

XXIV CURSO INTERNACIONAL DE EDAFOLOGIA

Trabajo de curso presentado por:

José Enrique Fernández Luque

"Relaciones hídricas suelo-planta en un
olivar con riego gota a gota"

I. INTRODUCCION

En el presente trabajo se describe la metodología empleada y se dan los resultados obtenidos, así como las conclusiones que de ellos se derivan, en la labor que se ha realizado como complemento práctico del XXIV Curso Internacional de Suelos.

Como es bien sabido por todos los conocedores del tema, la puesta en riego localizado de gran parte del olivar cultivado en la Cuenca Mediterránea, ha planteado numerosos interrogantes acerca del desarrollo y características productivas de las plantas en estas condiciones,

así como en torno al nivel óptimo de aporte hídrico a realizar.

Las revisiones bibliográficas realizadas por mí mismo y por otras personas de la Unidad de Física del Suelo en la cual desarrollo mi actividad, han puesto de manifiesto las escasas publicaciones existentes acerca de estos temas. Así pues, sobre consumo de agua en el olivo existe únicamente el trabajo realizado por Muñoz y col. (1981), que incluye un estudio detallado del sistema radicular del olivo. En cuanto al cálculo del balance hídrico en contramos trabajos de Moreno y col. (1983;1984) y, por último, existen trabajos que relacionan el riego con el desarrollo y producción de plantas, así como el nivel óptimo de aporte hídrico bajo unas condiciones determinadas. En este sentido cabe citar los trabajos de Le Bourdellés (1979), Martín Aranda y col. (1982), Serrano y Abela (1984).

La información bibliográfica existente es, pues, escasa para contestar a los interrogantes planteados acerca de estos temas. Se pone de manifiesto así la necesidad de realizar trabajos orientados a esclarecer las cuestiones que se plantean con la aplicación de las nuevas técnicas de riego.

A continuación se resumen los trabajos realizados durante este año, enfocados a conocer de forma global el consumo de agua, el desarrollo del sistema radicular y las condiciones hídricas de la planta en un olivar de mesa con riego gota a gota.

II. MATERIAL Y METODOS

El trabajo experimental se lleva a cabo en la finca "Aljarafe" (Coria del río, Sevilla), del C.S.I.C., sobre una plantación de olivar de mesa (*Olea europaea* L., var. Lanzanillo), en régimen de riego gota a gota, con plantas de 18 años y marco de plantación de 7 x 7 m. La parcela elemental tiene una superficie de algo más de 0.3 Ha.

Procedemos a continuación a explicar las condiciones de suelo y clima en las que realizamos el trabajo, así como las características principales de los sistemas de cultivo y de riego empleados.

a) Suelo

El suelo tiene una posición fisiográfica situada en el relieve del mioceno del Aljarafe, dentro de una zona ondulada, lo que hace que la parcela presente una pendiente comprendida entre el 3 y el 6%. El material original está constituido por areniscas calizas. Siguiendo la Soil Taxonomy, el suelo se clasifica como Xerocept. La tabla I recoge la caracterización edafológica.

En cuanto a la composición granulométrica, se tomaron muestras hasta 120 cm de profundidad en 11 puntos de la parcela, con el fin de delimitar la zona con características texturales más homogéneas y representativas de la parcela. Los resultados los resumimos en la tabla II, aunque se recogen en toda su extensión en la publicación "Caracterización Hidrodinámica de un suelo de olivar. Fundamento teórico y métodos experimentales" de Moreno y col. (1963).

TABLA I

Caracterización edafológica del suelo de
la parcela experimental

Prof. (cm)	Horizonte	Características edafológicas
0-12	A _p	Pardo oscuro(10 YR 4/3) en húmedo a pardo amarillento(10 YR 5/6) en seco; franco-arcillo-arenoso; estructura migajosa, media y gruesa fuertemente desarrollada; ligeramente plástico, friable en húmedo y algo firme en seco; límite neto.
12-50	A/B	Pardo oscuro (7,5 YR 4/4) en húmedo a pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en seco; franco-arcillo-arenoso; estructura masiva a poliédrica sub-angular, ligeramente desarrollada; ligeramente plástico, algo firme en húmedo; algunos nódulos calizos; manchas de carbón; límite gradual a difuso.
50-80	HB	Pardo oscuro (7,5 YR 4/4) en húmedo, igual en seco; franco-arcillo-arenoso; ligeramente plástico, algo firme en húmedo, duro en seco; límite gradual.
80-	HC	Pardo fuerte (7,5 YR 5/6) en húmedo, rojo amarillento (5 YR 5/6) en seco; franco-arenoso; estructura masiva; friable en húmedo, duro en seco.

TABLA II

Características texturales del suelo de la parcela.

Valores medios del perfil entre 0 y 120 cm de profundidad.

Punto nº	Tamaños de partículas (um, %)			
	200	200-20	20-2	2
1	29,1	37,1	12,8	20,8
2	8,3	41,1	27,1	23,5
3	27,1	40,7	11,2	20,3
4	12,3	41,3	20,8	25,0
5	29,4	40,1	5,7	24,2
6	28,3	37,1	10,0	24,2
8	20,8	42,1	15,1	20,8
9	18,0	38,1	20,3	22,5
10	34,9	35,1	11,0	18,8
11	31,8	34,7	10,0	23,2
12	32,3	33,9	12,0	23,7

Actualmente, Moreno y col. están terminando un trabajo donde se estudia la composición granulométrica del suelo de la parcela a partir de los datos obtenidos en 48 puntos de muestreo. dicho trabajo se espera publicar en breve.

Así mismo, se pueden observar en la tabla III las densidades aparentes detectadas en la zona donde se están realizando los trabajos.

TABLA III

Densidades aparentes (gr/cm^3)

Prof. (cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
Dens. ap.	1,33	1,39	1,40	1,42	1,40	1,45

b) clima

En la zona existe un clima típicamente mediterráneo, con inviernos de temperaturas moderadas y lluviosos (550 mm), aunque en los últimos años las precipitaciones han sido muy irregulares tanto en su frecuencia como en su cuantía. Los veranos son cálidos y secos.

Hablamos con mayor amplitud y precisión de este tema en el apartado "medidas de parámetros climatológicos".

c) Cultivo y riego

Los árboles se cultivan en régimen de semilaboreo, manteniendo el suelo libre de hierbas a base de pases de cultivador y tratamientos herbicidas en rodales de plantas supervivientes a las labores y en zonas donde el apero no ha podido acceder.

El aporte artificial de agua al olivar se viene haciendo desde hace 6 años mediante un sistema de riego por goteo, automatizado mediante programadores de tiempos, con contadores volumétricos para determinación de caudales aportados y con una línea portagoteros por fila de árboles, con 4 goteros por árbol, de 4 l/h. El coeficiente de riego utilizado es 0,4 de la evaporación medida en tanque evaporimétrico clase A.

A continuación exponemos brevemente los puntos fundamentales en los que se basa el manejo que hacemos del riego, así como una serie de ecuaciones obtenidas por nosotros que nos facilitan dicha labor.

- La cuantía del riego será tal que los milímetros aplicados coincidan con el producto de 0,4 (=K) por los milímetros evaporados en tanque evaporimétrico clase A.
- La superficie del suelo asignada a cada árbol en cuanto a superficie evaporativa se refiere, es de 12 m².
- El control del riego se realiza semanalmente.

En función de lo anterior, tenemos:

Número de horas (X) que tiene que estar funcionando el sistema de riego cada día:

$$X = 4,8 NT \frac{l - L}{C - c}$$

N = Número de árboles que se riegan

T = Número de horas por día que se ha estado regando la semana anterior (o sea, T = X de la semana anterior).

l = Lectura en milímetros del tanque evaporimétrico el día 1 de la semana anterior

L = Lectura en milímetros del tanque evaporimétrico el día 7 de la semana anterior

c = Lectura en litros del contador volumétrico tomada el día 1 de la semana anterior

C = Lectura en litros del contador volumétrico tomada el día 7 de la semana anterior

El sistema de riego de la parcela en la que realizamos las experiencias consta de cuatro unidades de riego independientes, cada una con su programador de tiempos y su contador volumétrico correspondiente. La fórmula anterior nos permite de una manera rápida y precisa calcular el tiempo con el que se ajustan cada semana los programadores de tiempos que controlan el caudal aportado.

Para el cálculo del caudal necesario a aplicar, hemos elaborado la siguiente expresión:

$$C_n \text{ (litros)} = 4,8 N (1-L)$$

N, l y L tienen el mismo significado que en la fórmula anterior.

Como los cálculos de X y de C_n los realizamos en función de la evaporación producida la semana anterior a la semana que regamos, hay siempre un desfase entre el caudal que se está aportando en un momento determinado y la ETP de ese momento.

Este "desajuste del riego" respecto a la ETP no es importante a efectos prácticos, puesto que la semana siguiente es corregido. Para realizar adecuadamente dicha corrección, hemos elaborado una ecuación que nos dice en qué tanto por ciento nos ajustamos a la ETP con el riego que realizamos. La ecuación es la siguiente:

$$\% \text{ a.R.} = \frac{20,833}{N} \times \frac{C - c}{1 - L}$$

siendo % a.R. el tanto por ciento del ajuste del riego

Para finalizar, los datos teóricos que se obtienen sobre un riego no siempre coinciden con los obtenidos en la práctica al realizar medidas empíricas sobre caudales reales aportados y demás, ya que en el sistema de riego en sí (filtros, válvulas, tuberías,...) se producen una serie de variaciones de los parámetros considerados en el cálculo teórico, difíciles de tener en cuenta (por ejemplo,

la pérdida de carga que se produce en un filtro variará constantemente en función del grado de taponamiento que se vaya dando en el mismo por los elementos que va reteniendo en su funcionamiento). Para tener en cuenta también estos fenómenos, hemos elaborado la siguiente ecuación:

$$\% \text{ a.SR.} = \frac{6,25}{NT} \times \frac{C - c}{d}$$

siendo % a.SR. el tanto por ciento del ajuste del sistema de riego a los datos obtenidos mediante el cálculo teórico y d el número de días en que queremos saber dicho ajuste.

