

// LAS CONDICIONES FISICAS DEL SUELO Y LA PRODUCCION

W. Forsythe

CONDICIONES LIMITANTES FISICAS EN EL SUELO

1. Volumen efectivo de suelo para las raices.

El suelo debe proporcionar un espacio adecuado para el desarrollo de las raices, de las plantas maduras, además de espacio para la germinación. Esto está relacionado con el almacenaje de nutrimentos y agua para las plantas y la posibilidad de que el árbol desarrolle un buen soporte mecánico.

- Ejemplo: Para frijoles 25-40 cm de suelo.
- Para árboles frutales 60 cm-1m de suelo.

2. Humedad del suelo.

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. Cuando el suelo está bien suministrado de agua o sea cuando está a capacidad de campo, los cultivos evapotranspiran a su máximo y esto se llama evapotranspiración potencial. 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 activo 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 raices. 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, como 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 dependió solamente de condiciones climáticas (Miller y Klute 1967). En un suelo desnudo de Hawaii, Campbell, 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 Cuadro I, 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 (*Cenvalia cenisiformis*) 1,10; pasto (*Crotalaria usaramoensis*) 1,16 (Dupratz 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 1,28) 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 del 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 conservar la en un perfil. Si el balance hídrico es negativo la humedad

056455

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.

Cuando la humedad del suelo disminuye su energía también disminuye. Cada cultivo responde a la energía del agua del suelo en una curva de respuesta. Cuando el suelo es más seco la atracción agua-suelo es más fuerte y dicha atracción se ha denominado succión y se expresa en bares. Cuanto más seco es un suelo más succión tiene y succión es un índice de la energía del agua del suelo. Se han escogido valores críticos de la succión del agua del suelo de las curvas de respuesta de varios cultivos y dichos valores indican la succión máxima que debe experimentar el suelo para evitar grandes pérdidas de rendimiento máximo. Siguen valores para algunos cultivos: frijoles (27-R) 0,8 bares a 5 cm de profundidad ó 0,6 bares a 15 cm de profundidad. (Forsythe y Legarda 1973); caña de azúcar 1,5-2,0 bares, papas 2 - 3 bares, algodón mayor de 4 bares y menor de 7 bares; hortalizas en general 1 bar. Cocoa (estimado) 0,2 - 0,3 bares (0 - 30 cm); banana 0,3 - 1,5 bares; cebolla 0,65 - 1,0 bares; maíz 1,3 bares (15-30cm), naranjos 0,5-1,0 (30-40cm) (Hagan y Stewart. 1972). Arroz de secano 1R747B2-6-3 ; 0,17 bares (de Datta, Faye y Mallick 1974).

La duración de un período de déficit durante el ciclo de desarrollo activo de una planta influye sobre el rendimiento. Esto se ha expresado como número de días de déficit, como déficit total en términos de lámina de agua (Smith 1966), o como el promedio de la succión en relación con tiempo y profundidad (Taylor 1952).

Si se aplican los principios anteriormente mencionados de la evaporación potencial vemos que una siembra de dos cultivos favorecía un desarrollo más rápido de la cobertura vegetal y así mismo el valor máximo de f , que en monocultivos. Si el balance hídrico es positivo no se debe esperar competencia entre cultivos y entre cultivos y malas hierbas, para la humedad sino para espacio, luz y nutrimentos. Cuando el balance hídrico es negativo se espera competencia entre cultivos para humedad, porque bajo cobertura máxima vegetal la humedad del suelo se agota más rápido, y la succión prevalente en el perfil como resultado, afectará los cultivos diferencialmente.

3. Espacio aéreo y aeración del suelo.

El CO_2 producido como resultado de la respiración de las raíces y microorganismos se acumula en el suelo y así su concentración aumenta, llegando a niveles mucho mayores que existen en la atmósfera. La gradiente de concentración producida provoca la difusión de CO_2 hacia afuera del suelo. Por otro lado el consumo de O_2 en el suelo produce una gradiente de concentración que provoca la difusión de O_2 hacia adentro del suelo. La difusión es el mecanismo más importante para facilitar el intercambio de gases entre el aire del suelo y la atmósfera. La difusividad del suelo o sea su capacidad de permitir la difusión depende del espacio aéreo del suelo.

