornellons	1948 - 1988	
Sarroca	1984 - 1988	
Sunyé	1984 - 1988	
Torrebeses	1986 - 1988	
Vilosell	1967 - 1988	

CUADRO 4.- Categorías de los suelos del área meridional de Lleida.(Porta y col. 1983):esquema provisional a falta de mayor información acerca de los regímenes de humedad

ORDEN	SUBORDEN	GRUPO	SUBGRUPO
ENTISOL	ORTHENT	Torriorthent	Typic Torriorthent Lithic Xeric Torriorthent
		Xerorthent	Typic Xerorthent Lithic Xerorthent
INCEPTISOL	OCHREPT	Xerochrept	Calcicerollic Xerochrept Fluventic Xerochrept Typic Xerochrept Petrocalcic Xerochrept
ARIDISOL	ORTHID	Camborthid	Gypsic Camborthid Fluventic Camborthid
		Calciorthid	Typic Calciorthid
		Paleorthid	Xerollic Paleorthid

A.4.- SUELOS

Para decidir la utilización agrícola de un suelo es muy conveniente conocer lo mejor posible sus características morfológicas y analíticas, que deben ponerse en conocimiento del usuario en forma clara y esquemática. Pero además de esto, deben adecuarse las descripciones a un sistema taxonómico coherente y estructurado aplicable a los suelos en estudio. El sistema taxonómico más moderno y desarrollado es el Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1975), pero, tal como ponen de manifiesto PORTA y col. (1983), este sistema taxonómico presenta dificultades al aplicarlo a los suelos del área meridional de Lleida, pues utiliza criterios climáticos como el régimen de humedad de los suelos, lo cual es un inconveniente cuando hay falta de datos. No obstante, los citados autores relacionan las categorías más probables para clasificar los suelos del área meridional de Lleida, que figuran en el cuadro 4.

A.5.- CULTIVOS

En el conjunto de la comarca pueden diferenciarse claramente dos zonas por el tipo de cultivo: la zona de regadío (que se encuentra casi totalmente en les Garrigues Bajas) y la zona de secano la superficie total cultivada (73452 ha) corresponde al 71.51 % de la superficie agraria útil y al 68.26 % de la superficie total de la comarca. De la superficie cultivada, el 82.7 % es de secano y el 17.3 % de regadío; de ella, el 99.62 % está en la subcomarca de les Garrigues Bajas.

En los cuadros 5 y 6 pueden observarse, por un lado, la distribución de las superficies de la comarca y por otro, la correspondiente a los distintos cultivos. Observando el conjunto de la comarca puede verse que, por su extensión, el cultivo más importante es el olivo, seguido del almendro y en tercer lugar los cereales; el resto tiene poca importancia frente al total de este grupo, al que se dedica el 90 % de la superficie total cultivada.

CUADRO 5.- Distribución de la superficie de la comarca (ha) relativa a la utilización agrícola en cada subcomarca. (Datos tomados de Generalitat de Catalunya, 1984)

	Garrigas Bajas	Garrigas Altas	Total
Superficie	39859	67741	107600
Sup. agraria útil	37883	64828	102711
Sup. agr. labrada	32538	40928	73466
Sup. agr. no labrada	5355	23904	29259
Sup. agr. de regadío	12653	48	12701
Sup. agr. de secano	19875	40876	60751
Terreno forestal	3478	14250	17728

CUADRO 6.- Distribución de las superficies (ha) dedicadas a los diferentes cultivos de la comarca y porcentaje respecto a la superficie labrada. (Datos tomados de Generalitat de Catalunya 1984)

Cultivo	Garrigas Bajas	Porcentaje respecto superf. labrada	Garrigas. Altas	%	Total Comarca	%
Olivo	7807	24	23736	58	31543	43
Almendro	5855	18	12277	30	18131	24,7
Cereales	13500	41,5	3069	7,5	16569	22,5
Vid	1236	3,8	1432	3,5	2668	3,6
Frutales	1821	5,6	82	0,2	1903	2,6
Forrajeros	1626	5	205	0,5	1831	2,5
Otros	683	2,1	123	0,3	806	1,1

Otra observación importante que cabe hacer es que la mayoría de tierras dedicadas al cultivo de cereales, frutales y forrajes, están en les Garrigues Bajas ; esto es debido a que una buena parte de esta subcomarca (el 38.9 % de la superficie cultivada) es de regadío lo cual ha motivado el cambio del cultivo tradicional, el olivo, por otros cultivos más rentables.

B - REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS

B.1.- INTRODUCCION

Desde el punto de vista agronómico, en los cálculos efectuados con el fin de determinar las disponibilidades de agua para los cultivos, así como para establecer la distribución geográfica de las tierras húmedas, semiáridas y áridas, se debe recurrir a la información referente a la humedad de los suelos.

Tradicionalmente se ha convenido en considerar la existencia de tres estados de humedad para el suelo. En el primero, el suelo se halla saturado de humedad; en el segundo, el contenido de agua es suficiente para producir lavado, esto es, una determinada cantidad de agua se mueve a lo largo del perfil durante un cierto período del año. Por último, en el tercer estado o régimen, no se produce lavado por la base del perfil, esto es, el agua penetra en el suelo y es extraída por evapotranspiración; se puede producir en el perfil una precipitación de carbonatos y otras sales solubles. Existe la posibilidad de que haya un cierto lavado algunos años y ciertas sustancias sean translocadas dentro del propio perfil.

La importancia del estudio del régimen de humedad de un suelo estriba en que es un factor de control de los procesos que pueden tener lugar en el suelo y de las disponibilidades de agua para los cultivos.

A pesar de que se conoce la existencia de variaciones con el tiempo de la humedad dentro del suelo, hay muy pocos registros que permitan disponer de datos reales de los cambios en el contenido de agua del suelo a lo largo del tiempo y relacionarse con el concepto de potencial del agua del suelo. Se puede conocer cómo varía en las distintas estaciones el contenido de humedad del suelo pero este conocimiento ha sido, hasta la fecha, meramente cualitativo.

A lo largo del tiempo se han propuesto diversos modelos matemáticos con el fin de relacionar la humedad del suelo con datos climáticos, pero todos ellos han presentado mayor o menor número de deficiencias o imprecisiones, incluso para suelos de pendiente suave, cuya humedad depende fundamentalmente de las precipitaciones. Los gráficos que acompañan las descripciones y datos para los pediones, están basados en valores promedio de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial y en consecuencia proporcionan un esquema muy simplificado del régimen de humedad de todo el suelo más que de la sección control de humedad.

El nivel de conocimiento actual sobre regímenes de humedad de los suelos de Catalunya es muy bajo a causa de la inexistencia prácticamente total de datos de campo. En consecuencia debe recurrirse a modelos de simulación que permitan estimar el régimen de humedad, ya que por el momento no es factible su determinación directa. El modelo más universalmente extendido para la simulación del régimen de humedad de los suelos a partir de datos climáticos sencillos, es el debido a F. NEWHALL (1976) que está adaptado a la definición del Soil Survey Staff y que se estudia con detalle más adelante.

El concepto moderno de régimen de humedad de los suelos fue introducido por el SOIL SURVEY STAFF (USDA) en su publicación "Soil Taxonomy" (1975). Tal y como se define en dicha publicación, el régimen de humedad de un suelo se refiere a la presencia o ausencia de agua disponible para las plantas a unas profundidades determinadas del suelo (sección control de humedad). Junto con el régimen de temperatura del suelo determina la disponibilidad de agua para las plantas a lo largo del tiempo y las

condiciones térmicas en que estarán sus raíces; ambos factores permiten pues conjuntamente caracterizar el clima del suelo.

El régimen de humedad del suelo va estrechamente ligado a las precipitaciones, su distribución a lo largo del año y a la temperatura del suelo; no obstante, el régimen de humedad de los suelos no depende exclusivamente de estos factores. Los suelos permeables, mediante una lluvia duradera y uniformemente distribuida, contienen agua disponible para las plantas la mayor parte del tiempo. Sin embargo, los suelos de una zona árida o semiárida no están necesariamente secos: pueden estar secos, húmedos o saturados dependiendo de su situación en el paisaje, por cuanto pueden recibir aporte de agua de otras fuentes distintas de la propia lluvia. Así, por ejemplo, algunos suelos pueden perder parte o incluso la mayoría del agua que reciben si están en una pendiente y el horizonte de superficie tiene pocos poros no capilares. Incluso puede darse el caso de que en un mismo paraje y con un clima uniforme, suelos adyacentes posean diferentes regímenes de humedad. Todo ello va íntimamente ligado a la eficacia de penetración de las precipitaciones.

