

RELACIONES AGUA - SUELO - PLANTAOPORTUNIDAD Y FRECUENCIA DEL RIEGO1. BALANCE HIDRICO DEL SUELO

Se considera aquí más detalladamente el balance hidrológico de la capa de suelo que exploran las raíces de los cultivos, adoptando al respecto el modelo empleado por Burgos y Tschapek, citado por Tschapek (1959), a saber:

$$d_1 + P + d_{co} + d_{ca} + d_{ri} = d_2 + E_t + d_p + d_{co} + d_{re} \quad (1.1)$$

Donde, los términos expresados en altura de lámina de agua, tienen el siguiente significado:

- $d_1$  = cantidad de agua en el suelo, inicial.
- $P$  = precipitación infiltrada en el terreno.
- $d_{co}$  = condensación de vapor proveniente de la atmósfera y de los horizontes inferiores.
- $d_{ca}$  = elevación capilar.
- $d_{ri}$  = aporte de escurrimiento.
- $d_2$  = cantidad de agua en el suelo, final.
- $E_t$  = evapotranspiración.
- $d_p$  = agua percolada hacia horizontes inferiores
- $d_{co}$  = condensación capilar en los horizontes inferiores.
- $d_{re}$  = eliminación por escurrimiento.

Por su escasa significación, puede eliminarse de la igualdad anterior, los términos  $d_{co}$ , quedando la misma reducida a:

$$d_1 + P + d_{ca} + d_{ri} = d_2 + E_t + d_p + d_{re} \quad (1.2)$$

Si el contenido hídrico del suelo no se modifica, o sea:  $d_1 = d_2$ , la lámina de agua ingresada es igual a la salida. Si contrariamente  $d_2$  se reduce, significa que los aportes no compensan el agua consumida por evapotranspiración y evacuada por distintos conceptos.

La diferencia del contenido inicial y final,  $(d_1 - d_2)$ , representa un aporte importante para sostener el proceso evapotranspiratorio durante el período; y el remanente, constituye el haber para el período siguiente. Un valor inicial alto de  $d_1$  representa la base de las prácticas agrotécnicas recomendadas en condiciones de semi-áridez.

Cuando no es posible contar con un significativo aporte del perfil, entonces para compensar el déficit creado, se impone el riego artificial aplicando la lámina  $d_{ri}$  y reduciendo al mínimo  $d_{re}$ .

## 2. ANÁLISIS DEL PROCESO DE AGOTAMIENTO DE LA HUMEDAD EDAFICA

Experiencias realizadas en el Instituto de Riegos y Suelos, Mendoza, Argentina, por Nijensohn, Grassi y Fernández (1965), han permitido proponer ecuaciones generales para predecir el contenido de humedad en el suelo y la velocidad de evapotranspiración de un cultivo, con posterioridad al riego, conociendo determinadas características climáticas, edáficas y culturales.

El procedimiento intenta predecir la evapotranspiración de un período entre riego y riego, en base a la capacidad de campo y el conteni-

do hídrico de un día determinado, datos estos que permiten obtener los parámetros de las ecuaciones planteadas.

La variación del contenido hídrico en función del tiempo, respondió al siguiente tipo de ecuación:

$$W_t\% = W_{t_0}\% e^{-kt} \quad (2.1)$$

Donde:

$W_t$  = es el contenido de agua en el suelo a los  $t$  días después del riego.

$W_{t_0}$  = es el contenido de agua en el suelo inmediatamente después del riego.

$e$  = es la base de los logaritmos naturales.

$k$  = es una constante propia del proceso.

La ecuación (2.1) puede expresarse en altura de lámina,  $d$ , en mm, y luego derivarla para obtener la evapotranspiración  $Et$ , en mm/día de determinado día,  $t$ .

$$Et_t \text{ mm/día} = \frac{d}{dt} \frac{dt}{mm} = -k \cdot d_{t_0} \text{ mm.} e^{-kt} \quad (2.2)$$

La fig. 2.1, representa la curva de variación de  $Et$  en función de  $t$ .

Para obtener la evapotranspiración acumulada  $\sum Et$  hasta el día  $t$  se integra la ecuación (2.2), entre los límites  $t_0$  y  $t$ :

$$\sum Et_t \text{ mm} = \int_t^{t_0} -k d_{t_0} \text{ mm.} e^{-kt}$$

De donde:

$$\sum Et_t \text{ mm} = d_{t_0} \text{ mm} (1 - e^{-kt}) \quad (2.3)$$

La fig. 2.2. incluye la evapotranspiración acumulada en función de t. Ambas curvas, fig. 2.1 y fig. 2.2., señalan claramente la disminución de Et en función de t.

