

0035:

0025 = 46260



Biblioteca Rector Gabriel Ferraté  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

T 89/56

1400436402

**UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA**

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS  
INDUSTRIALES DE BARCELONA**

**TESIS DOCTORAL**

**MODELOS MATEMATICOS DEL REGIMEN DE  
HUMEDAD DE LOS SUELOS.  
APLICACION A LA DETERMINACION DEL  
REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS  
DEL AREA MERIDIONAL DE LLEIDA**

**REALIZADA POR: EUSEBIO JARAUTA BRAGULAT**

**DIRECTOR: DR. JAIME PORTA CASANELLAS**

*A la meva esposa Adolfinia  
I als meus fills Eduard i Alexandre*

## **AGRADECIMIENTOS**

En una investigación de esta naturaleza, hubiese sido imposible llegar a un final más o menos feliz sin la ayuda, consejo y colaboración de bastantes personas. Sirvan estas líneas para testimoniarles mi más sincero agradecimiento.

Quiero agradecer en primer lugar al Dr. JAUME PORTA CASANELLAS, inspirador y promotor de este trabajo, su eficaz labor de dirección y su apoyo constante, así como las facilidades de todo tipo que ha dado para la utilización del laboratorio del departamento de Meteorología y Ciencia del Suelo en la E.T.S. de Ingeniería Agraria de Lleida.

Al Dr. FERRAN PUERTA SALES, vicerector de Personal Académico de la UPC, maestro y amigo, le agradezco su aliento constante para la realización de esta Tesis.

Al Dr. MANUEL CASTELEIRO MALDONADO, director del departamento de Matemática Aplicada III de la UPC, le agradezco su apoyo personal e institucional para el desarrollo de esta Tesis.

Al Dr. JAVIER BARRÀGAN FERNANDEZ, le agradezco su apoyo en todo momento y sus comentarios y sugerencias.

A los profesores del departamento de Meteorología y Ciencia del Suelo de la UPC, JAUME BOIXADERA LLOBET y JOSEP M. VILLAR MIR, les agradezco sus valiosos comentarios y sugerencias a lo largo del desarrollo de la Tesis.

Al Dr. MARIO NIEVES BERNABE y al Dr. FRANCISCO ELIAS CASTILLO les agradezco sus comentarios, que han permitido mejorar algunos aspectos de este trabajo.

Al Dr. JESUS POMAR GOMA le agradezco su colaboración en los programas para la aplicación del modelo de Newhall.

A mi compañero XAVIER FLOTATS RIPOLL del departamento de Matemática Aplicada III de la UPC le agradezco su colaboración en la elaboración de programas en dBase III.

A JUAN P. MUR SANCHO le agradezco su inestimable colaboración durante la redacción del programa del modelo simulativo propuesto en este trabajo y a JESUS LORES VIDAL la supervisión de dicho programa.

A todos los miembros del Centro del Ebro del Instituto Nacional de Meteorología y en especial a los señores A. ASCASO y M. CASALS así como al responsable del observatorio de Lleida ARMANDO ALVAREZ, les agradezco las facilidades que han dado para conseguir los datos climáticos necesarios para la realización de este trabajo.

Al INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA le expreso mi agradecimiento por haber cedido los pluviómetros hoy instalados en el área meridional de Lleida e incorporados a la red nacional.

También quiero agradecer a la EXCMA DIPUTACION PROVINCIAL DE LLEIDA, la subvención concedida para la realización de esta investigación.

Finalmente, quiero expresar mi reconocimiento a A. PANADES y M. HUGUET artífices de la elaboración mecanográfica de este trabajo.

Lleida, marzo de 1989

Eusebio Jarauta

## **RESUMEN**

En el área meridional de Lleida, la falta de agua para riego restringe las posibilidades de un uso agrícola más intensivo de los suelos. La mejora de tal situación pasa por disponer de una mejor información acerca de los contenidos de agua existentes en los suelos, tanto en las condiciones actuales de cultivo en seco, como de una posible transformación futura en regadío.

La presente investigación se ha desarrollado durante los años 1984 a 1988. Como consecuencia de la realización de la misma, se ha aumentado el número de puntos en los que se mide la precipitación en el área meridional de Lleida en un 67 %, al pasar de nueve a quince los pluviómetros existentes; por tanto, se ha mejorado notablemente la información de base para cálculos posteriores. Además, los observatorios se han integrado en la red del Instituto Nacional de Meteorología, lo que asegura el almacenamiento, conservación y acceso a la información.

