

PRIMER CURSO NACIONAL SOBRE
CONSERVACION Y MANEJO DE LOS RECURSOS TIERRA Y AGUA

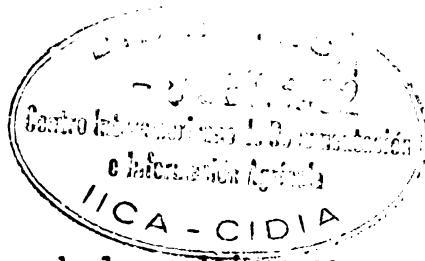


El Secamiento del Suelo en Relación con el
Uso de Aguas por los Cultivos Agrícolas

Warren M. Forsythe, CATIE-IICA

La humedad de un suelo agrícola sigue ciclos entre un límite superior de la capacidad de campo y un límite inferior del punto de marchitez según el clima (balance hídrico) y el riego. Cuando el suelo se seca o cuando las plantas extraen agua del suelo, el secamiento en el perfil es diferencial, siendo la parte superior más seca en un principio.

El balance hídrico atmosférico para un período dado es la diferencia entre la lluvia y la evapotranspiración (ET). Cuando el suelo está bien suministrado con agua o sea cuando está a capacidad de campo, los cultivos evapotranspiran a su máximo y esto se llama evapotranspiración potencial (ETP). La evapotranspiración potencial ha sido bien correlacionada con la evaporación del tanque tipo A de U.S. Weather Bureau. (Ver Legarda y Forsythe 1972 para una revisión de literatura). Cada cultivo tiene un constante que se multiplica por la evaporación del tanque para determinar su evapotranspiración potencial. Este factor se ha denominado f . Dicha constante depende del área del suelo cubierto por el follaje del cultivo y la madurez de las hojas. La mayoría de cultivos estudiados, tienen factores que varían entre 0,8 y 1,1 cuando la cobertura tiene su desarrollo máximo (J. H. Chang 1961 y Dupriez G.L. 1964). Esto explica la conclusión de Angus (1959) quien observó que bajo condiciones climáticas similares (valores iguales de evaporación de tanque) diferentes cultivos que tengan su cobertura plenamente desarrollada, tienen



evapotranspiraciones potenciales similares. La altura de los cultivos no influye mucho en su capacidad para la evapotranspiración; lo que importa es el área del suelo cubierto (Bernard 1953; Viets 1962).

Hay unas excepciones notables a esta generalización. Ekern (1965) encontró que la piña (Ananas comosus L Merr.) con su cobertura bien desarrollada después de 12 meses, tiene un factor f de 0,2, porque las estomas están cerradas durante el día y el intercambio gaseoso se efectúa con el aire del suelo, mediante canales en el tallo y las raíces. Este mecanismo posiblemente existe también en opuntia y otras plantas suculentas (cacti). Para naranjas Hilgeman y Rodney (1961) obtuvieron valores de f de 0,45 a 0,58, y Van Bavel, Newman y Hilgeman (1967) sugirieron que el naranjo tiene una resistencia estomatal alta aunque cuando la planta está bien suministrada con agua. Van Bavel (1968) sugiere que algunos árboles de bosque tienen mecanismos semejantes pero el modelo que dice que la cobertura activa de cultivos bien suministrados con agua, actúa como superficies pasivas de evaporación, o sea una mecha mojada, sigue siendo de gran utilidad. Lo importante es determinar el valor de f para cada cultivo.

El suelo desnudo bien suministrado con agua (a capacidad de campo) se encuentra en su primera etapa de evaporación, la cual se llama la de rata constante o mejor dicho f constante, porque en dicha etapa la evaporación depende solamente de condiciones climáticas (Miller y Klute 1967). En un suelo desnudo de Hawaii, Campbel, Chang y Cox (1959) encontraron que f es 0,4. A medida que el suelo se encuentra más cubierto por un cultivo con un valor de f mayor de aquel suelo desnudo, aumenta el valor de f . Tal es el caso que ocurre durante el desarrollo de un cultivo, como lo muestra el

el Cuadro 1, para algodón y caña de azúcar. Se nota que en el caso de algodón, f empieza a disminuir después de 80 días, probablemente debido a la madurez y caída de las hojas. En cambio la caña de azúcar no demuestra un descenso notable. Siguen valores de f para algunos cultivos con su cobertura bien desarrollada: frijol 1,0, maíz 0,85 (Jensen, Middleton y Pruitt 1961); frijol 1,07 - 1,19; maíz 0,98 - 1,39; arroz (de inundación) 1,08 - 1,14; mani 1,02 - 1,23; bananos 0,89 - 0,92; pasto (Canvalia ensiformis) 1,10; pasto (Crotolaria usaramoensis) 1,16 (Dupriez 1964).