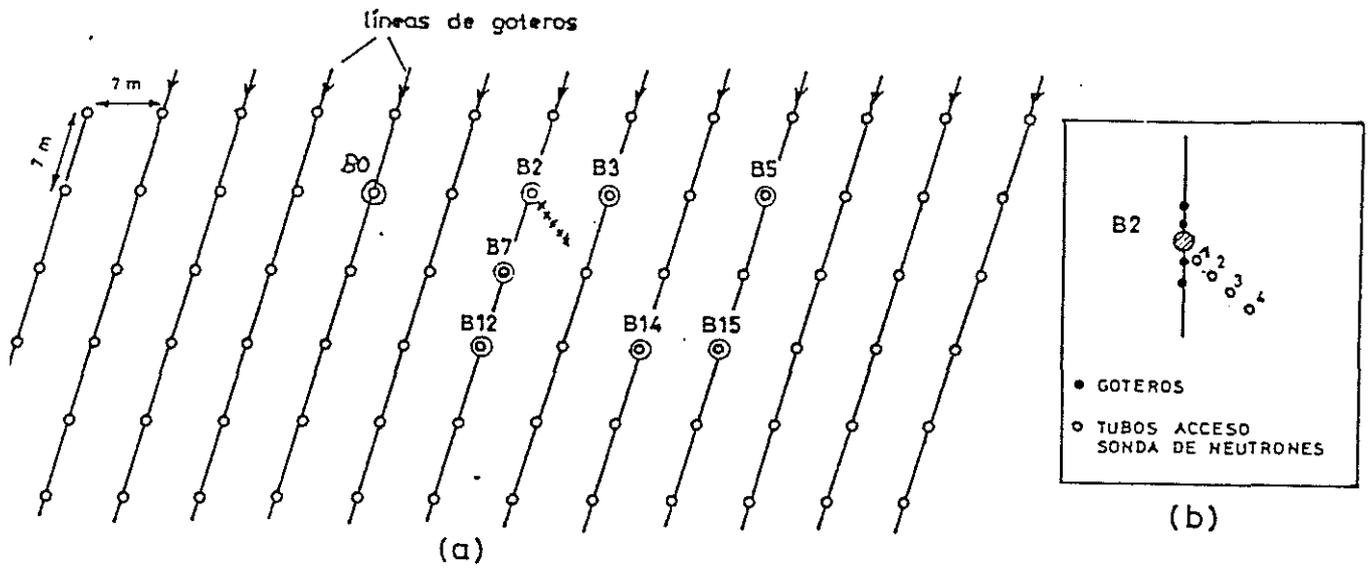
II.1 METODOS EMPLEADOS EN EL ESTUDIO DEL SISTEMA RADICULAR

a) Toma de muestras del suelo

Para la determinación de la distribución radicular del olivo en las condiciones ya expuestas, realizamos una serie de tomas de muestras en torno al árbol que aparece denominado como B2 en la Fig. 1. En concreto, hicimos cinco sondeos de 2 m de profundidad cada uno, a 0.5, 1, 1.5, 2.5 y 3.5 m del tronco del árbol (ver Fig. 1).

De cada sondeo se obtuvieron 10 muestras, de forma cilíndrica y con un volumen de 895 cm³ cada una.

Los resultados obtenidos en esta primera toma



x PUNTOS DE SONDEO CON BARRENA

Fig. 1

Esquema de la parcela experimental con la situación de los puntos de medida

toma de muestras (ver Tabla IV) muestran que la densidad radicular más elevada se encuentra a una distancia del árbol comprendida entre 0,5 y 1 m, y a una profundidad comprendida entre la superficie y 1 m.

En función de estos resultados ideamos una serie de toma de muestras en la que se está trabajando actualmente. Estas tomas se realizan siguiendo el esquema que aparece en la Fig. 2. Como se puede observar en ella, se muestrea un cuadrante de la superficie del suelo ocupada por las raíces del árbol B2, así como algunos puntos de otros cuadrantes para comprobar la posible existencia de simetría en la distribución del sistema radicular.

Las dimensiones de la superficie así muestreada son de 2,5 m desde el tronco del árbol hacia el centro de la calle en la dirección de la línea portagateros y de 2,3 m en dirección perpendicular a la anterior. Se muestrea desde la superficie hasta los 2 m de profundidad.

Hasta la presente se han realizado siete sondeos denominados en la Fig. 2 con las letras A, B, C, D, E, F y G. La profundidad de todos ellos es de 2 m, salvo en el E, que por dificultades surgidas al muestrear se profundizó sólo hasta los 80 cm. Posteriormente sondearemos en este punto también hasta los 2 m.

Todas las muestras obtenidas son de forma cilíndrica y de un volumen de 895 cm^3 . Para realizar estas tomas hemos utilizado una barrena especial, diseñada en nuestra Unidad, cuyo esquema se muestra en la Fig. 3.

TABLA IV

Densidad volumétrica de raíces (cm raíz/cm³ suelo) a distintas profundidades y a diferentes distancias relativas al tronco del árbol.

Profundidad (cm)	Distancias al tronco (m)				
	0,5	1	1,5	2,5	3,5
0-20	0,360	0,123	0,012	0,031	0,030
20-40	1,167	0,069	0,127	0,038	0,061
40-60	0,372	0,079	0,016	0,060	0,066
60-80	0,329	0,067	0,007	0,031	0,012
80-100	0,161	0,137	0,020	0,039	0,007
100-120	0,039	0,088	0,103	0,066	0,013
120-140	0,087	0,025	0,133	0,096	0,003
140-160	0,132	0,143	0,123	0,133	0,044
160-180	0,045	0,032	0,054	0,084	0,080
180-200	0,009	0,038	0,037	0,067	0,037

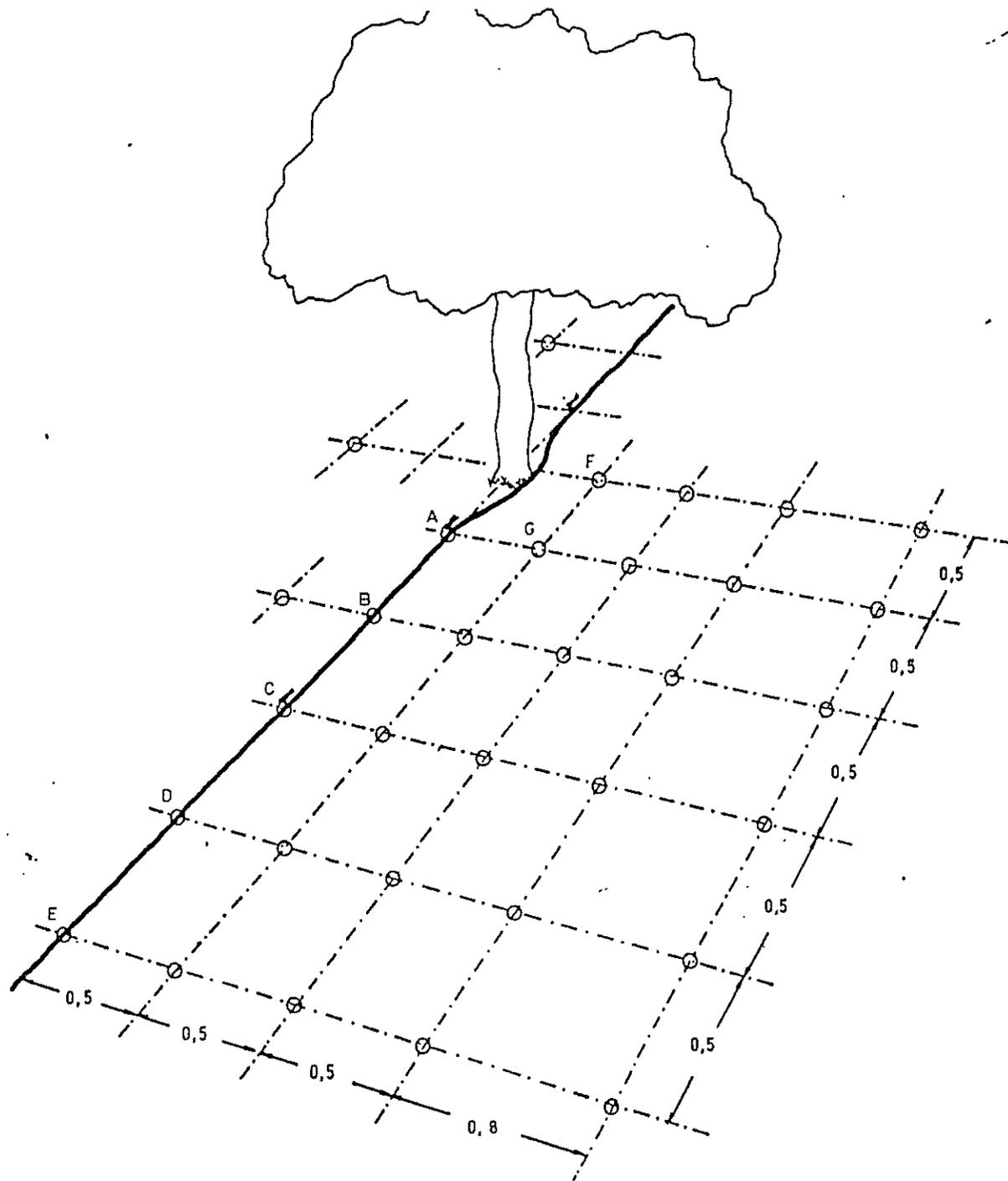
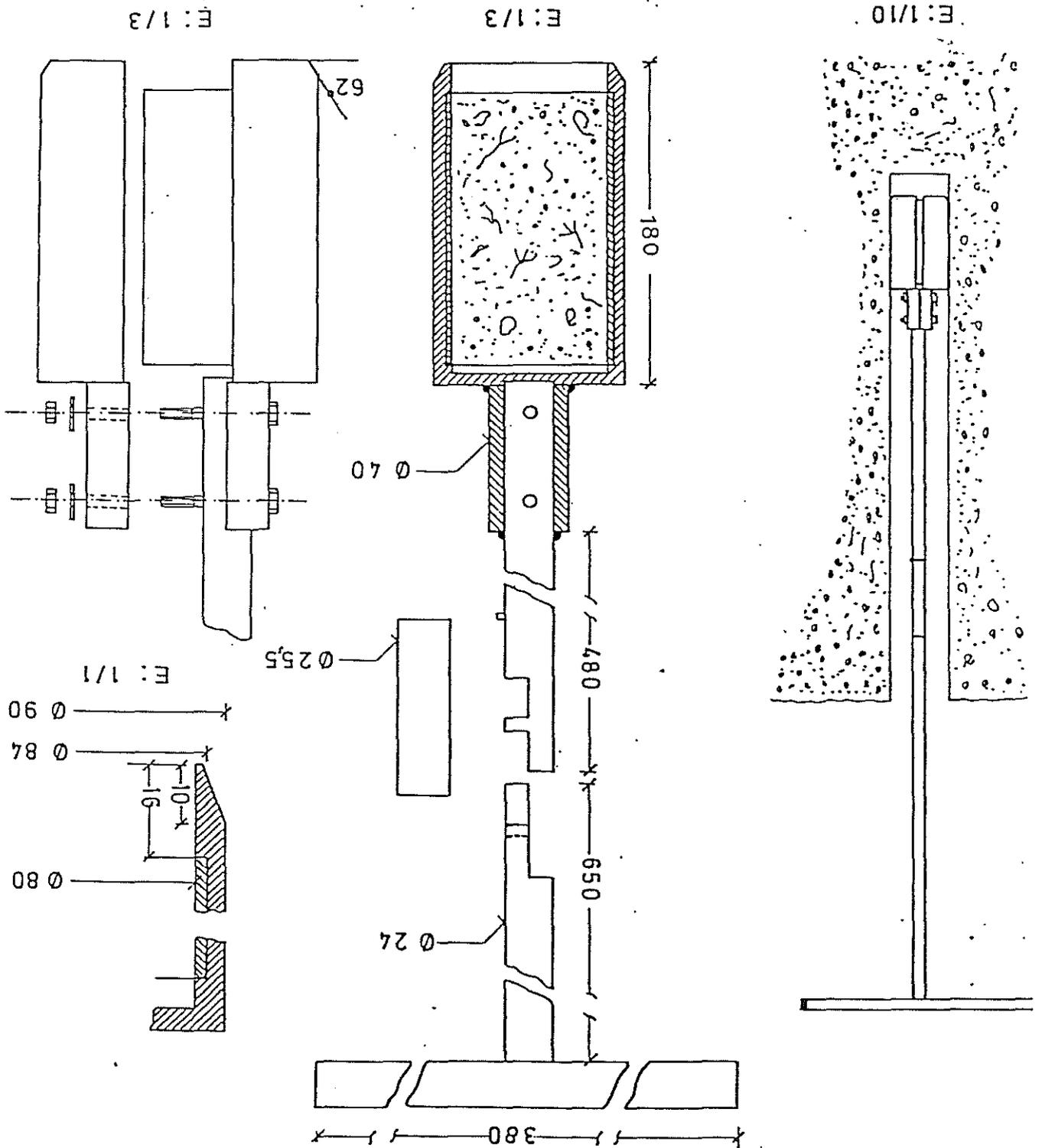


Fig. 2.- Puntos de muestreo para la determinación de la distribución del sistema radicular

toma de muestras de suelo (ARRUE, 1980).