B.2.- LA SECCION CONTROL DE HUMEDAD

En primer lugar hay que recordar las definiciones de horizonte seco y horizonte húmedo que se establecen en "Soil Taxonomy". Un horizonte del suelo se dice que está húmedo cuando el agua que contiene se halla retenida a un potencial menor (en valor absoluto) que 1500 kPa y que un horizonte del suelo está seco cuando el agua que pueda contener está retenida a un potencial igual o mayor (en valor absoluto) que 1500 kPa.

La determinación del estado seco - húmedo de un horizonte se hace mediante la curva característica de humedad que pone de manifiesto la relación entre el contenido volumétrico de agua del suelo y el potencial matricial; a partir de dicha curva y para $\psi = -1500$ kPa se determina el valor correspondiente θ_1 y entonces si $\theta \geq \theta_1$ el horizonte está húmedo y si $\theta < \theta_1$ el horizonte estará seco.

Una definición muy importante para el estudio del régimen de humedad de los suelos es la de sección control de humedad que se utiliza en este trabajo en los mismos términos definidos en "Soil Taxonomy" (1975): es aquella parte del perfil que tiene una capacidad de retención de agua de 50 mm y que tiene por encima una parte del perfil de 25 mm de capacidad de retención. El límite superior queda definido por la profundidad del frente de humectación al cabo de 24 horas y después de haber aportado 25 mm de agua (equivalente a 25 l/m²) al suelo seco. El límite inferior se define de idéntico modo, pero para 75 mm de agua (75 l/m²) al cabo de 48 horas. En el desarrollo de este trabajo se han tenido en cuenta todas las observaciones que se hacen en "Soil Taxonomy" acerca de la determinación práctica de la sección control de humedad.

La importancia de este concepto desde el punto de vista agronómico, está en que es la zona donde la mayor parte de las plantas tienen sus raíces y por tanto guarda la más estrecha relación con la producción total de los cultivos. Además, esta zona central del perfil del suelo contiene la humedad más representativa del conjunto de las tres zonas en que queda dividido el mismo, por cuanto la parte superior es humectada por las precipitaciones débiles y contribuye escasamente a la producción de biomasa y la parte inferior contiene el agua a la que las raíces no pueden acceder y tampoco contribuye a la nutrición de la planta. En la determinación real de los límites de la sección control de humedad intervienen los siguientes factores: textura del suelo, estructura, distribución del tamaño de poros y en general cuantos factores influyan en el movimiento y retención del agua en el suelo.

B.3. REGIMENES DE HUMEDAD SEGUN SOIL TAXONOMY. CRITERIOS PARA SU DETERMINACION

Una vez analizado el concepto de sección control de humedad el siguiente paso consiste en estudiar los distintos regímenes de humedad de los suelos definidos por el Soil Survey Staff (1975) y los criterios que se utilizan en dicha definición. Así pues, según el Soil Survey Staff, se definen cinco regímenes de humedad:

(1) AQUIC

(2) ARIDIC Y TORRIC

(3) UDIC

(4) USTIC

(5) XERIC

Para establecer la diferencia entre un régimen de humedad y otro se manejan en primer lugar diversos estados de la sección control de humedad y en segundo lugar el régimen de temperatura del suelo. De un modo más preciso, los criterios que se establecen para definir los anteriores regímenes de humedad de los suelos son los siguientes:

A: La sección control está totalmente seca más de la mitad del tiempo (acumulado) en que la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad es superior a 5° C

B: La sección control está total o parcialmente húmeda por lo menos 90 días consecutivos, cuando la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad es superior a 8° C

C: La sección control está total o parcialmente seca durante 90 días acumulados o más

D: La sección control está totalmente seca durante 45 días consecutivos o más, en los cuatro meses que siguen al solsticio de verano (21 de junio)

E: La sección control está totalmente húmeda durante 45 días consecutivos o más, en los cuatro meses que siguen al solsticio de invierno (21 de diciembre)

F: La sección control está húmeda en alguna parte al menos durante 180 días acumulados

G: La sección control está húmeda en alguna parte, al menos durante 90 días consecutivos

Unos criterios hacen referencia a la presencia de agua en la sección control de humedad (B,E,F y G) y el resto a la ausencia de agua en la misma (A,C y D). En algunos casos, para definir los regímenes de humedad estos criterios se aplicarán en sentido positivo (es decir, se afirma textualmente su enunciado) y por el contrario, en otros se aplican en sentido negativo. En el cuadro 7 se relacionan los distintos regímenes de humedad y la frecuencia expresada en porcentaje del total de años de la serie, de cada uno de los criterios que definen a cada uno de los regímenes de humedad.

Cada subtipo concreto de régimen de humedad viene caracterizado por un vector cuyas componentes valen:

1 si el criterio correspondiente debe verificarse

0 si el criterio correspondiente no debe verificarse

X si el valor puede ser 0 ó 1 por no tratarse de un criterio de diagnóstico en ese caso concreto.

Además de los criterios relativos a humedad del suelo, en la definición de los regímenes de humedad interviene el régimen de temperatura del suelo, que se caracteriza en este caso por los siguientes parámetros físicos:

T_m , la temperatura media anual del suelo a 50 cm de profundidad

T_v , la temperatura media del suelo a 50 cm de profundidad durante el verano

T_i , la temperatura media del suelo a 50 cm de profundidad durante el invierno

$$D = T_v - T_i$$

de modo que el régimen climático del suelo se considera:

No tropical, si $T_m < 22^\circ\text{C}$ y $D \geq 5^\circ\text{C}$:

Tropical, si $T_m \geq 22^\circ\text{C}$ y/o $D < 5^\circ\text{C}$

aplicándose criterios diferentes para el régimen de humedad de los suelos, que en el primer caso son A,B,C,D,E y en el segundo son A,B,C,F,G. En consecuencia cada régimen de humedad viene representado por un vector de cinco componentes cada una

CUADRO 7.- Frecuencias que definen los regímenes de humedad de los suelos según Soil Taxonomy (1975)

Régimen de humedad	Parámetros de la temperatura	Criterios Soil Taxonomy (frecuencias en porcentaje)						
		A	B	C	D	E	F	G
Aridic y Torric		≥ 50 ≤ 50						
Udic(1)	Tm < 22°C y Tv-Ti ≥ 5 °C			≤ 50	< 60			
Udic(2)	Tm ≥ 22 °C y/o Tv-Ti < 5° C			≤ 50				
Ustic(1)	Tm < 22 °C y I Tv - Ti ≥ 5 °C II	≤ 50		> 50	< 60	≥ 60		
Ustic(2)	Tm ≥ 22 °C y/o I Tv-Ti < 5 °C II			> 50			> 50	
Xeric	Tm < 22 °C y I Tv - Ti ≥ 5 °C II				≤ 50	≥ 60	≥ 60	
			≥ 60		≥ 60	≥ 60		

A = Seca > = 1/2 días acumulados con T > 5 °C
B = Húmeda o parc. húm. > = 90 días consec.con T > 8 °C
C = Seca o parc. seca < = 90 días acumulados
D = Seca > = 45 días consec.en los 4 meses sig. solst.verano
E = Húmeda > = 45 días consec.en 4 meses sig. sols.invierno
F = Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados
G = Parcialmente húmeda > = 90 días consecutivos
Tm = Temperatura media anual del suelo a 50 cm .
Tv = Temperatura media del suelo en verano
Ti = Temperatura media del suelo en invierno

de las cuales tiene el valor definido anteriormente y hace referencia al correspondiente criterio que lo caracteriza.

A continuación, se comenta la definición de los regímenes de humedad según "Soil Taxonomy", con especial referencia a los criterios que se manejan y a los regímenes más probables en la comarca objeto de este estudio.

B.3.1.- Régimen AQUIC

Este régimen de humedad, que se presenta en reducidas ocasiones, se refiere a que el suelo se halle saturado de humedad por agua subterránea o por agua procedente de ascenso capilar; en consecuencia está virtualmente libre de oxígeno disuelto. No está establecida de forma precisa la duración de la saturación, pero debe ser como mínimo de algunos días por lo menos, pues esto va implícito con la ausencia de oxígeno disuelto.

