



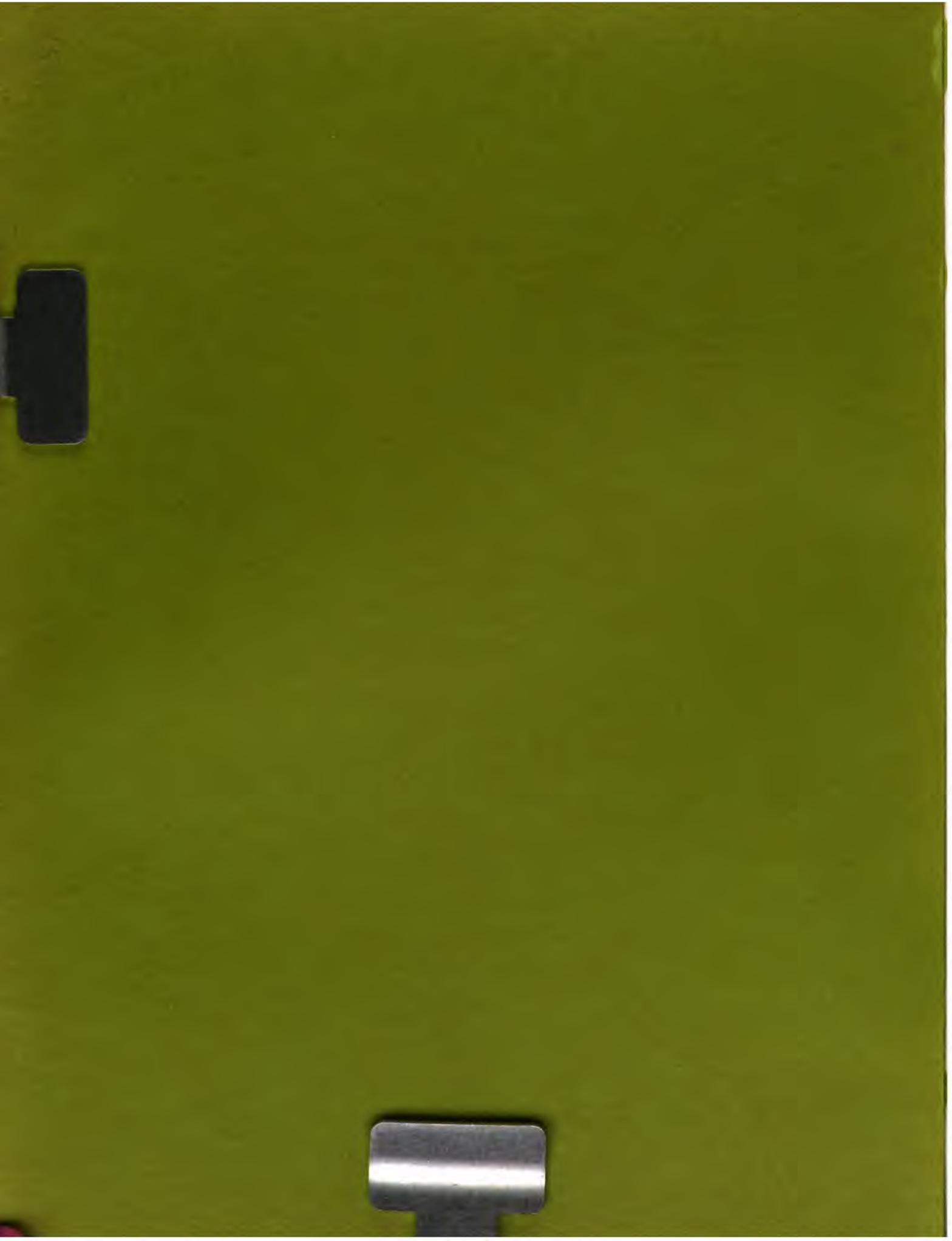
INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

Oficina de la República Dominicana



# RELACION AGUA SUELO PLANTA

**Requerimientos de Agua de las Plantas  
en Relación con el Clima y el Suelo para una  
Producción Óptima**



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA

Oficina de la República Dominicana



RELACION AGUA SUELO PLANTA

Requerimientos de Agua de las Plantas  
en Relación con el Clima y el Suelo para una  
Producción Optima

MANUEL PAULET ITURRI

Especialista en Manejo y Conservación de  
Tierras, y Aguas

Santo Domingo, D. N.  
Revisado Junio 1983

Serie: Publicaciones Misceláneas No. 425  
ISSN 0534-5391

~~001394~~

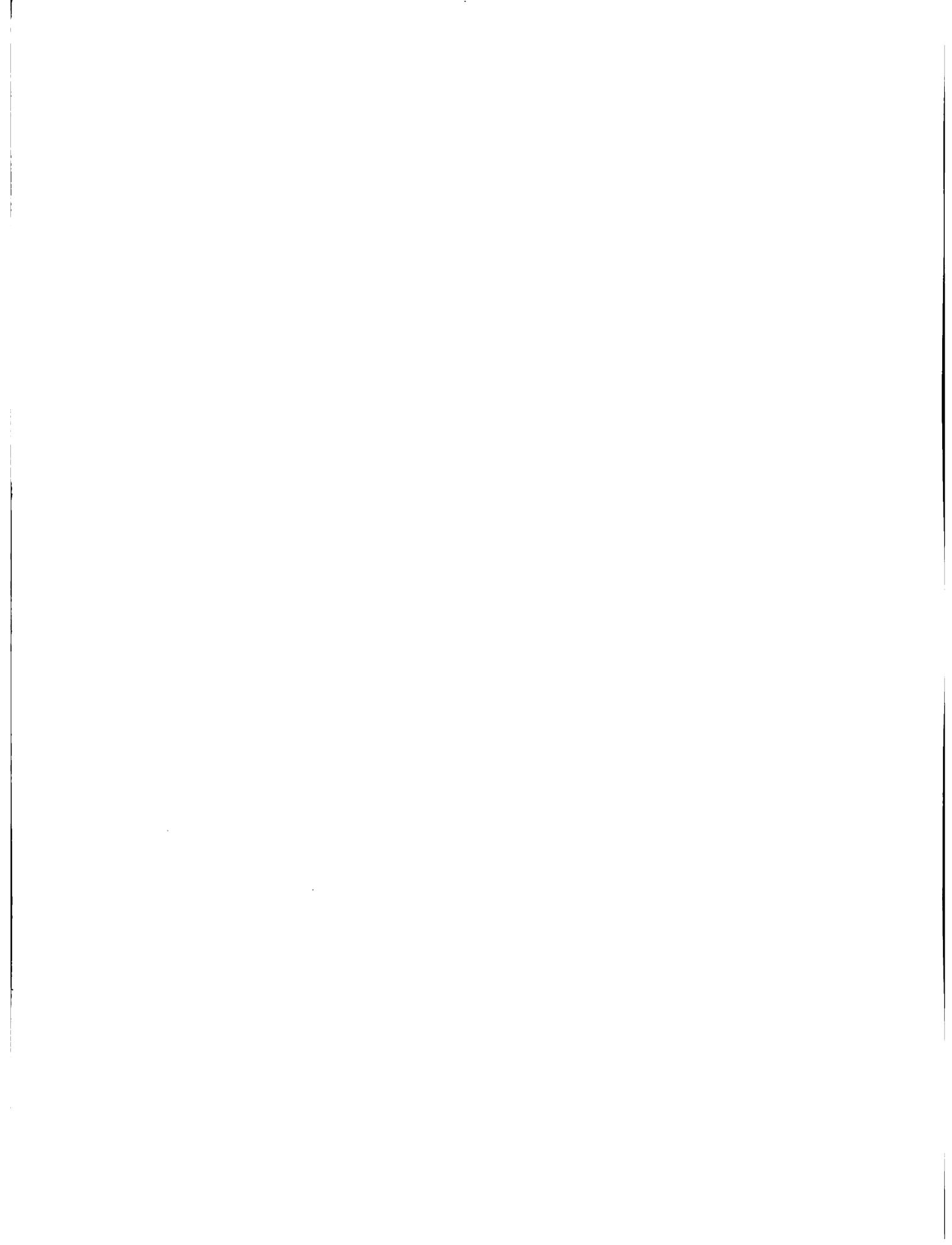
00000517

## PROLOGO

La finalidad de este documento es presentar una metodología para estimar los requerimientos de agua de las plantas según el clima, las condiciones de los suelos y las demandas propias del tipo de cultivo para una producción óptima y así, establecer las previsiones calendarias de cantidad de agua en una unidad agrícola, en una zona de riego o en un proyecto de irrigación, teniendo en cuenta el aporte de las lluvias. También, los estimados obtenidos pueden servir de guía para establecer calendarios de riego de los cultivos de una finca y llevar el control de su aplicación para el mejor manejo del agua.