El objetivo de este trabajo ha sido estudiar las disponibilidades de agua en los suelos de la zona estudiada. Se ha planteado en base a medidas de perfiles hídricos en campo durante cuatro años, para poder conocer los estados reales de las secciones control de humedad. Se seleccionaron veintidós puntos representativos de los suelos de la comarca, de los cuales se eligieron dos para realizar medidas continuadas del contenido de humedad del suelo a lo largo de los cuatro años que ha durado la investigación.

Un segundo objetivo ha consistido en determinar cuál es el régimen de humedad de los suelos estudiados con el fin de poder establecer su clasificación. Al estar en duda si el régimen era Aridic o no, la clasificación se veía afectada al máximo nivel, es decir a nivel de Orden.

Los resultados obtenidos han puesto de manifiesto la inadecuación del modelo formulado por F. Newhall (1976) para las Great Plains de los EE.UU., cuando se intenta aplicar a la determinación del régimen de humedad de los suelos de una zona semiárida como el área meridional de Lleida. Ello se debe fundamentalmente a la distribución de las precipitaciones en la zona estudiada, a defectos de diseño del mecanismo de simulación de la infiltración y de la evapotranspiración y a que no se tenían en cuenta las características de los suelos y sus diferentes capacidades de retención de humedad.

Como resultado del estudio realizado se propone un nuevo modelo simulativo del régimen de humedad de los suelos que tiene como características principales:

- posibilidad de utilizar datos de precipitación diaria o mensual.
- posibilidad de tener en cuenta la eficacia de penetración de las precipitaciones en el suelo.
- tiene en cuenta las características de los suelos de la zona a la que se aplica el modelo, incidiendo en las secuencias de infiltración y evapotranspiración.
- posibilidad de utilizar perfiles de distintas capacidades de retención de humedad.
- consideración del cultivo como elemento activo en la extracción de agua del suelo.
- tiene en cuenta las características climáticas locales.
- permite conocer el régimen de humedad de los suelos año por año y de una serie de años.
- permite conocer el estado de la sección control cada día de los años de la serie estudiada.
- elimina las imprecisiones observadas en Soil Taxonomy para la determinación del régimen de humedad.

El programa informático que realiza los cálculos del modelo simulativo, está escrito en lenguaje PASCAL y es de muy fácil instalación en un ordenador PC que utilice el sistema operativo MS-DOS; su manejo es también muy sencillo.

El modelo simulativo se ha validado aplicándolo a series de datos de la zona estudiada, teniendo en cuenta diferentes perfiles y diferentes cultivos, resultando que en el área meridional de Lleida los suelos tienen en general el régimen XERIC-I y alta probabilidad de ARIDIC en suelos de poca profundidad. Por el contrario, el régimen USTIC que resultaba al aplicar el modelo simulativo de F. Newhall parece no existir en la zona estudiada, de acuerdo con las medidas realizadas en campo.

## SUMMARY

*Lack of irrigation water in southern Lleida (north-east of Spain) restricts the possibilities of an intensive use of soils. To better this situation we need a good information about soil moisture contents, either in the present situation or in a future implantation of some irrigation methods.*

*The present research has been developed from 1984 to 1988. Its first aim has been to study the soil moisture contents in the above mentioned area during these years. The soil moisture contents has been determined in order to stablish the real situation of the moisture control section; from twenty-two initial control points we selected two representative ones.*

*The second aim has been to determine the moisture regimes of soils in the above mentioned area in order to determine its classification as Soil Taxonomy (USDA, 1975) is concerned, to avoid te problems that arose from the fact of not knowing whether the regime was Aridic or not.*

*In this research, Franklin Newhall's simulation model (1976) has been proved inadequated when applied in a semiarid zone like the studied. Therefore we propose a new simulation model for the soil moisture regimes with the following main properties: (1) possibility of using daily or monthly precipitation data; (2) possibility of taking into account the efficiency of infiltration of rainfall water; (3) possibility of using in the model soil profiles of different available water capacity ; (4) it takes into account local soils and local weather properties; (5) it allows knowing the soil moisture regime of a series of years and each one on its own; (6) it allows knowing the state of the moisture control section each day during each year of the studied series; (7) it is very easy to use in a Personal Computer with MS-DOS operating system.*