Dado que  $W_{t_0}$  se hace igual al contenido hídrico a capacidad de campo,  $W_c$ , que es un dato conocido del suelo, sólo se requiere determinar k. Dicho parámetro debe obtenerse experimentalmente, conociendo para el complejo suelo-cultivo, en un período determinado del ciclo, por lo menos un valor de humedad edáfica. En tal caso se despeja K de la ecuación (2.1.):

$$k = \frac{\ln W_{t_0} - \ln W_t}{t}$$

El valor de k variará a través del ciclo vegetativo en función de la velocidad de evapotranspiración; por lo que con fines prácticos, resulta razonable determinar k para dos ó tres períodos del ciclo vegetativo de un cultivo.

### 3. HABITOS RADICALES DE LOS CULTIVOS

La profundidad y densidad de las raíces de un cultivo, da una idea de su área de absorción y en consecuencia de su capacidad para extraer agua del suelo. El análisis de Philip (1957), muestra claramente que la capacidad de "secar un suelo" depende de dichas características del sistema radical.

Es complicado medir en forma directa la profundidad y distribución de las raíces del cultivo, aún cuando ello se realiza con fines experimentales y mediante el concurso de técnicas especiales. Los medios indirectos, consisten en estimar la profundidad y densidad de las raíces, midiendo el agua agotada en las diferentes capas en que se divide el perfil del suelo. Para ello se divide la profundidad de suelo explorable por las raíces en un número razonable de capas, de 10 cm. de 20 cm. ó de 30 cm., según la profundidad total del sistema radical del cultivo y se considera que la densidad de las raíces en una expresión de la cantidad de agua extraída en las diferentes capas.

Probablemente no se alcance con el muestreo del suelo la profundidad total de las raíces; sin embargo, resulta aceptable en la práctica, considerar la profundidad de máxima exploración radical,  $D$ , que es donde probablemente se encuentra entre el 85% y el 95% de las mismas.

La disminución del contenido hídrico que resulta al muestrear el suelo en capas con un determinado intervalo después de un riego, permite determinar la potencialidad del sistema radical. La fig. 3.1. muestra la profundidad  $D$ , definida por la profundidad en la cual se produce una reducción en el contenido de agua. Ello no es absolutamente exacto, ya que el movimiento lento en terreno no saturado, reduce el contenido hídrico del suelo, aún fuera de la acción radical, tal como fué comprobado por Willardson and Pope (1963).

El agua extraída, puede representarse gráficamente en porcentaje absoluto, en porcentaje relativo al total de agua disponible, ó en la lámina de agua, en los diferentes estratos. Un procedimiento recomendable, es dividir D en tres o cuatro capas, en coincidencia con las de muestreo, y expresar el agua extraída en cada capa en porcentaje del total, fig. 3.2. El cuadro típico de distribución radical, obtenido por el procedimiento expuesto, puede asimilarse a un triángulo equilátero con el vértice hacia abajo. En tal caso, dividiendo D en cuatro capas, la cantidad de agua extraída en cada una, de arriba hacia abajo, será : 40%, 30%, 20%, 10%; si en cambio se divide en tres capas, la distribución será: 50%, 30% y 20%. En ambos casos, dichos porcentajes están expresados con relación al área total del triángulo.

Existen varios factores que modifican, el cuadro típico expuesto y que se pueden agrupar en los siguientes puntos: 1°) cultivo; 2°) naturaleza física del suelo y característica del perfil; 3°) régimen pluviométrico y de riego; 4°) nivel del plano freático.

### 3.1 Cultivo

Existen lógicamente notables diferencias en las características del sistema radical de los diferentes cultivos, la profundidad de raíces está relacionada con el tamaño del cultivo; y ello depende en parte del tipo de cultivo y de su lapso de vida. En los cultivos permanentes, forestales, frutales y alfalfa, D supera en suelo de textura media 1.50 m. a 2 m. de profundidad mientras que en los cultivos estacionales sólo alcanza en las mismas condiciones entre 0.50 m. y 1.00 m. En los cultivos estacionales, a su vez cabe distinguir entre los hortícolas de ciclo corto y de raíces someras (entre 0.30 m. y 0.50 m.), y los cereales e industriales de ciclo de mayor duración, que pueden alcanzar 1.00 m. o más de profundidad.

### 3.2. Características físicas y del perfil del suelo.

Las características físicas y en especial la textura del suelo, tienen una gran influencia en la profundidad radical. Los suelos de textura gruesa permiten una mayor exploración de las raíces que los de textura fina. En suelo arcilloso, la profundidad de las raíces puede ser la mitad de lo que común en un suelo de condiciones medias. Combinaciones de profundidad y de condiciones físicas, representan diferentes capacidades de almacenaje de agua a disposición de los cultivos. Thornthwaite-Mather (1957), ha confeccionado al respecto, una tabla basada en el tipo de cultivo y la textura del suelo, tabla 3.1.