Espacio aéreo = porosidad total - humedad volumétrica (1)

La ecuación (1) nos indica que si la humedad aumenta como en el caso de suelos con mal drenaje interno, el espacio aéreo se reduce y también si la porosidad total se reduce como en el caso de la compactación del suelo, el espacio aéreo se reduce.

Se han encontrado valores de espacio aéreo que limitan el desarrollo óptimo de algunos cultivos. Un valor de 10% se usa como guía general cuando no hay datos específicos. El frijol 27-R requiere 25% (Forsythe y Legarda 1973) y caña de azúcar 11% (Robinson 1964).

El drenaje interno es una forma de mejorar la aeración del suelo mediante el bajar del nivel freático. En Turrialba, zanjas abiertas de 1, 50-1, 75 m de profundidad, han servido de doble propósito como dren interno y colector de escurrimiento. Un sistema de drenaje con 80% de seguridad tendrá que drenar 8, 7mm/día. Esto significa que el sistema fallaría en un 20% en los períodos de lluvia máxima anual.

El arado y rastreo del terreno es otra forma de mejorar el espacio aéreo del suelo mediante el aumento de la porosidad total de la capa arable. Este efecto es generalmente temporal porque el suelo se sedimenta y se compacta de nuevo durante el ciclo de cultivo.

La discusión anterior sugiere que en siembras asociadas lo ideal sería proporcionar espacio aéreo para el cultivo más exigente, y quizás algo más porque es muy probable que haya competencia entre cultivos para la aeración.

Cuando un suelo está inundado, la superficie está cubierta por una lámina de agua. La difusividad de O₂ en agua es 10.000 veces menor que la en aire libre y por lo tanto, aún una capa delgada de agua superficial, forma una barrera efectiva contra el intercambio de gases entre la atmósfera y el suelo. Si el perfil del suelo está saturado, también el problema se agrava por el bajo espacio aéreo. Los cultivos tienen tolerancias individuales a la inundación. Luxmoore, Fisher y Stolzy (1973), encontraron que el rendimiento de trigo (Triticum Aestivum L.), no está influido por inundación de 10-15 días de duración cuando la temperatura del suelo es 15 -- 17 °C. A la misma temperatura una inundación de 30 días bajó el rendimiento en 23%. En cambio cuando la temperatura del suelo era 25°C, la inundación de 30 días bajó el rendimiento en 73%. El frijol 27-R (Phaseolus vulgaris L.) Forsythe y Pinchinat (1971) encontraron para un suelo con una temperatura media de 24°C (a 7cm) que solamente una inundación de 12 horas por semana 5 veces durante el ciclo de crecimiento, redujo el rendimiento en 90%. Los datos sugieren que en suelos de temperaturas altas, tales como los suelos del trópico el daño por inundación es más agudo. Estudios de Letey, Stolzy y Lunt (1961), mostraron que el bajo contenido de oxígeno es más detrimental para el crecimiento de girasol (Helianthus annuus) y algodón (G. hirsutum) cuando la temperatura del suelo era de 31°C en comparación con una de 23 °C.

En Turrialba el balance hídrico es positivo 11 meses por año, en la mayoría de los años. Se ha observado en el campo que cuando el balance hídrico mensual (lluvia-evaporación de tanque A) es 150mm o más, suelos relativamente planos (de menos de 3% de pendiente) y que tienen tasas de infiltración a las 2 horas de menores de 2-4 cm/hora, su-

fren encharcamientos. El agua se acumula y se encharca en las depresiones del terreno que no es parejo. Las observaciones de campo indican que el frijol, la yuca, el maíz, el camote, la caña de azúcar y el pasto Estrella Africana, se ven afectados por las aguas encharcadas. Datos de 6 años indican que un suelo desnudo, de la serie Margot, de la estación Meteorológica del CATIE, tiene promedios anuales de temperatura de 25, 2; 26, 4; 25, 7; 25; 25, 3 y 24, 4°C para 0, 2, 5; 10, 20 y 50 cm de profundidad respectivamente. Una medida eficaz para combatir este problema ha sido el cultivo en parcelas de forma convexa con una anchura de 6 a 12 metros. Con este sistema las depresiones en el suelo se pueden desarrugar y se proporciona un drenaje rápido de la superficie en las condiciones tropicales de Turrialba para una agricultura con base de lluvia. En zonas donde hay riego suplementario por gravedad y también hay épocas muy lluviosas, sería necesario gradar el campo para dar a los surcos una pendiente que permita el escurrimiento no erosivo.