B.3.2.- Regímenes ARIDIC y TORRIC

Los términos Aridic y Torric se utilizan para denominar el mismo régimen de humedad, pero se utilizan en distintos niveles taxonómicos. Se denomina Aridic el régimen de humedad de un suelo para el cual se cumple el criterio A con una frecuencia mayor de 0.5 y el criterio B con una frecuencia menor o igual que 0.5. Los suelos que cumplen estas condiciones se encuentran usualmente en climas áridos, aún cuando unos pocos pueden encontrarse en climas semiáridos; las limitaciones que se exigen en cuanto a la temperatura del suelo, excluyen de este régimen a los suelos de las regiones muy secas y frías. Hay que destacar también que en este régimen de humedad hay ausencia casi total de lavado y en consecuencia los carbonatos y las sales solubles pueden acumularse en el perfil. El vector que caracteriza los subtipos de este régimen de humedad es (1,0,X,X,X)

B.3.3.- Régimen Udic

Para definir este régimen se aplica en primer lugar el criterio C en sentido negativo, es decir, debe no cumplirse la mayoría de años y por tanto, su frecuencia debe ser menor que 0.5. Además, si el clima es no tropical entonces el criterio D no debe cumplirse en 6 o más años de cada 10 (esto es, el criterio D debe cumplirse con frecuencia inferior a 0.6). No se afirma nada del caso en que el clima es tropical, con lo que se tiene una imprecisión que debe soslayarse subdividiendo el régimen Udic en dos subregímenes:

Udic(1), si $T_m < 22^\circ\text{C}$ y $T_v - T_i \geq 5^\circ\text{C}$

Udic(2), si $T_m \geq 22^\circ\text{C}$ y/o $T_v - T_i < 5^\circ\text{C}$

El régimen Udic es propio de climas húmedos con precipitación bien distribuida o bien que en verano reciban la precipitación suficiente para que la humedad acumulada más la precipitación supere a la evapotranspiración.

B.3.4.- Régimen Ustic

Según el criterio de Soil Taxonomy este régimen es intermedio entre el Aridic y el Udic y hace referencia a suelos con humedad limitada pero en épocas en las cuales es aprovechable para las plantas. Dentro del régimen Ustic se distinguen dos subregímenes en función de los parámetros físicos T_m , T_v y T_i que son los siguientes:

Ustic(1), si $T_m < 22^\circ\text{C}$ y $T_v - T_i \geq 5^\circ\text{C}$

Ustic(2), si $T_m \geq 22^\circ\text{C}$ y/o $T_v - T_i < 5^\circ\text{C}$

Además, para el Ustic(1) se requieren las siguientes condiciones:

C = 1 la mayoría de años (es decir frecuencia > 0.5)

A = 0 la mayoría de años (negación del Aridic)

Si E = 1 entonces D = 0 (negación del Xeric)

En consecuencia los posibles subtipos del régimen Ustic(1) vendrán definidos por los vectores siguientes:

(0,X,1,0,1) Ustic(1)-I

(0,X,1,X,0) Ustic(1)-II

Cabe destacar que la concepción que subyace en la definición del régimen Ustic, es que caracteriza las regiones tropicales y subtropicales tipificadas mediante el clima monzónico, que tiene una estación lluviosa de al menos tres meses de duración. Por lo que respecta a regiones templadas y climas mediterráneos semiáridos, las estaciones lluviosas son normalmente primavera y verano pero nunca el invierno.

B.3.5.- Régimen XERIC

Este régimen tiene como objetivo caracterizar las zonas de clima mediterráneo, en las cuales los inviernos son húmedos y fríos y los veranos son calurosos y secos. El agua que penetra en el suelo durante el invierno (cuando la evapotranspiración es mínima) es eficaz para el lavado de las sales solubles. Los criterios que definen este régimen de humedad según Soil Taxonomy son:

D = 1 con frecuencia \geq 0.6

E = 1 con frecuencia \geq 0.6

A = 0 ó B = 1 con frecuencia \geq 0.6

con lo que los subtipos del régimen Xeric están definidos por los siguientes vectores:

(0,0,X,1,1) Xeric-I

(1,1,X,1,1) Xeric-II

Cabe una tercera posibilidad: la coincidencia de los valores $A = 0$ y $B = 1$, lo que da lugar a un tercer subtipo del régimen Xeric, caracterizado mediante:

(0,1,X,1,1) Xeric-III

Además de los criterios citados, deben cumplirse las condiciones de temperatura media anual del suelo y de valor de la diferencia $D = T_v - T_i$ correspondiente a clima no-Tropical, es decir, que el régimen Xeric no está definido para regiones de clima Tropical. Además, ninguno de los posibles vectores que definen el régimen Ustic(1) puede coincidir con ningún vector de los que definen el régimen Xeric; concretamente observese el valor $D = E = 1$ en los vectores correspondientes a los regímenes Xeric y que nunca puede encontrarse en un vector de ningún subrégimen del Ustic. Naturalmente, esta diferencia es uno de los elementos fundamentales para diferenciar ambos regímenes de humedad.

En el cuadro 8 se relacionan las ecuaciones lógicas que describen los diferentes regímenes de humedad y en los cuadros 9 y 10 figuran los distintos regímenes con todos sus subtipos y el vector que caracteriza a cada uno de ellos, tal como fueron descritos por GASCO e IBAÑEZ (1978).

C - EL MODELO SIMULATIVO DE F. NEWHALL (1976)

C.1.- INTRODUCCION

A raíz de la publicación "Soil Taxonomy" (SOIL SURVEY STAFF, 1975) y de la aparición en la misma de la definición de régimen de humedad de un suelo, se suscitó una dificultad inmediata para la clasificación de los suelos: a partir de cierta categoría taxonómica, era necesario conocer el régimen de humedad del suelo para proceder a su clasificación; en consecuencia, se hacía imprescindible, a falta de datos de campo, un

CUADRO 8.-Ecuaciones lógicas que describen los regímenes de humedad definidos por Soil Taxonomy (1975) según Gascó-Ibañez (1978)

	REG. HUMEDAD	ECUACION LOGICA
	ARIDIC (1)	(A = 1) y (B = 0)
	UDIC (1)	(C = 0) y (D = 0)
$T_m \leq 22^\circ \text{C}$	USTIC (1)-I	(A = 0) y (C = 1) y (D = 0) y (E = 1)
	USTIC (1)-II	(A = 0) y (C = 1) y (E = 0)
$y D > 5^\circ \text{C}$	XERIC-I	(A = 0) y (B = 0) y (D = 1) y (E = 1)
	XERIC-II	(A = 1) y (B = 1) y (D = 1) y (E = 1)
	XERIC-III	(A = 0) y (B = 1) y (D = 1) y (E = 1)
$T_m > 22^\circ \text{C}$	ARIDIC (2)	(A = 1) y (B = 0)
$y/o D \leq 5^\circ \text{C}$	UDIC (2)	(C = 0)
	USTIC (2)-I	(C = 1) y (F = 1)
	USTIC (2)-II	(C = 1) y (F = 0)
	USTIC (2)-III	(C = 1) y (F = 1) y (G = 1)

A = Seca > = 1/2 días acumulados con $T > 5^\circ \text{C}$
B = Húmeda o parc.húm. > = 90 días consec.con $T > 8^\circ \text{C}$
C = Seca o parc. seca > = 90 días
D = Seca > = 45 días consec.en los 4 meses sig.solst.verano
E = Húmeda = 45 días consec. en 4 meses sig.sols.invierno
F = Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados
G = Parcialmente húmeda > = 90 días
 T_m = Temperatura media anual del suelo a 50 cm.
D = Temp. media suelo en verano - temp media suelo Invierno.
1 = Cumple el criterio
0 = No cumple el criterio.

CUADRO 9- Subtipos de los diferentes regímenes de humedad en régimenno-TROP, según Gascó- Ibañez (1978).

REGIMENES HUMEDAD	CRITERIOS SOIL TAXONOMY				
	A	B	C	D	E
ARIDIC (1)	1	0	1	1	1
	1	0	1	1	0
	1	0	1	0	1
	1	0	1	0	0
	1	0	0	1	1
	1	0	0	1	0
	1	0	0	0	1
	1	0	0	0	0
XERIC-I	0	0	1	1	1
	0	0	0	1	1
XERIC-II	1	1	1	1	1
	1	1	0	1	1
XERIC-III	0	1	1	1	1
	0	1	0	1	1
UDIC (1)	1	1	0	0	1
	1	1	0	0	0
	1	0	0	0	1
	1	0	0	0	0
	0	1	0	0	1
	0	1	0	0	0
	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0
USTIC (1)-I	0	1	1	0	1
	0	0	1	0	1
	0	1	1	1	0
USTIC (1)-II	0	1	1	0	0
	0	0	1	1	0
	0	0	1	0	0
PERXERIC	1	1	1	1	0
FUERA DE CONTROL	1	1	1	0	1
	1	1	1	0	0
	1	1	0	1	0
	0	1	0	1	0
	0	0	0	1	0

(*)
(*)