La tabla 3.1. en la columna "disponibilidad de agua" muestra una parcial compensación entre la mayor diferencia absoluta, en la disponibilidad de agua ( $W_c - W_m$ ), de un suelo arcilloso con respecto a uno arenoso con el comportamiento opuesto en cuanto D, ya que la profundidad de exploración radical es mayor en suelo arenoso que en arcilloso. Dicha compensación es más evidente si se tiene en cuenta la disponibilidad con relación a los valores de energía, ya que en suelo arenoso más de un 70% del agua está disponible a valores de  $\mu m$ . inferior a 1 atm., mientras que en suelo arcilloso no supera el 50% a dicha succión. En base al criterio expuesto, Penman (1954) ha considerado la existencia de una "constante radical" expresada en disponibilidad de agua para el cultivo, que depende fundamentalmente del cultivo y es independiente de la textura del suelo, y cuyos valores son: pastos 75-125 mm., hortalizas 25-50 mm., arboles 200-250 mm.

Determinadas características del perfil, limitan en ocasiones la profundidad del suelo explorable por las raíces, la presencia de capas endurecidas "duripan", ó de mantos de ripio, impiden la penetración de las raíces quedando estas confinadas a las capas superiores. Ello modifica incluso su distribución en profundidad y la ajeja de la forma típica, fig. 3.2.

### 3.3. Régimen hídrico y régimen de riego

Dado que, la humedad edáfica es uno de los factores que condicionan el crecimiento radical, el régimen hídrico y como consecuencia de la precipitación pluvial o el riego artificial, tienen una gran incidencia en la profundidad de las raíces. Determinadas limitaciones en la humedad edáfica, fuerza al cultivo en busca de agua disponible en la profundidad, en su extracción las plantas van agotando el agua de capas cada vez más profundas.

Dicho mecanismo, permite lograr un mayor crecimiento del sistema radical en condiciones de limitada humedad edáfica. El ejemplo clásico lo constituyen las raíces de alfalfa, que en condiciones de secano puede superar incluso los 10 m. cuando bajo régimen de riego se limita a la capa superficial de 2 m. de profundidad.

### 3.4. Nivel Freático

Las raíces de las plantas, excepto las hidrófilas, no desarrollan sus raíces debajo del agua; en consecuencia el nivel del agua subterránea, marca la profundidad del suelo que pueden explorar las raíces en condiciones de alto nivel freático. El diagrama de extracción de agua, se modifica tal como lo muestra la fig. 3.3., tomada de Israelsen (1951), y que corresponde al patrón de distribución radical en el mismo cultivo, uno en condiciones normales y otro con malas condiciones de drenaje.

## 4. RESPUESTA DE LOS CULTIVOS A LOS DIFERENTES REGIMENES DE RIEGO

Al analizar la respuesta de los cultivos a los diferentes regímenes de riego, es importante tener en consideración el nivel de fertilidad del suelo, ó sea la interacción riego-fertilizantes. La fig. 3.4. tomada de Taylor (1962), muestra un ejemplo de interacción riego-fertilizantes. El incremento de producción se evidencia claramente con un alto nivel de humedad edáfica.

Resumiendo a Taylor (1962) se analiza seguidamente la respuesta de los cultivos a diferentes condiciones de humedad edáfica, agrupando los mismos en: 1º) cultivos a producción vegetativa; 2º) cultivos de producción de frutos; 3º) cultivos de producción de raíz y tubérculos; 4º) cultivos de producción de granos; 5º) cultivos de producción de semilla.

#### 4.1. Cultivos de producción vegetativa

Se incluye en este grupo, hortalizas de hojas como la lechuga, forrajeras con la alfalfa, y cultivos industriales como la menta. En general la literatura muestra que existe una mayor producción y calidad, bajo condiciones de alto potencial matriz de agua en el suelo.

#### 4.2. Cultivos de producción de frutos

En frutales, la producción crece con el potencial matriz del agua en el suelo. Los frutales son especialmente sensibles al bajo nivel de humedad edáfica, durante el período del "cuaje", y crecimiento de los frutos. Las especies que fructifican tarde, a fines de verano ó principios de otoño, no son mayormente afectadas por condiciones de bajo potencial hídrico, antes del período de crecimiento del fruto. Después de la cosecha, debe existir en cuanto a nivel de humedad edáfica, las condiciones favorables que aseguren el necesario crecimiento vegetativo para el próximo año.

#### 4.3. Cultivos de producción de raíz y de tubérculos

Al igual que los cultivos anteriormente considerados, la literatura señala respuesta al diferente valor energético del agua en el suelo. En remolacha azucarera, no hubo respuesta significativa en la producción, cuando no se aplicó fertilizantes durante la rotación o en los casos en que nitrógeno se aplicó sin fósforo ó fósforo sin nitrógeno.