*Finally, there is a great coincidence between the experimental metioned results and the estimation obtained by applying the model proposed in this work. Therefore, the soil moisture regimes in southern Lleida are Xeric and Aridic in soils with lower available water capacity, opposite to Ustic regime obtained by applying the F. Newhall's model.*



## INDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| CAPITULO 1: INTRODUCCION.....   | 2  |
| OBJETIVOS.....  | 3  |
| A - MEDIO NATURAL: BREVE DESCRIPCION DE LA ZONA ESTUDIADA .....                     | 4  |
| A.1. SITUACION Y LIMITES.....   | 4  |
| A.2. MUNICIPIOS Y RECURSOS.....   | 6  |
| A.3.- CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS .....   | 9  |
| A.4.- SUELOS .....  | 13 |
| A.5.- CULTIVOS.....   | 13 |
| B - REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS .....  | 15 |
| B.1.- INTRODUCCION .....  | 15 |
| B.2.- LA SECCION CONTROL DE HUMEDAD .....   | 17 |
| B.3. REGIMENES DE HUMEDAD SEGUN SOIL TAXONOMY. CRITERIOS PARA SU DETERMINACION..... | 18 |
| B.3.1.- Régimen AQUIC .....   | 22 |
| B.3.2.- Regímenes ARIDIC y TORRIC .....   | 22 |
| B.3.3.- Régimen UDIC.....   | 24 |
| B.3.4.- Régimen USTIC.....  | 24 |
| B.3.5.- Régimen XERIC.....  | 25 |
| C - EL MODELO SIMULATIVO DE F. NEWHALL (1976) .....                                 | 29 |
| C.1.- INTRODUCCION .....  | 29 |
| C.2.- MODELIZACION DEL PERFIL DEL SUELO.....  | 31 |
| C.3.- SIMULACION DE LA INFILTRACION DEL AGUA.....                                   | 31 |
| C.4.- SIMULACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION.....                                      | 33 |
| C.5.- VARIABLES CLIMATICAS .....  | 33 |
| C.6.- CALCULO DEL REGIMEN DE HUMEDAD.....   | 36 |
| C.6.1.- La precipitación mensual.....   | 36 |
| C.6.2.- La temperatura del suelo .....  | 37 |
| C.6.3.- Determinación del régimen de humedad.....                                   | 39 |
| C.7.- APLICACIONES Y MODIFICACIONES DEL MODELO DE NEWHALL.....                      | 39 |
| <br>  |    |
| CAPITULO 2: MATERIAL Y METODOS.....   | 49 |
| A - VARIABLES CLIMATICAS: FUENTES DE INFORMACION.....                               | 49 |
| A.1.- PRECIPITACION.....  | 50 |
| A.2.- TEMPERATURA DEL AIRE.....   | 52 |
| B- METODOS DE TRABAJO EN CAMPO Y LABORATORIO.....                                   | 52 |
| B.1.- SECCION CONTROL DE HUMEDAD.....   | 52 |

|  |     |
|--|-----|
| B.2.- DENSIDAD APARENTE.....   | 55  |
| B.3.- TEMPERATURA DEL SUELO A 50 CM.....   | 55  |
| B.4.- PERFILES HIDRICOS.....   | 57  |
| B.5.- CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD .....  | 58  |
| C - METODOS INFORMATICOS .....   | 60  |
| C.1.- PROGRAMAS ESTANDAR.....  | 60  |
| C.1.1.- Programa STATGRAF .....  | 60  |
| C.1.2.- Programa ESTAD-PC.....   | 60  |
| C.2 - PROGRAMAS ELABORADOS .....   | 61  |
| C.2.1.-Programa "TMPSUELO".....  | 61  |
| C.2.2.- PROGRAMA "PERFILHI".....   | 61  |
| <br>   |     |
| CAPITULO 3: RESULTADOS.....  | 64  |
| A - VARIABLES CLIMATICAS .....   | 64  |
| A.1.- PRECIPITACION.....   | 64  |
| A.2.- TEMPERATURA DEL AIRE.....  | 65  |
| B.- MEDIDAS DE CAMPO.....  | 68  |
| B.1.- SECCION CONTROL DE HUMEDAD.....  | 68  |
| B.2.- DENSIDAD APARENTE.....   | 68  |
| B.3.- TEMPERATURA DEL SUELO A 50 CM.....   | 68  |
| B.4.- PERFILES HIDRICOS.....   | 69  |
| B.5.- CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD DEL SUELO.....                                     | 75  |
| B.6.- REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS .....   | 75  |
| <br>   |     |
| CAPITULO 4: DISCUSION DE RESULTADOS.....   | 94  |
| A - RESULTADOS EXPERIMENTALES .....  | 94  |
| A.1.- DISTRIBUCION DE LAS PRECIPITACIONES ANUALES.....                                     | 94  |
| A.2.- OBTENCION DE UN PARAMETRO DE INTENSIDAD MEDIA.....                                   | 95  |
| A.3 - MEDIDAS DE CAMPO.....  | 96  |
| A.3.1.- Sección control de humedad.....  | 99  |
| A.3.2.- Temperatura del suelo a 50 cm .....  | 99  |
| A.3.3.- Perfiles hídricos .....  | 102 |
| A.3.4.- Régimen de humedad de los suelos .....   | 102 |
| B - DISCUSION DEL MODELO DE F. NEWHALL (1976) .....  | 103 |
| B.1.- INTRODUCCION .....   | 103 |
| B.2.- CRITICA DEL METODO .....   | 104 |
| B.2.1.- Modelización del perfil del suelo.....   | 104 |
| B.2.2.- Cantidad de agua entrada en el perfil .....  | 105 |
| B.2.3.- Cantidad de agua extraída del perfil.....  | 105 |
| B.2.4.- Secuencias de entrada y salida de agua.....  | 106 |
| B.2.5.- Universalidad de la aplicación del modelo.....                                     | 106 |
| C - FORMULACION DE UN NUEVO MODELO SIMULATIVO DEL REGIMEN DE<br>HUMEDAD DE LOS SUELOS..... | 107 |

