

# EXTRACCION DE AGUA POR LAS RAICES DE UN CULTIVO DE GIRASOL EN SECANO

J. BERENGENA\* y D.W. HENDERSON \*\*

## 1. INTRODUCCION

El girasol es considerado como cultivo resistente a la sequía. Este calificativo peca de falta de concreción cuando no se especifica el o los mecanismos que le confieren tal carácter. En efecto, desde el punto de vista agronómico no basta con la mera supervivencia; es menester, además, que el proceso productivo no se vea significativamente reducido (Turner, 1979). Determinando la naturaleza de dicho mecanismo se puede saber si ese es el caso.

Una planta, o una comunidad de plantas, se puede considerar como un vehículo transmisor de agua desde el suelo a la atmósfera que contribuye a satisfacer una demanda que varía en función de factores diversos; constituye lo que a menudo se llama "continuo suelo-planta-atmósfera" (CSPA). El proceso de transporte, muy complejo, ha tenido que ser simplificado para su simulación mediante modelos matemáticos o bien mediante analogías con procesos físicos más simples. Cowan (1965), tal como previamente hicieran Gradmann (1928) y van den Honert (1948), utilizó una analogía eléctrica para describir el flujo a través del sistema.

Actualmente existe la creencia generalizada de que hasta que el agua, en su camino hacia la atmósfera, alcanza las superficies evaporantes en el mesofilo de la hoja, el mayor cuello de botella —considerando sólo el dominio planta— se localiza en el sistema radicular (Boyer 1969). Weatherley (1979), trabajando con girasol y considerando en su conjunto el sistema radicular y el suelo que lo rodea, concluyó que, para una velocidad de transpiración alta, la máxima resistencia es ofrecida por la superficie interfacial suelo-raíz.

---

\* INIA, Córdoba, España.

\*\* Universidad de California, Davis, EE.UU.

De entre los diversos tramos que ha de recorrer el agua a lo largo del CPSA, nos referiremos exclusivamente al comprendido entre cualquier punto del volumen de suelo enraizado y la base del tallo; en otras palabras, al proceso de absorción. En condiciones de campo, el análisis racional de dicho proceso, con su correspondiente cuantificación, es extremadamente complicado. Basta considerar la intrincada geometría de la superficie absorbente —dependiente de multitud de factores— y el dinamismo del sistema radicular (Taylor y Klepper, 1978). A pesar de todo, han proliferado los modelos que, con diversos grados de simplificación, intentan describir el proceso; sus limitaciones se exponen en un reciente artículo de Klepper y Taylor (1979).

La resistencia global del sistema radicular de una determinada especie no es más que el resultado de la composición de un conjunto de resistencias dispuestas en serie y en paralelo. Resulta así obvio que los hábitos de enraizamiento, así como el grado de ramificación alcanzado en función de determinados factores ambientales, van a influir considerablemente en el valor resultante de la resistencia del conjunto del sistema.

Taylor y Klepper (1971, 1975) utilizaron el rizotróon de la Universidad de Auburn, Alabama, con el propósito de modelar la extracción de agua por las raíces de un cultivo de algodón (especie con sistema radicular pivotante). Comprobaron que la velocidad de extracción de agua por cm de raíz ( $q_r$ ) no era función del tiempo ni de la profundidad. También observaron que la relación entre  $q_r$  y el contenido de agua del suelo ( $\theta$ ) no cambiaba entre 30 y 180 cm de profundidad; esta última era la profundidad de suelo útil del rizotróon. Los autores concluyeron que las resistencias axiales (a lo largo del xilema) eran insignificantes en relación con otras encontradas por el agua entre el suelo y la base del tallo. La soja parece que se comporta de manera diferente. En efecto, Willat y Taylor (1978) observaron como la función  $q_r(\theta)$  varía con la profundidad; para un valor del potencial matricial en torno a  $-0,8$  bar,  $q_r$  se anula a una profundidad de 1,75 m. Concluyen pues que, en el caso de la soja, las resistencias axiales tienen un gran peso en el conjunto de la resistencia global del sistema.