La literatura muestra también correlación entre el potencial de agua en el suelo y la producción de papa. Igualmente la calidad de la papa, expresada por la facilidad de cocción aumenta con el potencial de agua en el suelo.

#### 4.4. Cultivos de producción de granos

Los cereales finos, tales como cebada, trigo, etc., responden al potencial matriz de agua durante el lapso de crecimiento vegetativo. El comienzo de la "espigazón" marca un período crítico en la producción de granos.

#### 4.5. Cultivos de producción de semilla

El resultado es el mismo que en casos anteriores. Un buen crecimiento vegetativo es importante para un cultivo productor de semilla. Pero a partir del "cuaje", ó sea durante el período de maduración, es conveniente reducir el potencial de agua para limitar el crecimiento vegetativo.

### 5. OPORTUNIDAD DE RIEGO

Refiriéndonos a un cultivo típico, que cumple todo un ciclo vegetativo, puede señalarse en términos generales los cuidados del riego durante los diferentes estados ó períodos.

Durante el período de crecimiento vegetativo, se requieren buenas condiciones de humedad en el suelo. Dado las crecientes necesidades del proceso evapotranspiratorio.

El período de floración, generalmente es crítico para todas las especies vegetales y en consecuencia se requiere un buen abastecimiento de agua en la capa de raíces que se extiende en profundidad.

Durante el período de fructificación, el crecimiento aéreo y de las raíces ha sido completado y la velocidad de evapotranspiración comienza a disminuir.

Se emplean tres procedimientos para determinar el momento oportuno de riego; a saber: 1) balance del contenido de humedad en la zona radical; 2) medida directa de la energía de retención de agua en el suelo; 3) indicadores fisiológicos.

#### 5.1. Balance del contenido de humedad edáfica

Mediante sucesivas determinaciones del contenido hídrico del suelo a intervalos después del riego, es posible tener una clara idea del grado de agotamiento de la humedad edáfica; y del intervalo o turno de riego, conveniente entre un riego y otro. La representación gráfica del contenido hídrico en base a peso  $W$  ó en base a volumen  $W_v$ , en función del tiempo en días,  $t$ , fig. 3.4., permite obtener por extrapolación el tiempo,  $t$ , en el cual se alcanzará el contenido hídrico que representa el umbral de riego  $W_u$ .

Dicho procedimiento, sin embargo, requiere un control periódico del contenido hídrico del suelo, lo que constituye una seria dificultad en la práctica del riego en las propiedades. En tal caso puede reemplazarse la determinación directa de humedad por un balance hídrico, realizado en base a la evapotranspiración estimada.

Siendo en tal caso  $E_t$ , la evapotranspiración media diaria del período correspondiente, el turno o intervalo de riego será:

$$Tr = \frac{dn}{E_t} \quad (5.1.)$$

donde:

Tr = es el turno de riego, en días.

dn = es la lámina neta de agua que representa el grado de agotamiento de humedad establecido, en mm.

Et = es la evapotranspiración media del período, en mm/día.

La lámina neta dn. será:

$$dn = \frac{Wc - Wu}{100} D \rho_a \quad (5.2.)$$

El valor de Wu depende del contenido hídrico aceptable para la producción económica del cultivo. Una regla práctica, que es válida en casi la totalidad de los casos, establece que debe regarse cuando se ha agotado entre el 40% y el 75% de la humedad disponible, según se trate de un suelo arcilloso ó arenoso respectivamente. La curva de SM en función del contenido hídrico, puede contribuir a la determinación del umbral de reposición de agua. Adoptando como  $Wc - Wu = 0.60 (Wc - Wm)$  y reemplazando la ecuación (5.2.) en la (5.1.) resulta:

$$Tr = \frac{0,6 (Wc - Wm)}{100 Et} D \rho_a \quad (5.3.)$$

Dicha ecuación muestra que, para la misma densidad aparente del suelo  $\rho_a$ , la frecuencia de riego es mayor, en suelo de gruesa textura, que en la de suelos medios y finos (menor  $Wc - Wm$ ); además, es mayor a medida que disminuye la profundidad de las raíces, D, y a medida que aumenta la evapotranspiración diaria, Et.

Dado que, para el mismo valor de  $(Wc - Wm)$  el turno o intervalo de riego, Tr, varía a lo largo del ciclo vegetativo con la profundidad de las raíces, D, y con la evapotranspiración **diaria**, Et, resulta que Tr en cultivos anuales o estacionales cambia continuamente. La diferencia entre los turnos resultantes sin embargo no son importantes, en especial "el gran período de crecimiento", durante el cual D y Et aumentan en función de t. Una vez que

el cultivo ha alcanzado su máximo crecimiento, la profundidad radical permanece estacionaria, y por lo tanto el intervalo entre riego y riego aumenta como consecuencia de la paulatina reducción de Et al final de la estación.