|   |     |
|---|-----|
| C.1.- MODELIZACION DEL PERFIL DEL SUELO.....  | 107 |
| C.2.- ENTRADA DE AGUA EN EL PERFIL .....  | 111 |
| C.2.1.- Datos de precipitación.....   | 111 |
| C.2.2.- Mecanismo de entrada de agua.....   | 111 |
| C.2.3.- Secuencia de entrada de agua.....   | 112 |
| C.3.- EXTRACCION DE AGUA DEL SUELO .....  | 112 |
| C.3.1.- Cálculo de la evapotranspiración.....   | 112 |
| C.3.1.1.- Suelo con cultivo.....  | 116 |
| C.3.1.2.- Suelo sin cubierta vegetal.....   | 120 |
| C.3.2.- Secuencia de extracción de agua.....  | 126 |
| C.4.- TEMPERATURA DEL SUELO .....   | 126 |
| C.5.- CALCULO DEL REGIMEN DE HUMEDAD.....   | 126 |
| D- PROGRAMA INFORMATICO DEL MODELO FORMULADO: DESCRIPCION Y<br>FUNCIONAMIENTO.....  | 126 |
| E - VALIDACION DEL MODELO Y APLICACION A LA DETERMINACION DEL<br>REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS DEL AREA MERIDIONAL DE LLEIDA.. | 140 |
| E.1.- VALIDACION DEL MODELO.....  | 140 |
| E.2.- APLICACION DEL MODELO PROPUESTO A LA DETERMINACION DEL<br>REGIMEN DE HUMEDAD DE LOS SUELOS DEL AREA MERIDIONAL DE LLEIDA..  | 141 |
| CAPITULO 5 : CONCLUSIONES.....  | 169 |
| BIBLIOGRAFIA .....  | 172 |