Boyer (1971) comparó las resistencias al transporte de agua ofrecidas por plantas de soja y girasol. Comprobó que la primera era el doble de la segunda. Estas diferencias las atribuyó a la alta resistencia radial del sistema radicular de la soja, pues dicho autor parte de la base de que la resistencia en el sistema vascular de las raíces es

similar a la de sistema vascular del tallo. Estas conclusiones contrastan con las anteriores.

En cualquier caso, de lo expuesto se podría inferir que el comportamiento del girasol debe estar más próximo al del algodón, manifestando un alta eficiencia (\*) en la absorción de agua a grandes profundidades en el suelo como consecuencia de una baja resistencia axial. Como, por otra parte, su sistema radicular tiene una enorme capacidad para profundizar, si se demuestra que la eficiencia de extracción no varía sensiblemente con la profundidad resultaría obvio que el principal mecanismo —no necesariamente el único de resistencia a sequía de la especie sería el de “evitación”. En este sentido se a orientado el presente trabajo.

## 2. MATERIALES Y METODOS

Los datos que aquí se presentan fueron obtenidos de un trabajo llevado a cabo en la finca experimental de la Universidad de California en Davis durante el año 1975. En un suelo aluvial profundo, relativamente uniforme, de textura franco-arcillo-limosa y cuyas características hidrofísicas han sido ya descritas en otro lugar (Acevedo, 1975), se cultivó un híbrido de girasol (HS-52) de procedencia rumana. El experimento fue planeado para estudiar las respuestas del girasol al déficit moderado de agua. Sólo una parte de la información obtenida se presenta en este trabajo, correspondiente exclusivamente al tratamiento no regado. Las cuatro unidades experimentales correspondientes a dicho tratamiento fueron sometidas a un riego profundo de presiembra para asegurar que al comienzo del ciclo, la totalidad del perfil de suelo estuviese a capacidad de campo.

La siembra se realizó el día 6 de mayo en hileras orientadas de este a oeste, espaciadas 0,76 m. La densidad de plantas se situó en torno a 55.000 por ha. El tamaño de la unidad experimental fue de 70 m<sup>2</sup>. La nascencia tuvo lugar el 13 de mayo, la floración (50%) el 13 de julio y la recolección en los primeros días de septiembre. La lluvia registrada durante el período de cultivo fue prácticamente nula (2 mm. el 15/7, 0,7 el 16/7 y 1,3 el 18/8).

En dos de las cuatro repeticiones se colocaron 2 tubos de acceso para un medidor de neutrones (Troxler Electronic Lab. Inc., sonda mod. 104 A y ratímetro mod. 2601). La longitud de los tubos era de 350 cm.

---

(\*) Se entiende aquí por eficiencia la capacidad del cultivo para agotar el agua disponible.

Las lecturas se realizaron cada dos días a 11 profundidades diferentes, desde 15 a 315 cm. de distancia a la superficie, con intervalos uniformes de 30 cm.

Se incorporaron 200 kg. de nitrato amónico por ha.; los niveles de fósforo y potasio en el suelo eran lo suficientemente altos como para considerar innecesaria su aplicación.

Los datos de evapotranspiración potencial (ETP), medida en campo de césped, fueron obtenidos de un lisímetro gravimétrico (Pruitt y Angus, 1960) situado en las proximidades del campo experimental, al igual que el evaporímetro (clase A, U.S. Weather Bureau) del que fueron tomados los datos de evaporación (E) diaria. Este último estaba situado sobre césped.

### 3. RESULTADOS

A. *Extensión en profundidad del sistema radicular.*— De la figura 1 se desprende que, hasta alcanzar la cota —60 cm. (tomando como origen la superficie del suelo y el eje vertical negativo hacia abajo), la profundidad de enraizamiento crece a razón de un valor promedio próximo a los 3 cm/día. Las raíces alcanzan dicha cota a los 19-20 días después de nascencia. Entre las cotas —60 y —180 cm. el crecimiento es mucho más rápido, situándose alrededor de 10 cm/día. Posteriormente la velocidad de crecimiento se atenúa, alcanzando promedios de 7,5 cm/día entre —180 y —240 cm. y de 5,5 cm/día entre —240 y —300 cm. El valor promedio con que progresan las raíces entre las cotas —30 y —300 cm. se sitúa en torno a 7,5 cm/día. En algodón se han encontrado valores de 6 cm/día (Taylor y Ratliff, 1969), y en maíz y tomate, de 7,7 y 8,6 cm/día respectivamente (Taylor et al., 1970).