En los cultivos permanentes, en los cuales un cambio en el tamaño radical se produce a través de los años, puede suponerse un valor de D constante para determinado año; en tal caso el intervalo  $Tr.$ , es función de Et.

Dado las dificultades que en la práctica de riego en las propiedades, se presentarían como consecuencia del periódico, cambio del intervalo de riego, al establecer un programa de riego "por rotación" pueden adoptarse valores medios de D y Et, correspondientes a diferentes épocas del ciclo vegetativo.

## 5.2. Medida de la energía de retención

Dicho procedimiento, elimina la necesidad de conocer la cantidad de agua evapotranspirada, y no requiere un balance de humedad conforme se ha explicado anteriormente. En tal caso, se emplean instrumentos tales como el tensiómetro, ó la medida de conductividad eléctrica en bloques de yeso, en equilibrio con la humedad del suelo.

Los instrumentos deben instalarse en dos o más profundidades a través de la capa radical. Cuando se conoce la distribución de las raíces, Taylor (1962) aconseja instalar un tensiómetro en la zona de máxima actividad radical y otro a una profundidad de manera tal, que sobre el mismo quede entre el 70 a 80% de la actividad radical.

Un buen procedimiento consiste en representar la curva de potencial matriz en función de tiempo, fig. 3.5., de tal manera que con 3 ó 4 lecturas, es posible extrapolar la curva para determinar cuando será necesario el riego.

Los umbrales de riego deben ser determinados experimentalmente sobre la base de experiencias realizadas con diferentes valores energéticos de humedad en el suelo. En la literatura se encuentran referencias correspondientes a diferentes cultivos. En términos generales y como regla práctica, puede establecerse como umbral energético para el riego, una atmósfera de succión matriz. La mayoría de los cultivos que se cosechan en estado vegetativo, caen dentro del rango que mide el tensiómetro, en cambio para granos y producción de semillas, es necesario recurrir a los bloques de yeso.

### 5.3. Indicadores fisiológicos

Dado que los procedimientos anteriormente tratados, presentan serias dificultades de carácter instrumental y de elección de la capa diagnóstica, en especial teniendo en cuenta los resultados contradictorios que repetidamente han mostrado la bibliografía, existe actualmente tendencia a tomar a la planta como indicadora de la necesidad de riego.

La apariencia exterior de las hojas, generalmente es un síntoma tardío, pues cuando se presenta ya ha ocurrido una reducción en la velocidad de transpiración, con posible perjuicio para la producción del cultivo. Otros métodos se basan en el estudio de la condición de agua en la planta, tales como la medida de potencial, presión de vapor, concentración de electrolitos en los jugos celulares, etc. Dichos métodos presentan serias dificultades instrumentales y de operación, lo que los hace inaplicables para el diagnóstico de la oportunidad de riego.

Se han ensayado también métodos rápidos de permeabilidad de los estomas y de variación de la velocidad transpiratoria.

En el Instituto de Suelos y Riego, Mendoza, Argentina, Nijensohn, Grassi y Pilasi (1962) han desarrollado un método de campaña para determinación de la oportunidad de riego, midiendo la transpiración relativa. Dicho método se basa en el tiempo de viraje por hidratación, del color del papel impregnado en cloruro de cobalto. Se trabaja con trozos de hojas y la transpiración relativa es una medida del tiempo de viraje del papel en la cámara

que contiene la muestra de hoja, con respecto al tiempo de viraje en la cámara que contiene un trozo de filtro humedecido con una gota de agua destilada. Los ensayos realizados en vid, duraznero y algunas especies hortícolas, muestran buena correlación entre el potencial matriz del suelo y la transpiración relativa. Alvin (1956), trabajando con maíz, algodón y caña de azúcar, desarrolló un método para pronosticar la necesidad de riego, basado en la apertura estomática midiendo la permeabilidad de los estomas, a mezclas de líquidos de diferentes densidad.

#### 6. CANTIDAD DE AGUA A APLICAR MEDIANTE EL RIEGO

La cantidad de agua a agregar al suelo por medio del riego, debe ser la necesaria para restaurar la humedad del perfil.

Un agregado excesivo, además de representar un desperdicio de agua injustificable, crearía problemas de lixiviación de elementos nutricios favorables, y en condiciones de mal drenaje natural elevación del nivel freático, creando problemas de salinidad. Sin embargo, algún exceso requiere, a fin de evitar el aumento de la concentración de la solución del suelo.