## INDICE DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| CUADRO 1.- Municipios del área meridional de Lleida.....  | 8  |
| CUADRO 2.- Observatorios de la comarca, con sus características .....   | 8  |
| CUADRO 3.-Series de precipitación diaria y de precipitación mensual disponibles<br>los observatorios del área meridional de Lleida .....  | 12 |
| CUADRO 4.- Categorías de los suelos del área meridional de Lleida.(Porta y col.<br>1983):esquema provisional a falta de mayor información acerca de los regímenes de<br>humedad.....                        | 12 |
| CUADRO 5.- Distribución de la superficie de la comarca (ha) relativa a la utilización<br>agrícola en cada subcomarca. (Datos tomados de Generalitat de Catalunya, 1984) .....                               | 14 |
| CUADRO 6.- Distribución de las superficies (ha )dedicadas a los diferentes<br>cultivosde la comarca y porcentaje respecto a la superficie labrada.(Datos tomados de<br>Generalitat de Catalunya 1984) ..... | 14 |
| CUADRO 7.- Frecuencias que definen los regímenes de humedad de los<br>suelos.según Soil Taxonomy (1975) .....   | 21 |
| CUADRO 8.-Ecuaciones lógicas que describen los regímenes de humedad defini-<br>dos por Soil Taxonomy (1975) según Gascó-Ibañez (1978).....  | 26 |
| CUADRO 9- Subtipos de los diferentes regímenes de humedad en régimen no-<br>TROP, según Gascó- Ibañez (1978).....   | 27 |
| CUADRO 10.- Subtipos los diferentes regímenes de humedad en régimen<br>TROP,según Gascó - Ibañez (1978).....  | 28 |
| CUADRO 11.- Frecuencias que definen los regímenes de humedad de los suelos<br>según el modelo de Newhall (1976) .....   | 38 |
| CUADRO 12.- Subregímenes propuestos por Van Wambeke (1976) .....  | 38 |
| CUADRO 13.- Régimen de humedad de diversos observatorios del área meridional<br>de Lleida estimados según modelo de Newhall (1976).....   | 47 |
| CUADRO 14.- Observatorios de la comarca utilizados en este trabajo, con su<br>símbolo y sus coordenadas (Fuente: Instituto Nacional de Meteorología .....   | 51 |
| CUADRO 15.- Estudio estadístico de datos termométricos de los observatorios<br>Lleida y Borges Blanques (1968-1984).....  | 51 |
| CUADRO 16.- Puntos de la comarca en que se ha determinado la curva<br>características de humedad del suelo y profundidad (cm) a que corresponde .....   | 59 |
| CUADRO 17.- Distribución del número de días de precipitación en cada mes (Serie<br>del observatorio Omellons 1948-1987) .....   | 66 |
| CUADRO 18.- Distribución de la precipitación mensual respecto a la precipitación<br>anual, expresada en tanto por ciento (serie del observatorio de Omellons, 1948 - 1987) .                                | 66 |

|   |    |
|---|----|
| CUADRO 19.- Parámetros de la serie de precipitaciones del observatorio de Omellons (1948 - 1987).....   | 67 |
| CUADRO 20.- Temperatura media mensual del aire (°C) en los años 1985 a 1988 (Datos del observatorio de Lleida).....   | 67 |
| CUADRO 21 - Límites de la sección control de humedad (cm) determinados en 22 puntos de la comarca .....   | 70 |
| CUADRO 22.- Densidad aparente en distintos puntos de control de la comarca .....  | 71 |
| CUADRO 23.- Temperatura del suelo a 50 cm de profundidad en el geotermómetro de Sarroca. Año 1985 .....   | 72 |
| CUADRO 24.-Temperatura del suelo a 50 cm de profundidad en el geotermómetro de Sarroca. Año 1986.....   | 72 |
| CUADRO 25.- Temperatura del suelo a 50 cm de profundidad en el geotermómetro de Sarroca. Año 1987 .....   | 73 |
| CUADRO 26.- Temperatura del suelo a 50 cm de profundidad en el geotermómetro de Sarroca. Año 1988 .....   | 73 |
| CUADRO 27.-Temperatura media mensual del suelo (° C) a 50 cm en el punto de control SAR-3. Serie 1985 - 1988.....   | 74 |
| CUADRO 28.- Comparación entre los parámetros de la temperatura del suelo y del aire en el punto de control SAR-3. ....  | 74 |
| CUADRO 29.- Período en que temperatura de suelo mayor que 5° C y que 8° C en el punto de control SAR-3 .Serie 1985 - 1988.....  | 74 |
| CUADRO 30.- Estado de la sección control en el punto SAR-3 determinado en campo durante 1985.....   | 77 |
| CUADRO 31.- Estado de la sección control en el punto SAR-3 determinado en campo durante 1986.....   | 77 |
| CUADRO 32.- Estado de la sección control en el punto SAR-3 determinado en campo durante 1987 .....  | 78 |
| CUADRO 33.- Estado de la sección control en el punto SAR-3 determinado en campo durante 1988 .....  | 78 |
| CUADRO 34.- Estado de la sección control en el punto SUN- 2 determinado en campo durante 1985 .....   | 79 |
| CUADRO 35.- Estado de la sección control en el punto SUN-2 determinado en campo durante 1986.....   | 79 |
| CUADRO 36.- Estado de la sección control en el punto SUN-2 determinado en campo durante 1987.....   | 80 |
| CUADRO 37.- Estado de la sección control en el punto SUN-2 determinado en campo durante 1988.....   | 80 |
| CUADRO 38.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control en SAR-3 en cada uno de los días del año 1985, deducido por Interpolación de los datos de campo..... | 81 |
| CUADRO 39.- Estado de la sección control de humedad en punto de control SAR-3 en cada uno de los días del año 1986, deducido por interpolación de los datos de campo.....       | 82 |