Según se deduce de la figura 1, las raíces comienzan a extraer agua por debajo de los 3 m. alrededor de los 47 días después de nascencia. Teniendo en cuenta la fecha de floración y considerando que el crecimiento radicular se atenúa cuando el crecimiento vegetativo de las partes aéreas se detiene, la máxima profundidad alcanzada por las raíces podría estimarse, mediante extrapolación, en 390 cm. o incluso más.

b. *Velocidades de extracción de agua en función de la profundidad.* En la figura 1 se presenta, para cada una de las 11 capas de suelo, la evolución de la velocidad de absorción con el tiempo. Estos gráficos fueron obtenidos a partir de las curvas que relacionan  $\theta_v-t$  mediante derivación de las mismas. Los datos se basan en valores promedio de dos

unidades experimentales, cada una de las cuales estaba instrumentada con dos tubos de acceso para la sonda de neutrones.

La evolución de las velocidades de extracción de agua varía ligeramente con la profundidad. Los máximos más altos se consiguen en las capas 2 y 3, llegando a tomar valores entre 4 y 5 mm/día. Esto puede no ser debido a que la capacidad de absorción a profundidades someras sea mayor, sino simplemente al hecho de que en el momento en que esos máximos se producen el sistema radicular aún no está convenientemente desarrollado. Las diferencias en los máximos obtenidos en las restantes capas podrían deberse a la heterogeneidad del suelo; es evidente que no se observa una tendencia clara con la profundidad. Las curvas se van desplazando hacia la derecha —tiempos crecientes— conforme el sistema radicular progresa y va agotando las capas ya exploradas. Resulta destacable el hecho de que en las cotas más altas la absorción se prolonga, aunque a valores muy bajos, hasta prácticamente el final del ciclo. Se observan claramente unos máximos relativos en las capas 4, 5 y 6; esto puede deberse a que el sistema radicular continúa proliferando, pese a los bajos niveles de potencial de agua alcanzados, y al hecho de que las capas más profundas van progresivamente agotándose.

Comparando nuestros resultados con los obtenidos por Acevedo (1975) con maíz cultivado en las mismas condiciones y tipo de suelo, es obvio que los patrones de extracción son diferentes, con una eficiencia en la absorción a grandes profundidades considerablemente mayor en el caso del girasol. En efecto, en el maíz, a partir de 1,20 m., el volumen total de agua extraída por capa y la velocidad máxima de absorción decrecen considerable y consistentemente con la profundidad. Asimismo, la velocidad de enraizamiento es también superior en el girasol.

c. *Cantidades de agua extraídas del perfil del suelo.*— La variabilidad espacial de las propiedades físicas inherente a todo suelo natural, junto a la complicación añadida por los fenómenos de histéresis, debió contribuir a que los perfiles de humedad inicial y final no fuesen más homogéneos (ver fig. 2). Las determinaciones de capacidad de campo, realizadas "in situ" tras levantar la cosecha, nos permitieron comprobar que el perfil correspondiente coincide prácticamente con el (1) de la figura.

La cantidad de agua extraída a lo largo del ciclo del cultivo es variable con la profundidad. El valor máximo —58,2 mm.— correspondió a la capa 9 (entre 240 y 270 cm.) y el mínimo, exceptuando la capa más superficial, se situó entre 150 y 180 cm. Este mínimo se debió probablemente a la existencia de un estrato de suelo de textura arenosa, puesto de manifiesto en los diversos sondeos realizados. Considerando

exclusivamente la profundidad de suelo bajo control —330 cm.—, la altura total de agua extraída por el cultivo se elevó a 487,5 mm. Teniendo en cuenta que la profundidad máxima alcanzada por las raíces se ha estimado como mínimo en 390 cm., la altura total de agua evapotranspirada debe superar ampliamente la cifra anterior; sería razonable situarla en torno a los 600 mm.