Fig. 3.- Esquema de la barrena utilizada para la



a.1 Mejoras realizadas en la barrena

La utilización de esta barrena durante los meses de verano, en que la resistencia a la penetración en el suelo, en aquellas zonas no mojadas por el riego, es mayor por el menor grado de humedad de éste, nos ha permitido observar algunas limitaciones en su diseño, lo que nos ha llevado a realizar unas modificaciones sobre la barrena mencionada, orientadas sobre todo a modificar el sistema de unión de los distintos elementos que la componen.

De hecho, al utilizar la barrena en condiciones de poca humedad del suelo, se producen con frecuencia una serie de deformaciones y roturas en el sistema de unión. Para evitarlas, hemos realizado las modificaciones que aparecen en la Fig. 4.

Otro problema derivado del uso de la barrena es el notable esfuerzo que hay que realizar para extraerla del suelo cuando se alcanzan profundidades superiores al metro. Para facilitar esta labor, hemos fabricado un aparato que nos permite realizar esta labor con mucho menor esfuerzo. Se trata simplemente de una palanca de primer género, de longitud de brazo variable y graduable en altura. Un esquema del mismo aparece en la Fig. 5.

b) Tratamiento de las muestras

Cada muestra se introduce en una bolsa de plástico y se lleva al laboratorio. Allí se toma una fracción de ella, sin raíces, de unos 80-90 gr, y se pesa antes y después de secada en estufa a 90° durante 24 horas, para determinar su contenido en humedad.

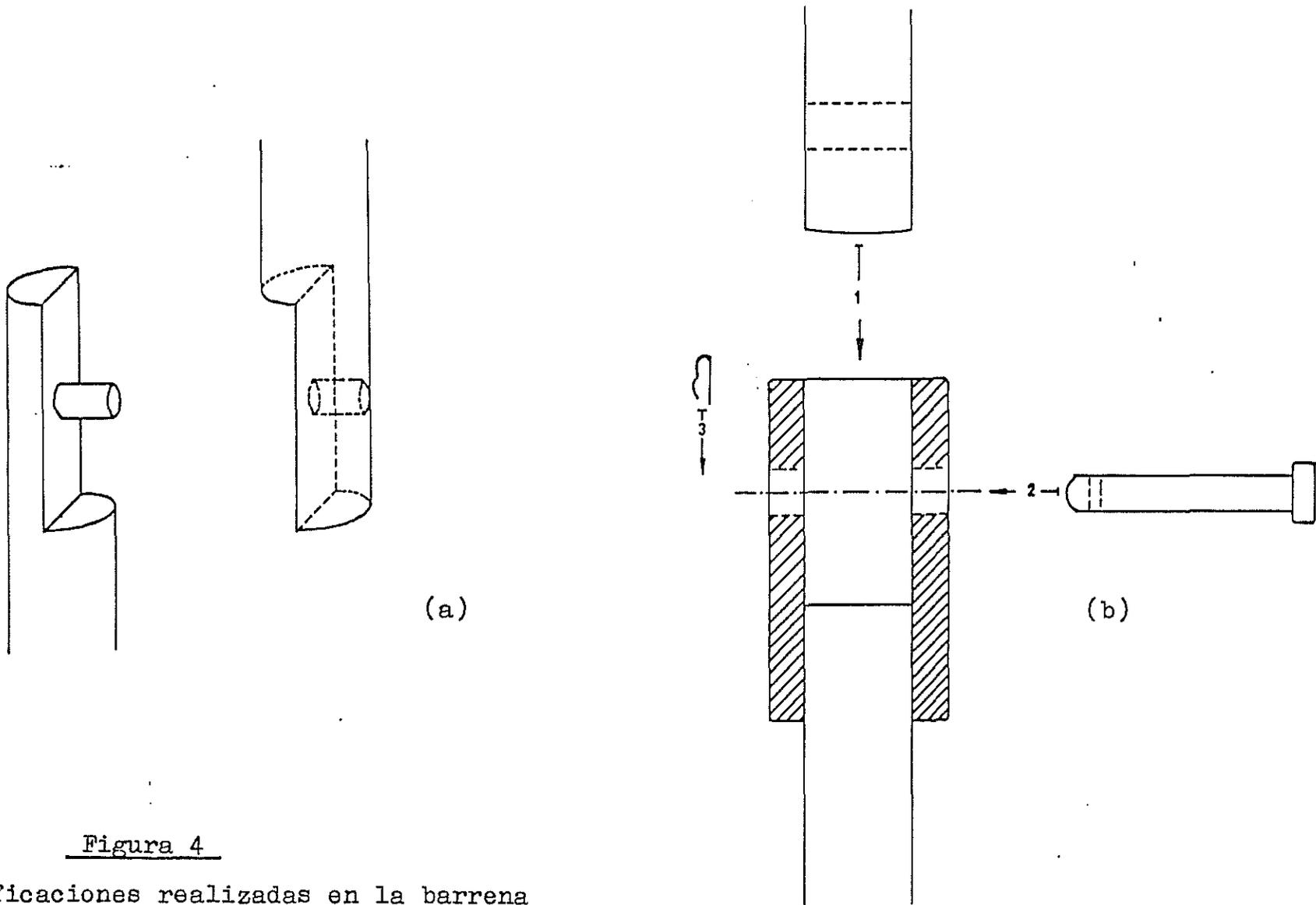


Figura 4

Modificaciones realizadas en la barrena

(a) Sistema de unión en la barrena actual

(b) Nuevo sistema de unión que sustituye al "a".

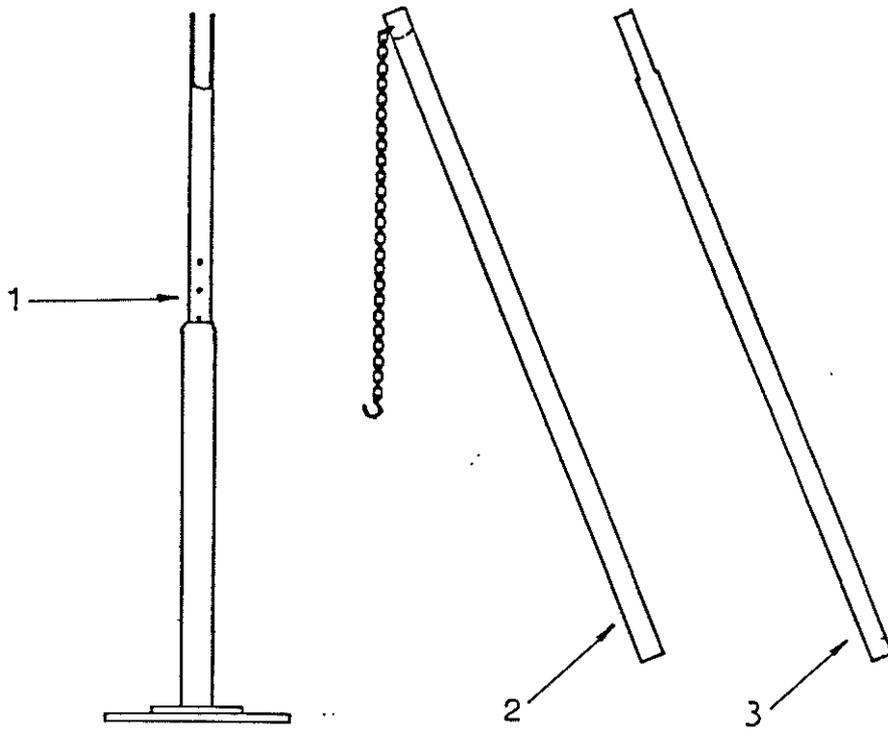


Figura 5

Aparato para extraer la barrena del suelo

La altura del soporte se puede graduar en 1.
Las barras 2 y 3 pueden acoplarse entre sí
si se desea aumentar el brazo de la palanca

El resto de la muestra se dispersa en agua durante 24 horas, se pasa varias veces por un tamiz de 0,5 mm de luz de malla y se pasa el material recogido a una bandeja donde se procede a separar las raíces activas de las que no lo son, eliminándose además todo resto de material orgánico acompañante. El conjunto de raíces así extraído se lava bien con agua, secándose finalmente en estufa a 60 °C.

c) Medida

El muestreo al que nos estamos refiriendo lo hemos realizado para establecer las zonas de mayor densidad radicular. Para lograr este fin, se ha medido la longitud total de raíces por muestra, utilizando el método desarrollado por Newman (1966) y modificado por Marsh (1971).

A partir de la longitud total de raíces por muestra, se ha determinado la densidad volumétrica de raíces a las diferentes profundidades de los puntos muestreados. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla V.

También hemos medido el peso de las raíces de cada muestra, los cuales aparecen en la Tabla VI.

c.1 Puesta a punto del método de medida

En distintos trabajos como los de Tennant (1975), Arrue (1980) y Chopart (1980), se habla sobre una ligera sobreestimación de la longitud dada por el método de medida indicado y sobre la necesidad de tener o no en cuenta a los puntos tangenciales de contacto de las raíces con las líneas de la cuadrícula que se usa al aplicar el método.

TABLA V

Densidad volumétrica de raíces (cm raíz/cm³ suelo) de los distintos puntos de muestreo.

Profundidad (cm)	A	B	C	D	E	F	G
0- 20	6,385	4,276	0,879	0,748	0,299	0,379	1,139
20- 40	2,021	0,217	0,904	0,289	0,223	0,054	0,582
40- 60	0,590	0,102	0,179	0,141	0,135	0,033	0,290
60- 80	0,600	0,180	0,119	0,092	0,187	0,107	0,165
80-100	0,301	0,196	0,345	0,070		0,161	0,284
100-120	0,112	0,122	0,041	0,041		0,127	0,137
120-140	0,147	0,085	0,037	0,072		0,154	0,023
140-160	0,058	0,060	0,123	0,072		0,091	0,033
160-180	0,011	0,090	0,041	0,081		0,090	0,008
180-200	0,086	0,054	0,058	0,010		0,045	0,082

TABLA VI

Peso de raíces en el volumen de muestreo (895 cm^3) para los diferentes puntos de muestreo.

Profundidad (cm)	A	B	C	D	E	F	G
0-20	1,2688	1,6913	0,6866	0,6514	0,4187	0,5762	1,6987
20-40	0,7869	2,5841	0,8552	0,4399	0,2622	0,0795	3,1054
40-60	0,8639	0,1894	0,2357	0,3227	0,2281	0,3606	0,0112
60-80	2,1213	0,3599	0,1470	0,0681	0,0836	0,1796	17,2488
80-100	0,6595	13,140	2,0508	0,1090		16,0920	21,4366
100-120	0,2207	1,1512	0,1280	0,2415		0,2859	2,2035
120-140	0,1439	0,1055	0,0759	0,5828		0,3499	0,3371
140-160	0,1017	0,2688	0,1410	0,1150		0,2406	1,0559
160-180	0,0160	0,1259	0,0589	0,0792		0,1813	0,0385
180-200	0,4189	0,0761	0,0373	0,0054		0,0695	0,2137

Con el fin de esclarecer en lo posible estos puntos, así como de averiguar el número de cuentas que hay que efectuar por muestra, hemos realizado la experiencia que a continuación describimos.