El documento se presenta en la forma de material didáctico para que se pueda utilizar como parte del contenido de un curso de nivel Universitario en la materia de Relación Agua Suelo Planta. Por esta razón, existe algún énfasis en la discusión de conceptos básicos, especialmente, en lo relativo al comportamiento del agua en el suelo. La Edafología, la Fisiología Vegetal y la Agrohidrología serían materias previas recomendadas para aprovechar mejor un curso de esta naturaleza, aunque la presentación, en su mayor parte, contiene los elementos para el cabal entendimiento de los conceptos involucrados. Se presenta con autorización del autor, la metodología de H. G. Hargreaves para estimar la demanda de agua por evapotranspiración para períodos mensuales. De ser necesario, ésta se puede modificar para incluir períodos mas cortos.

Santo Domingo, Junio, 1983

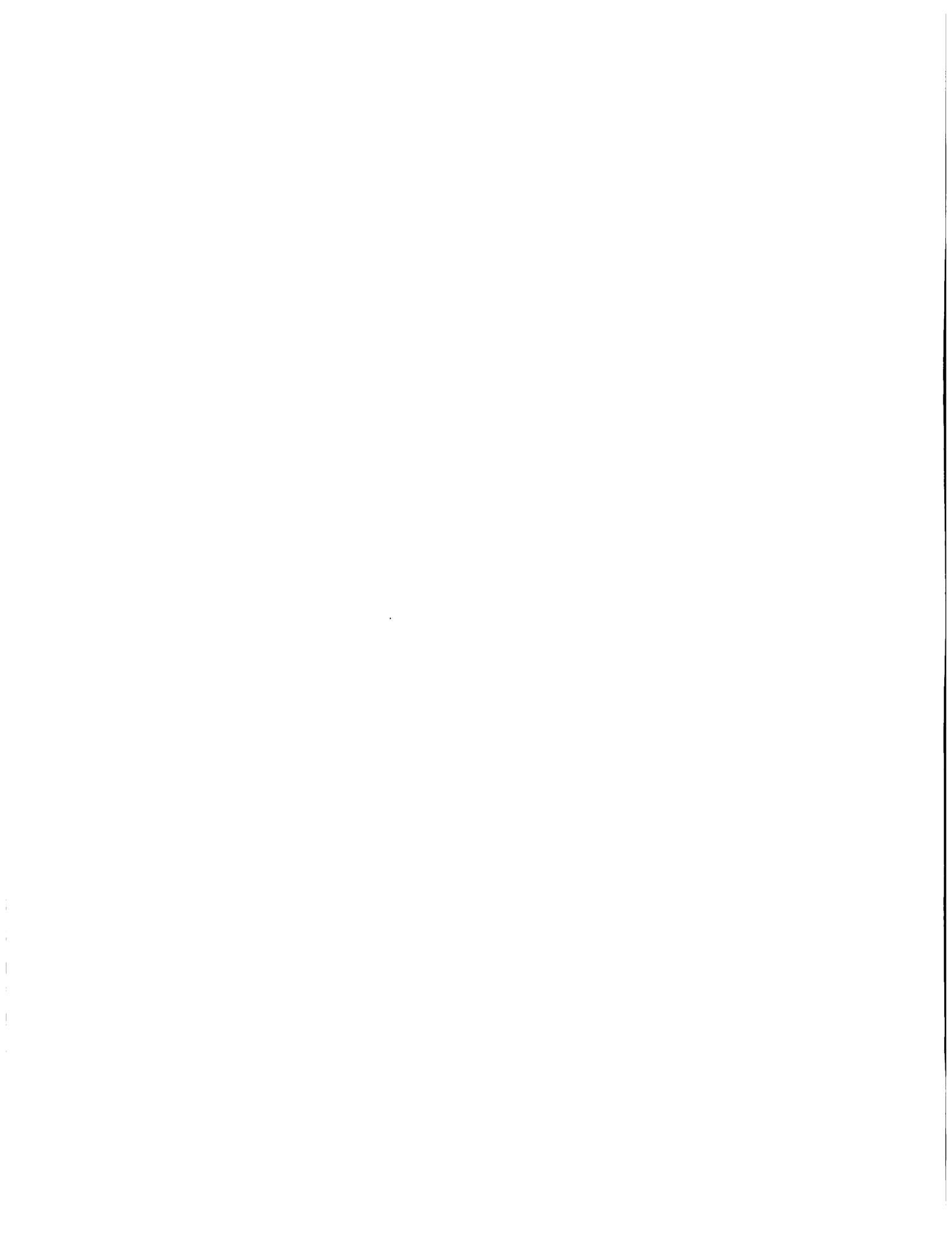


## LISTA DE CONTENIDO

	Página	
1.0	IMPORTANCIA DEL AGUA PARA LA PRODUCCION DE LAS PLANTAS.	1
1.1	Relación entre Niveles de Rendimiento y Cantidad de Agua en condiciones húmedas y en condiciones de aridez.	1
1.2	Cómo interviene el Agua como insumo o factor de producción.	2
1.3	Aspectos principales a considerar en el abastecimiento o satisfacción de los requerimientos de Agua de las plantas.	3
2.0	DETERMINACION DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LOS SUELOS.	4
2.1	El contenido de humedad de los suelos.	4
2.1.1	Cuál es el tamaño de los poros que limita la porosidad de aireación con la de retención de agua.	6
2.1.2	Cuál es la fuerza de succión que tienen que hacer las raíces de las plantas (h) para extraer Agua de Poros $2 \times 10^{-4}$ cm.	7
2.1.3	Cuál es la superficie expuesta de una arcilla de 0.002mm de diámetro contenida en una esfera de 1 cm de diámetro.	7
2.1.4	Cómo se compara (cuántas veces mayor o menor) en cuanto a superficie expuesta la arcilla mencionada en el problema anterior con arena media de 0.5 mm de diámetro.	7
2.1.5	Cómo se comparan las partículas de arcilla equivalentes de 2 micrones de diámetro, con aquellas de una forma laminar de volumen equivalente.	8
2.2	Determinación del contenido de humedad del suelo.	9
2.2.1	Problema.	9
2.3	Medidas prácticas de la variación de la fuerza de retención de agua por el suelo a medida que disminuye el contenido de humedad.	10
2.3.1	Los Coeficientes Hídricos.	10
2.3.2	Medida de la relación continua entre la fuerza de retención de humedad y el contenido de humedad.	12
2.3.3	Curva característica de humedad del suelo.	14
2.3.4	Unidades de medida de la fuerza de retención de Agua por el Suelo.	15
2.4	Relaciones entre las Unidades.	15
2.4.1	Problema.	17
3.0	RELACION ENTRE EL NIVEL DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO Y LAS CONDICIONES OPTIMAS DE PRODUCCION	18
3.1	La humedad aprovechable para las plantas.	18
3.2	Determinación de la lámina de Agua de reemplazo para la producción óptima.	18

	Página	
4.0	DEMANDA DE AGUA PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.	21
4.1	La Transpiración de las Plantas, Concepto General.	21
4.2	El concepto de la Evapotranspiración Potencial (ETA)	23
4.2.1	Estimado de la Demanda Climática (ET <sub>o</sub> )	24
4.2.1.1	Blanney-Criddle.	26
4.2.1.2	Thornthwaite (ASA, 1967 p.564).	26
4.2.1.3	Evaporación del Tanque.	27
4.2.1.4	Hargreaves.	28
4.2.1.5	Metodología para estimar ET <sub>o</sub> según Hargreaves.	29
4.2.1.5.1	ET <sub>o</sub> en función de la Radiación Solar Incidente y la Temperatura.	30
4.2.1.5.2	ET <sub>o</sub> en función de Porcentaje de Horas de sol posibles, Radiación Extraterrestre y Temperatura.	31
4.2.1.5.3	ET <sub>o</sub> en función de la Humedad Relativa, Radiación Extraterrestre y Temperatura.	33
4.2.1.5.4	Ejemplo de Aplicación.	34
4.2.1.5.5	El déficit de Agua y el índice de Humedad disponible.	35
4.2.2	Estimado de la Evapotranspiración Potencial del Cultivo (ETA).	37
4.2.2.1	Ejemplo, estimado de ETA para el ciclo vegetativo del cultivo.	37
5.0	PROGRAMACIÓN DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA FINCA.	40
5.1	Ejemplo, como debería ser el abastecimiento de Agua para el cultivo del Maíz según los ejemplos anteriores.	40
5.2	Estimado de los requerimientos de Agua para una combinación de cultivos en una unidad agropecuaria.	45
5.2.1	Interpretación de los requerimientos de la célula.	46
5.2.2	Requerimientos anuales.	47
5.2.3	Requerimientos máximos durante el año.	47
5.2.4	Apreciación geográfica de los requerimientos de Agua para la Agricultura.	48
6.0	REFERENCIAS	51
	ANEXO A	
	Cuadros y Figuras	A-1 a A-34
	ANEXO B	
	Manual del Usuario del Programa de Hargreaves para estimar la demanda climática de Agua para la Agricultura.	B-1 a B-10





## 1. IMPORTANCIA DEL AGUA PARA LA PRODUCCION DE LAS PLANTAS

El agua es el elemento esencial que gobierna los procesos biológicos sobre la tierra. Su disponibilidad en cantidad y distribución en el tiempo, en asociación con la temperatura y la naturaleza geológica de la corteza terrestre, define las formas de vida natural y las principales actividades que el hombre debe realizar para satisfacer sus necesidades básicas de alimento, vestido, y vivienda.