|   |     |
|---|-----|
| CUADRO 40.- Estado de la sección control de humedad en punto de control SAR-3 en cada uno de los días del año 1987, deducido por interpolación de los datos de campo.....   | 83  |
| CUADRO 41.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SAR-3 en cada uno de los días del año 1988, deducido por interpolación de los datos de campo.....  | 84  |
| CUADRO 42.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1985, deducido por interpolación de los datos de campo.....  | 85  |
| CUADRO 43.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1986, deducido por interpolación de los datos de campo.....  | 86  |
| CUADRO 44.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1987, deducido por interpolación de los datos de campo.....  | 87  |
| CUADRO 45.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1988, deducido por interpolación de los datos de campo.....  | 88  |
| CUADRO 46.- Porcentaje de estados de la sección control de humedad medidos en los puntos de control SAR-3 y SUN-2 (Serie 1985-1988).....  | 89  |
| CUADRO 47.- Valores del contenido gravimétrico de humedad para distintos valores del potencial matricial (kPa) correspondientes a las curvas características de los puntos de control. (Reelaboración de datos cedidos por G. Echeverría).....  | 90  |
| CUADRO 48.- Valores de los parámetros del ajuste matemático del potencial matricial en función del contenido de humedad de las curvas características de los suelos de distintos puntos de control..Función de ajuste :y: $a \cdot x^b$ . (Reelaboración de datos cedidos por G. Echeverría)..... | 91  |
| CUADRO 49.- Criterios de Soil Taxonomy (1975) para la determinación del régimen de humedad de los suelos; verificados en la determinación experimental del estado de la sección control de humedad en cada uno de los puntos de control. ....   | 92  |
| CUADRO 50.- Regímenes de humedad medidos experimentalmente en los puntos de control y estimados mediante el modelo de F. Newhall (1976).....  | 92  |
| CUADRO 51.- Precipitaciones anuales de los observatorios de Sarroca y Suñé (1984 - 1988).....   | 98  |
| CUADRO 52.- Valor del coeficiente de intensidad de precipitación deducido a partir de la serie Omellons 1948-1987.....  | 98  |
| CUADRO 53.- Diferencias entre la temperatura media mensual del aire y la temperatura media mensual del suelo en el observatorio de Sarroca. Serie 1985-1988...  | 101 |
| CUADRO 54.- Valor estimado de la temperatura media mensual del suelo a partir de la temperatura media mensual del aire según los datos del observatorio de Lleida y del geotermómetro de Sarroca (Serie 1985-1988). ....  | 101 |
| CUADRO 55.- Características de diseño de los modelos de F.Newhall (1976) y del propuesto en este trabajo.....   | 108 |

|  |     |
|--|-----|
| CUADRO 56.- Porcentaje diario medio de horas diurnas anuales (p) a diferentes latitudes (Doorenbos - Pruitt ,1977)- .....  | 113 |
| CUADRO 57.- Ecuaciones de la recta ETo en función de , según los valores de HRmín, n/N y U.....  | 115 |
| CUADRO 58.- Coeficientes de cultivo para diferentes especies vegetales, según Doorenbos y Pruitt (1977) y Doorenbos y Kassam (1980).....   | 113 |
| CUADRO 59.- Valores de la fracción de agua disponible (q) en función de la ETc (mm/día) para distintos cultivos (Según Doorenbos y Pruitt, 1977) .....   | 119 |
| CUADRO 60.- Parámetros del ajuste exponencial para el cálculo de la evaporación en un suelo desnudo, en función de la textura y la frecuencia de lluvias (F, días/mes) ....  | 119 |
| CUADRO 61.- Ecuaciones lógicas que se proponen para describir los regímenes de humedad de los suelos de acuerdo con los criterios definidos por Soil Taxonomy (1975). .....  | 122 |
| CUADRO 62.- Propuesta de definición de los subtipos de regímenes de humedad de los suelos (régimen de temperatura no-trop). .....  | 123 |
| CUADRO 63.- Propuesta de definición de los regímenes de humedad de los suelos (régimen de temperatura trop) .....  | 124 |
| CUADRO 64.- Frecuencias que definen los regímenes de humedad de los suelos según el modelo que se propone en este trabajo. ....  | 125 |
| CUADRO 65.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SAR-3 en cada uno de los días del año 1985, estimado mediante el modelo que se propone.( en las mismas condiciones que el punto de control )..... | 131 |
| CUADRO 66.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SAR-3 en cada uno de los días del año 1986, estimado mediante el modelo que se prop.....  | 132 |
| CUADRO 67.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SAR-3 en cada uno de los días del año 1987, estimado mediante el modelo que se propone. ....  | 133 |
| CUADRO 68.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SAR-3 en cada uno de los días del año 1988, estimado mediante el modelo que se propone. ....  | 134 |
| CUADRO 69.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1985, estimado mediante el modelo que se propone. ....  | 135 |
| CUADRO 70.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1986, estimado mediante el modelo que se propone. ....  | 136 |
| CUADRO 71.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1987, estimado mediante el modelo que se propone. ....  | 137 |
| CUADRO 72.- Estado de la sección control de humedad en el punto de control SUN-2 en cada uno de los días del año 1988, estimado mediante el modelo que se propone. ....  | 138 |