(*) Coinciden con dos elementos del ARIDIC (1)
A=Seca \geq 1/2 días acumulados con $T > 5^{\circ}\text{C}$
B=Húmeda o parc. húm. $= >$ 90 días consec.con $T > 8^{\circ}\text{C}$
C=Seca o parc. seca $= >$ 90 días acumulados
D=Seca \geq 45 días consec.en los 4 meses sig. solst.verano
E=Húmeda \geq 45 días consec.en 4 meses sig.solst.invierno
0= No cumple el criterio; 1= Cumple el criterio

CUADRO 10.- Subtipos los diferentes regímenes de humedad en régimen TROP, según Gascó - Ibáñez (1978)

REGIMENES HUMEDAD	CRITERIOS SOIL TAXONOMY					
	A	B	C	F	G	
ARIDIC (2)	1	0	1	1	1	
	1	0	1	1	0	
	1	0	1	0	1	
	1	0	1	0	0	
	1	0	0	1	1	
	1	0	0	1	0	
	1	0	0	0	1	
	1	0	0	0	0	
	1	1	0	1	1	
	1	1	0	1	0	
UDIC(2)	1	1	0	0	1	
	1	1	0	0	1	
	1	1	0	0	0	
	1	0	0	1	1	(**)
	1	0	0	1	0	(**)
	1	0	0	0	1	(**)
	1	0	0	0	0	(**)
	0	1	0	1	1	
	0	1	0	1	0	
	0	1	0	0	1	
USTIC (2)-I	0	0	0	1	1	
	0	0	0	1	0	
	0	0	0	0	1	
	0	0	0	1	0	
	0	0	0	0	1	
	0	0	0	0	0	
	1	1	1	1	0	
	1	0	1	1	0	(**)
	0	1	1	1	0	
	0	0	1	1	0	
USTIC (2)-II	1	1	1	0	1	
	1	0	1	0	1	(**)
	0	1	1	0	1	
	0	0	1	0	1	
USTIC (2)-III	1	1	1	1	1	
	1	0	1	1	1	(**)
	0	1	1	1	1	
	0	0	1	1	1	
FUERA DE CONTROL	1	1	1	0	0	
	0	1	1	0	0	
	0	0	1	0	0	

(**) Coinciden con elementos del ARIDIC (2).
A = Seca > = 1/2 días acumulados con T > 5° C
B = Húmeda o parc. húm. > = 90 días consec. con T > 8° C
C = Seca o parc. seca > = 90 días acumulados
F = Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados
G = Parcialmente húmeda > = 90 días consecutivos

modelo simulativo que a partir de datos climáticos relativamente sencillos y asequibles, pudiera estimar el régimen de humedad de los suelos y permitiera así su clasificación. Esto es especialmente útil cuando se considera suficiente una determinación aproximada o bien cuando se dispone de una serie limitada de datos. El citado modelo simulativo fue desarrollado por el Dr. Franklin NEWHALL (1976) y se ajusta a la definición dada en Soil Taxonomy del régimen de humedad de los suelos.

C 2.- MODELIZACION DEL PERFIL DEL SUELO

El modelo se centra en el estudio del agua contenida en el suelo (figura 5) desde la superficie del mismo hasta una profundidad tal que la capacidad de retención de humedad sea de 200 mm entre el " punto de marchitez " (potencial matricial = - 1500 kPa) y la " capacidad de campo " (potencial matricial = - 33 kPa) . El intervalo de variación de la correspondiente profundidad del suelo es muy variable, pues depende de la capacidad de retención de agua de cada uno de los horizontes del suelo . El perfil se divide en ocho capas cada una de las cuales puede retener 25 mm y cada capa está a su vez dividida en ocho compartimentos iguales, de modo que cada uno de ellos es capaz de retener hasta 25/8 mm de agua. Las capas segunda y tercera constituyen la sección control de humedad. Cuando en una capa todos sus ocho compartimentos están llenos, se encuentra a " capacidad de campo " y cuando están todos vacíos, está en " punto de marchitez"; naturalmente hay diversos estados intermedios representados por llenados parciales de uno o varios compartimentos de una misma capa.

C.3.- SIMULACION DE LA INFILTRACION DEL AGUA

En el modelo de Newhall el proceso de humectación del perfil del suelo se supone como sigue: el agua penetra en el suelo desde la parte superior y se van llenando los sucesivos compartimentos de la primera capa que tiene compartimentos libres de izquierda a derecha (ver figura 6). Cuando la capa que se ha ido llenando está a "capacidad de campo ", se pasa a la siguiente, que va llenándose mediante el mismo

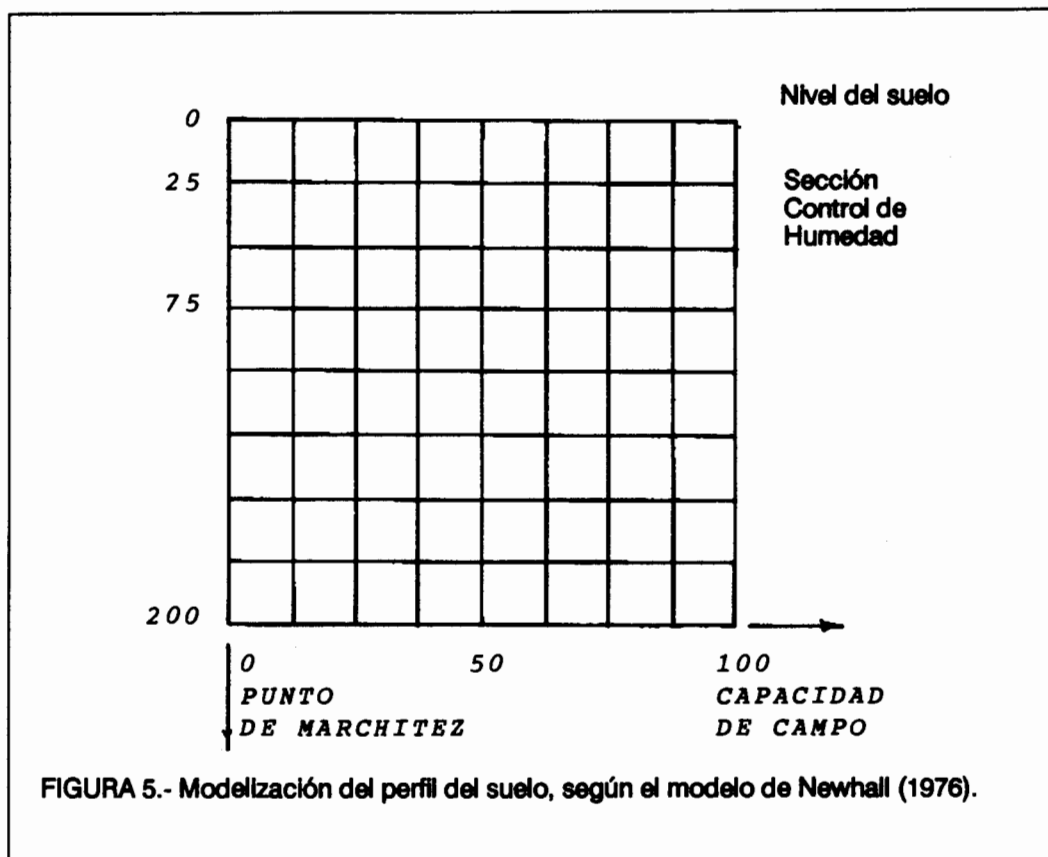


FIGURA 5.- Modelización del perfil del suelo, según el modelo de Newhall (1976).

1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56
57	58	59	60	61	62	63	64

FIGURA 6.- Numeración de las casillas y secuencia de llenado del perfil de suelo según el modelo de Newhall (1976)

mecanismo, y así sucesivamente, hasta llenar el perfil si se da el caso; el agua que no puede albergarse en ningún compartimento del perfil, se supone que se pierde por escorrentía superficial o por percolación profunda.

C.4.- SIMULACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION

La extracción de agua del suelo tiene lugar mediante los procesos de evaporación y transpiración que por las razones que ya son conocidas se expresan conjuntamente mediante la evapotranspiración; en este modelo se adopta como método de cálculo de la evapotranspiración el modelo empírico de Thornthwaite (1945). Sin embargo, así como el proceso de infiltración de agua en el suelo se simula mediante un modelo lineal, no ocurre lo mismo con la extracción de agua del suelo, pues la velocidad de extracción del agua es proporcional al cociente entre la cantidad de agua disponible en el suelo y la capacidad de retención de agua del suelo. Esto significa que el agua es extraída del suelo con mayor facilidad cuando el perfil está lleno y en cambio se extrae con mayor dificultad cuando el agua disponible en el suelo es escasa.