Conforme a lo establecido en el primer aserto, la cantidad de agua a agregar queda definida por el área de la fig. 3.1. Disponiendo de datos de  $W_c$ ,  $W$ , y  $Q_a$ , correspondiente a cada capa, y número  $n$  de capas, de igual espesor  $D$ , la lámina de agua a agregar que es igual a la consumida en el período inmediato anterior,  $d_c$ , resulta:

$$d_c = \sum_0^n 0,01 (W_c - W) Q_a D_i \quad (6.1.)$$

Si de acuerdo al criterio general expuesto, se ha resuelto regar, cuando se ha agotado el 60% del agua disponible en el perfil de profundidad total D., la lámina de agua a reponer en cada una de las cuatro capas, será:

$$d_{ci} = b_i (Wc - Wm) Q a Di \quad (6.2.)$$

Asumiendo una distribución triangular de la capacidad de extracción de agua resultan los valores de b, sucesivamente para las cuatro capas de arriba hacia abajo, de multiplicar 0,60 por la proporción de las raíces,

$$b_1 = 0,24, \quad b_2 = 0,18, \quad b_3 = 0,12, \quad b_4 = 0,06$$

La lámina disponible  $d_{di}$  en cada capa será:

$$d_{di} = (0,25 - b_i) (Wc - Wm) Q a Di \quad (6.3.)$$

En la (6.3.) el valor de  $(0,25 - b_i)$  será sucesivamente 0,01, 0,07, 0,13, 0,19, lo que significa que, en la primera capa se ha agotado prácticamente toda el agua disponible, mientras que en la última aún se mantiene una reserva considerable.

Dicho procedimiento se puede aplicar con relación al umbral de riego fijado en una capa diagnóstico, por ejemplo el tercio superior. A modo de ejemplo se adopta como umbral de riego:  $0,75 (Wc - Wm)$ , el dividir D, en tercios, la distribución porcentual de raíces en los distintos estratos, resulta: 50%, 30% y 20% por lo tanto:

$$d_1 = 0,75 (Wc - Wm) Q a D. \quad \frac{0.50}{0.50}$$

Para calcular  $d_2$ , la relación que compone el último factor de la ecuación, será:  $0.30/0.50$ ;

Taylor (1962) ha descrito un procedimiento para determinar la cantidad y tiempo de aplicación de agua en el campo, y que se basa en la colocación de tres tensiómetros ubicados a profundidades diferentes en la capa radical. Uno de los tensiómetros se ubica en la zona de máxima actividad radical, otro en la profundidad que deja sobre sí el 70% al 80% de la actividad radical, y el tercero a la profundidad intermedia. El método expuesto consiste en aplicar agua hasta que el tensiómetro del medio acuse un aumento en el potencial del agua. El más profundo indicaría un aumento de potencial, unos días después del riego, igualándose los valores a través de todo el perfil. Si el tensiómetro inferior no acusa variación del potencial, el del centro debe colocarse más abajo; y contrariamente, si acusa un inmediato ascenso, dando la impresión de que se ha perdido agua por percolación, el del centro debe entonces colocarse más arriba.

CJG/ig.