Los trabajos de construcción de zanjas para el drenaje interno y de parcelas convexas para el drenaje superficial son mejoras del terreno que se pueden ejecutar a mano durante períodos de exceso de mano de obra. Se trata de un recurso que ya existe en las fincas del pequeño agricultor, que hace factible dichas obras. Desde el punto de vista económico se deben mirar como una inversión, ya que son mejoras permanentes. El costo anual se calcula según la vida estimada de las obras y su mantenimiento.

4. Resistencia mecánica.

La resistencia mecánica del suelo influye sobre su penetración por las raíces y sobre el desarrollo de la planta. La penetrabilidad del suelo por las raíces se estima con buena confiabilidad usando la resistencia experimentada por el pistón de un penetrómetro. Uno de los primeros índices de resistencia era la densidad aparente del suelo, pero la densidad aparente natural de cada suelo varía tanto que no es un índice universal. Taylor y Gardner (1963) correlacionaron densidad aparente versus penetración por raíces con $r = -0,59$, mientras la resistencia medida por un penetrómetro estático versus penetración por raíces tenía un coeficiente de correlación $r = -0,96$. El penetrómetro estático es portátil y se pueden hacer medidas rápidas para evaluar un campo.

Usando un aparato con un pistón de 5mm de diámetro, Taylor y Burnett (1964) encontraron que la resistencia en bares experimentada para introducir el pistón 5mm en el suelo, la cual se correlacionó con la falta de penetración por raíces para varias especies, fue un esfuerzo entre 25-30 bares. Los siguientes cultivos fueron estudiados: algodón (Gossypium hirsutum), sésame (Sesamum indicum); guar (Cyamopsis tetragonolobus); sesbanta (Sesbanta exaltata); Phaseolus aureus, Vigna simensis (Var. Chinese Red); sorgo (Sorghum vulgare) variedad Sumac Sorgo. En el CATIE se ha encontrado una resistencia entre 18-20 bares, cuando el suelo está a capacidad de campo reduce sustancialmente el rendimiento del frijol 27-R (Phaseolus vulgaris L.).

La alta resistencia del suelo puede ser natural o puede ser debida a las prácticas de preparación de tierra y al uso de maquinaria que compacta el suelo. Para un tamaño dado, un tractor de oruga compacta el suelo menos que un tractor de llantas, porque el peso del tractor de oruga se distribuye sobre un área de contacto mayor. La compactación se reduce

si el suelo se ara cuando esté a una humedad que corresponde a una menor del límite inferior de plasticidad, (Forsythe 1975). La reducción del número de pasos de maquinaria encima del suelo también contribuye a la disminución de la compactación. El control de ganado también reduce la compactación. Un arado profundo de un suelo naturalmente compactado reduciría la compactación.

Lull (1959) ha evaluado la presión vertical de compactación que ejerce lo siguiente: caballo (2 patas) 3, 31 bares; vaca (2 patas) 3, 31 bares; oveja (2 patas) 1, 24 bares; y hombre (1 pie) 1, 93 bares. Un tractor de llantas con presión de llantas de 16 libras por pulgada cuadrada ejerce una presión de 1, 1 bares, en cambio un tractor de oruga de la misma capacidad ejerce una presión de 0, 5 bares.

5. Temperatura del suelo.

La temperatura del suelo influye sobre las actividades de las raíces y de los microorganismos del suelo. Según el cultivo una temperatura demasiado alta o demasiado baja puede inhibir el desarrollo y funcionamiento de la planta. La temperatura de las capas superficiales del suelo influye sobre la germinación de semillas.