En muchos lugares tropicales hay estaciones ~~meteorológicas~~ sin tanques tipo A y por lo tanto es útil tener fórmulas de evaporación (o de evapotranspiración) que utilizan datos relativamente fáciles de conseguir. Legarda y Forsythe (1972) encontraron que la fórmula de García-López (multiplicada por un factor de 1,23) la de Papadakis (multiplicada por un factor de 1,22) y la de Van Bavel (multiplicada por un factor de 1,78) presentaban mejores características de correlación y concordancia para el área de Centro América y el Caribe, desde Costa Rica hasta Jamaica. Es importante indicar que la conocida fórmula de Thornthwaite se consideró inadecuada para el área debido a la poca correlación y concordancia. En otra área tropical, en Pasaje, Ecuador, a 17 m de altitud y 3°20' S y 79°50' Occ., se observó el pobre desempeño de la fórmula de Thornthwaite según descubrieron Hasan y Jones (1972). Es interesante observar que las fórmulas más eficientes encontradas por Legarda y Forsythe (1971) utilizan la humedad relativa, o tratan de evaluarla en sus cálculos. Teniendo en consideración los datos de García y López (1971), Legarda y Forsythe (1972) y Hasan y Jones (1972) el autor considera que para una localidad determinada dentro del cinturón tropical entre los

15°N y los 15°S, las variaciones en la humedad relativa tienen un papel primordial en los cambios en la evaporación y por consiguiente en los que ocurran en la evapotranspiración. Por otro lado las fórmulas que dependen solamente de temperatura, tal como la de Thornthwaite, tienen poco éxito dentro de dicho cinturón por el poco cambio estacional de temperatura que ocurre durante el año.

Cuando el balance hídrico es positivo el exceso de agua sirve para aumentar la humedad del perfil a la capacidad de campo, y una vez a esta humedad conservarla en un perfil. Si el balance hídrico es negativo la humedad del suelo empieza a disminuir, primero a la rata correspondiente a la evapotranspiración potencial pero a medida que el suelo se seca dicha rata disminuye. El principio del balance hídrico ha sido usado con algún éxito para estimar la humedad del suelo. El empleo de datos meteorológicos de varios años de un lugar sirve para estimar la probabilidad de humedades en el suelo críticas para la agricultura. El elemento de riesgo (probabilidad) es de suma importancia para el agricultor.

Modelos de Consumo de Agua

Cuando los cultivos extraen agua del suelo y se seca, la rata de extracción de agua puede seguir diferentes rumbos según las condiciones de profundidad efectiva de las raíces del cultivo y la rata de evapotranspiración potencial. El secamiento del suelo en general sigue dos etapas: 1) Extracción a la rata de f constante o sea la máxima tal como se muestra en el modelo 145 en la Figura 1. 2) Extracción a una rata menor de f o sea la relación evapotranspiración/evapotranspiración potencial, es menor de unidad tal como se ve en el modelo 15 en la Figura 1. El cálculo de la lámina de agua que queda

en el perfil del suelo durante la etapa de f constante o sea de rata de extracción constante es una simple contabilidad. En cambio el cálculo de la lámina de agua que queda en el suelo durante la etapa de ET/ETP disminuyente necesita el empleo de una fórmula derivada de la presuposición de Thornthwaite de que el valor de ET/ETP es directamente proporcional al % de agua extraíble que queda en el perfil. (Forsythe 1976). La fórmula es:

$$W_2 = W_1 \times 10^{\frac{-t_2 A}{2.3K}} \quad [1]$$

Donde:

W_2 = Lámina de agua que queda en el suelo en mm.

W_1 = Lámina de agua en el perfil al iniciar el secamiento en mm.

K = La capacidad total del perfil utilizado por las raíces para almacenar agua extraíble (en mm).

$t_2 A$ = El balance hídrico atmosférico negativo acumulado para el lapso de tiempo de t_2 días, en mm. A es el balance hídrico atmosférico negativo diario. El balance hídrico atmosférico es la lluvia-la evapotranspiración potencial.

Para determinar el valor límite C que se indica en la Figura 1, el cual corresponde al valor de humedad del suelo que inicia la etapa de ET/ETP decreciente (y el uso de la fórmula) se usa la siguiente relación:

$$C = C_d \times C_e \quad [2]$$

Donde C_d es el valor límite debido a la profundidad de las raíces y C_e es el valor límite debido a la evapotranspiración potencial o si hay

hay lluvia, el balance hídrico atmosférico negativo. C_d y C_e varían entre 0 y 1 y las Figuras 2 y 3 indican los valores empíricos compilados por Forsythe (1976).