Sin embargo, la secuencia de vaciado de los compartimentos del perfil no es la misma que la de llenado: la extracción de agua se efectúa siguiendo líneas diagonales en el perfil, comenzando por la parte superior derecha y yendo de arriba abajo (véase figura 7). Además, para simular la mayor dificultad que se tiene para extraer el agua del suelo en función del contenido volumétrico y de la profundidad, se introducen unos coeficientes correctores para cada compartimento, que siguen una ordenación en diagonal (véase figura 8).

C.5.- VARIABLES CLIMATICAS

Las variables climáticas que considera el modelo de Newhall son las siguientes:

29	22	16	11	7	4	2	1
37	30	23	17	12	8	5	3
44	38	31	24	18	13	9	6
50	45	39	32	25	19	14	10
55	51	46	40	33	26	20	15
59	56	52	47	41	34	27	21
62	60	57	53	48	42	35	28
64	63	61	58	54	49	43	36

FIGURA 7.- Secuencia de extracción de agua del perfil del suelo según el modelo de Newhall .

1.65	1.40	1.23	1.13	1.05	1.00	1.00	1.00
2.07	1.69	1.43	1.26	1.15	1.07	1.02	1.00
2.68	2.14	1.74	1.46	1.28	1.17	1.09	1.03
3.58	2.80	2.22	1.78	1.49	1.31	1.19	1.11
4.98	3.80	2.93	2.30	1.84	1.53	1.34	1.21
5.00	5.00	4.03	3.07	2.38	1.89	1.57	1.37
5.00	5.00	5.00	4.31	3.22	2.47	1.95	1.61
5.00	5.00	5.00	5.00	4.62	3.39	2.57	2.01

FIGURA 8.- Coeficiente multiplicadores para el cálculo de la energía de evaporatranspiración (modelo de Newhall).

- precipitación total mensual (PM), de cada uno de los meses del año, siendo necesario disponer de registros de cierta duración para obtener resultados fiables.

- temperatura media mensual (TMM), de cada uno de los meses del año, calculada como media de las temperaturas medias diarias, para calcular a partir de ella la evapotranspiración potencial mensual mediante la fórmula de Thornthwaite (1945).

A continuación se expone la metodología de tratamiento de las variables en el modelo. En primer lugar, la precipitación mensual (PM) se divide en dos partes iguales: la precipitación intensa (PI) y la precipitación débil (PD); la precipitación intensa se supone que corresponde a la tormenta de mayor intensidad caída durante el mes y se añade sin pérdida alguna al agua del suelo exactamente en la mitad de cada mes, salvo cuando todos los compartimentos están llenos, que se pierde por escorrentía. La precipitación débil se divide en dos partes iguales y se reparte en dos períodos de quince días y de ellas sólo penetra en el suelo la parte que exceda a la evapotranspiración correspondiente al mismo período; si la evapotranspiración es mayor que la precipitación débil, se extrae del suelo la diferencia:

evapotranspiración - 0.5(precipitación débil)

De acuerdo con la definición de régimen de humedad del suelo dada en Soil Taxonomy y el diagrama de simulación del perfil del suelo, pueden presentarse tres estados posibles de la sección control de humedad:

- Sección control de humedad totalmente seca (o seca en todas sus partes), esto es, cuando todos los compartimentos de las dos capas correspondientes están vacíos. Este estado se indica por D.

- Sección control de humedad totalmente húmeda (o húmeda en todas sus partes), cuando todos los compartimentos de las dos capas están llenos. Se indica por M.

- Sección control de humedad parcialmente húmeda (o parcialmente seca), cuando no se da ninguna de las dos situaciones anteriores, es decir, hay algún compartimento de la sección control que está ocupado por agua del suelo y algún otro vacío. Este estado se indica por B.

Pueden verse representados todos estos estados en la figura 9.

C.6.- CALCULO DEL REGIMEN DE HUMEDAD

Como se ha citado en el apartado B anterior, el régimen de humedad de un suelo viene definido, mediante unos criterios que especifican el estado de la sección control durante unos periodos determinados del año y en unas ciertas condiciones. En el modelo de Newhall se calculan tres estados de la sección control de humedad para cada mes y las variables climáticas se tratan como se describe a continuación.

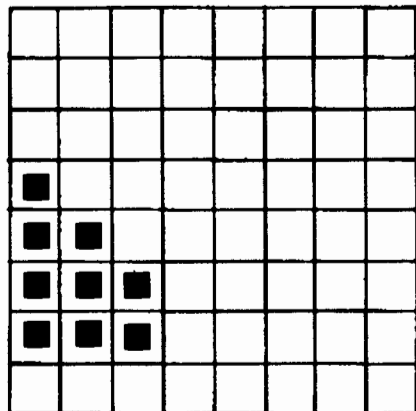
C.6.1.- La precipitación mensual

A partir de la precipitación débil, PD, y de la evapotranspiración potencial mensual total, EP, se calcula la humedad efectiva, HE, que viene dada por:

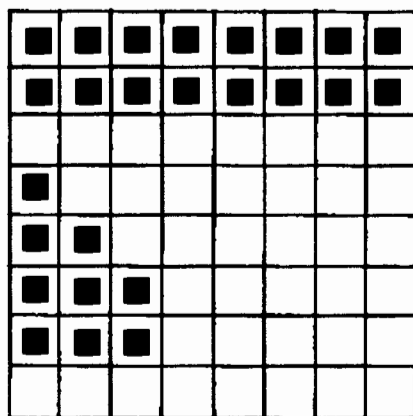
$$HE = 0.5(PD - EP)$$

Si la humedad efectiva calculada es positiva, se entra este valor de acuerdo con las reglas dadas para el mecanismo de humectación del perfil y si es negativa, se extrae del perfil la cantidad correspondiente, de acuerdo con el mecanismo de simulación de la evapotranspiración. En cualquier caso, este primer paso designado 1HD, define el estado del agua del suelo en la mitad del mes, justo antes de entrar la precipitación intensa, PI.

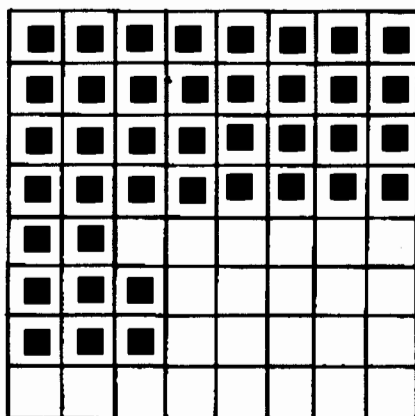
Terminada la etapa anterior, se calcula la precipitación intensa del mes, PI, que es la mitad de la precipitación total mensual, y se entra este valor instantáneamente en el perfil, de acuerdo con el mecanismo de entrada de agua en el suelo. Este segundo paso



Estado D



Estado B



Estado M

FIGURA 9.- Estados de la sección control de humedad

se designa 2PI y define el estado del perfil del suelo a mitad de mes, justo después de la precipitación intensa.

Para terminar, análogamente al primer paso, se introduce o extrae del perfil el valor correspondiente a HE ya calculada. Este paso, designado 3HD nos define el estado del agua del suelo al final del mes correspondiente.

El procedimiento que se ha expuesto se repite iterativamente para cada mes, en tanto se disponga de series ininterrumpidas de datos climáticos. A medida que va creándose el diagrama de humedad del suelo, van calculándose los estados de la sección control de humedad al final de cada etapa descrita. Cuando el estado de la sección control de humedad es el mismo que en el diagrama precedente, se considera que todos los días comprendidos en el período entre ambos tienen el mismo estado de la sección control de humedad. Cuando hay un cambio en el estado de la sección control de humedad, la duración de cada uno de ellos, es decir, el momento de paso de un estado a otro viene determinado por la razón que existe entre la cantidad de agua a entrar o la energía necesaria para provocar el cambio y el contenido de agua en el suelo. Así por ejemplo, si 20 mm de lluvia han provocado un cambio del estado de la sección control de humedad de D a B en un momento en que el contenido de agua del suelo era de 100 mm, la duración del estado D sería la siguiente:

$$(20/100).15 = 3 \text{ días}$$

Por último, la duración de cada uno de los estados de la sección control de humedad, se convierte a fechas del año; estas fechas se expresan mediante el número de orden del día en el año, empezando el 001 que es el 1 de enero y finalizando con el 360 que es el último día del año, pues se considera que el año está dividido en 12 meses de 30 días cada uno.