De un plantón de Manzanillo de dos años, criado en bolsa, obtuvimos una muestra de raíces de similares características a las que obtenemos normalmente. La muestra constaba de 90 trozos de raíz de distintos diámetros y longitudes. Se midió cuidadosamente y con ayuda de una regla la longitud de todos los trozos, sumando en total 1047 mm.

A continuación, medimos la longitud de las raíces de la muestra siguiendo el método de Newman (1966) modificado por Marsh (1971). Realizamos un total de 10 medidas y en cada una de ellas se anotaba la longitud resultante teniendo en cuenta los puntos tangenciales de contacto y la longitud que resultaba sin tenerlos en cuenta. Obtuvimos las siguientes longitudes:

Nº de medidas	Longitud (mm) sin contar puntos tang.	Nº de medidas	Longitud (mm) contando puntos tang.
1	1170	1	1270
2	1120	2	1205
3	1107	3	1190
4	1080	4	1158
5	1070	5	1148
6	1063	6	1145
7	1070	7	1151
8	1074	8	1158
9	1074	9	1158
10	1084	10	1169

Comparando los datos obtenidos con la medida efectuada con regla (1047 mm), se llegó a la conclusión de que es conveniente hacer la media de las longitudes obtenidas en cinco lecturas en las que no se tengan en cuenta los puntos tangenciales, sino sólo los de intersección propiamente dicha, ya que el error que se comete de esta forma es el siguiente:

lectura real = 1047 mm

lectura obtenida con cinco cuentas = 1070 mm

1047..... 100

1070..... X

X = 102,1968

Es decir, cometemos un error de un 2,2% de sobreestimación, error que consideramos despreciable.

II.2 MEDIDA DE LA EVOLUCION DEL PERFIL HIDRICO EN EL SUELO

Para la medida del perfil hídrico del suelo se ha empleado una sonda de neutrones Troxler modelo 3333, así como tensiómetros con manómetros de mercurio para seguir la evolución del perfil de carga hidráulica en diversos puntos y a diferentes distancias de los árboles de la parcela experimental. El total de puntos de medida es de 22 y la profundidad máxima de 240 cm.

Para el uso de la sonda se han utilizado tubos de hierro galvanizado de 38 mm de diámetro interior y de lon-

gitudes 1,5 m y 2,4 m, situados en árboles representativos del conjunto de la parcela. La disposición de los tubos en cada árbol está basada en el criterio de la espiral logarítmica de Huguet (1973).

Con la sonda se toman valores cada 10 cm de profundidad, desde 30 hasta 150 ó 240 cm, según el tubo. La sonda ha sido previamente calibrada "in situ".

El contenido de agua de los 30 cm superiores del suelo se determina gravimétricamente en laboratorio a partir de muestras tomadas a tal fin.

Los tensiómetros utilizados están situados también en árboles representativos del conjunto (B0-1 y B2-1 (Fig.1), en cada uno de los cuales se ha instalado una batería de nueve tensiómetros a distintas profundidades, desde 45 cm hasta 175 cm ó 195 cm. Las medidas tensiométricas han permitido conocer el gradiente hidráulico y la dirección del flujo a una profundidad determinada.

II.3 MEDIDA DEL POTENCIAL HIDRICO EN LA PLANTA

Para conocer el estado hídrico en la planta es fundamental seguir la evolución de su potencial hídrico (presión de la savia en el xilema) a lo largo del tiempo.

Las medidas del potencial hídrico se han llevado a cabo una vez al mes, realizando un ciclo diurno completo, comenzando las medidas desde instantes antes de la salida del sol hasta poco después de su puesta, a inter-

valos de hora y media o de dos horas.

Aunque lo adecuado es realizar las medidas en hojas, la escasa longitud del pecíolo de la hoja del olivo no lo permite. Por tanto, el potencial se mide en ramilletes de unos 10 cm de longitud, con tres repeticiones por árbol y correspondientes a muestras tomadas en zonas expuestas a distinto grado de insolación, de un total de cinco árboles que representan el conjunto de los existentes en la parcela.

Las medidas se realizan en una cámara de presión que alcanza una precisión de 0,1 bar. Los días en que se realizaron las medidas eran representativos de las condiciones climatológicas medias del mes considerado.

A la par que se muestreaban los ramilletes se anotaban los valores de los parámetros climatológicos que influyen en la apertura y cierre de estomas, como son radiación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento.

II.4 DETERMINACION DEL BALANCE HIDRICO

El cálculo del balance hídrico correspondiente al año hidrológico 1986 se ha efectuado utilizando el modelo y método descrito por Moreno y col. (1984;1986) para esta misma parcela. Los resultados globales de los diferentes parámetros que intervienen en la ecuación del balance

$$\Delta S^* = P + I^* - D^* - ETR - R \quad (1)$$

se hallan recogidos en la tabla VII y corresponden a:

- ΔS^* : Variación del contenido total de agua en el suelo hasta una profundidad determinada
- P : Precipitación
- I^* : Riego
- D^* : Drenaje a una profundidad determinada
- ETR : Evapotranspiración real
- R : Escorrentía durante la lluvia

donde los parámetros con asterisco significa que los mismos han sido ponderados a nivel de la superficie del marco de plantación o, lo que es lo mismo, a escala de la parcela.

A partir de estos resultados, que se han representado gráficamente en la figura 6, se puede establecer la existencia de un drenaje relativamente poco elevado (82,8 mm) durante el año 1986, como corresponde a una pluviometría por debajo de lo normal (438 mm frente a la media de 550 mm). De cualquier forma, el drenaje más notable tiene lugar durante el período de lluvias (octubre de 1985 a abril de 1986), siendo de 55,2 mm que representa el doble del que tiene lugar durante el período de riego. Este hecho es de suma importancia, ya que poca agua de la aportada por el riego se pierde por percolación profunda.

Por otra parte, la cantidad total de agua evapotranspirada alcanza el valor de 426 mm, la cual es superior a la calculada por Moreno y col. (1986) en años anteriores. Esta diferencia podría estar relacionada con una progresiva adaptación de la planta al riego impuesto, así como también a una mayor eficiencia del mismo.

De cualquier forma, la eficiencia puede ser op-

TABLA VII

Resultados globales de los diferentes parametros del balance hidrico en la parcela durante el año hidrológico (octubre 1985 a octubre 1986).

Fecha	P (mm)	I* (mm)	ΔS^* (mm)	D* (mm)	R (mm)	ETR (mm)
07.10.85						
	29,2		-16,7	4,5		41,2
12.11.85	81,8		+63,0	3,3		15,5
16.12.85	98,5		+32,5	3,8	42,2	20,0
16.01.86	52,0		+10,4	5,3		36,3
18.02.86	88,4		-8,8	7,6	45,1	44,5
20.03.86	24,0		-3,6	13,9		13,7
10.04.86	33,5		-3,2	9,9		26,8
26.04.86	8,3	7,4	-25,3	6,9		34,1
13.05.86		17,7	-19,8	9,3		28,2
10.06.86		12,0	-26,4	5,9		32,5
03.07.86		12,8	-17,9	4,4		26,3
24.07.86		8,5	-11,5	1,7		18,3
04.08.86		9,8	-15,4	2,2		23,0
20.08.86	16,1	20,6	-12,5	3,2		46,0
24.09.86	6,5	11,7	-2,1	0,9		19,4
14.10.86						

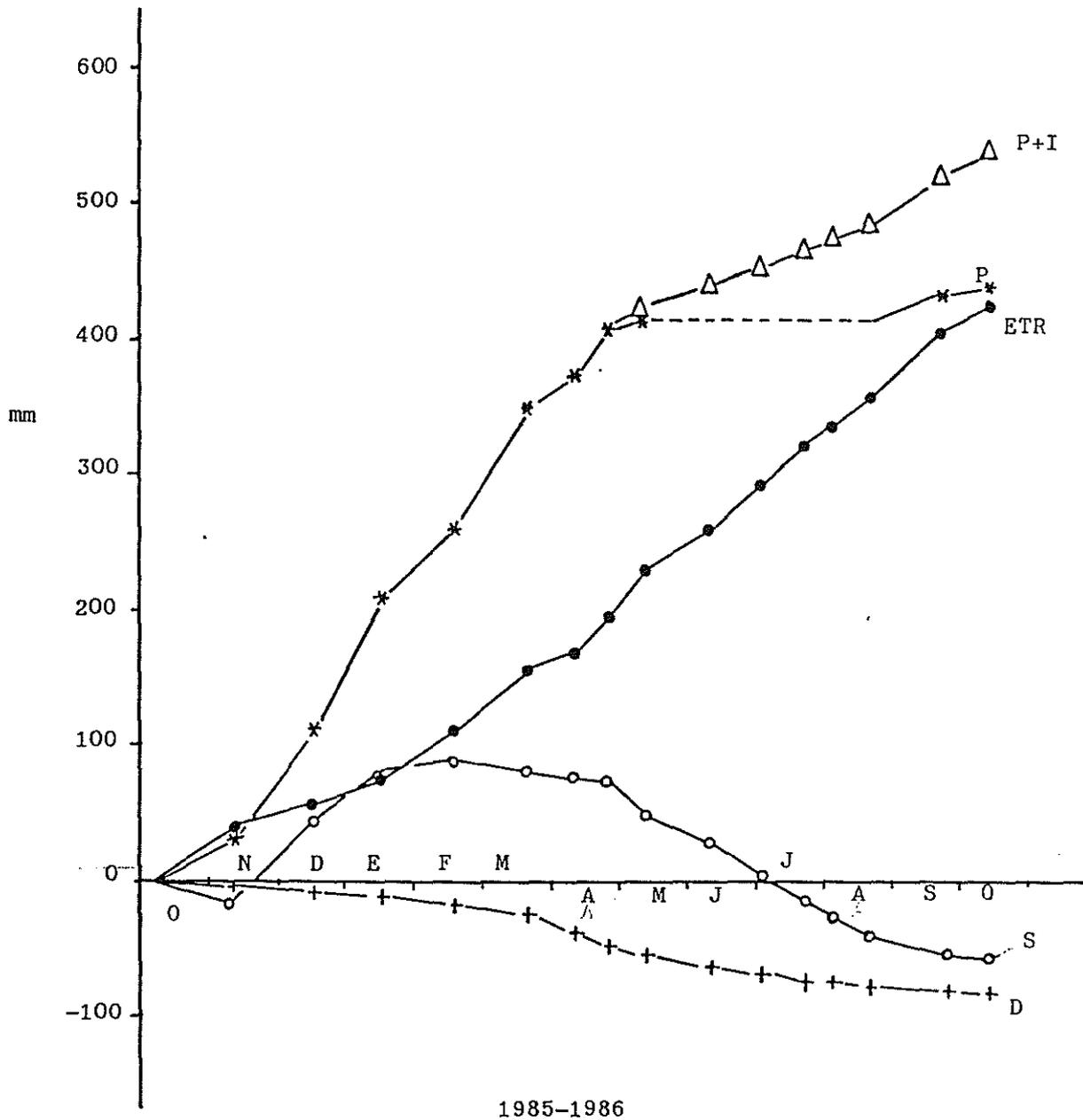


Fig. 6 Evolución anual de los parámetros (acumulados) del balance hídrico en la parcela (marco de plantación 7 x 7 m) durante el año hidrológico 1985-1986.

timizada teniendo en cuenta los resultados sobre la distribución del sistema radicular. Ya que los aportes pueden ser aplicados de forma que las pérdidas de agua fuera del volumen de suelo explorado por las raíces sean las mínimas posibles.

II.4 MEDIDAS DE PARAMETROS CLIMATICOS

Al pie de la parcela en la que se realiza la experiencia existe una estación meteorológica en la que se sigue a diario la evolución de los parámetros climáticos.