La fórmula se puede evaluar con el uso de un calculador electrónico de escritorio con una tecla para potencia negativa.

CUADRO 1

Factor f para algodón * (ciclo 160 días)

Edad (días)	20	40	60	80	100	120	140	160
Factor f	0,42	0,75	0,95	1,0	0,96	0,9	0,5	0

* Tomado de Hargreaves (1966)

Factor f para caña de azúcar **

Edad (meses)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Factor f	0,4	0,45	0,54	0,84	1,0	1,02	1,06	1,1	1,08	1,2	1,18	1,15	1,16	1,15

** Tomado de Chang (1961)

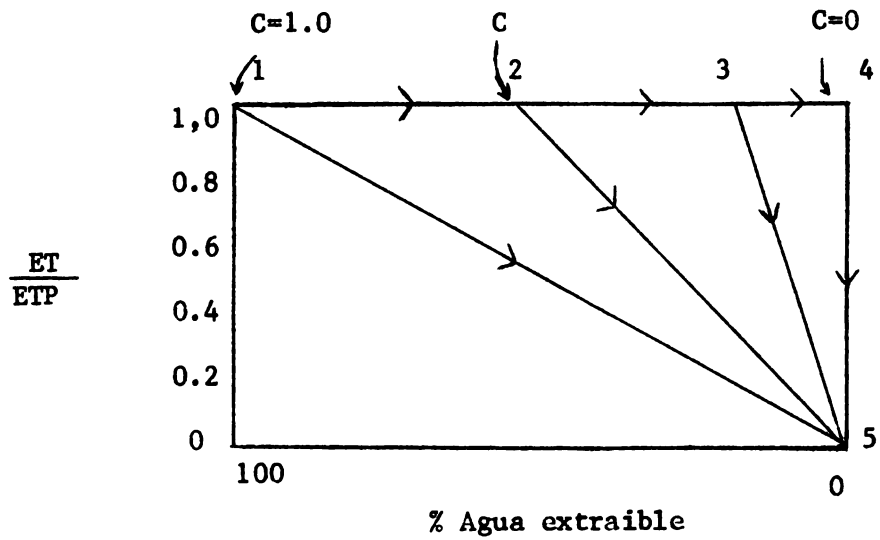


Figura 1. Modelos para el secamiento del suelo.
(Forsythe 1976).