En zonas tropicales, las fluctuaciones estacionales de la temperatura del aire y del suelo son menores que la zona templada. A los 20 cm de profundidad y mayor hay poca amplitud (Hardy 1970). Ya que la temperatura del suelo afecta la germinación Holekamp, Hudpeth y Ray (1960), han determinado que para algodón en Texas, se consigue buena germinación si la siembra se efectúa cuando el promedio de los últimos 10 días seguidos de la temperatura mínima a 20 cm de profundidad es mayor de 15, 5°C.

La temperatura del suelo se controla mediante el drenaje, riego, sombra y mantilla muerta (mulching). Se puede concluir que un sistema de siembra que utilice el área de suelo al máximo proporcionará buena sombra para el suelo y contribuirá a la reducción de su temperatura.

MANEJO FISICO DEL SUELO.

Operaciones relacionadas con el manejo físico del suelo son el riego, drenaje superficial e interno, preparación de tierra y control de compactación, conservación de aguas y el control de erosión. Muchas de estas operaciones se han discutido y se toma la oportunidad de considerar la erosión hídrica a continuación.

1. Erosión hídrica.

Una de las condiciones topográficas característica de muchos terrenos de pequeños agricultores, es la pendiente fuerte. Dicha condición trae consigo el peligro de erosión extensiva, si no se toman providencias contra ella en el sistema de agricultura. Las primeras investigaciones en erosión, a partir de 1940, han podido aislar a veces cuantitativamente, y otras veces cualitativamente los siguientes factores que influyen sobre el grado de erosión de un suelo bajo cultivos: el poder erosivo de la lluvia, la erodabilidad del suelo, la pendiente, la longitud de la pendiente, el factor cultivo y el factor de prácticas de conservación. A fines de 1956, investigadores del Servicio de Conservación de los E. E. U. U. con-

centraron sus esfuerzos y desarrollaron una ecuación de predicción de pérdidas de suelo, que pudiese ser universalmente aplicada en cualquier sitio donde las lluvias causen pérdidas significativas de suelo. (United States Department of Agriculture 1961).

Esta ecuación como lo indica Wischmeier y Smith (1965) ha tenido muchos contribuyentes y es el producto de los resultados obtenidos durante más de 20 años de investigaciones en 500 parcelas. La ecuación en su forma métrica expresa las pérdidas de suelo en toneladas métricas por hectáreas por año, y se ha denominado la ecuación universal de pérdida de suelo, la cual tiene la siguiente forma (United State Department of Agriculture 1961):

$$A = R K L S C P \quad (2)$$

Donde

A es el promedio anual de pérdida de suelo predecida por la ecuación en ton/ha en el sistema métrico. Valores permisibles de A varían de 2 - 10 toneladas métricas /ha/año.

R es factor lluvia que tiene su origen en su intensidad y energía cinética y expresa el poder erosivo de la lluvia. Valores métricos anuales comunes varían entre 50 y 1.000 ton-m/ha/hora /100.

K es la erodabilidad del suelo. Se ha definido una parcela unitaria que tiene 9% de pendiente, 22,13 metros de largo y está en barbecho desnudo, y ha sido preparada arándola en sentido de la pendiente. Bajo estas condiciones los factores L (longitud de pendiente), S (pendiente), C (factor cultivo) y P (prácticas de conservación) tienen el valor de unidad y no tienen dimensiones, es decir, son coeficientes. Entonces K es la pérdida de suelo por unidad de poder erosivo del suelo o sea A/R (Wishmeier y Smith 1965). Wischmeier, Johnson y Cross (1971) han desarrollado un nomograma para estimar K usando 5 propiedades del suelo: porcentaje de limo + arena fina; porcentaje de arena, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. Valores de K encontrados varían de 0,013 hasta 1,046.

L es el factor de longitud de pendiente. Es unidad cuando es de 22,13 metros. Longitudes mayores tienen factores mayores de 1 y longitudes menores tienen factores menores de 1 según una relación empírica desarrollada. (United States Department of Agriculture 1961).

S es el factor de pendiente. Es unidad cuando la pendiente es 9%. Pendientes mayores tienen factores mayores de 1 y pendientes menores tienen factores menores de 1 según una relación empírica desarrollada (United States Department of Agriculture 1961). Generalmente los factores L y S se tratan juntos. Valores de LS encontrados varían entre 0 y 7.