1962

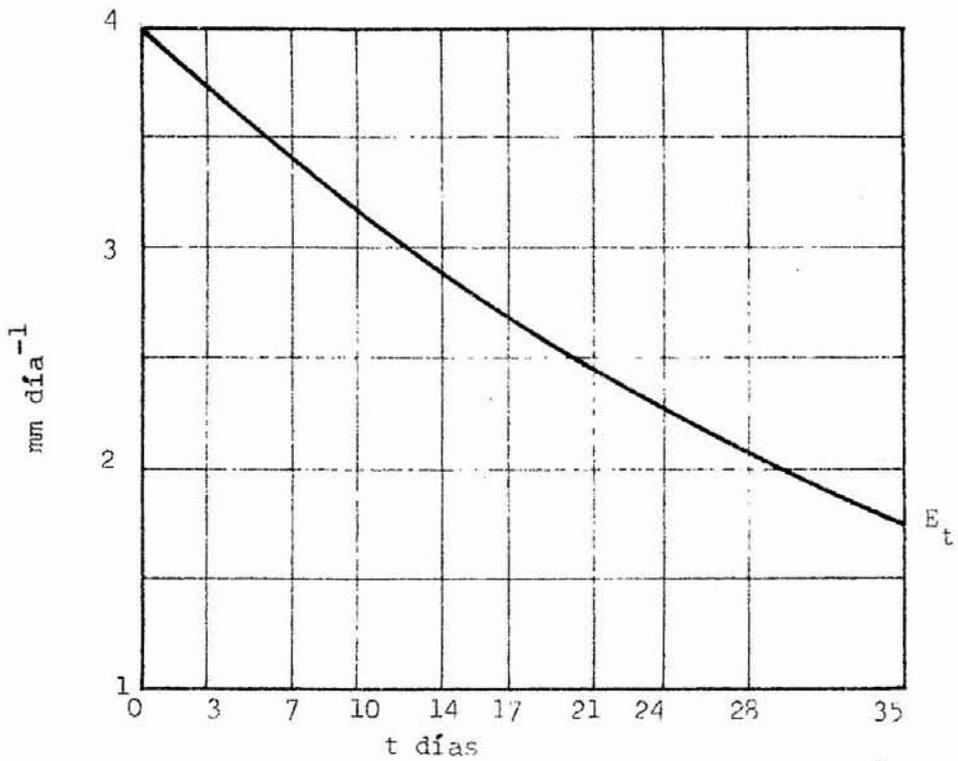


Fig. 2.1. Variación de las velocidades de E<sub>t</sub> (mm día<sup>-1</sup>) con el tiempo.

$$\text{mm día}_t^{-1} = \text{mm día}_{t_0}^{-1} e^{-kt}$$

$$E_{T_t} \text{ mm día}^{-1} = -4.02 e^{-0,02394 t} \quad E_t \text{ mm día}^{-1} = -1,65 e^{-0,009679 t}$$

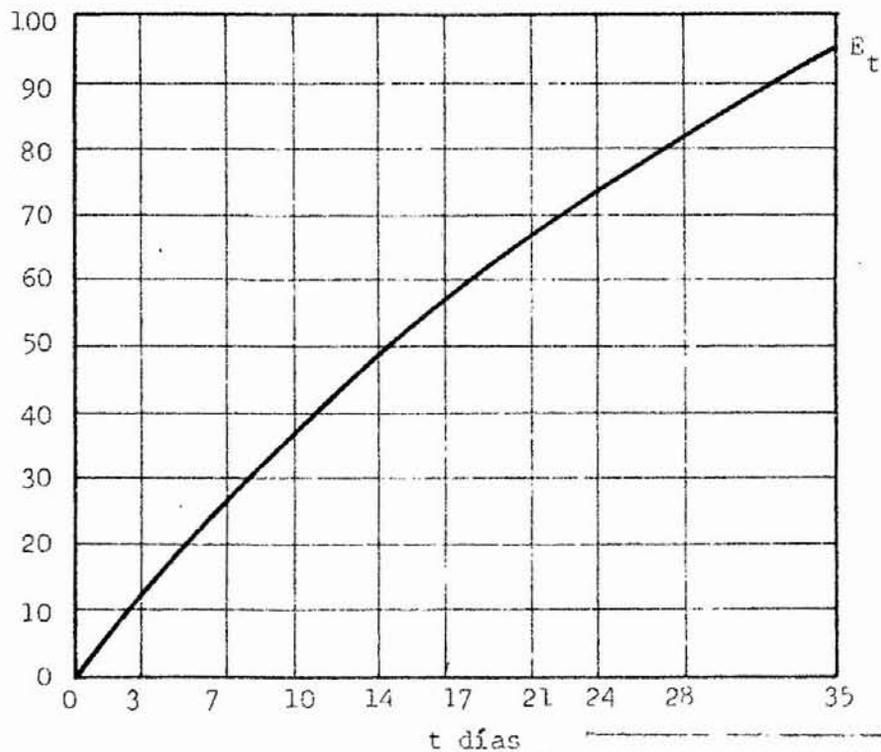


Fig. 2.2. Evapotranspiración (Σ mm)  $\Sigma \text{ mm}_t = W_{t_0} \text{ mm} (1 - e^{-kt})$

$$E_{T_t} \Sigma \text{ mm}_t = 168 (1 - e^{-0,02394 t}) \quad E \Sigma \text{ mm}_t = 171 (1 - e^{-0,02394 t})$$