En la figura 3 se presenta la evolución de diferentes variables a lo largo del ciclo biológico: ETP, E, cantidad de agua extraída de la totalidad del perfil de suelo bajo control (ETR) e índice de área foliar (IAF). Llama poderosamente la atención la rapidez con que crece ETR entre los días 22 y 32 después de nascencia; en este intervalo su valor pasa de 1 a 11,8 mm/día y el de IAF, de 0,6 a 2,1. La velocidad de asimilación neta (AN)(\*) medida en g. de materia seca por planta y día pasa de 0,6 a 5 en el mismo período de tiempo. Este hecho, teniendo en cuenta que los valores de ETR y AN al final del intervalo son los máximos alcanzados por ambas variables en la totalidad del ciclo, justifica el rápido incremento de ETR; además, como ya se vió, en esos días la velocidad de enraizamiento también es máxima. A partir del día 28, la ETR se mantiene muy por encima de la ETP y algo superior a E. Esta situación perdura prácticamente hasta el día 70 en que ETR comienza a descender de manera continua. No conviene perder de vista que esta variable no considera el agua extraída a profundidades superiores a 330 cm., por lo que, aproximadamente a partir del día 50, no coincide con la evapotranspiración real del cultivo.

#### 4. CONCLUSIONES

De todo lo anterior se deduce que el sistema radicular del girasol es enormemente agresivo por su gran capacidad para explorar grandes volúmenes de suelo. La velocidad de extracción y niveles de agotamiento del agua no parecen disminuir sensiblemente con la profundidad. Esto permite inferir que la resistencia axial del sistema no limita seriamente la alimentación hídrica de la planta. Se trata por tanto de un mecanismo de evitación, aunque no necesariamente el único entre los posibles mecanismos de resistencia a la sequía de la especie. Así pues, el girasol es una planta bien adaptada al secano en zonas donde la precipitación sea escasa durante la estación de cultivo, siempre que los suelos sean profundos y la recarga anual sea suficiente. Es significativo el hecho de

---

\* No se considera la materia seca de las raíces.

que la producción de aquenios alcanzó el 80% de la obtenida en las unidades experimentales regadas semanalmente. Esta baja en la producción pudo ser debida, por supuesto, a una deficiente alimentación hídrica en los últimos días del ciclo pero también pudo ser causada por deficiencia de nitrógeno dadas las grandes profundidades de extracción y la ausencia de flujos verticales de solución de suelo en la zona radicular (Narro, 1976).

Parece obvio que la aplicación del método del balance de agua al cálculo de la evapotranspiración en un cultivo de girasol ha de hacerse con cautela. Cuando se trata de un suelo profundo, con los factores que influyen en el crecimiento radicular favorables (Carson, 1974), la profundidad bajo control ha de ser de 3,5 a 4 m. como mínimo; de lo contrario se corre el riesgo de infravalorar el consumo y, consecuentemente, las determinaciones de eficiencia en el uso del agua serían totalmente erróneas. Naturalmente, los patrones de absorción variarán de un cultivo de secano a uno de riego; pero, incluso en este segundo caso, el sistema radicular se extiende a grandes profundidades en el suelo (Berengena, no publicado).

Cabría por último especular sobre ciertos aspectos en relación con la mejora genética de la especie. La búsqueda de genotipos con mayor resistencia axial en sus sistemas radiculares, sin merma de su potencial de crecimiento, podría ser uno de los caracteres a considerar en la selección de girasol para ser cultivado en secano. De esta forma habría una dosificación del agua disponible que, sin duda, produciría un descenso en el crecimiento vegetativo y, consecuentemente, en el área foliar por planta; pero si la densidad de plantas es la suficiente, se podría asegurar un nivel adecuado de intercepción de radiación en floración y la producción de aquenios no se vería sensiblemente afectada. Por supuesto, habría que seleccionar paralelamente para altos índices de cosecha así como para otros posibles mecanismos de resistencia a sequía. En regadío y secano húmedos, la estrategia a seguir habría de ser diferente. En este caso, el suministro de agua estaría asegurado, sin necesidad de que el sistema radicular explorase grandes volúmenes de suelo, cosa que, por otra parte, supondría un coste energético (sumidero para "asimilados") innecesario e incidiría negativamente en la productividad.