C El factor cultivo es unidad cuando el suelo está en barbecho desnudo y preparado en sentido de la pendiente. El valor disminuye según la cobertura al suelo que ofrece el cultivo, y según las características del cultivo que reducen la velocidad de escorrentía, aumentan la infiltración y secan el suelo. Algunos valores obtenidos son pasto (en buenas condiciones) 0,009, maíz 0,25 y avena 0,197. (United States Department of Agriculture 1961) Wischmeier (1973) ha desarrollado un sistema para eva-

luar el factor C en base del porcentaje de cobertura y su altura.

P es el factor de prácticas, es unidad cuando el terreno está arado en sentido de la pendiente y sembrado en el mismo sentido. Las prácticas de conservación reducirán este factor de su valor máximo de 1. Valores para el cultivo en contorno varían entre 0,5 y 1,0 y para terrazas 0,3. (United States Department of Agriculture 1961).

Aquí en Turrialba se ha conseguido un valor promedio anual del factor de lluvia de 122, en cambio en Huancayo, Perú se consiguió un valor de 71. En la costa sureña de los EEUU y la zona Caribeña (Puerto Rico) hay valores altos de 600-1.000 (Amézquita 1974), a pesar de que el promedio anual de las lluvias es aproximadamente la mitad de Turrialba. Esto se explica por la alta intensidad de lluvias en aquella zona. En Huancayo hay problemas de erosión porque a pesar de que el factor lluvia es bajo, el factor suelo de 0,49 es alto. En cambio en Turrialba dos suelos estudiados Instituto y Colorado, tienen valores de 0,155 y 0,103 respectivamente. Maíz, frijol arbustivo (jamapa) y arroz de secano, ofrecen poca cobertura, en cambio la vegetación natural y camote bien desarrollado sí ofrece buena protección. La siembra de un cultivo de piso bajo de buena cobertura (camote) con otro de piso alto de poca cobertura (maíz) la aumenta. La variedad jamapa de frijol no ofrece buena cobertura de piso bajo, por lo menos bajo las condiciones de siembra (50cmx20cm) del experimento de Sistemas de Agricultura.

CUADRO I

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)**

BIBLIOGRAFIA

1. - AMEZQUITA, E. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de aguas y suelos en Turrialba, Costa Rica, Tesis de Mg. Sc. IICA, Turrialba, Costa Rica, 1974. 212 p.
2. - ANGUS, D. E. Agricultural water use. In Advances in Agronomy (series) 11:19-35. 1959.
3. - BERNARD, E. A. L' évaporation annuelle de la forêt équatoriale congolaise et son influence sur la pluviosité. Comptes rendus. Congrès union international de instituts de recherches forestieres. 11:201-204. 1953.
4. - 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.
5. - CHANG, JEN-HU. Microclimate of sugar cane. The Hawaiian Planters Record, 56:195-225. 1961.
6. - de DATTA, S. K., FAYE, F. G., y MALLICK, R. N. Relaciones del agua y el suelo en el arroz de secano. Seminario sobre el Manejo del Suelo y el Proceso de Desarrollo en la América Tropical. CIAT, Colombia, Febrero 10-14. 1974. (En prensa).
7. - 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. Série Scientifique No. 106. 1964. 106 p.
8. - EKERN, P. Evapotranspiration of pineapple in Hawaii. Plant Physiology 40:736-739. 1965.
9. - FORSYTHE, W. M. Manual de laboratorio de física de suelo. IICA. Turrialba, Costa Rica, 239 p. 1975.
10. - FORSYTHE, W. M., AGUAYO, J. y GUERRERO, G. Uso de medidas físicas de suelos arenosos para evaluar en ellos el manejo de complejo agua-aire-planta. Fitotecnia Latinoamericana. 4: 81-94. 1967.
11. - FORSYTHE, W. M. Las propiedades físicas, los factores físicos de crecimiento y la productividad del suelo. Fitotecnia Latinoamericana 4:165-176. 1967.
12. - FORSYTHE, W. M., PINCHINAT, A. M. Tolerancia de la variedad de frijol "27-R" a la inundación. Turrialba 21:228-231. 1971.