|   |     |
|---|-----|
| CUADRO 73.- Comparación entre los criterios de Soil Taxonomy (1975) para la determinación del régimen de humedad de los suelos determinados en campo en los puntos de control y estimados mediante el modelo que se propone .....   | 139 |
| CUADRO 74.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: DIARIA ;perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad).....                 | 143 |
| CUADRO 75.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: MENSUAL; ki = 1;perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad) .....       | 143 |
| CUADRO 76.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: MENSUAL; ki variable; perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad) ..... | 144 |
| CUADRO 77.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: DIARIA; perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad) .....                 | 145 |
| CUADRO 78.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: MENSUAL; ki = 1 ;perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad).....         | 145 |
| CUADRO 79.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: MENSUAL; ki variable;perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad) .....    | 146 |
| CUADRO 80.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: DIARIA; perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad).....                 | 147 |
| CUADRO 81.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: MENSUAL; ki = 1 ;perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad).....        | 147 |
| CUADRO 82.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: MENSUAL; ki variable ; perfil suelo: PF8 (200 mm de capacidad) ..... | 148 |
| CUADRO 83.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: DIARIA perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad) .....                 | 148 |



|  |     |
|--|-----|
| CUADRO 84.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes: Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: MENSUAL ; ki = 1 ;perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad) .....    | 149 |
| CUADRO 85.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: MENSUAL ; ki Variable perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad) ..... | 149 |
| CUADRO 86.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: DIARIA; perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad) .....                 | 150 |
| CUADRO 87.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: MENSUAL ; ki = 1 ;perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad).....        | 150 |
| CUADRO 88.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: MENSUAL ; ki variable ;perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad) .....  | 151 |
| CUADRO 89.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: DIARIA ;perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad) .....                | 152 |
| CUADRO 90.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: MENSUAL; ki = 1 ; perfil suelo: PF4 (100 mm de capacidad) .....      | 152 |
| CUADRO 91.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: MENSUAL; ki variable ;perfil suelo: P F4 (100 mm de capacidad) ..... | 153 |
| CUADRO 92.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: DIARIA; perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad) .....                | 154 |
| CUADRO 93.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: MENSUAL ; ki = 1 ;perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad) .....      | 154 |
| CUADRO 94.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los   |     |