En relación con la producción agrícola, aparte de que el agua es el constituyente principal de las plantas, su mayor importancia se deriva del efecto que tiene sobre la producción. Así, el agua se comporta como un insumo al que las plantas responden en forma significativa según el grado en que su disponibilidad sea adecuada tanto en cantidad como en oportunidad.

### 1.1 Relación entre Niveles de Rendimiento y Cantidad de Agua en condiciones húmedas y en condiciones de aridez.

Una medida de la importancia del agua como un insumo se obtiene del análisis de los niveles de producción agrícola que se alcanzan en diversas partes del mundo donde la agricultura es de secano, o sea, donde la principal fuente de abastecimiento de agua para las plantas es la lluvia que cae directamente sobre los cultivos, en contraste con los niveles de producción obtenidos en regiones donde se dispone de agua de riego en oportunidad y cantidad adecuadas a sus necesidades. Por ejemplo, en Argentina un 5 por ciento del área cultivada se encuentra bajo riego, contribuyendo ya con más de un 30 por ciento de producto bruto agrícola. En el Perú, bajo condiciones de riego se obtienen entre 30 y 40 Ton/Ha de papa, mientras que, en condiciones de secano los rendimientos varían entre 10 y 20 Ton/Ha.

Por cierto, no solamente el agua es la responsable de las variaciones en la producción. Bajo condiciones de secano el abastecimiento se encuentra sujeto a un grado de incertidumbre y a variaciones cíclicas que tienen efecto sobre la oportunidad de siembra de los cultivos, y sobre el mayor o menor grado de éxito que puede obtenerse con la aplicación de tecnologías

(fertilizantes, semillas mejoradas, pesticidas, labores culturales). Estas condiciones se combinan para calificar a los años agrícolas como buenos, regulares y malos.

Bajo la condición en que está disponible el agua de riego ya sea como suplemento en las zonas tradicionalmente de secano o para el total abastecimiento de las zonas áridas, la mayor seguridad en su abastecimiento permite un aprovechamiento más eficiente de la tierra en términos del número de cosechas por unidad de tiempo, la selección de la óptima oportunidad de siembra (algunas veces teniendo en cuenta la situación del mercado de los productos), y la mayor seguridad y eficiencia en el uso de tecnologías de alto costo. Todo esto trae como consecuencia, mayores niveles promedio de productividad de las tierras.

## 1.2 Cómo interviene el Agua como insumo o factor de producción.

Para conocer los niveles adecuados de humedad que demandan las plantas en función de las condiciones locales y las posibles tecnologías a utilizar, generalmente es necesario realizar algunas investigaciones con los principales cultivos y suelos de una región determinada. En general, se trata de establecer la respuesta del cultivo para distintas cantidades de agua aplicadas en relación, por ejemplo, con dosis de fertilizantes. En las figuras 1 y 2 se presenta un ejemplo de resultados de este tipo de investigación para maíz en los que se puede observar la naturaleza de esta interacción. En la figura 3 se trata del efecto de la cantidad de lluvia bajo condiciones de secano con varios niveles de fertilizantes. En ambos casos se puede observar que hasta un cierto límite responden muy claramente y en forma positiva al incremento en la disponibilidad del agua y que esta contribuye a obtener una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes. Sin embargo, la información de la figura 3 es bajo condiciones de secano por lo que los rendimientos que se obtienen asociados a una cantidad de agua están sujetos a un grado de probabilidades según la época de siembra. Puede observarse que los mayores rendimientos se asocian a las probabilidades más bajas (en esta figura PT indica la cantidad total de lluvia en cm durante el período vegetativo del cultivo, NPK es cantidad de nitrógeno, fósforo

y potasio en kg/Ha).

### 1.3 Aspectos principales a considerar en el abastecimiento o satisfacción de los requerimientos de agua de las plantas.

Las plantas extraen el agua principalmente del suelo por medio de sus raíces, por lo que, para ello el suelo se comporta como un reservorio que debe abastecerse de agua a una tasa de humedecimiento tal que sea capaz de satisfacer a los requerimientos de las plantas para una producción óptima en términos del producto que se desea obtener. A su vez, la tasa de extracción de agua del suelo para la planta, es variable en función del tipo de planta, de su estado de crecimiento y de las condiciones climáticas que gobiernan la demanda de agua atmosférica y que determinan la evaporación.

En consecuencia, cualquier programa para investigar los requerimientos de agua de las plantas debe incidir en, (1) Las propiedades del suelo y características del perfil que determinan el comportamiento del agua dentro de él, y que definen su capacidad de almacenamiento y el grado de disponibilidad del agua para ser absorbida por las raíces; (2) Las condiciones que determinan la tasa de uso de agua por las plantas para su crecimiento y producción durante el ciclo vegetativo.

Conocidas las características de las plantas que se desean cultivar, -i.e., profundidad efectiva de raíces y curvas de respuesta o funciones de producción del agua-, mediante el primer grupo de condiciones indicadas determinamos la lámina de agua que debe abastecerse al suelo en una determinada oportunidad para reemplazar aquella que ha sido utilizada en un período determinado. Mediante el segundo grupo de condiciones determinamos la tasa de uso de agua por las plantas según la parte del ciclo vegetativo en que se encuentre, y en consecuencia, conocida la lámina de agua almacenada en el suelo y disponible para la planta, la frecuencia con que es preciso reabastecer de agua al suelo para que las condiciones de producción sean óptimas.

El desarrollo de una agricultura rentable depende en alto grado de la forma en que se pueden satisfacer los requerimientos de agua considerando los dos grupos de condiciones mencionadas.

## 2. DETERMINACION DEL ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LOS SUELOS

### 2.1 El contenido de humedad de los suelos.

El suelo puede contener agua fuera de la estructura sólida del mismo en las intersicios entre las partículas y agregados, o poros, en lo que en conjunto forman el volumen de espacios porosos del mismo. El suelo sumergido en agua tiene sus espacios porosos totalmente llenos de agua en un porcentaje de su volumen igual a la porosidad.

La porosidad total para el promedio de los suelos es del 50 por ciento en volumen, siendo un poco mayor para suelos arcillosos y un poco menor para suelos arenosos.

El porcentaje de espacios porosos ( $\eta$ ) en un volumen de suelo es,

$$\eta = \left( 1 - \frac{d_a}{d_r} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

Donde,  $d_a$ = gravedad específica aparente

$d_r$ = gravedad específica real

La porosidad no es garantía de que se puede contar con el volumen de agua que puede contener el suelo; dependiendo principalmente de la distribución de tamaños de los poros y de su tortuosidad, así como, de la superficie total de las partículas en un volumen de suelo, el agua fluye libremente a través del suelo o es retenida con diversos grados de fuerza en lo que en conjunto determina el comportamiento del agua en una porción de suelo y la capacidad de almacenamiento de éste.

La distribución de tamaños de poros es relevante debido a que el agua puede ser retenida por capilaridad en mayor proporción a medida que el tamaño de los poros es menor. A su vez, el menor tamaño de los poros para un mismo volumen de suelo está asociado a una mayor proporción de partículas o fracciones más pequeñas en el suelo - textura más fina - así como, a una mayor superficie expuesta de las partículas (cuadro 1).