## REFERENCIAS

1. ACEVEDO, E. (1975). The growth of maize (*Zea mays* L.) under field conditions as affected by its water relations. Tesis de Ph. D., DAVIS, California.

2. BOYER, J. S. (1969). Free-energy transfer in plants. *Sci.* 163, 1219-1220.
3. BOYER, J. S. (1971). Resistance to water transport in soybean, bean and sunflower. *Crop Sci.* 11, 403-407.
4. CARSON, E. W. (1974). The plant root and its environment. The University Press of Virginia, Charlottesville, EE.UU.
5. COWAN, I. R. (1965). Transport of water in the soil-plant-atmosphere system. *J. Appl. Ecol.* 2, 221-239.
6. GRANDMANN, H. (1928). Untersuchungen über die wasserverhältnisse des bodens als grundlage des pflanzenwachstums. *Jahrb. Wiss. Bot.* 69, 1-100.
7. VAN DEN HONERT, T. H., (1948). Water transport as a catenary process. *Faraday Soc. Discuss.* 3, 146-153.
8. KLEPPER, B. y TAYLOR, H. M., (1979). Limitations to current models describing water uptake by plant root systems. En «The soil-root interface» (J. L. HONEY y R. S. RUSSELL, eds.), Academic Press, Nueva York.
9. NARRO-FARIAS, E. A., (1976). Evolution of dry matter distribution and yield of maize (*Zea mays* L.) as affected by water stress under field conditions. Tesis de Ph. D., DAVIS, California.
10. PRUITT, W. O. y ANGUS, D. E., (1960). Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.* 3, 13-18.
11. TAYLOR, H. M., HUCK, M. G., KLEPPER, B. y LUND, Z. F. (1970). Measurement of soilgrown roots in a rhizotron. *Agron. J.* 62, 807-809.
12. TAYLOR, H. M., HUCK, M. G., KLEPPER, B. (1971). Water uptake by cotton roots during an irrigation cycle. *Aust. J. Biol. Sci.* 24, 853-859.
13. TAYLOR, H. M. y KLEPPER, B. (1975). Water uptake by cotton root systems: An examination of assumptions in the single root model. *Soil Sci.* 120, 57-67.
14. TAYLOR, H. M. y KLEPPER, B. (1978). The role of characteristics in the supply of water to plants. *Adv. Agron.* 30, Academic Press, Nueva York.
15. TAYLOR, H. M. y RATLIFF, L. F. (1969). Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. *Soil Sci.* 108, 113-119.
16. TURNER, N. C. (1979). Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. En «Stress physiology in crop plants» (H. MUSSELL y R. C. STAPLES, eds.) pp. 343-372. Wiley-Interscience, Nueva York.
17. WEATHERLEY, P. E. (1979). The hydraulic resistance of the soil-root interface - A cause of water stress in plants. En «The soil-root interface» (J. L. HARLEY y R. S. RUSSELL, eds.), Academic Press, Nueva York.
18. WILLAT, S. T. y TAYLOR, H. M. (1978). Citado en refer. 14.