13. - FORSYTHE, W. M., LEGARDA, L. Criterios de succión de agua y del espacio aéreo del suelo para la producción máxima del frijol "27-R". Memorias del XIX Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios, San José, Costa Rica, del 5 al 8 de marzo, 1973. (En prensa).
14. - 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.
15. - HAGAN, R. M. y STEWART, J. Water deficit - Irrigation design and programming. *Proc. Amer. Soc. Civil. Eng.* 98 (1RS)-215-237, 1972.
16. - HARDY, F. *Edafología tropical*. Herrero Hermanos. México. 1970. 416 p. (Ver capítulo 6).
17. - HARGREAVES, G. H. Consumptive use computation from evaporation pan data. *Proc. of Irrig. and Drainage. Spec. Conf. ASCE. Las Vegas. Nevada.* P2-4, 1966.
18. - 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.
19. - HILGEMAN, R. H. y RODNEY, D. R. Commercial citrus production in Arizona. *Arizona Agr. Exp. Sta. Spec. Rep.* 7, 31p. 1961.
20. - HOLEKAMP, E. R., HUDSPETH, E. B., y RAY, L. L. Soil temperature - A guide to timely cotton planting. *Texas A.M. Agricultural Experimental Station Publication*, MP-465, 1960. 7 p.
21. - JENSEN, M. C., MIDDLETON, J. E., y PRUITT, W. O. Scheduling irrigation from pan evaporation. *Washington. Agr. Exp. Sta. Bulletin* 459, 28p. 1961.
22. - 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.
23. - LETEY, J., STOLZY, L. y JUNT, R. Effect of temperature on oxygen diffusion rates and subsequent shoot growth, root growth and mineral content of two plant species. *Soil. Science* 92:314-321, 1961.
24. - LULL, H. W. Soil compaction on forest and range soils. *USDA. Misc. Pub.* 768, Washington D. C. 1959.
25. - LUXMOORE, R. J., FISHER, R. A. y STOLZY, L. H. Flooding and soil temperature effects on wheat during grain filling. *Agron. J.* 65:361-364, 1973.

26. - 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.
27. - ROBINSON, F. E. Required percent air space for normal growth of sugar cane. Soil Science 98:206-207. 1964
28. - SMITH, G. W. The relation between rainfall, soil water and yield of copra on a coconut estate in Trinidad. J. of App. Ecology 3:117-125. 1966.
29. - TAYLOR, H. M. y GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. Soil. Sci. 96:153-156. 1963.
30. - TAYLOR, H. M. y BURNETT, E. Influence of soil strength on the root-growth habits of plants. Soil. Science. 98:174-180. 1964.
31. - TAYLOR, S. A. Use of the mean soil moisture tension to evaluate the effect of soil moisture on crop yields. Soil. Science. 74:217-226. 1952.
32. - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Agricultural Research Service. A universal equation for predicting rainfall erosion-losses; an aid to conservation farming in humid regions. ARS 22-68. Special Report. 1961 11p
33. - VAN BAVEL, CH. M. Further to the hydrologic importance of transpiration control by stomata. Water Resources Research. 4:1387-1388. 1968.
34. - VAN BAVEL, C. H. M., NEWMAN, J. E., y HILGEMAN, R. H. Climate and estimated water use by an orange orchard. Agr. Meteorol. 4:27-37. 1967.
35. - VIETS, F. G. Jr. Fertilizers and efficient water use. Advances in Agron. 14:223-264. 1962.
36. - WISCHMEIER, W. H. Conservation tillage to control water erosion. In. Conservation tillage. National Conference of the Soil Conservation Society of America... Des Moines, Iowa. 1973. Proceedings. Ankeny, Iowa. 1973. pp 133-141.
37. - WISCHMEIER, W. H. y SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. U. S. Dept. of Agriculture. Agricultural Handbook 282. 1965. 47p.
38. - WISCHMEIER, W. H., JOHNSON, C. B. y CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation:26:189-193. 1973