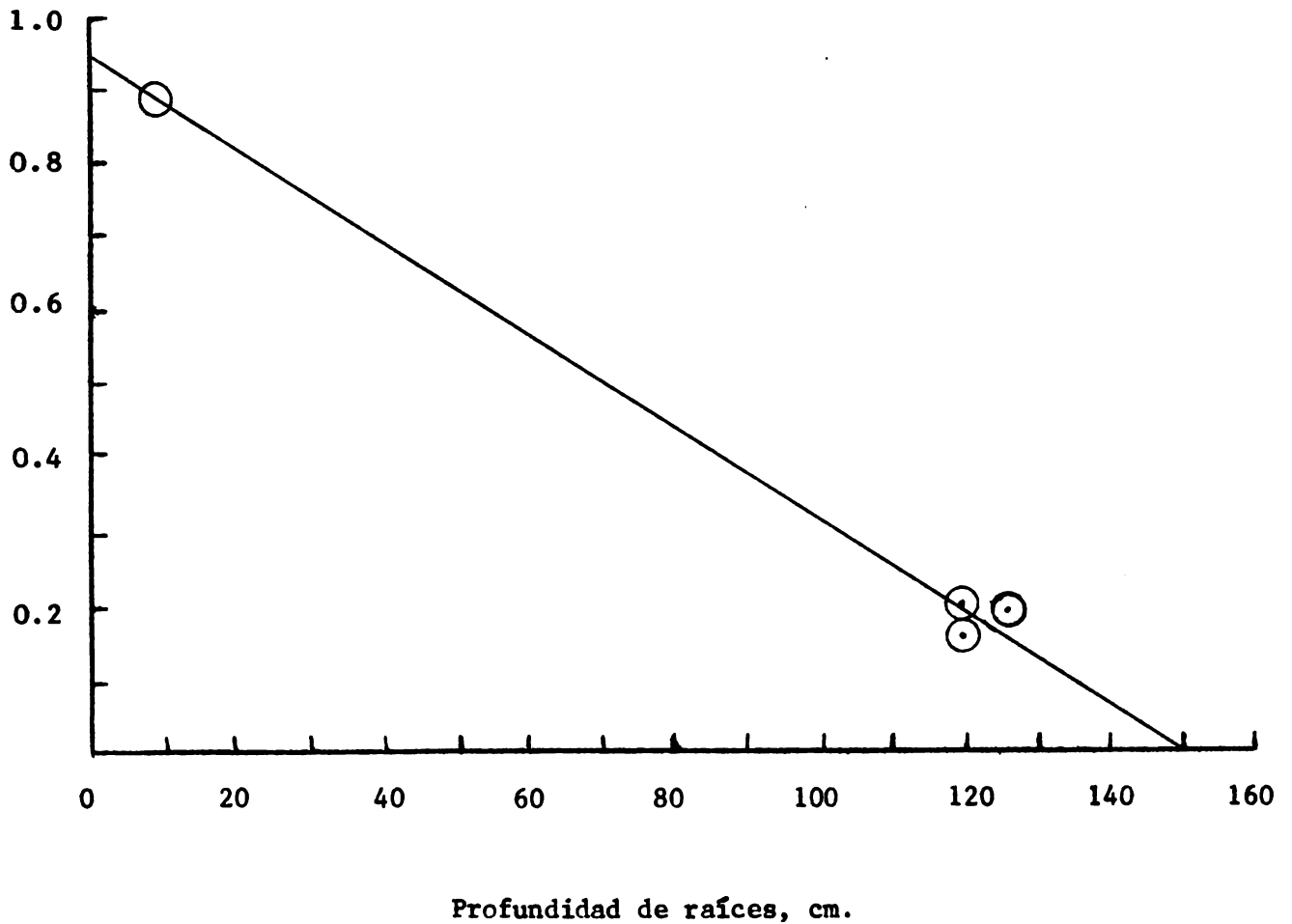


Figura 2. Valor límite (C_d) de agua extraible en relación con la profundidad de raíces. Para evapotranspiración potencial mayor de 6 mm/día. (Forsythe 1976)