C.6.2.- La temperatura del suelo

La temperatura media anual del suelo (T_m) se estima añadiendo 1.5°C a la temperatura media anual del aire. Las temperaturas medias del suelo a 50 cm de

profundidad durante el invierno (T_i) y durante el verano (T_v) se evalúan añadiendo de entrada el mismo valor a las temperaturas del aire y reduciendo después la diferencia en 1/3. La duración de los períodos en que la temperatura del suelo es mayor que 5°C o que 8°C , se obtiene por interpolación de las temperaturas mensuales del aire, que se sitúan en el día 15 de cada mes, y admitiendo un retraso de 21 días cuando aumenta la temperatura y de 10 días cuando disminuye.

C.6.3.- Determinación del régimen de humedad

El régimen de humedad del suelo para cada año se determina aplicando los criterios establecidos por el Soil Survey Staff (1975), esto es, efectuando el recuento de los diferentes estados de la sección control a lo largo del año o a lo largo de los períodos de temperatura del suelo mayor que 5°C o que 8°C . Por último, deben aplicarse las frecuencias que definen los distintos regímenes de humedad según Soil Taxonomy. Para el modelo de Newhall, dichas frecuencias son las que se especifican en el cuadro 11.

Al final del artículo de F. Newhall hay unos comentarios que es interesante resaltar. En primer lugar, se indica que "los resultados del modelo descrito deben ser interpretados con sentido común y no mecánicamente; hay que tener presente que el régimen de humedad se deduce de datos climáticos y no de datos de suelo y que los cálculos se basan en un modelo simple a base de ecuaciones de la humedad del suelo que son inexactas en algunos aspectos". Se añade a continuación que "el modelo no es más que una tentativa razonable entre otras posibles y el cálculo que se realice del régimen de humedad del suelo tiene como finalidad proporcionar guías útiles para la clasificación de los suelos y la optimización de su explotación agrícola".

C.7.- APLICACIONES Y MODIFICACIONES DEL MODELO DE NEWHALL

En este apartado se realiza una revisión cronológica no exhaustiva pero completa, de las versiones sucesivas del modelo de Newhall, así como de las aplicaciones que se

CUADRO 11.- Frecuencias que definen los regímenes de humedad de los suelos según el modelo de Newhall (1976)

Régimen de humedad	Régimen de temperatura	Criterios Soil Taxonomy (en porcentaje)						
		A	B	C	D	E	F	G
Aridic y Torric		≥ 51	≤ 50					
Udic(1)	Tm < 22° C y Tv-Tl ≥ 5° C			≤ 50	≤ 59			
Udic(2)	Tm ≥ 22° C y/o Tv-Tl < 5° C			≤ 50				
Ustic(1)	Tm < 22° C y Tv-Tl ≥ 5° C	I ≤ 50		≥ 51	≤ 59	≥ 60		
		II ≤ 50		≥ 51		≤ 59		
Ustic(2)	Tm ≥ 22° C y/o Tv-Tl < 5° C	I		≥ 51			≥ 51	
		II		≥ 51				≥ 51
Xeric	Tm < 22° C y Tv-Tl ≥ 5° C	I ≤ 50			≥ 60	≥ 60		
		II	≥ 60		≥ 60	≥ 60		
		III ≤ 50	≥ 60		≥ 60	≥ 60		

A = Seca > = 1/2 días acumulados con T > 5°C
 B = Húmeda o parc. húm > . = 90 días consec. con T > 8°C
 C = Seca o parc. seca < = 90 días acumulados
 D = Seca > = 45 días consec. en los 4 meses sig. solst. verano
 E = Húmeda = 45 días consec. en 4 meses sig. sols. invierno
 F = Parcialmente húmeda > = 180 días acumulados

CUADRO 12.- Subregímenes propuestos por Van Wambeke (1976)

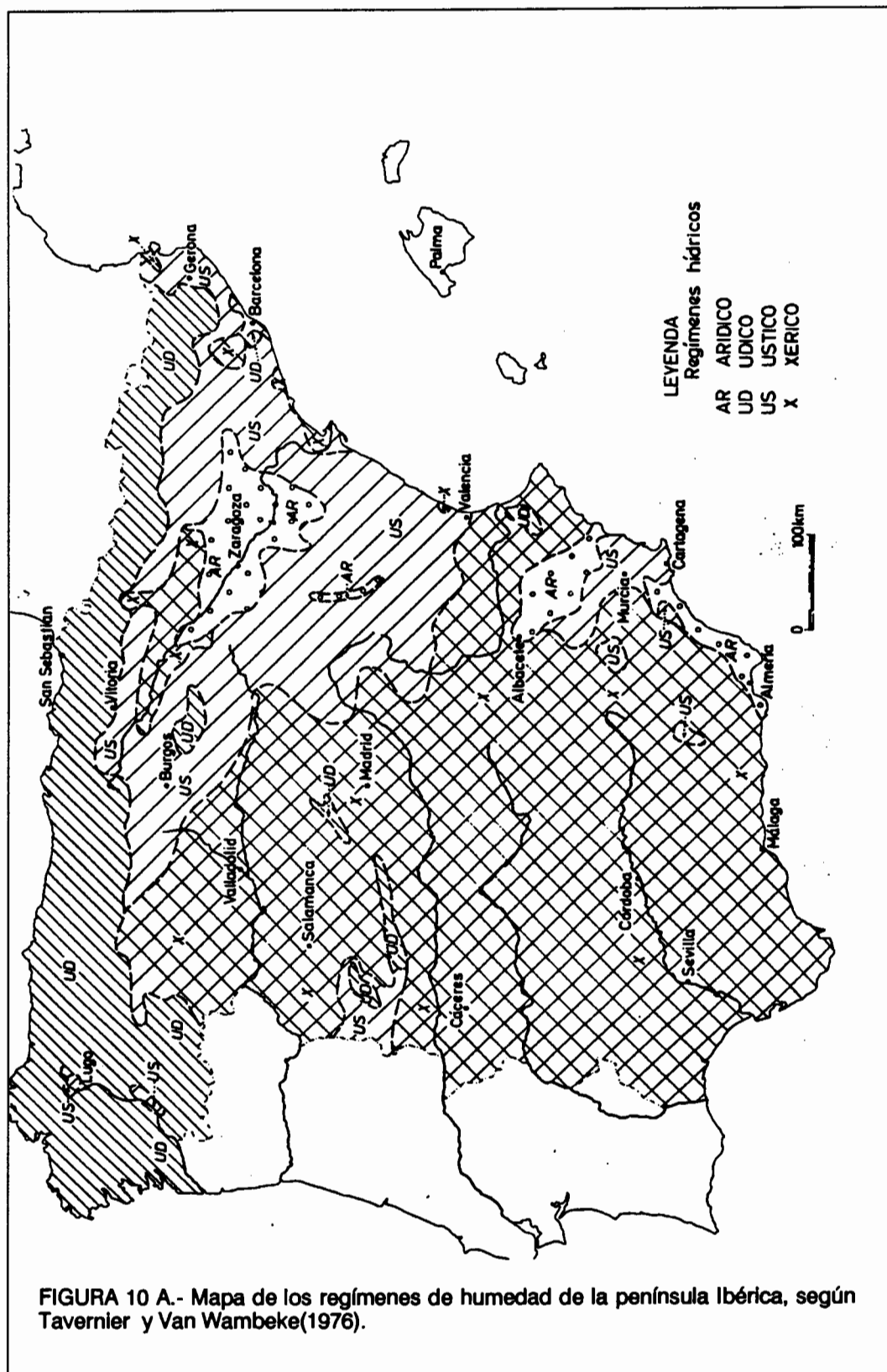
ARIDIC	Aridic extremo Aridic típico Aridic débil	XERIC	Xeric seco Xeric típico
UDIC	Contudic Tropudic mínimo Tropudic máximo Tropudic medio Tempudic mínimo Tempudic máximo Tempudic medio	USTIC	Tropustic aridic Tropustic Típico Tropustic Udic Tempustic Xeric Tempustic húmedo Tempustic seco Tempustic típico

han hecho del mismo, con especial referencia a los resultados obtenidos por los distintos autores y a las conclusiones principales destacadas por los mismos.

En 1976, TAVERNIER y VAN WAMBEKE desarrollaron un programa escrito en FORTRAN que sigue el modelo de Newhall y que aplicaron a unas series de datos de estaciones de la Península Ibérica y de este modo obtuvieron un mapa preliminar de los regímenes de humedad de España, en el que no se establecen los regímenes y subregímenes de humedad con claridad, además de incluir en el régimen Ustic algunos tipos que son clasificados como "fuera de control", según pusieron de manifiesto posteriormente GASCO e IBAÑEZ (1978). En el referido mapa, (figura 10 A) el Valle del Ebro se define como una zona con régimen Aridic situada en el centro de una zona de suelos con régimen Ustic.