Cuanto mayor es la superficie total expuesta de las partículas, a medida que disminuye el contenido de humedad es mayor la proporción del agua que es retenida fuertemente en forma de película alrededor de las partículas (Problema 2.1.3, 2.1.4 y 2.1.5).

La capilaridad se debe a la diferencia de presiones que se originan en la curvatura de la interfase agua-aire de un poro con agua debido a la tensión superficial del agua ( $\sigma$ ) fuerza de adhesión del agua sobre paredes del poro y la presión atmosférica.

En equilibrio, la situación es,

(Fuerza de Adhesión y Cohesión) = (Peso del agua que cuelga)

$$2\pi r \cdot \sigma \cos \alpha = h \pi r^2 \rho g$$

Donde,  $2\pi r$  = circunferencia del poro

$\sigma$  = tensión superficial

$\alpha$  = ángulo de contacto del menisco del agua con el poro aproximadamente igual a cero.

$h$  = altura de ascenso capilar.

$h\pi r^2\rho$  = masa de agua.

$g$  = aceleración de la gravedad.

Simplificando y asumiendo que  $\alpha = 0$ , con lo que  $\cos \alpha = 1$ , la altura de ascenso capilar es:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \quad (2.3)$$

La altura de la columna del agua ( $h$ ) en el poro es equivalente a la fuerza de succión que es necesario aplicar al suelo para extraer toda el agua de poros de mayor diámetro (donde  $r = d/2$ ).

Así, para conocer la distribución de tamaños de poros en el suelo, se aplican diversas fuerzas de succión a muestras de suelo sin disturbar para obtener cantidades de agua o volumen de poros equivalente a cada incremento de succión. La distribución de poros se puede representar en un gráfico: diámetros de poros vs. volumen de poros acumulado en porcentaje de la porosidad total.

Es de interés para el desarrollo radicular de las plantas que la porosidad del suelo esté repartida en iguales proporciones entre porosidad de aireación y de retención de agua. El límite varía según los suelos, entre diámetros equivalentes a una succión de 100 cm y 330 cm de agua. Se considera que la porosidad de aireación debería ser por lo menos del 10%, de lo contrario se presentan problemas de asfixia radicular, baja permeabilidad, mal drenaje y encharcamiento. Excesivo porcentaje de poros grandes disminuye la capacidad de retención de agua de los suelos.

El incremento en el contenido de materia orgánica de los suelos favorece la formación de una estructura (disposición de partículas en agregados) que hace manejables y más fértiles suelos con problemas especiales por textura muy gruesa o muy fina, o excesiva proporción de carbonato de calcio. La materia orgánica incrementa la capacidad del suelo de contener agua en todo el rango de succiones indicadas.

### Problemas

2.1.1 Cuál es el tamaño de los poros que limita la porosidad de aireación con la de retención de agua.

Aplicando una fuerza de succión igual a  $h$ , se vencen las fuerzas indicadas y se extrae toda el agua de poros de mayor radio y, por lo tanto, queda solamente el agua que está retenida con poros de radio igual a  $r$ . En consecuencia, se puede aplicar el concepto expresado en el último párrafo anterior y determinar la distribución de la porosidad de un suelo.

Volviendo al problema, si  $h$  es equivalente a la tensión de humedad a 330 cm nuestra incógnita en la ecuación (2.3) es el diámetro ( $2r$ ).

La tensión superficial del agua ( $\sigma$ ) a  $21^\circ\text{C}$  =  $742 \frac{\text{gr}}{\text{cm}}$

La densidad del agua ( $\rho$ ) a  $21^\circ\text{C}$  =  $0.998 \text{ gr/cm}^3$

La aceleración de la gravedad = 981 cm/seg

$$r = \frac{d}{2} = \frac{2 \sigma \cos \alpha}{\rho g h} \quad \cos 0 = 1$$

$$d = \frac{4 \times 742 \times 1}{0.998 \times 981 \times h} = \frac{3.03}{h} \text{ cm}$$

Para fines prácticos  $d = 3/h = \text{cm}$

Entonces,  $d = 3/330 = 0.009 \text{ cm} = 0.09 \text{ mm}$

Este diámetro de poros es del orden de magnitud del diámetro de partículas de arena fina.

En conclusión, nos interesa un suelo que tenga un 10% o más de su volumen con poros iguales o mayores de 0.09 mm, hasta un máximo de un 25% de su volumen.

2.1.2 Cuál es la fuerza de succión que tienen que hacer las raíces de las plantas (h) para extraer agua de poros de  $2 \times 10^{-4} \text{ cm}$ .

2.1.3 Cuál es la superficie expuesta de una arcilla de 0.002 mm de diámetro contenida en una esfera de 1 cm de diámetro.

$$\text{Volumen de una partícula} = \frac{1}{6} \pi D^3 = \frac{1}{6} \pi (0.0002 \text{ cm})^3 = 4.1888 \times 10^{-12} \text{ cm}^3$$

Volumen equivalente de una esfera de 1 cm de diámetro:

$$\frac{1}{6} \pi (1)^3 = \frac{\pi}{6} \text{ cm}^3$$

$$\text{Números de partículas: } \frac{\pi/6}{4.1888/10^{12}} = 1.25 \times 10^{11}$$

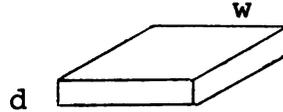
$$\text{Area de una partícula} = \pi D^2 = \pi \times (.0002)^2 = 1.26 \times 10^{-7} \text{ cm}^2$$

$$\text{Superficie Total} = (1.26 \times 10^{-7}) (1.25 \times 10^{11}) = \underline{15,707.9 \text{ cm}^2}$$

2.1.4 Cómo se compara (cuántas veces mayor o menor) en cuanto a superficie expuesta la arcilla mencionada en el problema anterior con arena media de 0.5 mm de diámetro.

2.1.5 Cómo se comparan las partículas de arcilla equivalentes de 2 micrones de diámetro, con aquéllas de una forma laminar de volumen equivalente.

$$\text{Area} = 4 wd + 2 w^2$$
$$\text{Volumen} = w^2 d$$



Considerando que el espesor de la arcilla es del orden de 10 Å (  $10^{-7}$  cm ).

$$\text{Volumen anterior: } 4.1888 \times 10^{-12} \text{ cm}^3$$

$$4.1888 \times 10^{-12} \text{ cm}^3 = w^2 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$w = (4.1888 \times 10^{-5})^{1/2} = 0.0065 \text{ cm}$$

En consecuencia, el área de volumen equivalente sería:

$$A = 4 \times .0065 \times 10^{-7} + 2 (.0065)^2 =$$
$$\begin{matrix} 2.6 \times 10^{-9} & + & 8.378 \times 10^{-5} & = & 8.378 \times 10^{-5} \text{ cm.} \\ \text{(lados)} & & \text{(caras)} & & \end{matrix}$$

Si despreciamos el área de los lados dejando solamente el de las caras superior e inferior y comparamos con el área de la esfera de volumen equivalente, observamos:

$$\frac{8.378 \times 10^{-5}}{1.26 \times 10^{-7}} = 664$$

que es 664 veces mayor.

## 2.2 Determinación del contenido de humedad del suelo.

Una muestra húmeda extraída del campo pesa 120.5 gr y después de estar en la estufa a 105°C por 24 horas, pesa 105 gr.

Cuál es el contenido de humedad, en base a peso seco y en volumen.

$$\text{Contenido de humedad, peso seco} = \frac{120.5 - 105}{105} = \frac{15.5}{105} = \frac{0.15 \text{cm}^3 \text{ de agua}}{\text{gr de suelo}}$$

$$\% \text{ de humedad} = 0.15 \times 100 = 15\%$$

Contenido de humedad en volumen ( $\theta$ ).

$$p_a = 1.45 \text{ gr/cc (peso específico aparente)}$$

$$= 1.45 \times .15 = 0.21^* \text{ cm de agua/cm de suelo}$$

$$\% \text{ de humedad} = 0.21 \times 100 = 21\%$$

$$* \frac{0.15 \text{cm}^3 \text{ de agua}}{\text{gr de suelo}} \times \frac{1.45 \text{ gr de suelo}}{\text{cm}^3 \text{ de suelo}} = \frac{\text{cm}^3 \text{ de agua}}{\text{cm}^3 \text{ de suelo}} = 0.21 \frac{\text{cm agua}}{\text{cm suelo}}$$

El contenido de humedad del suelo se refiere al agua que puede ser extraída con 105 a 110°C de temperatura. Se puede expresar en base a peso del suelo seco o en base a volumen de suelo. Es preferible la segunda forma, porque permite conocer directamente la lámina de agua existente a una determinada profundidad y, el volumen de agua si se conoce el área respectiva. Esto es conveniente para las prácticas de manejo del agua. Ejemplo: con el contenido de humedad calculado anteriormente, cuál es la lámina y el volumen de agua contenido en 300 m<sup>2</sup> a una profundidad de 30 cm. Lámina = .21 cm/cm x 30 cm suelo = 6.3 cm de agua; volumen = .063 m de agua x 300 m<sup>2</sup> = 18.9 m<sup>3</sup> de agua.