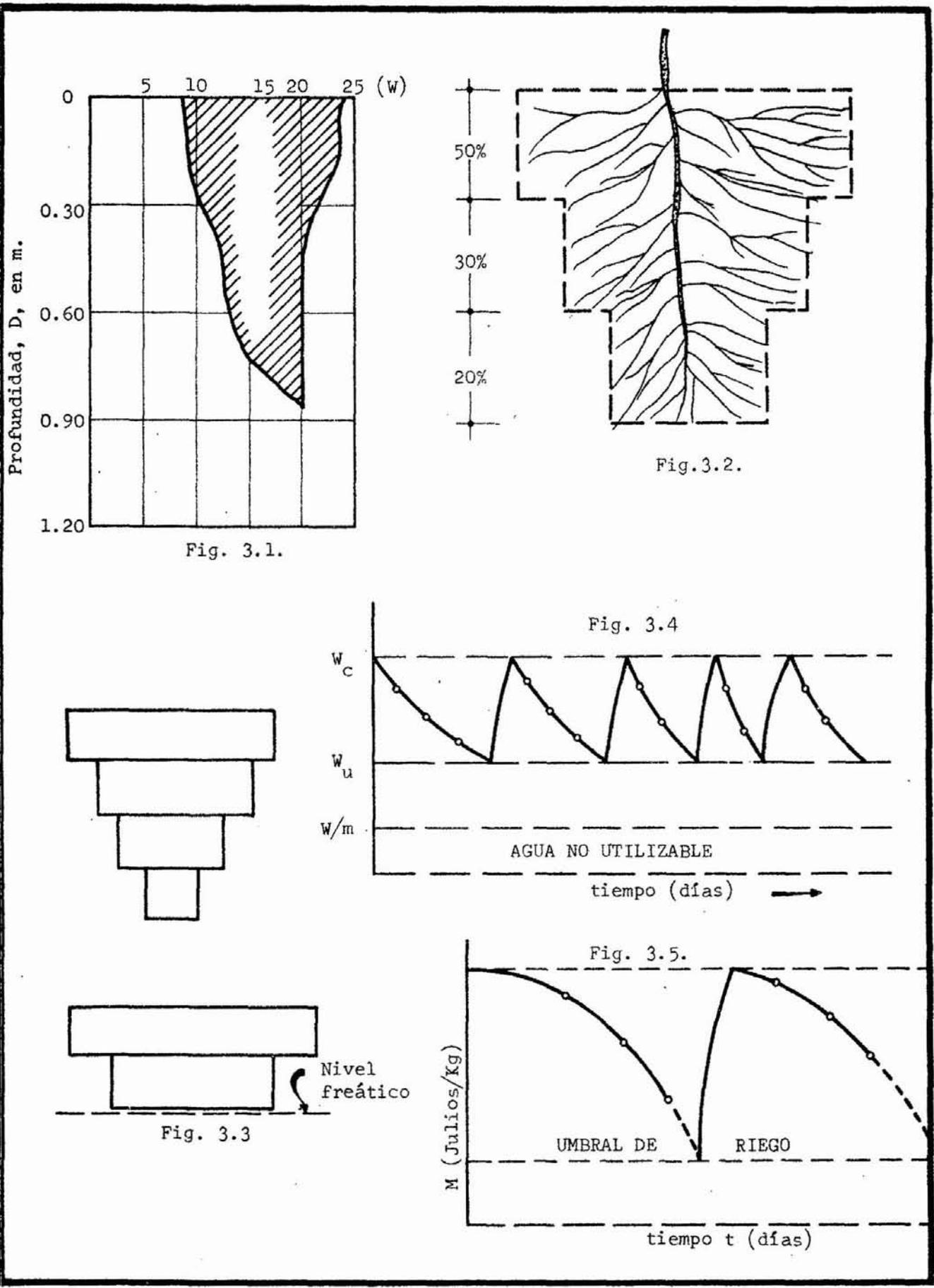


Fig. 3.4. Interacción riego - fertilización

TABLA 3.1.

CAPACIDAD PROVISIONAL DE ALMACENAJE DE AGUA EN DIFERENTES COMBINACIONES DE SUELO Y VEGETACION

(Según Thornthwaite - Mather 1957)

<u>Tipo Suelo</u>	<u>Zona Radicular</u> (m)	<u>Disponibilidad agua</u> (mm)
	a. Espinacas, arvejas, remolachas, zanahorias, etc.	
A - Arena fina	0.50	50
B - Franco arenoso fino	0.50	75
C - Franco limoso	0.62	125
D - Franco arcilloso	0.40	100
E - Arcilloso	0.25	75
	b. Maíz, algodón, tabaco, cereales, granos.	
A - Arena fina	0.75	75
B - Franco arenoso fino	1.00	150
C - Franco limoso	1.00	200
D - Franco arcilloso	0.80	200
E - Arcilloso	0.50	150
	c. Alfalfa, pastos, arbustos	
A - Arena fina	1.00	100
B - Franco arenoso fino	1.00	150
C - Franco limoso	1.25	250
D - Franco arcilloso	1.00	250
E - Arcilloso	0.67	200
	d. Monetes frutales	
A - Arena fina	1.50	150
B - Franco arenoso fino	1.67	250
C - Franco limoso	1.50	300
D - Franco arcillos	1.00	250
E - Arcilloso	0.67	200
	e. Bosques desarrollados	
A - Arena fina	2.50	250
B - Franco arenoso fino	2.00	300
C - Franco limoso	2.00	400
D - Franco arcilloso	1.60	400
E - Arcilloso	1.17	350