En este mismo año 1976, A. VAN WAMBEKE aplica el modelo de Newhall a 131 estaciones de Líbano y Siria, aún cuando lo hace con datos mensual promedio de precipitación. En su publicación "Computation of soil temperature and moisture regimes in Lebanon and Syria according to F. Newhall's model", el autor introduce un primer intento de subdivisión de los regímenes de humedad de los suelos, matizando algunos de los criterios definidos en Soil Taxonomy e introduciendo otros nuevos; los subtipos resultantes se relacionan en el cuadro 12. Los subtipos introducidos por Van Wambeke no obtuvieron especial resonancia, en primer lugar por la dificultad que presentaba su sistematización y en segundo, porque dejaba muchos casos sin considerar (fuera de control). Por otra parte, este mismo autor puso de manifiesto algunas de las limitaciones del modelo de Newhall y propuso lo siguiente:

- 1) En lugar de 1 mes, utilizar períodos más cortos de 10 días
- 2) Introducir un factor de escorrentía superficial en zonas en las cuales el relieve limite la entrada en el perfil del agua de lluvia
- 3) Utilizar estimaciones más precisas de la evapotranspiración potencial de los suelos



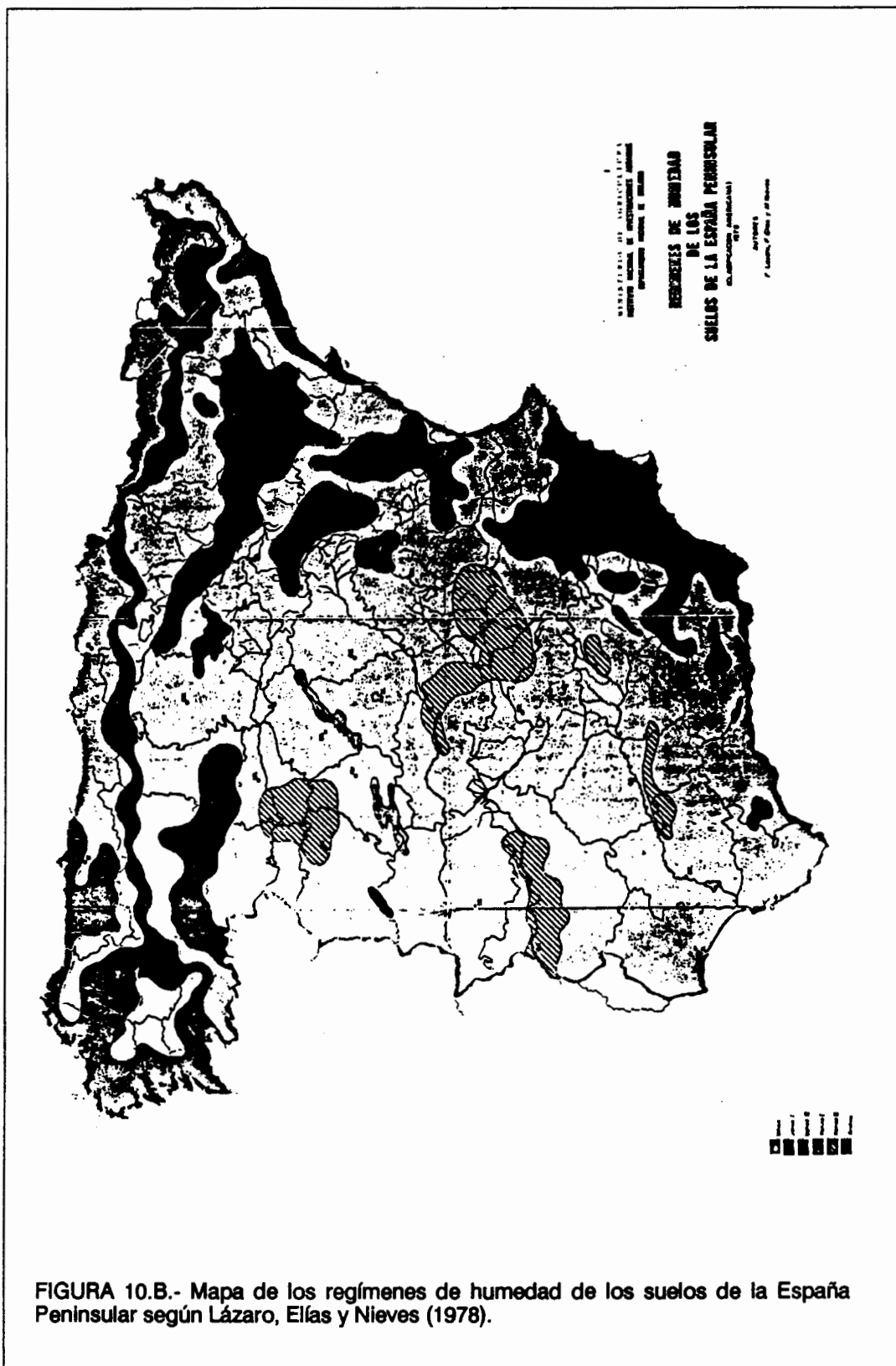
En la línea de estudiar la correlación entre el régimen de humedad y el clima, R.J. JACKSON (1976) realizó ensayos para verificar los modelos de Coulter, comprobándolo en 20 puntos de control y concluyendo que el contenido de humedad de los suelos previsto en el modelo concuerda aceptablemente con el contenido real.

En 1978, GASCO e IBAÑEZ, pusieron de manifiesto que en el modelo de Newhall se introducen y manejan criterios que no siguen normas basadas en la dicotomía, de modo que aparecen algunas lagunas e indefiniciones. Un primer ejemplo claro es el criterio B del cuadro 7, que presenta una laguna en el intervalo 50 - 60. En el cuadro 9 puede observarse la coincidencia entre dos subtipos del régimen Udic(1) con otros dos subtipos del régimen Aridic(1), lo que es una contradicción pues conceptualmente ambos corresponden a suelos con regímenes muy diferentes.

Análogamente, en el cuadro 10 puede observarse que ocurre otra coincidencia que en este caso tiene lugar entre tres subtipos de regímenes: Udic(2) y Ustic(2) con Aridic(2).

En 1978, LAZARO et al. aplican los criterios de Soil Taxonomy y elaboran un programa escrito en FORTRAN mediante el cual obtienen un mapa de regímenes de humedad de los suelos de España (figura 10 B) según el cual el régimen Udic se encuentra en el noroeste y en algunos puntos del Sistema Central y Sierra Nevada; el régimen Ustic-I se encuentra rodeando al Udic en zonas del norte y noroeste, mientras que el Ustic-II se encuentra al sur de León, tierra de Campos y Levante. El régimen Aridic se encuentra en el valle del Ebro y en el sureste de la península. El régimen Xeric-II se registra en el sureste de Zamora, norte de Salamanca y sur de Valladolid, en La Mancha y en los valles del Guadiana y Guadalquivir; en el resto del país se encuentra el régimen Xeric-I. Estos resultados difieren en algunos aspectos de los obtenidos por Tavernier y Van Wambeke en 1976.

En 1979, ELIAS e IBAÑEZ llegan a una conclusión parecida a la de Tavernier y Van Wambeke al aplicar el modelo de Newhall a una serie de 114 años correspondiente a un



observatorio de Valencia y estos autores escriben entre sus conclusiones que los resultados ponen de manifiesto la necesidad de medidas directas en el campo durante varios años, del estado de la sección control de humedad del suelo y de esta manera, poder contrastar los modelos matemáticos propuestos.

En 1981, WATSON calcula el régimen de humedad del suelo en cuarenta puntos de Zimbabwe, mediante el modelo de Newhall y establece una correlación lineal entre el número de días al año en que la sección control de humedad está en estado D y en los estados B ó M con el logaritmo del cociente entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial anual; el coeficiente de correlación encontrado es alto ($0.84 < r < 0.96$). A partir de las rectas de regresión, el autor expone como estimar el régimen de humedad a partir de la precipitación anual y de la ETP calculada a partir de la latitud.

En un trabajo publicado en 1982, W. VERHEYE establece una correlación entre los diversos factores que caracterizan el edafoclima y los parámetros que caracterizan la temperatura del aire. En él se afirma que es posible evaluar de un modo sencillo y rápido el régimen de humedad de un suelo en zonas tropicales y subtropicales secas, en base a datos sencillos de temperaturas y precipitaciones medias anuales, del modo siguiente. En primer lugar se calcula el índice I de Angstrom, que viene dado por:

$$I = P / (1.07)^t$$

siendo:

P = precipitación media anual, en mm, calculada con una serie de al menos 15 años

t = temperatura media anual del aire, en °C.