En la tabla VIII aparecen resumidos los correspondientes al período experimental considerado.

III. RESULTADOS

Los resultados que se exponen a continuación corresponden a ejemplos concretos dentro del conjunto de datos obtenidos durante esta fase del trabajo. Estos ejemplos han sido elegidos por su representatividad dentro de las experiencias llevadas a cabo.

En las figuras 7 y 8 se muestra la evolución del perfil hídrico del suelo, en el punto B" (ver Fig. 1), a lo largo del tiempo. Tres hechos merecen ser destacados:

TABLA VIII

Datos meteorológicos de los primeros meses del año 1986

	ENERO			FEBRERO			MARZO			ABRIL		
	Decenas			Decenas			Decenas			Decenas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tª media máx. (°C).....	14,7	15,5	14,5	13,4	15,8	18,0	16,8	19,0	21,6	18,0	18,3	21
Tª media mín. (°C).....	6,4	4,7	6,7	2,6	10,8	9,9	9,6	6,3	6,5	6,8	6,5	8,
Insolación (%)	42,3	70,6	36,8	49,3	23,0	12,4	42,0	74,6	77,1	48,7	69,4	54,
precipitación (mm)	29,8	0	3,0	6,0	63,3	23,0	62,8	3,0	0	24,0	0	33,
Evaporación (mm)	9,3	12,8	14,8	12,3	9,9	12,4	16,7	25,5	76,1	25,8	30,0	30,
HR (%) a las 13 h	81,1	77,3	66,7	77,9	86,2	77,9	78,9	60,9	55,8	64,7	54,1	52,
Velocidad media del viento (Km/h) ...	-	2,7	3,5	3,6	8,8	4,5	4,1	3,5	4,2	4,8	6,1	5,

TABLA VIII. (Cont.)

Datos meteorológicos de los primeros meses del año 1986

	MAYO			JUNIO			JULIO			AGOSTO		
	Decenas			Decenas			Decenas			Decenas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
media máx. (°C)	24,9	30,7	30,7	28,7	32,1	30,3	35,0	35,0	33,3	33,8	32,6	33,9
media mín. (°C)	11,0	13,6	15,0	14,8	16,5	14,7	16,8	18,0	19,0	16,0	15,0	15,5
humedad relativa (%)	65,5	71,7	69,8	52,5	76,8	79,7	75,4	76,4	61,1	81,2	70,3	76,8
precipitación (mm)	8,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
evaporación (mm)	38,6	51,5	53,5	39,0	49,0	51,0	55,0	61,0	63,0	64,0	45,5	68,5
(%) a las 15 h	52,5	48,8	51,5	47,2	45,2	42,5	53,2	42,2	45,9	42,3	49,5	41,4
velocidad media del viento (Km/h) ...	6,7	4,9	5,8	6,6	6,7	6,4	6,3	7,0	7,0	6,4	5,9	5,9

TABLA VIII (Cont.)

	Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre			Enero		
	Decenas			Decenas			Decenas			Decenas			Decenas		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Tª media max. (°C)	33,0	28,2	30,6	28,3	23,8	33,8	23,4	18,8	19,4	17,5	15,2	14,8	15,2	12,6	17,0
Tª media min. (°C)	17,4	19,3	18,1	16,5	15,3	13,3	9,7	9,9	9,3	8,6	7,5	4,6	5,2	3,7	10,4
Insolación (%)	70,6	44,2	71,4	49,5	44,5	78,6	81,1	55,7	69,1	49,3	35,3	73,0	56,9	56,1	26,8
Precipitación (mm)		16,1			39,6			66,4		12,3	10,0		21,3	61,5	53,0
Evaporación (mm)	49,0	29,0	50,0	31,0	21,0	36,0	28,5	16,0	21,0	17,0	9,5	17,5	15,0	12,0	16,5
H.R. (%) a las 15 h	47,3	70,2	44,6	49,6	71,5	51,4	64,6	63,9	61,5	64,1	75,7	60,5	67,2	71,8	73,1
Velocidad media del viento (km/h)	5,8	5,1	5,1	3,6	3,2	3,1	2,9	4,2	3,5	3,6	2,6	3,2	4,6	5,0	7,0

- Hasta la fecha de comienzo del riego, segunda quincena de abril, los perfiles hídricos, a diferentes distancias del árbol, presentan una situación muy similar, como consecuencia de la humectación uniforme del suelo después de las lluvias de invierno.

- A partir del comienzo del riego y en el punto más próximo al árbol (denominado como B2-1 en la Fig. 1), el cual coincide con la zona de goteo, el perfil hídrico evoluciona hasta contenidos de humedad más elevados entre 0 y 150 cm de profundidad, como puede verse en las Fig. 7 y 8. Por el contrario, en las otras tres posiciones el perfil muestra una progresiva desecación del suelo y únicamente en el punto B2-2 cabe apreciarse una influencia del flujo lateral de agua desde la zona húmeda. Estos resultados permitan cuantificar las zonas humectadas por el riego.

- Cuando el aporte hídrico mediante riego disminuye, prácticamente al final del período de riego, el perfil hídrico de la posición B2-2 vuelve a ser muy similar a los de las posiciones B2-3 y B2-4, como consecuencia de la disminución del flujo lateral que venía teniendo lugar de la zona del gotero hasta B2-2.

Por otra parte, el análisis de los perfiles de carga hidráulica (Fig. 9) pone de manifiesto la existencia de un flujo gravitatorio (Grad. H próximo a -1), lo que supone la existencia de un drenaje profundo.

La Tabla IV recoge los resultados obtenidos en el estudio inicial de la densidad radicular. Dichos resultados

PROFUNDIDAD (cm)

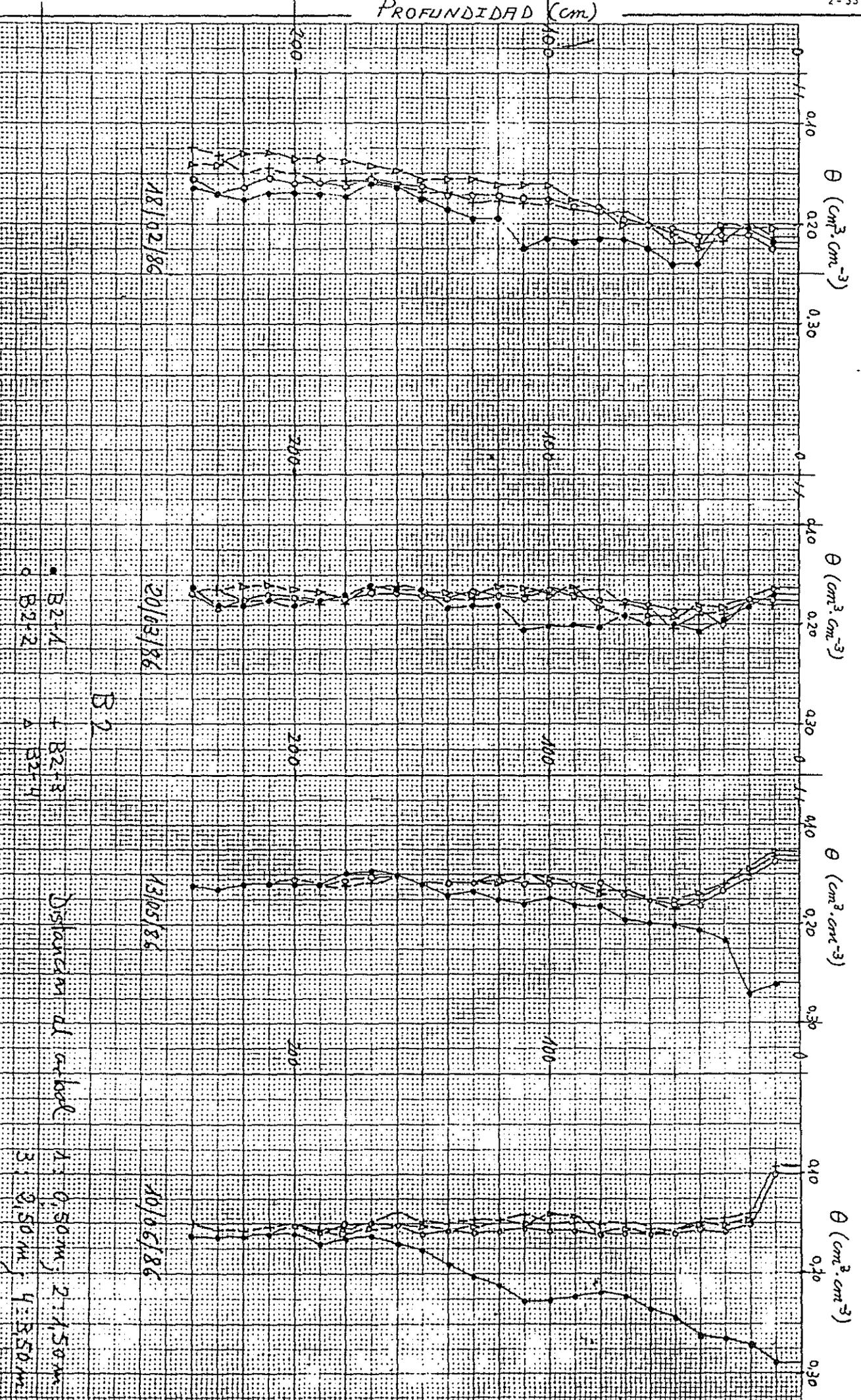
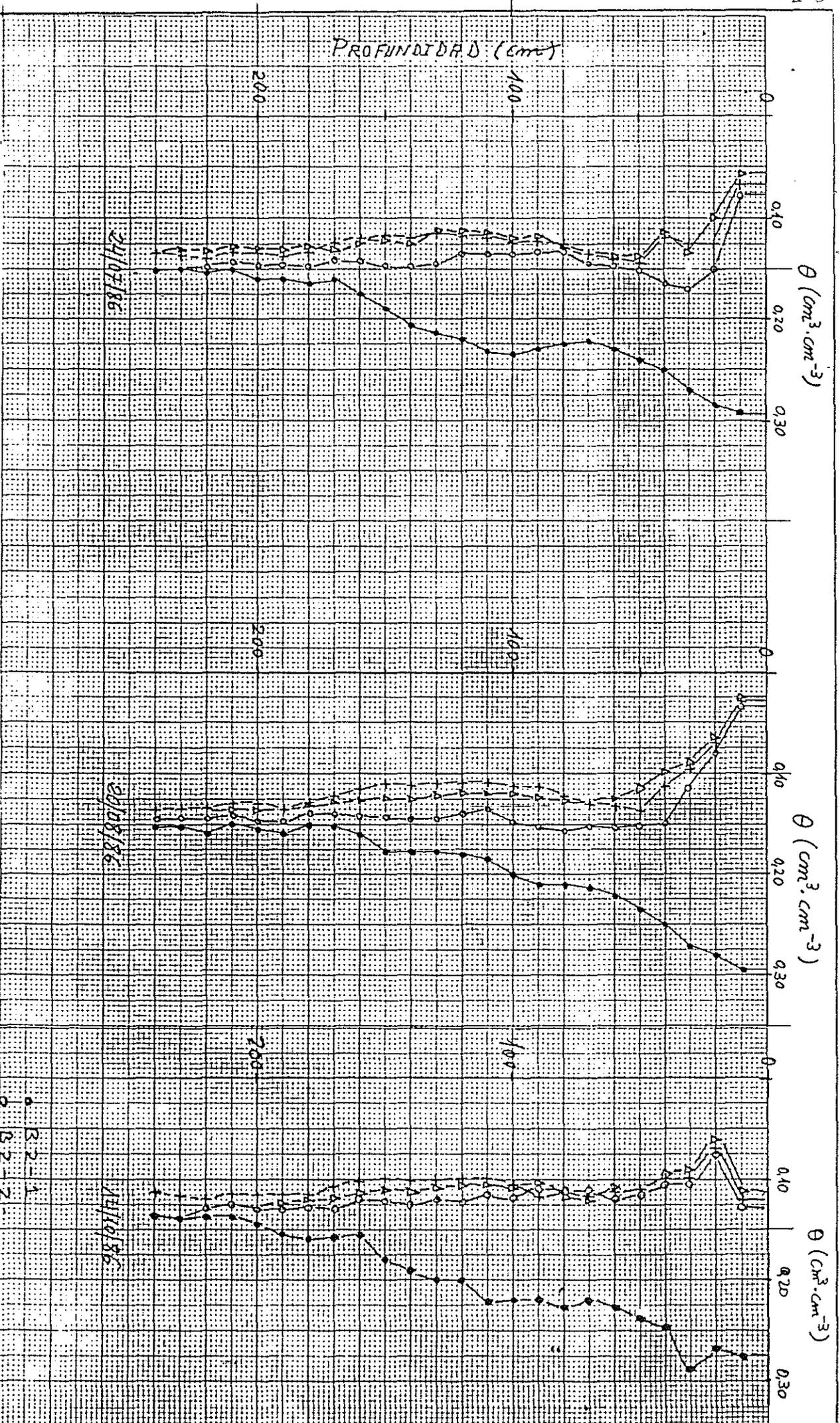