### 2.2.1 Problema.

Se extrajo una muestra húmeda de 49 cm<sup>3</sup> de suelo (medida con un muestreador Veihmeyer 1" x 10 cm), peso húmedo fué de 78.2 gr y peso seco a la estufa de 68.6 gr.

Cuál es la lámina de agua existente en el suelo y, cuál es el volumen de agua existente en  $600 \text{ m}^2$  de extensión a una profundidad de 60 cm.

## 2.3 Medidas prácticas de la variación de la fuerza de retención de agua por el suelo a medida que disminuye el contenido de humedad.

### 2.3.1 Los Coeficientes Hídricos.

Con la finalidad de conocer la situación de disponibilidad de agua del suelo para el crecimiento de las plantas se establecieron límites de contenido de humedad de los suelos -caracterizados por su textura principalmente- que en la práctica definen por diferencia entre ellos las proporciones del espacio poroso del suelo que pueden ser ocupados por agua de varias condiciones de libertad con relación a su facilidad de flujo en el suelo.

Así, el punto de saturación, porcentaje de humedad cuando el agua está llenando todos los espacios porosos, expresado en base a volumen, es igual al porcentaje de porosidad ( $n$ ) y, por diferencia con la capacidad de campo (CC) se obtiene el porcentaje de agua que drena libremente de los poros más grandes por influencia de la gravedad. Se espera que después de 48 horas de un riego, ha pasado el suficiente tiempo para que drene el agua de gravedad, cese prácticamente el flujo de agua hacia abajo y se alcance el porcentaje de humedad correspondiente a la capacidad de campo; a ésta se le considera el límite superior de la humedad disponible. Desde el límite de la capacidad de campo, el agua es retenida en el suelo por los poros capilares y en las superficies de las partículas y, a medida que disminuye la humedad, el agua es más fuertemente retenida hasta alcanzar el límite conocido como coeficiente o punto de marchitez permanente debido a que, al llegar a este punto de humedad, las raíces de las plantas no pueden extraer mayor humedad y se marchitan sin recuperarse; este es el límite inferior de la humedad disponible y la diferencia entre los dos da el porcentaje de la humedad disponible para las plantas.

La figura 4 presenta una simulación de lo que serían las diferentes condiciones de humedad en dos volúmenes de suelo arenoso y arcilloso.

La capacidad de campo se puede determinar en el campo tomando el contenido de humedad del suelo, después de 48 horas de riego o en el Laboratorio aplicando una fuerza centrífuga a muestras saturadas no disturbadas de suelo equivalente a 1000 veces la fuerza de la gravedad. A la humedad que queda se le llama equivalente de humedad, por ser similar al contenido de agua a capacidad de campo en suelos de textura media.

El coeficiente de marchitez se determina llevando a marchitez permanente plantas índices, generalmente el girasol - ver cuadro 2-.

Al dar cifras sobre los límites de capacidad de campo y coeficiente de marchitez generalmente los límites de contenido de humedad se dan para los suelos caracterizados por su textura porque éstos son realmente variables según las propiedades del suelo y la textura es una de las más importantes. El cuadro 3 presenta información sobre los límites indicados para diferentes texturas de suelo. La gran variación existente entre ellos indica el requerimiento de una mejor o más completa caracterización de las propiedades del suelo que pueda asociarse a los distintos límites que se presentan.

El cuadro 4 presenta resultados del efecto de la incorporación de materia orgánica sobre los límites de humedad. Puede notarse que prácticamente no existe efecto sobre la humedad disponible. En ausencia de otras alternativas, se puede utilizar la información del cuadro 5, para estimar la humedad disponible de los suelos.

2.3.1 Medida de la relación continua entre la fuerza de retención de humedad y el contenido de humedad.

El concepto de humedad disponible que implica la existencia de ciertos límites para definir el volumen de agua que estaría a disposición de las raíces es de utilidad en el planeamiento de riegos. Esto es en el entendimiento que a partir de la capacidad de campo, el suelo retiene el agua después que ha drenado el exceso, y hasta el coeficiente de marchitez, se puede contar con agua para el crecimiento de las plantas a una tasa de uso o disminución de agua que no dependen ya tanto del suelo como de la extracción de las raíces para satisfacer la evapotranspiración. Es decir, entre esos dos límites, el suelo se comportaría como un reservorio de agua para las plantas, por lo que, interesa que la diferencia entre ellos sea suficiente de manera que los suelos puedan almacenar agua por períodos largos -más de una semana- y así atenuar los efectos de una posible escasez de lluvias, o en zonas áridas, evitar el tener que aplicar agua con demasiada frecuencia.

Sin embargo, aunque este concepto es de suma utilidad con fines prácticos, está claro que para suelos distintos los límites son variables y, que el agua no es igualmente disponible para las plantas en todo el rango entre la capacidad de campo y el coeficiente de marchitez. Conforme el suelo se seca la fuerza de retención de agua por el suelo aumenta y en consecuencia, aumenta la dificultad de las raíces para extraer el agua. Como se verá más adelante, ésta situación afecta a las plantas en mayor o menor grado según la demanda de agua atmosférica y el tipo de planta.

De acuerdo a lo mencionado se ha comprobado que existe una mejor correlación entre la respuesta de las plantas y una medida del estado energético del agua en el suelo, que con su contenido de humedad.

En la figura 5 se muestra un tensiómetro sencillo para medir la fuerza de succión del agua en un suelo no saturado.

La fuerza de succión que mide el tensiómetro se llama succión matricial - debido a la tensión superficial del agua sobre las paredes de las partículas del suelo-. A medida que el suelo en contacto con la copa porosa se seca, extrae agua de la columna de agua hasta establecer una condición de equilibrio entre su contenido de humedad y el peso de la columna de mercurio que se estabiliza a una altura equivalente a la fuerza de succión. El mercurio, en este caso, reemplaza al agua para evitar tener una columna muy larga. Así, la tensión de humedad se expresa en cm de agua, o unidades equivalentes de presión, bares o atmósferas.

Si el suelo estuviera saturado, el mercurio tendría el nivel cero con una diferencia sobre el nivel del reservorio para equilibrar la columna de agua que cuelga dentro del aparato. Los cm de mercurio que se elevan sobre cero succión se multiplican por la densidad del mercurio para conocer la altura de agua equivalente que se muestra en al escala. Con el tensiómetro se puede llegar hasta una succión de 800 cm de agua, a mayor succión, entra aire por la copa porosa y se descontinúa la columna.

Para mayores succiones en el campo, se usan bloques de yeso (Bouyoucos) que se introducen a la profundidad deseada; éstas, en equilibrio con la humedad del suelo, registran una resistencia al paso de la corriente entre dos electrodos que existen en sus extremos que es función del contenido de humedad del suelo. La resistividad de los bloques se puede calibrar con el contenido de humedad y mejor con la succión cubriendo todo el rango de la humedad disponible. No son recomendables para suelos salinos.

En el laboratorio, las relaciones entre la succión del suelo por el agua y el contenido de humedad se establecen en todo el rango desde saturación hasta 15 atmósferas de succión <sup>1/</sup> utilizando diversos aparatos con muestras no disturbadas de suelo (ASA, monograph, 11, 1967, p.275-303).

<sup>1/</sup> Usamos indistintamente succión y tensión de humedad, aunque la primera indica una presión negativa y la segunda una cantidad positiva.

Así, se tiene la mesa de tensiones (0 a 100cm), la olla de presión (hasta 3 atmósferas) y la membrana de presión (hasta 15 atmósferas).

### 2.3.2 Curva característica de humedad del suelo.

El contenido de humedad obtenido de muestras de suelo que han estado sujetas a tensiones distintas en todo el rango, desde saturación hasta 15 atmósferas, graficado con la tensión respectiva, permite obtener las curvas características de humedad de los suelos representados por esas muestras.