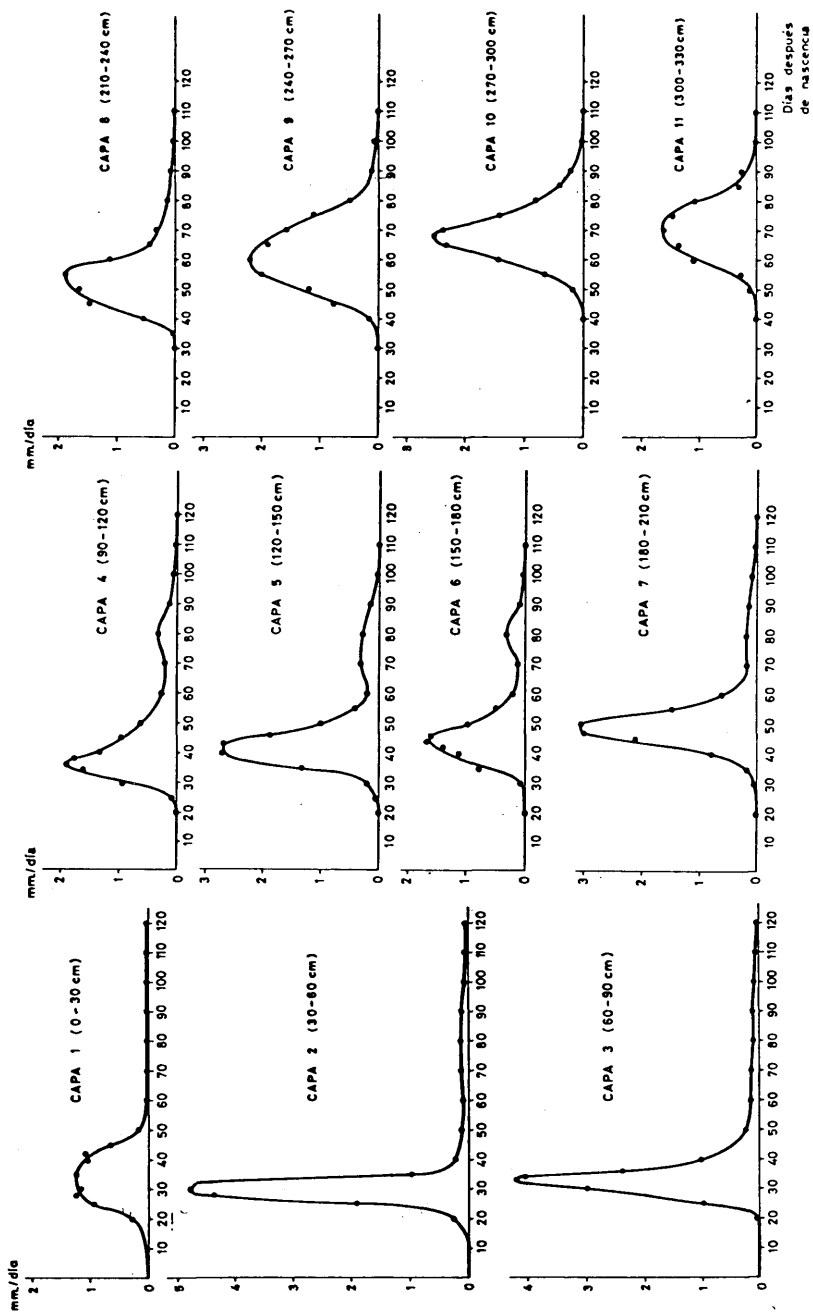


Figura 1. Evolución en el tiempo de la velocidad de extracción de agua en las 11 capas del perfil bajo control.