Fig. 7. - Evolución de los perfiles hídricos del suelo a diferentes distancias del árbol B2

Distancia al árbol
 1 - 0,50 m; 2 - 1,50 m
 3 - 2,50 m; 4 - 3,50 m

FIG. 8.- Evolución de los perfiles hídricos del suelo a diferentes distancias del árbol B2



● R2-1
 ○ R2-2
 △ R2-3
 □ B2-4

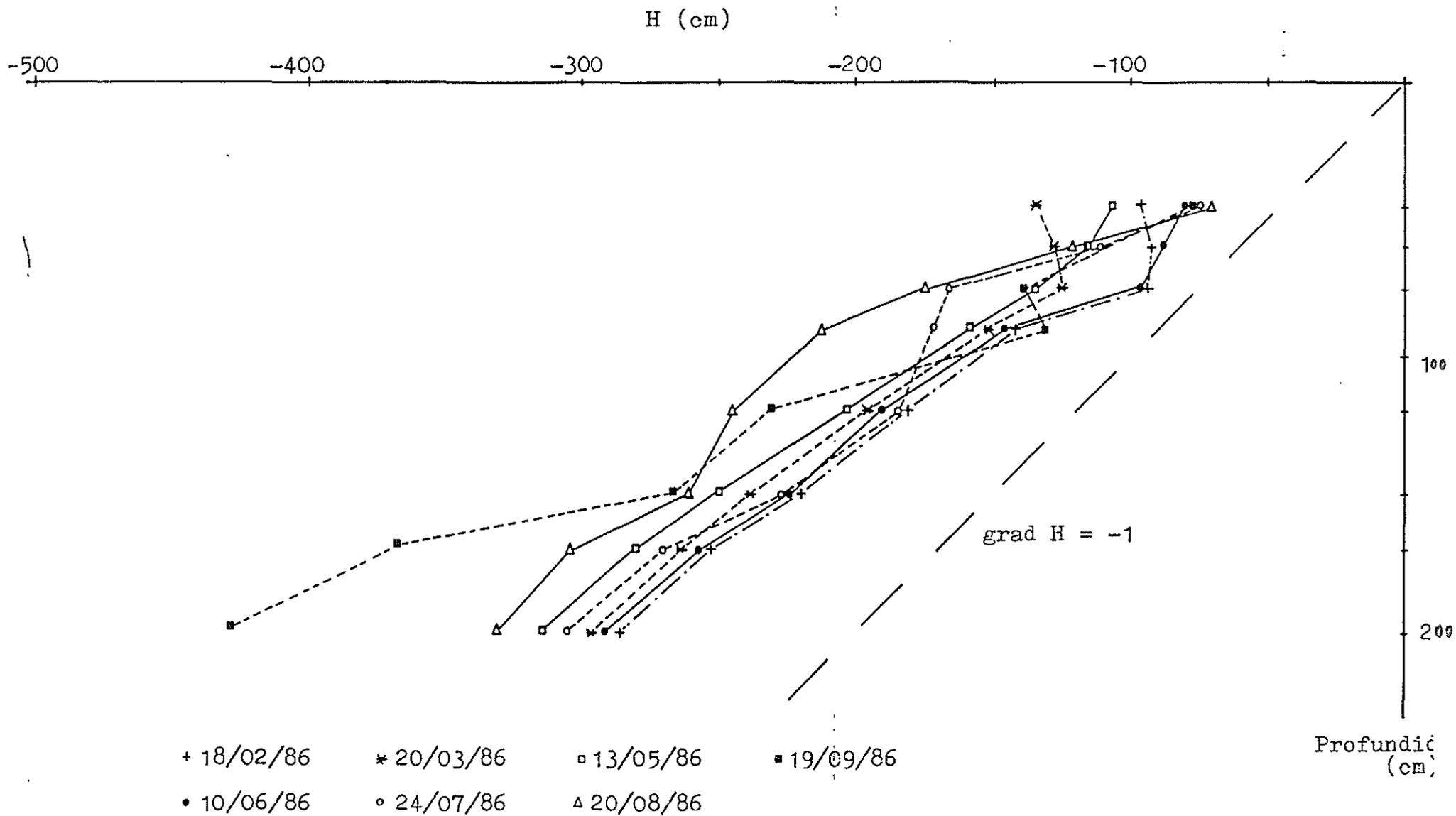


Figura 9.- Evolución del perfil de carga hidráulica en el punto B2-1

muestran la existencia de una densidad radicular más elevada a una distancia del árbol comprendida entre 0,5 y 1 m coincidiendo con las zonas más húmedas del suelo tal y como se ha expuesto anteriormente en los resultados sobre el perfil hídrico del suelo. La tabla IV muestra así mismo que esta máxima densidad radicular se localiza en una capa de suelo comprendida entre la superficie y 1 m de profundidad.

Por otra parte, los resultados de la Tabla V relativos al estudio detallado realizado en la zona humedecida por los goteros y la interfase zona húmeda-seca, muestran claramente que la mayor concentración de biomasa radicular tiene lugar en dichas zonas y hasta una profundidad que no está por debajo de 120 ó 140 cm. La densidad volumétrica de raíces en la capa de suelo comprendida entre 120 y 200 cm de profundidad representa en todos los casos una cantidad inferior al 10 % de la densidad encontrada por encima de los 120 cm.

En cuanto al estado hídrico de la planta, las Fig. 10, 11 y 12 muestran la evolución del potencial hídrico de las hojas (Ψ) en días representativos de diferentes épocas del año. Estas gráficas ponen de manifiesto que el potencial hídrico más elevado corresponde a la medida efectuada antes de la salida del sol y los más bajos a las horas centrales del día. Las curvas obtenidas en otros meses muestran una forma similar. La evolución diurna está relacionada con los factores climáticos que están representados en estas mismas gráficas.

La evolución de los dos potenciales más característicos del día a lo largo del período experimental considerado, se encuentran representados en la figura 13. Estos resultados muestran ligeras variaciones en el potencial antes de la salida del sol, mientras que el potencial a las 14 horas se hace más negativo a medida que avanza el verano, vol-

viendo a valores más altos cuando las exigencias climáticas se hacen más suaves.

IV. CONCLUSIONES

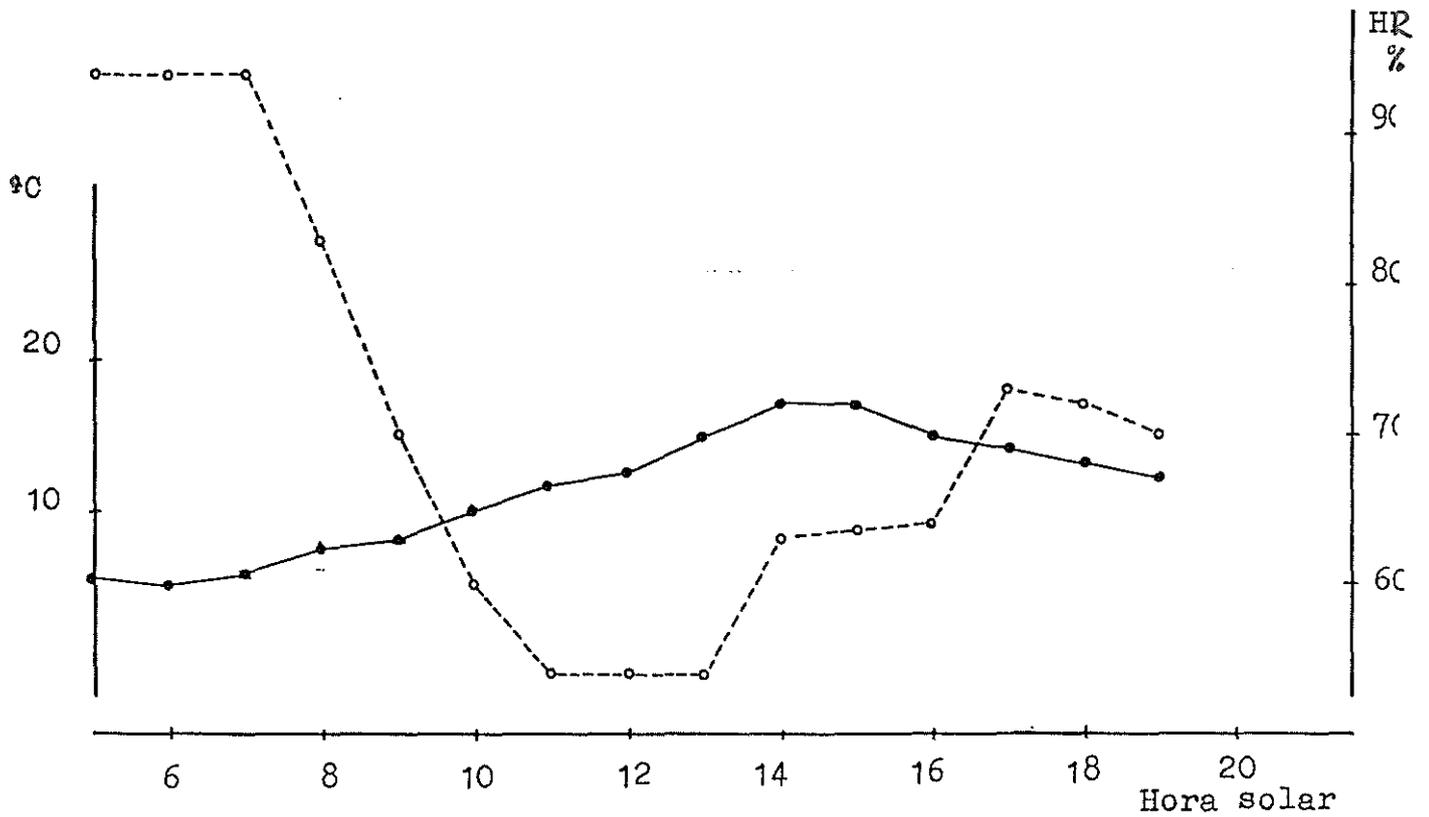
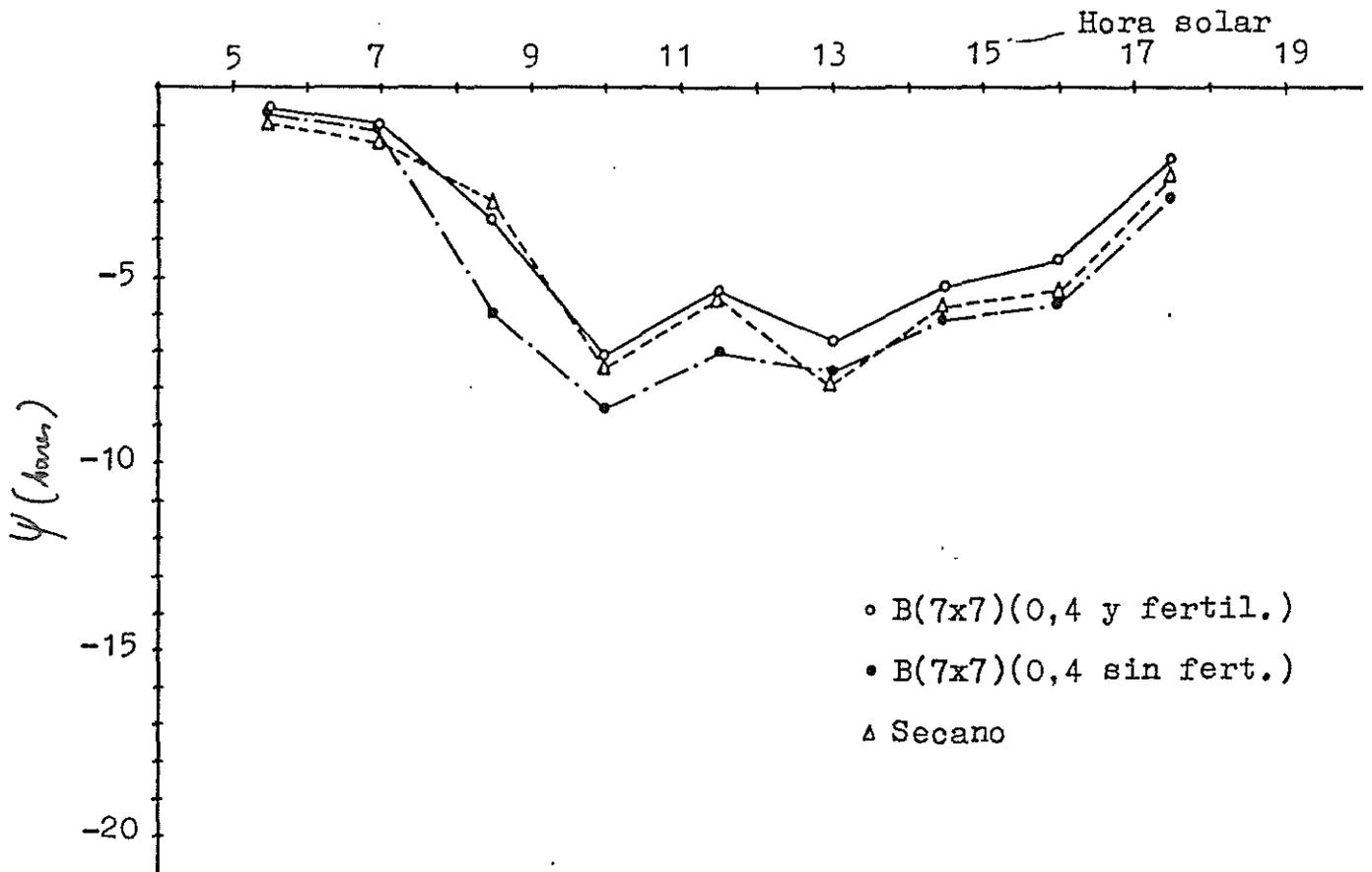
De los resultados obtenidos pueden concluirse los siguientes puntos:

- El riego gota a gota induce a una concentración del sistema radicular en las zonas más húmedas y en la transición a la zona no afectada por el riego. La masa radicular más importante se localiza, para nuestras condiciones, en una capa de suelo comprendida entre la superficie y una profundidad que puede situarse alrededor de los 120 cm.

- El estado hídrico de la planta está caracterizado por potenciales negativos relativamente elevados, para una planta que dispone de agua, durante el período de máxima demanda (julio a septiembre). Este punto es objeto de un estudio detallado que se ha iniciado durante el verano pasado y que será completado en el próximo período estival.

- El balance hídrico realizado muestra una evapotranspiración anual que se sitúa en torno a los 430 mm y un drenaje profundo de 83 mm. La pérdida más importante, por drenaje, tiene lugar durante el período de lluvias.

- El conocimiento adquirido sobre el sistema radicular, servirá de base para optimizar la eficiencia del riego en las próximas campañas.



(Temperatura del aire y humedad relativa)

Fig. 10.- Potencial hídrico en hojas de olivo
Evolución diaria , día 11/04/86

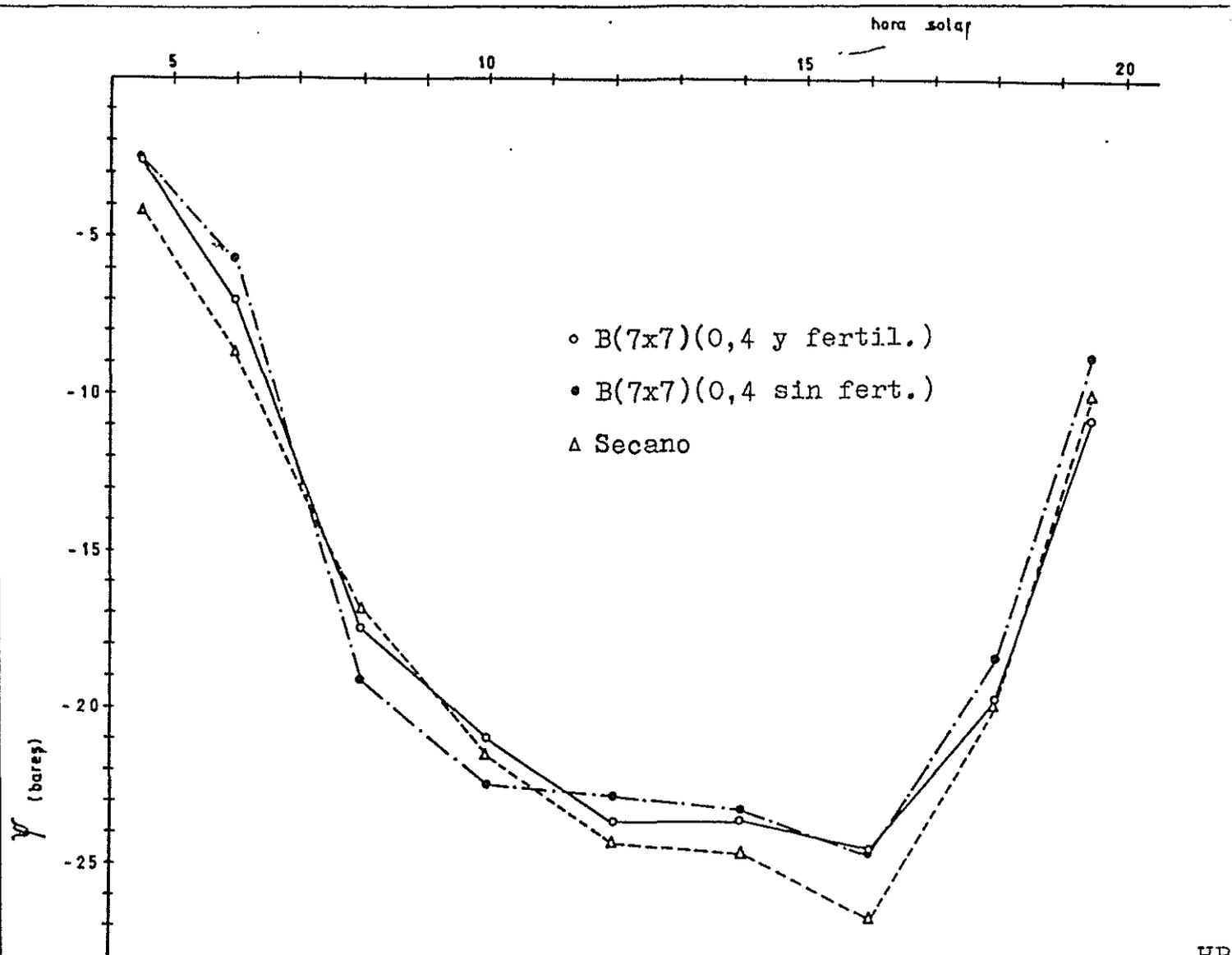
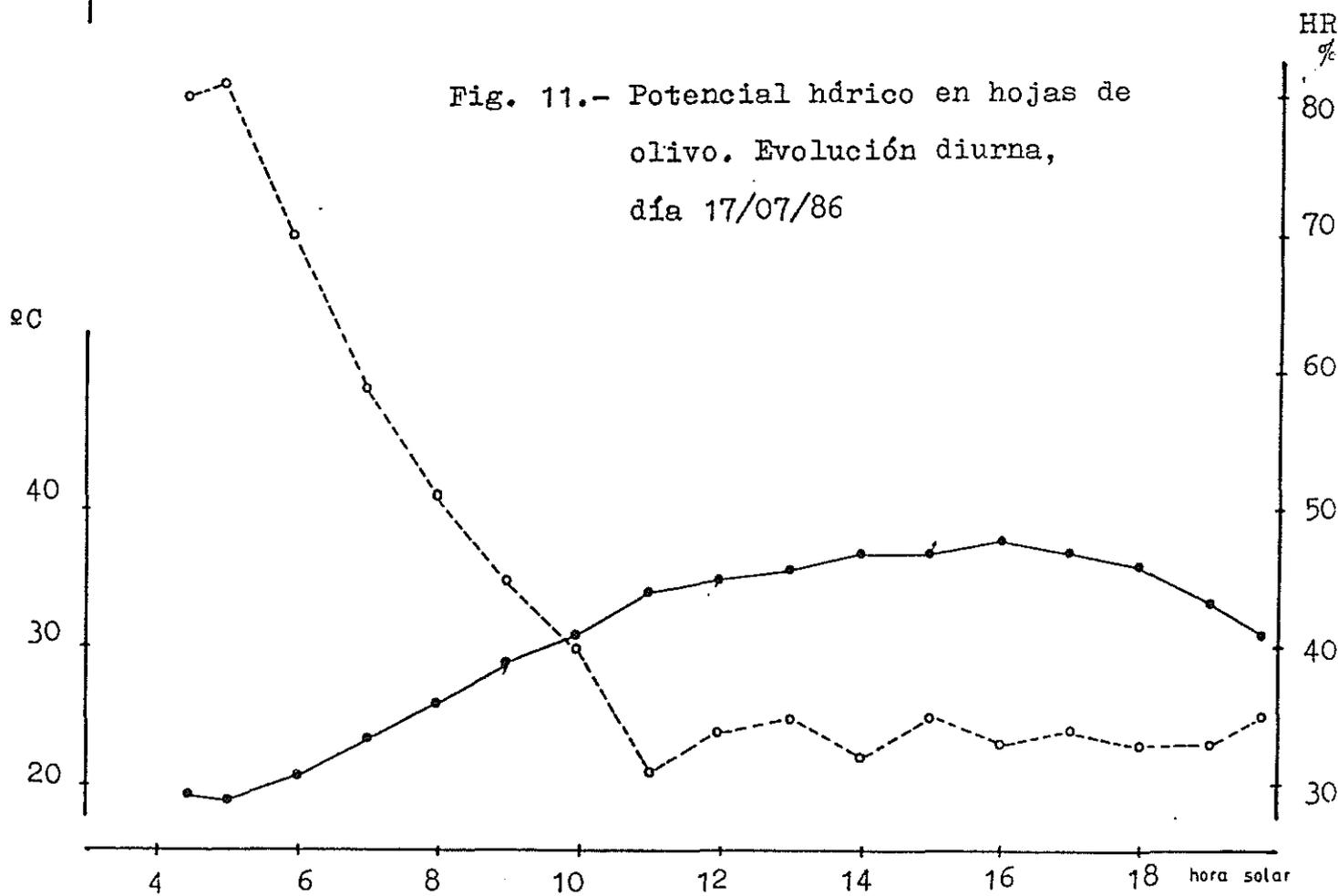