En la figura 6 se presentan sendas curvas características de humedad para un suelo de textura gruesa y otra de textura fina. Allí se observa también el fenómeno de la histéresis. Puede notarse que para un mismo contenido de humedad la tensión es mayor en el suelo fino. Igualmente, para un mismo suelo e igual contenido de humedad, la tensión es mayor cuando el suelo está en el proceso de secado que cuando está en el proceso de ser humedecido. El fenómeno de la histéresis, aun relativamente poco estudiado, impide que la curva característica de humedad sea única para un suelo.

Aparentemente, en el proceso de secado, algunos poros pequeños no dejan salir el agua de poros más grandes, manteniendo así un mayor contenido de humedad aunque la succión sea la misma que cuando el agua de los poros grandes no está en proceso de humedecimiento.

Aun con el fenómeno de la histéresis, la curva del proceso de secado (también llamada de desabsorción) tiene utilidad para conocer los contenidos de humedad existentes en los suelos en las succiones de interés para las plantas.

## 2.4 Unidades de medida de la fuerza de retención de agua por el suelo.

Se usan indistintamente unidades de carga negativa de presión, bares, atmósferas y cm de altura de la columna de agua equivalente a la presión (carga hidráulica de succión, ejemplo del tensiómetro). También se usan unidades de fuerza por unidad de masa o fuerza por unidad de volumen, en cuyo caso deben dividirse por la aceleración de la gravedad o por el producto de la aceleración de la gravedad y la densidad del agua, respectivamente, para convertirlas a unidades de carga hidráulica. La expresión en unidades de carga hidráulica tiene ventaja sobre las demás, entre otras razones, por la similitud con el fenómeno físico que representa, y porque las gradientes de carga resultan sin dimensiones.

### 2.4.1 Relaciones entre las Unidades.

Ejemplo: La columna de agua del tensiómetro de la figura 5 (asumiendo que convertimos la altura del mercurio a altura de agua) es de 400 cm. Cómo se relaciona con las diferentes unidades de energía potencial del agua en el suelo.

(1) El peso o fuerza de la columna de agua es,  $h$  por el área de la sección del tubo,  $A$ , (volumen de agua =  $Axh$ ), por la densidad del líquido,  $\rho = 1 \text{ gr/cm}^3$  y por la aceleración de la gravedad,  $g = 980.66 \text{ cm/seg}^2$  ( $hA \rho g$ ).

La energía potencial del agua por unidad de volumen es:

$$\text{peso} \times h / \text{volumen} = (h A \rho g) \times h / A \times h = h \rho g$$

que es igual a la presión o fuerza por unidad de área.

$$\begin{aligned} \text{Si } h &= 1020 \text{ cm} \\ h \rho g &= 1020 \text{ cm} \times 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 980.6 \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2} = \end{aligned}$$

$$10^6 \text{ dinas/cm}^2 = 1 \text{ bar de presión.}$$

o sea, 1 bar es equivalente a 1020cm de columna de agua, aproximadamente.

(2) Una atmósfera de presión a nivel del mar equivale a 76 cm de altura de una columna de mercurio. Si la densidad del mercurio es 13.6, la altura de agua equivalente a una atmósfera es,

$$76 \text{ cm de Hg} \times \frac{13.6 \text{ cm de agua}}{\text{cm de Hg}} = 1033 \text{ cm de agua}$$

Así, 1 bar = 1020 cm de agua  
1 atm = 1033 cm de agua  
1 atm = 1020/1033 = 0.9869 bares/atm  
1 bar = 1033/1029 = 1.013 atm/bar  
1cm de agua = 1/1020 = 980 x 10<sup>-6</sup> bares/cm  
1/1033 = 968 x 10<sup>-6</sup> atm/cm

(3) Las expresiones de tensión en bares y atmósferas son convenientes para tensiones altas aunque para ser exactas deben referirse a la temperatura en que se realiza la medición que afecta a la densidad del líquido y, a la elevación que afecta a la aceleración de la gravedad.

(4) Expresada en términos de la altura de la columna de agua que cuelga en equilibrio con la fuerza de retención del agua, la longitud de la columna de agua aumenta logarítmicamente con la disminución del contenido de humedad del suelo. En consecuencia, así como en el caso del tensiómetro de mercurio, necesario para poder medir la tensión en el campo hasta 800 cm (8 m), que aun es baja, el logaritmo de la columna de agua en cm (pF) permite expresar la tensión por cifras que varían con incrementos iguales en una escala reducida para todo el rango desde la saturación hasta tensiones muy altas. Así, por ejemplo:

<u>cm de tensión</u>	<u>(pF)</u>
1	0
50	1.70
100	2.0
200	2.30
300	2.48
500	2.70
1000	3.0
12000	4.08
15000	4.18

Expresada de esta forma la carga hidráulica de tensión de humedad, es posible dibujar en papel corriente la curva de desabsorción. De lo contrario, sería necesario un papel semi-logarítmico de tres ciclos, (fig. 6).

Solución del problema:

En consecuencia, 400 cm de tensión de humedad son:

$$980 \times 10^{-6} \frac{\text{bares}}{\text{cm}} \times 400 \text{ cm} = 0.392 \text{ bares}$$
$$= 0.392 \times 10^{-6} \text{ dinas/cm}^2$$

$$968 \times 10^{-6} \frac{\text{atm}}{\text{cm}} \times 400 \text{ cm} = 0.387 \text{ atm}$$

$$p F = \log 400 = 2.60$$

2.4.2 Problema (1) Si la fuerza de retención de humedad de un suelo es equivalente a 480,600 dinas por  $\text{cm}^2$ , cuál es la altura de carga hidráulica equivalente en cm (2) Si la tensión de humedad es de 2.3 bares, cuál es el pF.

### 3.0 RELACION ENTRE EL NIVEL DE ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO Y LAS CONDICIONES OPTIMAS DE PRODUCCION.

#### 3.1 La humedad aprovechable para las plantas.

Conocida la relación contenido de humedad vs tensión de humedad del suelo en particular (Cuadro 6), se pueden obtener curvas tales como las de la Figura 7, previamente estableciendo cuál sería el límite superior de la humedad aprovechable, y tomando la convención de que el límite inferior o contenido de humedad en el punto de marchitez se aproxima a una tensión de humedad de 15 atmósferas (cerca a 15 bares de presión).

Con la información indicada, es preciso conocer la profundidad efectiva de las raíces de las plantas (tal como la información del Cuadro 7), y el nivel de humedad mínimo que la planta es capaz de soportar sin sufrir merma en su capacidad productiva. Esta información puede ser el resultado de investigaciones sobre funciones de producción del agua como las indicadas en la primera sección. Además, es necesario considerar las condiciones de demanda evaporativa del ambiente local ya que ésta también influyen el nivel mínimo de humedad que puede tener efecto sobre las plantas (ver Figura 8). Los resultados de estas investigaciones se integran para obtener cifras para cada cultivo tales como aquellas que se presentan en el Cuadro 8.

#### 3.2 Determinación de la lámina de agua de reemplazo para producción óptima.

##### Problema:

Se desea aplicar agua a un suelo franco-arenoso profundo para un cultivo en crecimiento de maíz a 60 cm de profundidad efectiva (del Cuadro 7).

De la curva característica de humedad de ese suelo (investigación que sería recomendable hacer para caracterizar los suelos bajo riego del país), se obtiene que la humedad disponible máxima es de  $0.13 \text{ cm/cm}^{1/}$ , (Cuadro 6). Cuál es la lámina de agua que se requiere para reemplazar la humedad utilizada por el cultivo en condiciones de alta demanda eva-  
porativa.

Solución:

Del Cuadro 8,

La tensión de humedad del suelo para determinar la oportunidad de riego para el maíz en crecimiento es, 0.5 bares.

De la Figura 6\*,

0.5 bares corresponde a una disminución de la humedad disponible para un suelo franco - arenoso de, 40 por ciento.

Contenido de humedad a reemplazar,

$$0.40 \times 0.13 \qquad 0.052 \text{ cm/cm}$$

Lámina de agua de reemplazo,

$$0.052 \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \times 60 \text{ cm} = 3.12 \text{ cm}$$

Si existe problema de sales en el suelo o en el agua, sería necesario considerar una cantidad adicional de agua de manera de evitar la salinización del suelo o por lo menos para mantener un balance de sales favorable.

El método o sistema de aplicación de agua, define la eficiencia de riego de manera que, según el método, será necesario aplicar una cantidad adicional de agua para compensar las pérdidas por percolación profunda, desuniformidad de riego en el área, escurrimiento, etc. Ejemplo, si no hay problema de sales y la eficiencia de riego es del 60%, la lámina de agua a aplicar en el campo es de  $3.12/0.6 = 5.2 \text{ cm}$  ( $520 \text{ m}^3/\text{Ha}$ ).