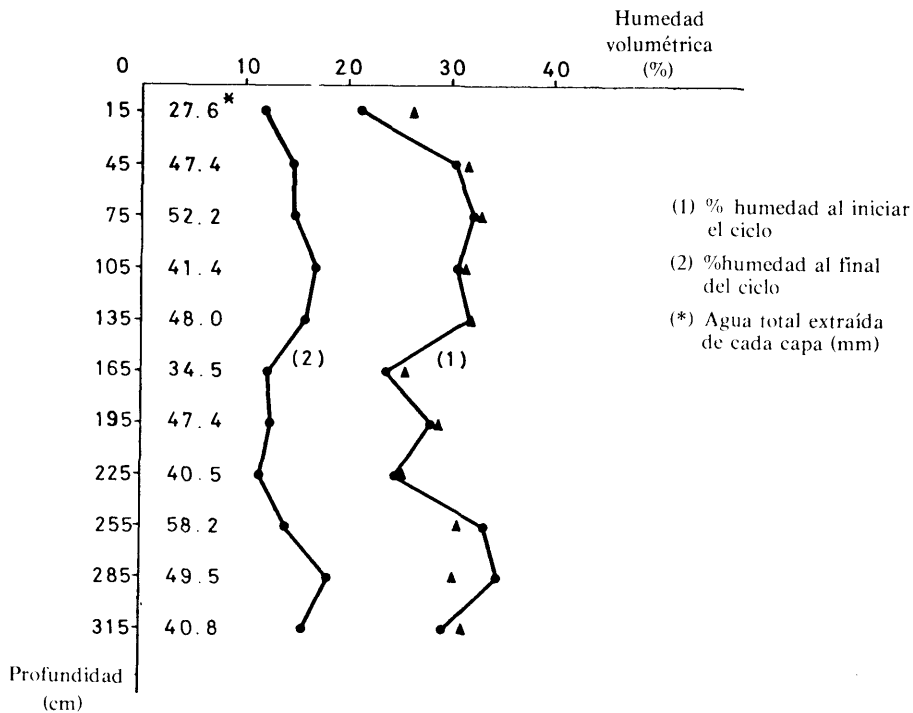


Figura 2.— Perfiles de humedad inicial (en la siembra) y final (tras cosechar) en el suelo. Los triángulos definen el perfil de humedad correspondiente a la capacidad de campo determinada "in situ" al levantar el cultivo. La columna de cifras representa el agua total extraída en las diferentes capas.

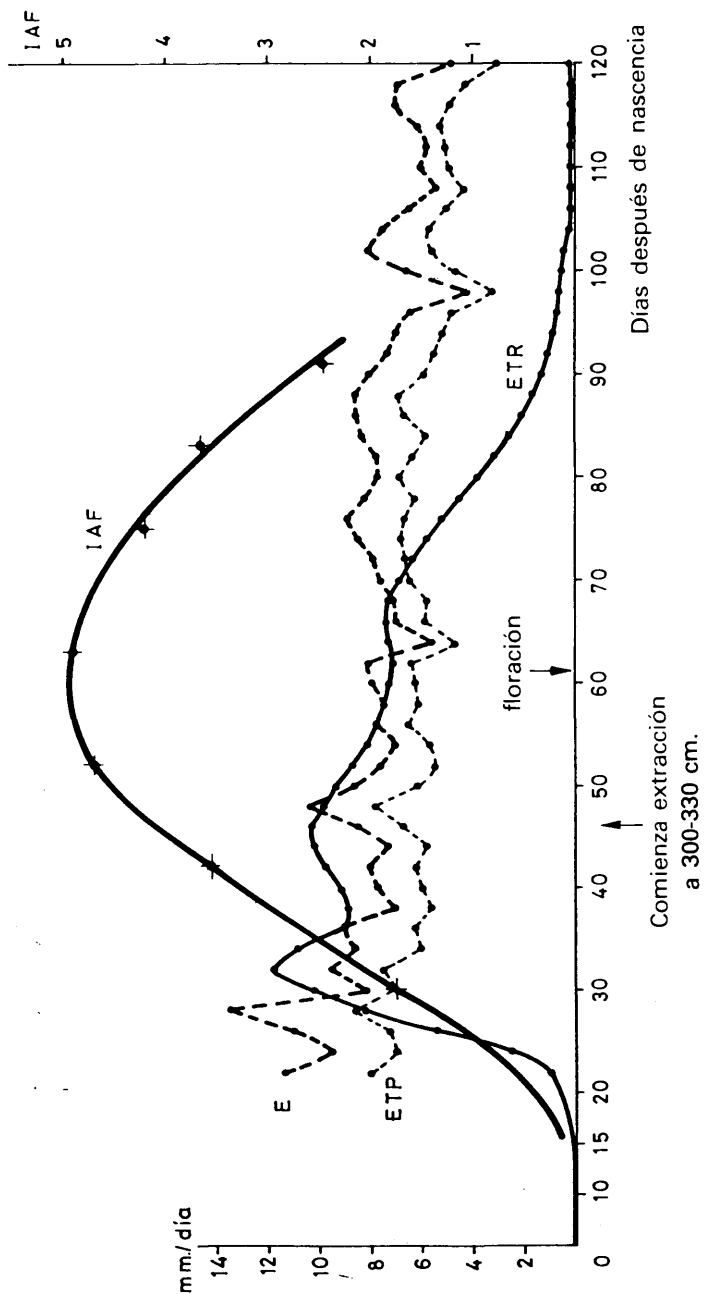


Figura 3.— Evolución en el tiempo de los parámetros E (evaporación diaria), ETP (evapotranspiración potencial diaria), ETR (agua extraída por día de los primeros 330 cm de suelo) e IAF (índice de área foliar).