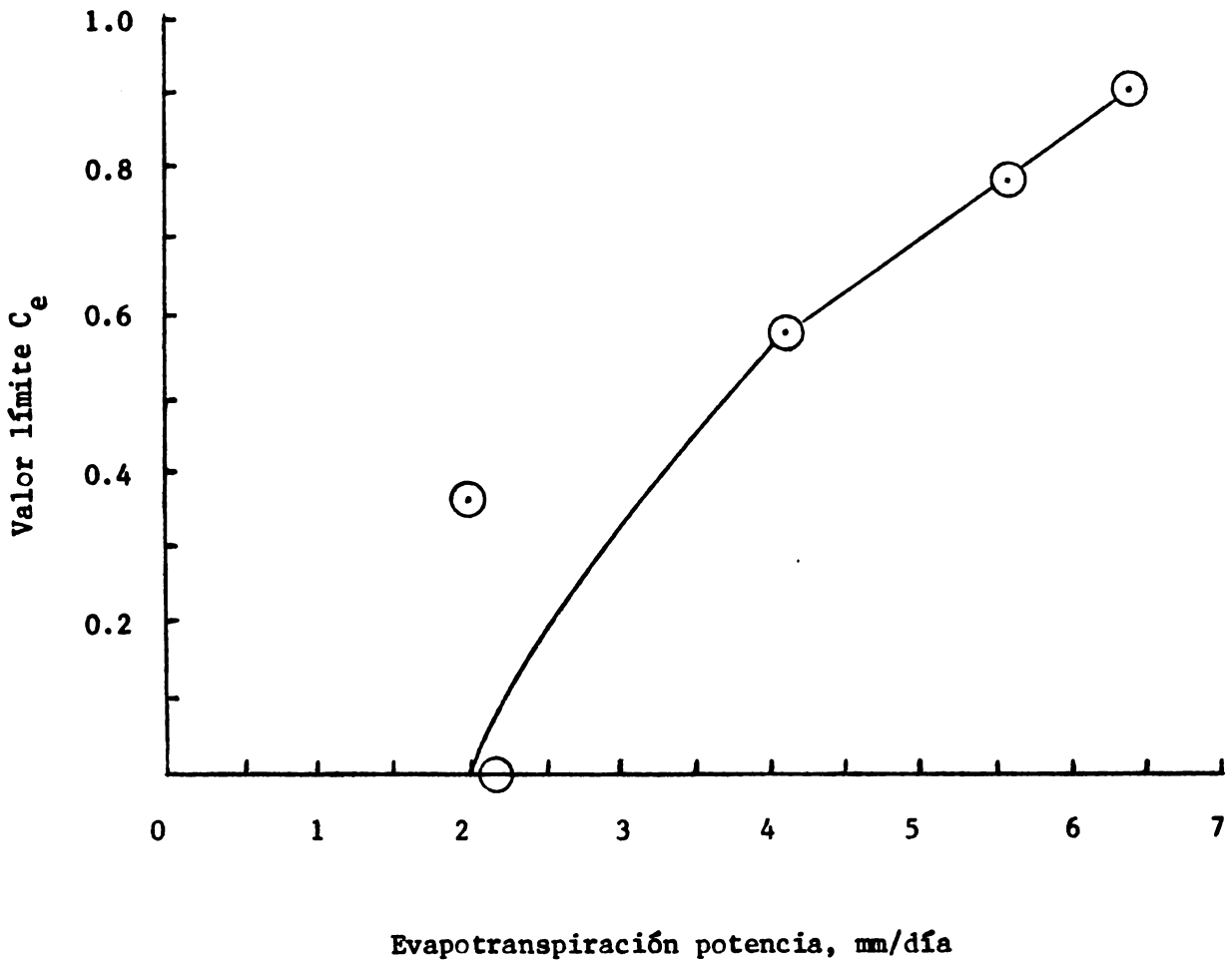


Figura 3. Valor límite (C_e) de agua extraíble en relación con la evapotranspiración potencial cuando la profundidad del suelo es menor de 10 cm (Forsythe 1976).

Referencias

1. ANGUS, D. E. Agricultural water use. In Advances in Agronomy (series) 11:19-35. 1959.
2. BERNARD, E. A. L'évaporation annuelle de la forêt équatoriale congolaise et son influence sur la pluviosité. Comptes rendus. Congrès union internationale de instituts de recherches forestières. 11:201-204. 1953.
3. CAMPBELL, R. B., CHANG, J. H. y COX, D. C. Evapotranspiration of sugarcane in Hawaii, measured by in-field lysimeters in relation to climate. Int. Soc. Sugar Cane technol. Proc. 10 th. Congr. P 637-649. 1959.
4. CHANG, JEN-HU. Microclimate of sugar cane. The Hawaiian Planters Record. 56:195-225. 1961.
5. DUPRIEZ, G. L. L'évaporation et les besoins en eau des différentes cultures dans la région de Mvuazi (Bas-Congo). L'Institut National Pour L'Etude Agronomique Du Congo. Serie Scientifique N°106. 1964. 106 p.
6. EKERN, P. Evapotranspiration of pineapple in Hawaii. Plant Physiology 40:736-739. 1965.
7. FORSYTHE, W. M. Fórmula for calculating from weather data the residual soil moisture during soil drying. Turrialba. 26:61-67. 1976.
8. GARCIA, J. y LOPEZ, J. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15°N - 15°S). Agronomía Tropical (Venezuela) 20(5):335-345. 1970.
9. HARGREAVES, G. H. Consumptive use computation from evaporation pan data. Proc. of Irrig. and Drainage. Spec. Conf. ASCE. Las Vegas. Nevada. P2-4. 1966.
10. HASAN, M. R. y JONES, P. S. Measured and predicted evaporation at Pasaje, Ecuador. Proc. A.S.C.E. 1 R3. 98:511-516. 1972.
11. HILGEMAN, R. H. y RODNEY, D. R. Comercial citrus production in Arizona. Arizona Agr. Exp. Sta. Spec. Rep. 7.31 p. 1961.
12. JENSEN, M. C., MIDDLETON, J. E., y PRUITT, W. O. Scheduling irrigation from pan evaporation. Washington. Agr. Exp. Sta. Bulletin 459. 28 p. 1961.
13. LEGARDA, L. y FORSYTHE, W. M. Estudio comparativo entre la evaporación calculada por varias fórmulas y la evaporación de tanques, medida en tres lugares tropicales. Turrialba 22:287-292. 1972.

14. MILLER, E. E. y KLUTE, A. The dynamics of soil water. Part-1 Mechanical forces. In. Irrigation of Agricultural Lands. Agronomy (series) 11:209-244. American Society of Agronomy. 1967.
15. VAN BAVEL, CH. M. Further to the hydrologic importance of transpiration control by stomata. Water Resources Research. 4:1387-1388. 1968.
16. VAN BAVEL, CH. M. , NEWMAN, J. E., y HILGEMAN, R. H. Climate and estimated water use by an orange orchard. Agr. Meteorol. 4:27-37. 1967.
17. VIETS, F. G. Jr. Fertilizers and efficient water use. Advances in Agron. 14:223-264. 1962.