Bajo condiciones de lluvia aunque el riego es suplementario, las cantidades de agua citadas incluyen la contribución de las lluvias al suelo (descontando pérdidas).

---

1/ En base a volumen, diferenciar entre contenidos de humedad a capacidad de campo y al punto de marchitez permanente.

$$\left( \frac{\text{cm}^3 \text{ agua}}{\text{gr suelo}} \times \frac{\text{gr suelo}}{\text{cm}^3 \text{ suelo}} = \text{cm agua/cm suelo} \right).$$

\*/ Considerando que 1 bar = 1.013 atmósferas, o sea, unidades sensiblemente iguales. La Figura 6 proviene de dibujar la segunda porción del Cuadro 6.

Hasta aquí el problema para suelos relativamente homogéneos en profundidad en que es posible utilizar una curva de desabsorción -o simplemente límites o coeficientes hídricos- para caracterizar el comportamiento del agua. El problema es más complejo cuando el perfil de suelo estratificado y, algo distinto, cuando existe un nivel freático cerca de la superficie (ver Figuras 9 y 10).

Es necesario conocer la tasa de uso de los 3.2 cm de agua estimados en el ejemplo, o sea, la cantidad de agua que es usada por la planta por cada día para su transpiración y crecimiento.

El conocimiento de los requerimientos de agua para la transpiración según el clima y el estado de crecimiento de los cultivos nos dará la frecuencia con que es necesario aplicar agua.

Ejemplo, si la transpiración es 4 mm/día, la frecuencia de riego es  $3.12 \frac{\text{cm}}{\text{día}} \times \frac{1}{0.4 \frac{\text{cm}}{\text{día}}} = 8 \text{ días}$

#### 4.0 DEMANDA DE AGUA PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.

##### 4.1 La Transpiración de las plantas, Concepto General.

La diferencia en concentración entre el jugo celular de las raíces de las plantas y el agua del suelo origina una presión osmótica que mueve el agua del suelo a través de la membrana radicular hacia las células. Si la solución agua-suelo es altamente salina o la tensión de humedad del suelo es alta, la transferencia osmótica del agua puede reducirse significativamente. Una vez dentro de la raíz el agua se transfiere a través de la planta hasta situarse en los espacios intercelulares de las hojas. El aire entra a las hojas a través de los estomas-aberturas en la superficie de la hoja y los cloroplastos dentro de la hoja usan el anhídrido carbónico del aire y una pequeña porción del agua disponible en la formación de carbohidratos para el crecimiento (fotosíntesis). A medida que entra el aire a la hoja, agua en forma de vapor escapa hacia la atmósfera por los estomas abiertos. Este es el proceso de transpiración.

Una porción muy pequeña del agua es usada en la formación de materia vegetal. Comparativamente, la relación del agua transpirada con aquélla usada en el crecimiento, es de 800 o más a uno.

Como esta relación es tan grande da la impresión que las verdaderas necesidades de agua para el crecimiento son minúsculas y, que el manejo del agua eficiente debería concentrarse en la reducción de la transpiración. En la práctica se conoce que el déficit de humedad en la planta, disminuye su crecimiento. Aunque, el rol fisiológico del agua en el crecimiento es aún materia de discusión, se conoce, por ejemplo, la influencia de la tensión de humedad en la elongación de las paredes celulares y en el control de la apertura de los estomas mediante los cambios de turgencia provocados por el agua en las células de los mismos que, en ciertas condiciones críticas de radiación afecta el intercambio de gases y la fotosíntesis.

En consecuencia, una reducción provocada de la transpiración puede afectar el crecimiento y la producción de las plantas.

El mantenimiento de una condición de humedad favorable para el crecimiento de las plantas depende de las condiciones atmosféricas, del tipo de planta y de la facilidad con que el agua se hace disponible para ser absorbida por las raíces.

La mayor parte de las plantas extraen el agua del suelo sin sufrir merma en su crecimiento o producción cuando el déficit de humedad del suelo es inferior a un cierto límite. Pasado el límite, la fuerza con que el agua es retenida por el suelo puede ocasionar una disminución significativa en la absorción de las raíces y la planta sufre decaimientos temporales, pudiendo producirse daños variables según la etapa de crecimiento en que se encuentre. El límite en cuestión que puede expresarse en términos de tensión de humedad del suelo, es variable en función de la demanda atmosférica, del tipo de suelo, del tipo de planta y también de la etapa de crecimiento. Por ejemplo, se conoce que cuando la demanda atmosférica es alta, el déficit de humedad aceptable en el suelo es inferior que cuando la demanda atmosférica es baja, pudiendo en este último caso acercarse al punto de marchitez permanente.

#### 4.2 El Concepto de la Evapotranspiración Potencial (ETA)

La pérdida total del agua del suelo por evaporación se distribuye en proporciones variables entre la transpiración de las plantas y la evaporación directa del suelo, dependiendo principalmente del estado de crecimiento de las plantas, su densidad poblacional y del follaje, las características del suelo y las condiciones atmosféricas, de manera tal que, por la dificultad en diferenciarlas y, porque las pérdidas por evaporación directa, para fines prácticos, están siempre asociadas al cultivo, el consumo de agua de las plantas se considera igual a la suma de estas dos componentes y se le llama evapotranspiración o uso consuntivo.

Generalmente, para determinar los requerimientos de agua para la evapotranspiración de los cultivos, se separa y determina aquella que es dependiente de los factores atmosféricos (esencialmente los mismos que afectan la evaporación en una superficie libre con agua) y, luego se corrige esta cantidad por medio de coeficientes empíricos que involucran el efecto de otros factores, tales como el tipo de cultivo y su etapa de crecimiento, ambos determinados bajo condiciones de amplia humedad del suelo, de manera que no presente limitaciones a la absorción de las raíces. Al llegar a este punto se cuenta con la evapotranspiración potencial del cultivo (ETA).

Posterior a esta determinación y para conocer los verdaderos requerimientos de agua de los cultivos para una producción óptima, es necesario considerar los efectos de la variabilidad del clima en el tiempo y en el espacio, el efecto de la disponibilidad de agua del suelo sobre ETA, el efecto de las prácticas de manejo del agua y la relación entre ETA y el nivel de producción.

#### 4.2.1 Estimado de la Demanda Climática (ETo).

Visto como se ha indicado anteriormente, la evapotranspiración potencial corresponde esencialmente a la demanda atmosférica por el agua sobre una superficie suelo-agua-plantas bajo una condición tal que la pérdida de agua solamente es afectada, aparte de las condiciones atmosféricas, por la morfología de la superficie; ésta última siendo la razón principal que la distingue de la evaporación de una superficie libre de agua.

Existen numerosas fórmulas para determinar la evapotranspiración, algunas utilizando interpretaciones del fenómeno de intercambio de energía y de las condiciones aerodinámicas cerca de la superficie calibradas con mediciones directas en lisímetros y evaporímetros tales como aquéllas de Penman, Tanner, Van Bavel y otros (ASA, 1975. p. 534-574). Estos métodos, posiblemente los más precisos, son difíciles de aplicar para la práctica del manejo del agua debido a su complejidad y a que requieren observaciones meteorológicas de precisión y que no siempre se registran en las estaciones comunes meteorológicas.

Existen enfoques que combinan observaciones del clima con resultados experimentales; entre las más usadas se encuentran Blanney-Criddle, Thornthwaite y el evaporímetro de tanque. Su popularidad seguramente se debe a que no son complicadas y requieren información que es fácil de obtener de los registros meteorológicos. Si se utilizan con los coeficientes apropiados puedan dar resultados con errores del mismo orden de magnitud que el que se espera con un buen sistema de manejo del agua.

Uno de los últimos enfoques se presenta en un trabajo muy completo de FAO ( FAO, Irrigation and Drainage Paper N°24, 1975), el que utiliza un valor de referencia  $ETo$  para representar la evapotranspiración potencial debida principalmente al clima. El valor de referencia  $ETo$  se define como "La tasa de evapotranspiración de una superficie con pasto de 8 a 15cm de altura uniforme en crecimiento activo, sin deficiencia de agua y cubriendo completamente el suelo". Las observaciones de  $ETo$  provienen de mediciones con lisímetros en diversos lugares y climas. Mediante correlaciones entre las observaciones de  $ETo$  y registros de las variables climáticas de las estaciones meteorológicas y otras tales como latitud y longitud, ha sido posible desarrollar fórmulas para estimar  $ETo$  con diversos grados de precisión, según la información climática disponible (Hargreaves, 1977). Igualmente, se han podido reajustar algunos de los enfoques tradicionales para el estimado de la evapotranspiración potencial al mismo valor de referencia  $ETo$  (Blaney, Penman, Radiación, Tanque de evaporación) de manera que es posible utilizar los mismos coeficientes de consumo de los cultivos con cualquiera de los métodos indicados.