A continuación se calcula la función F(I) dada por:

$$F = 320 e^{-0.005I}$$

y entonces se tiene:

1) si $F > 220$, el régimen es Aridic

2) si $F < 80$, el régimen es Udic

3) si $80 < F < 220$, la lluvia tiene lugar en invierno y $T_m < 22^\circ \text{C}$ ó $D > 5^\circ \text{C}$, el régimen es Xeric

4) en los demás casos, el régimen es Ustic.

Naturalmente, la metodología anterior es por sí misma bastante imprecisa al utilizar valores muy promediados y además se basa en un ajuste exponencial efectuado para una zona concreta en base a datos disponibles de la misma, por lo que es difícil que sea válida para cualquier otra área geográfica sin modificar la ecuación de la función ajustada.

En 1983, V.IBAÑEZ y J.M.GASCO formulan unas propuestas de modificación y mejora de los mecanismos de diseño y funcionamiento del modelo de Newhall y elaboran un programa en APL del citado modelo. En este trabajo, se comenta la posibilidad de alterar las secuencias de entrada y de extracción del agua en el perfil del suelo; la alteración de la secuencia de entrada no se justifica (de hecho se propone una secuencia aleatoria) mientras que la de extracción se justifica en base a algunos casos concretos: suelo sin raíces y sin apenas retención de humedad, suelo con distribución uniforme de raíces y potencial matricial muy elevado, suelo con presencia de un horizonte argílico y, por último, suelo con presencia de grietas (vertisoles).

F. ALBERTO y col. (1984) estudiaron el régimen de humedad de los suelos de la cuenca del Ebro, mediante aplicación del modelo de Newhall a 223 series de datos de estaciones de la cuenca; obtención cinco regímenes de humedad: aridic, xeric, ustic, udic y perudic (figura 11). El trazado de los límites entre los cinco regímenes encontrados se basa en dos tipos de análisis; por un lado la relación lineal encontrada por los autores entre altitud o distancia al mar y los parámetros específicos de contacto entre regímenes

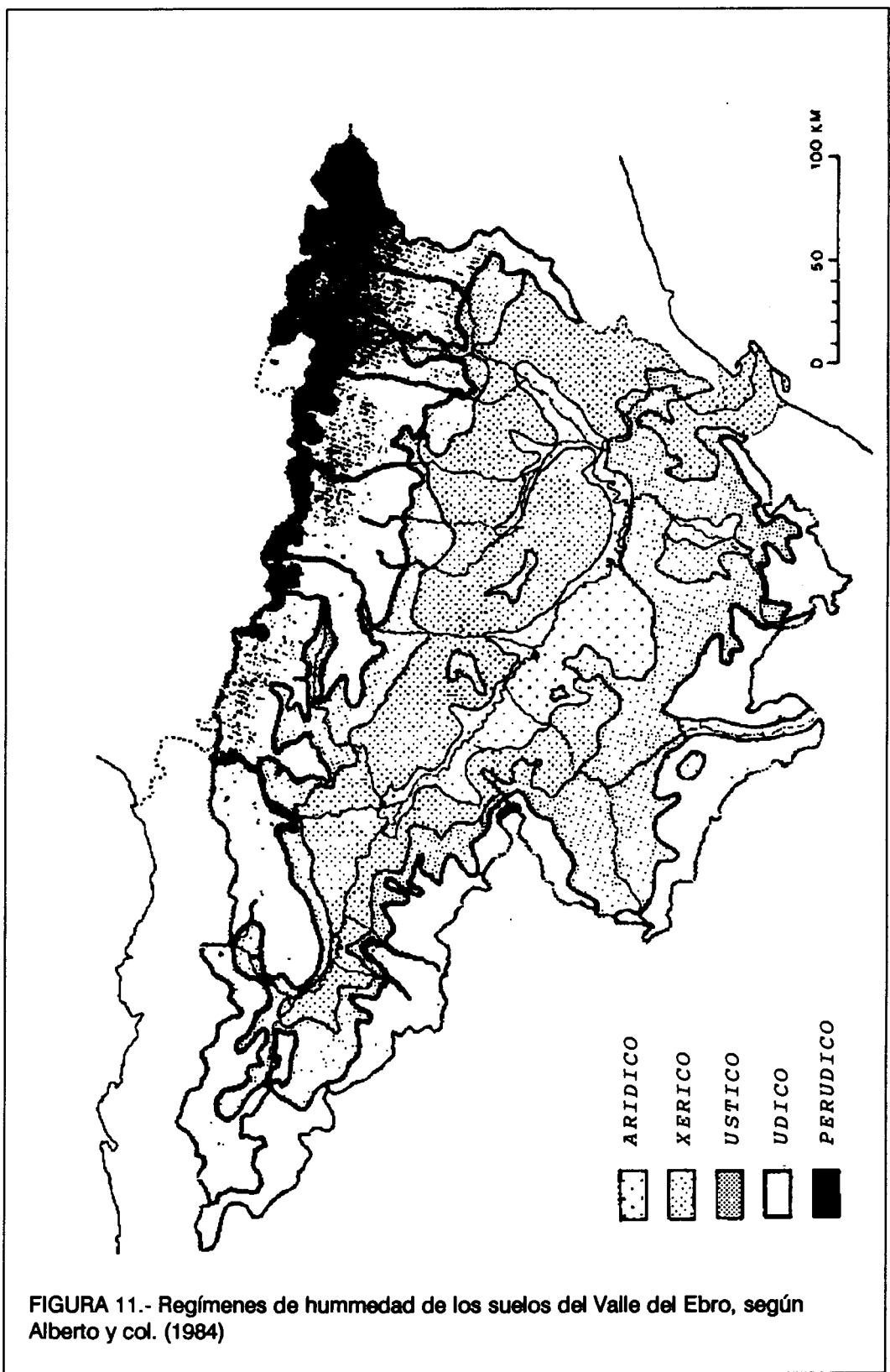
y por otro, la correspondencia determinada entre cubierta vegetal y el régimen de humedad del suelo.

Durante los años 1985 y 1986 se elaboró, bajo la coordinación de J. POMAR y E. JARAUTA, en la ETSIA de Lérida un paquete de programas para aplicar el método de Newhall, basado en un programa en BASIC realizado por J. Pomar (1979); este paquete de programas permite:

- 1) Elaborar ficheros de precipitación diaria
- 2) Elaborar ficheros de precipitación mensual
- 3) Elaborar ficheros de temperatura media mensual
- 4) Elaborar ficheros de ETP potencial (Thornthwaite)
- 5) Procesar los datos anteriores mediante el modelo simulativo de F. Newhall y obtener el régimen de humedad de una serie en conjunto y año por año.

En 1987, J.POMAR y J.COMAS elaboraron un programa de simulación mediante ordenador basado en el modelo de Newhall, para visualizar el movimiento y contenido de agua en el suelo a lo largo del tiempo; mediante el mismo puede ponerse de manifiesto que para una misma pluviometría anual, el contenido final de agua en el suelo es diferente en función de la distribución de la época de lluvias, con la consiguiente influencia en el régimen resultante para la humedad del suelo.

E. JARAUTA (1988) aplica el programa de Pomar (1979) a doce series de observatorios del área meridional de Lleida y compara los resultados con el régimen de humedad determinado en el campo mediante los perfiles hídricos de dos puntos de control seleccionados de la comarca. En el cuadro 13 figuran los regímenes de humedad calculados mediante el modelo simulativo de Newhall de cada una de las series; posteriormente se discuten estos resultados.



CUADRO 13.- Régimen de humedad de diversos observatorios del área meridional de Lleida estimados según modelo de Newhall (1976)

OBSEVATORIO	SERIE	CRITERIOS SOIL TAXONOMY (frecuencia en %)					REGIMEN DE HUMEDAD
		A	B	C	D	E	
ALBAGES	66-87	27	64	95	90	50	USTIC(1)-II
ALMATRET	84-87	25	75	100	100	50	USTIC(1)-II
ASPA	85-87	33	33	100	100	67	XERIC-I
BORGES BL	69-87	37	74	100	90	47	USTIC(1)-II
CASTELLDANS	84-87	25	75	100	100	50	USTIC(1)-II
JUNEDA	68-87	35	60	100	100	35	USTIC(1)-II
LLARDECANS	68-87	45	60	100	95	40	USTIC(1)-II
OMELLONS	51-87	49	54	100	95	38	USTIC(1)-II
SARROCA	84-87	50	25	100	100	25	USTIC(1)-II
SUÑE	84-87	50	50	100	100	25	USTIC(1)-II
TORREBESES	86-87	0	0	100	100	50	USTIC(1)-II
VILOSELL	67-87	10	90	95	81	81	XERIC-III