|  |     |
|--|-----|
| parámetros siguientes:Cultivo: ALMENDRO; datos precipitación: MENSUAL ; ki variable ;perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad) .....  | 155 |
| CUADRO 95.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: DIARIA; perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad) .....                | 156 |
| CUADRO 96.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: MENSUAL ; ki = perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad) .....         | 156 |
| CUADRO 97.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: OLIVO ; datos precipitación: MENSUAL ; ki variable; perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad) ..... | 157 |
| CUADRO 98.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: DIARIA ;perfil suelo PF2 (50 mm de capacidad) .....                | 158 |
| CUADRO 99.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los parámetros siguientes:Cultivo: CEREAL ; datos precipitación: MENSUAL; ki = 1 ; perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad) .....     | 158 |
| CUADRO 100.- Regímenes de humedad de los suelos de diversos observatorios ,del área meridional de Lleida determinados aplicando el modelo que se propone y con los prametros sigüentes :Cultivo CEREAL ;Datos precipitacin : MENSUAL; ki =variable ; perfil suelo: PF2 (50 mm de capacidad)..... | 159 |
| CUADRO 101.- Influencia del tipo de cultivo en el régimen de humedad estimado mediante el modelo simulativo para diferentes perfiles, (Datos de precipitación diaria) ..   | 160 |
| CUADRO 102.- Influencia del perfil en el regimen de humedad estimado mediante el modelo simulativo para diferentes cultivos y tipos de datos.....  | 160 |
| CUADRO 103.- Influencia del tipo de datos utilizaods en el modelo en la estimación del régimen de humedad de los suelos, para diferentes cultivos y perfiles de suelo. ....  | 161 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 1 Mapa de localización del área meridional de Lleida (PORTA y col.1983) .....  | 5   |
| FIGURA 2 Municipios de la comarca Les Garrigues .....   | 7   |
| FIGURA 3 Municipios del área meridional de Lleida .....   | 7   |
| FIGURA 4 Esquema de los climas de Catalunya (Generalitat de Catalunya, 1984) .....  | 11  |
| FIGURA 5 Modelización del perfil del suelo, según el modelo de Newhall (1976).- .....   | 30  |
| FIGURA 6.- Numeración de las casillas y secuencia de llenado del perfil de suelo<br>según el modelo de Newhall (1976) .....   | 30  |
| FIGURA 7 Secuencia de extracción de agua del perfil del suelo según el modelo de<br>Newhall (1976).....   | 32  |
| FIGURA 8 Coeficientes multiplicadores para el cálculo de la energía de<br>evapotranspiración (modelo de Newhall) .....  | 32  |
| FIGURA 9 Estados de la sección control de humedad .....   | 35  |
| FIGURA 10 A.- Mapa de los regímenes de humedad de la península Ibérica, según<br>Tavernier y Van Wambeke(1976).....   | 40  |
| FIGURA 10.B.- Mapa de los regímenes de humedad de los suelos de la España<br>Peninsular según Lázaro, Elías y Nieves (1978). .....  | 42  |
| FIGURA 11 Regímenes de humedad de los suelos del Valle del Ebro, según Alberto<br>y col. (1984) .....   | 46  |
| FIGURA 12.- Determinación de los límites de la sección control de humedad. ....   | 54  |
| FIGURA 13.- Esquema de los cilindros para la determinación de la densidad<br>aparente. ....   | 56  |
| FIGURA 14.- Histograma de frecuencias relativas de las precipitaciones totales<br>anuales (Serie Omellons 1948-1988).....   | 97  |
| FIGURA 15.- Numeración de las casillas de los diferentes tipos de perfil de suelo<br>que se consideran en el modelo .....   | 109 |
| FIGURA 16.- Secuencias de extracción de agua del perfil del suelo para cada tipo<br>de perfil propuesto en el modelo.....   | 121 |
| FIGURA 17.- Diagrama de flujo del programa que ejecuta el modelo propuesto en<br>este trabajo. ....   | 129 |
| FIGURA 18.-Influencia del cultivo en los criterios del régimen de humedad para<br>diferentes capacidades de retención de humedad del perfil, en el modelo propuesto<br>(datos precipitación diaria) ..... | 162 |
| FIGURA 19.- Influencia de la capacidad de retención del perfil en los criterios del<br>régimen de humedad para diferentes cultivos, en el modelo que se propone.(datos de<br>precipitación diaria).....   | 163 |

|   |     |
|---|-----|
| FIGURA 20.- Influencia de la capacidad de retención del perfil en los criterios del régimen de humedad, para diferentes cultivos en el modelo que se propone (datos de precipitación mensual).....  | 164 |
| FIGURA 21.- Influencia del tipo de datos de precipitación en los criterios del régimen de humedad para perfil de 200 mm. de capacidad para diferentes cultivos. ....                                | 165 |
| FIGURA 22.- Influencia del tipo de datos de precipitación en los criterios del régimen de humedad para perfil de 100 mm. de capacidad y para diferentes cultivos ..                                 | 166 |
| FIGURA 23.- Influencia del tipo de datos de precipitación en los criterios del régimen de humedad para perfil de 50 mm. de capacidad y para diferentes cultivos .Datos experimentales de campo..... | 167 |
| FIGURA 24.- Comparación de los criterios del régimen de humedad de los suelos, según el modelo de Newhall, el modelo propuesto en este trabajo y los datos de campo. ....                           | 169 |