Fig. 11.- Potencial hídrico en hojas de olivo. Evolución diurna, día 17/07/86



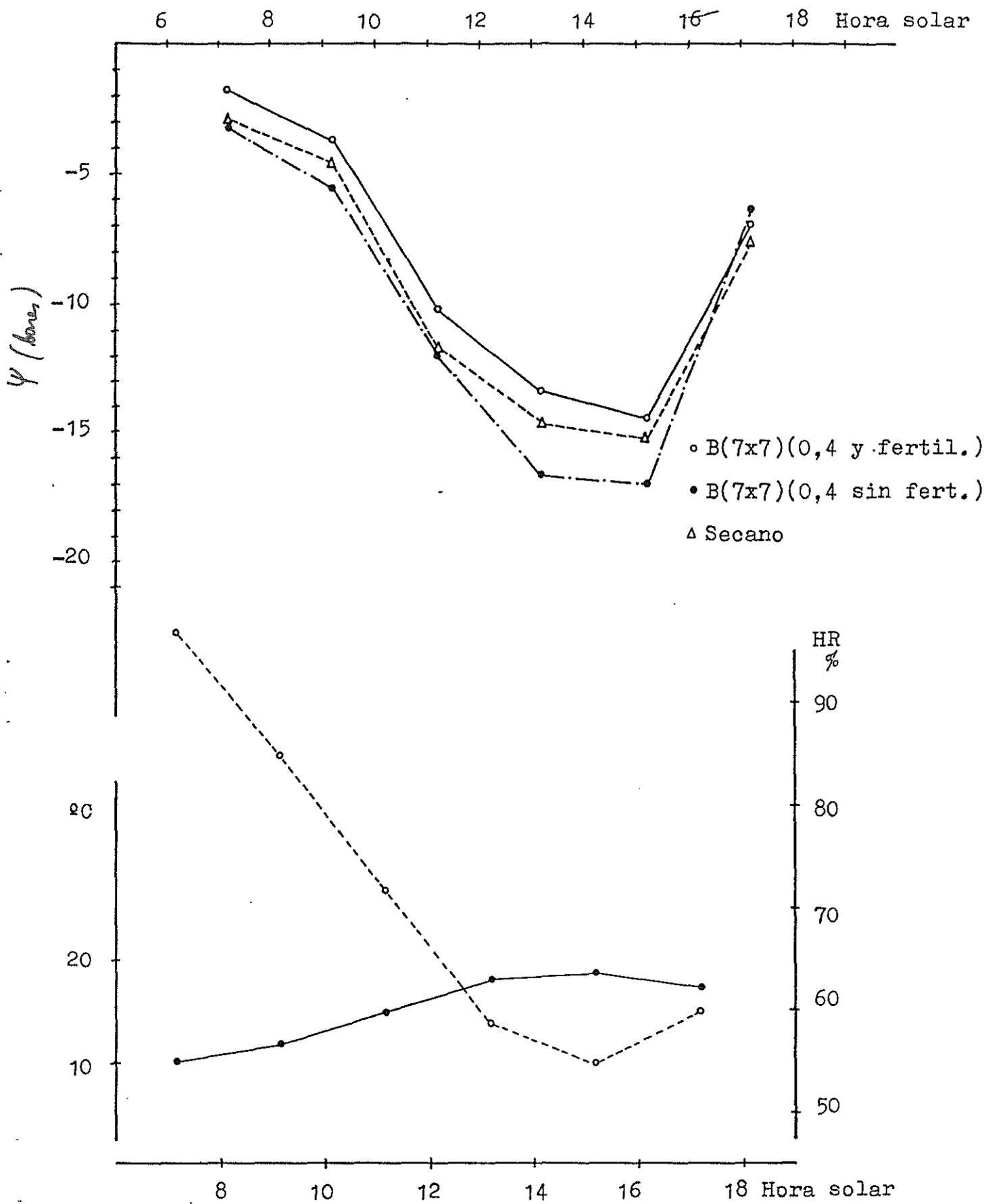


Fig. 12.- Potencial hídrico en hojas de olivo.
Evolución diurna, día 3/12/86

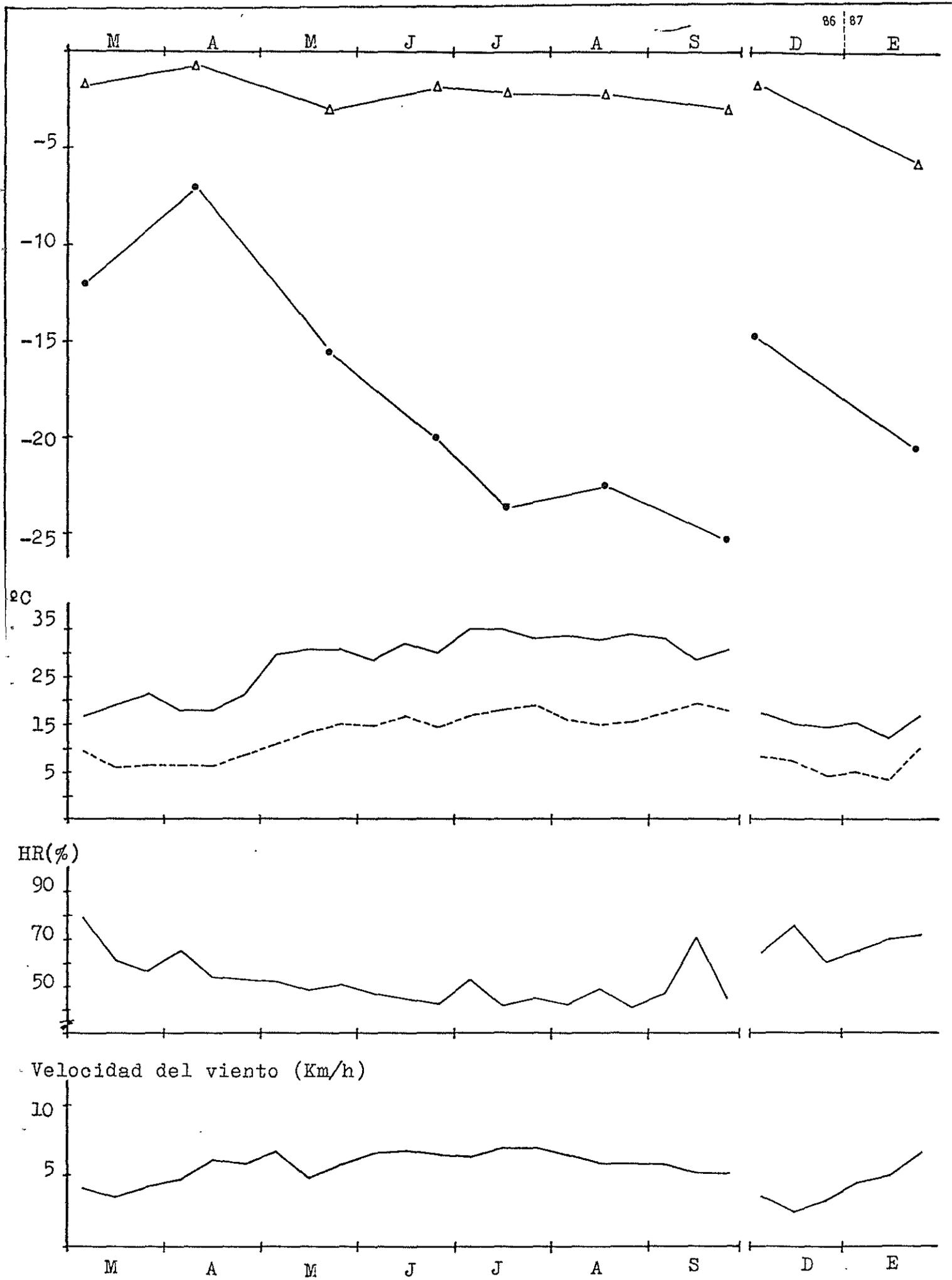


Fig.13.- Evolución del potencial hídrico y parámetros climaticos

V. BIBLIOGRAFIA

- ARRUE, J.L. 1980. El sistema radicular del olivo (*Olea europaea*) y del naranjo (*Citrus sinensis*). Cuantificación de su influencia en la compensación de las necesidades de agua, según las condiciones del medio. Memoria-resumen. Sevilla, abril 1980.
- CABIBEL, B. 1980. Structure et fonctionnement du système racinaire de jeunes pommiers en irrigation localisée. Séminaires sur l'irrigation localisée, Sorrento (Italia), Vol. III, pp. 79-87.
- CHOPART, J.L. 1980. Etude au champs des systèmes racinaires des principales cultures pluviales au Sénégal (arachide - mil - sorgo - riz pluvial).
- GIULIVO, C. y URIO, K. 1980. Effect of drip irrigation on root distribution of mature french prune trees. Séminaires sur l'irrigation localisée, Sorrento (Italia), Vol. III, pp. 65-71.
- HUGHET, J.G. 1973. Nouvelle méthode d'étude de l'enracinement des végétaux pérennes à partir d'une tranchée spirale. Ann. Agron. 24, 707-731.
- HUGHET, J.G. y FOURCADE, P. 1980. Distribution des racines de pommiers en relation avec la position des points d'irrigation. Séminaires sur l'irrigation localisée Sorrento (Italia), Vol III, pp. 43-50.
- MARSH, B.a B. 1971. Measurement of length in random arrangement of lines. J. Appl. Ecol., 8, pp. 265-267.

- MORENO, F.; VACHAUD, G. y MARTIN ARANDA, J. 1983. Caracterización hidrodinámica de un suelo de olivar. Fundamento teórico y métodos experimentales. Anal. Edaf. Agrobiol. 42 (5-6), pp. 695-721.
- MORENO, F.; VAUCLIN, M.; VACHAUD, G. y MARTIN ARANDA, J. 1984. Balance hídrico de un olivar con riego gota a gota. Proc. I Congreso Nacional de Ciencia del Suelo, Madrid (España), Vol. I, pp. 13-26.
- MORENO, F.; MARTIN ARANDA, J.; RODRIGUEZ BORREGO. (IRNYA) VACHAUD, G.; VAUCLIN, M.; LATY, R. (IMG). 1987. Balance hídrico de un olivar con riego gota a gota. Memoria final de una Acción Integrada Hispano-Francesa sobre Modalidad de alimentación hídrica del olivar. Relación entre producción y carencias hídricas y minerales en el suelo.
- NEWMAN, E. J. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecol., 3, pp. 139-145.
- NUÑEZ, I.; ARRUE, J.L.; MORENO, F. y MARTIN ARANDA, J. 1981. Sustracción de humedad en la zona radicular del olivo (variedad Manganillo). Técnicas de seguimiento y primeros resultados obtenidos. Avances sobre la Investigación Bioclimatológica. Ed. CSIC (Madrid)
- TENNANT, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol. 63, 995-1001