Los coeficientes de consumo de los cultivos son el resultado de relacionar la evapotranspiración medida con un determinado cultivo durante una etapa de crecimiento determinada ( $ETA$ ) con la evapotranspiración del pasto  $ETo$  de manera que,  $Kc=ETA/ETo$ . Estos coeficientes permiten estimar  $ETA$  - evapotranspiración potencial del cultivo para un período determinado, en la forma siguiente,  $ETA$  (estimado) =  $Kc \cdot ETo$  (estimado).

#### 4.2.1.1 Blanney-Criddle

El consumo de agua (ETA) es el resultado del producto  $f.K.$ , donde  $f$  es el factor de uso consuntivo climático expresado en  $\text{mm/día}$  y  $K$  es el coeficiente de consumo del cultivo determinado experimentalmente. El factor de uso consuntivo ( $f = 25.4 p \times t/100$ ) depende del porcentaje mensual de horas de luz ( $p$ ) con relación al total anual expresado como promedio diario para el mes respectivo y  $t$  es el promedio de las temperaturas máximas y mínimas diarias en  $^{\circ}\text{F}$ . Este método utiliza solamente la temperatura para reflejar las condiciones locales del clima, ya que " $p$ " depende de la latitud, es posible obtener promedios de temperaturas similares en climas secos o húmedos, por lo que su aplicación correcta debe incluir la utilización de cifras del factor  $K$  determinadas localmente de manera que considere otras condiciones del clima, así como, las características de los cultivos. En consecuencia, demanda un esfuerzo de investigación, que de no realizarse, la utilidad de la ecuación queda limitada a las condiciones para las cuales existen valores de  $K$  determinados experimentalmente. Existe un procedimiento para hallar la evapotranspiración de una superficie con pasto ( $\text{ET}_p$ ) en función de  $f$  para varias condiciones climáticas que mejora el uso de esta ecuación (Doo- renbos y Pruitt, 1975. p.7-14) y permite hallar ETA con coeficientes más universales. Sin embargo, algunas limitaciones que quedan restringen el uso para períodos no menores de un mes, y para zonas tropicales y zonas isleñas donde la temperatura del aire refleja más la condición de los alrededores (el mar por ejemplo) mostrando poca relación con los cambios estacionales en la radiación solar. También, presenta limitaciones el uso de la ecuación en lugares elevados donde existe baja temperatura promedio debido a las temperaturas muy bajas durante la noche aunque la radiación sea alta durante el día.

#### 4.2.1.2 Thornthwaite (ASA, 1967 p. 564)

La ecuación de Thornthwaite incluye una expresión de la duración del día y una constante de la "estación" basada en promedios mensuales de temperatura. Esta ecuación que ha sido usada en forma casi tan extendida como la de Blaney es:  $\text{ETP}' = 1.6 (10 T/I)^a$ , donde  $T$  es la temperatura promedio mensual del aire ( $^{\circ}\text{C}$ );  $I$  es un índice de calor que depende de las temperaturas medias mensuales en un largo período de tiempo; " $a$ " depende de  $I$  y ambos se encuentran en tablas desarrolladas por Thornthwaite;  $\text{ETP}$  se expresa en  $\text{cm}$  y corresponde a meses de  $N = 30$  días con una duración del

día  $dL = 12$  horas, por lo que debe corregirse para las variaciones de estas cifras en cada mes. Así,  $ETP = ETP' (dL) (N/30)$ .

Algunos investigadores han realizado correlaciones entre los resultados obtenidos con esta ecuación y observaciones directas sobre superficies con vegetación habiendo encontrado una precisión variable en el estimado de la evapotranspiración real ( $r$ , entre 0.4 a 0.99) siendo mejor para períodos más largos - mensual sobre semanal y diario - y para épocas específicas dentro del año. Por ejemplo, Pruitt (ASA, 1967, p.566) con resultados del lisímetro con pasto de la Universidad de California, encontró

$$ET_o (\text{pasto}) = 1.49 ET (\text{Thornthwaite}) + 0.08$$

con 24 observaciones mensuales, entre los meses de Julio a Diciembre con el valor  $r = 0.99$ ; los coeficientes de la ecuación varían y  $r$  disminuye cuando se trata de otros meses del año o cuando se reduce el período del estimado. Esto indica la falta de cobertura de la ecuación sobre las variables climáticas que influyen en el proceso de evapotranspiración e igualmente, la necesidad de contar con resultados experimentales locales para poder utilizarla.

#### 4.2.1.3 Evaporación del Tanque.

Los registros de evaporación en tanques proveen una medida del efecto conjunto de la radiación, viento, temperatura y humedad sobre una superficie de agua. La evapotranspiración de un medio suelo-agua-plantas, aunque responde a las mismas variables climáticas, por la naturaleza del medio, resulta en magnitudes significativamente distintas que la evaporación del tanque.

Por ejemplo, la reflectividad de la radiación solar en el agua es entre 5 a 8% mientras que sobre superficies con vegetación es entre 20 y 25%. La acumulación de calor en el agua es grande y puede producir una tasa de evaporación similar durante las 24 horas del día, mientras que sobre un cultivo, se pierde el 95% del total de 24 h durante las horas del día.

Otras diferencias se deben a las variaciones en la turbulencia, humedad y temperatura del aire cerca de la superficie y en los alrededores de la estación donde se ubica el tanque, así como, del uso de cubiertas de protección de los animales y de la transferencia de calor por las paredes del tanque.

Gran parte de estas limitaciones se corrigen por medio de los coeficientes  $K_p$  (coeficiente del tanque) para diferentes condiciones de humedad, viento, ubicación y tipo de tanque (Doorenbos y Pruitt, 1975 p.55 y 56), de manera que es posible estimar la evapotranspiración sobre una superficie con pasto.

$$E_{To} = K_p \cdot E_{tanque}.$$

#### 4.2.1.4 Hargreaves.

El enfoque de Hargreaves (1977) se basa en la interpretación de las diferencias entre las observaciones de  $E_{To}$  (evapotranspiración del pasto) medidas con el lisímetro de la Universidad de California en Davis. Mediante análisis de regresión, Hargreaves consiguió atribuir entre el 94 y el 98 por ciento de la variación entre las observaciones de  $E_{To}$  a la temperatura ( $T$ ) y a la radiación solar incidente ( $RS$ ), en conjunto. En presencia de las variables mencionadas, encontró que otras variables del clima tales como la humedad relativa y velocidad del viento no contribuyen significativamente a la variación, aunque sí comprobó una asociación importante entre la humedad relativa, el porcentaje de horas de sol posibles y la radiación solar incidente. Esto explica que la presencia del dato de radiación solar en el análisis inhibe la influencia de las otras variables, pero, que éstas pueden ser de utilidad en ausencia de  $RS$ . Hargreaves indica que ha usado observaciones de otros lisímetros ubicados en distintas partes del mundo, sin haber mejorado sensiblemente este análisis.

#### 4.2.1.5 Metodología para estimar ETo según Hargreaves.

Dependiendo de los datos disponibles, los cálculos requieren de mayor o menor número de operaciones, de manera que el estimado de ETo puede demandar un tiempo considerable si se trata de varias estaciones meteorológicas y se cuenta con una calculadora convencional. En el Anexo B se presenta el programa de cómputo elaborado por Hargreaves acompañado de una descripción para el usuario que debe simplificar grandemente este esfuerzo.

El método tiene la ventaja de permitir el cálculo de ETo con tres alternativas según los datos disponibles (1) con la radiación y la temperatura (2) con las horas de sol, la radiación extraterrestre y la temperatura y, (3) con la humedad relativa, la radiación extraterrestre y la temperatura. En la segunda y tercera alternativas, la radiación solar incidente es en realidad un estimado en base a la radiación solar extraterrestre (constante según la posición de la tierra y el sol, para una latitud determinada) y las horas de sol registradas (alternativa 2) o la humedad relativa (caso 3). En el caso particular de este trabajo, además se incluye dentro de la metodología una ecuación para estimar la humedad relativa en función de la temperatura y la precipitación ya que un buen número de las estaciones tienen solamente información temoplumiométrica.

Los datos que se requieren para cada estación son:

- Promedio mensual de lluvia (mm)
- Promedio mensual de temperatura (°C)
- \*Radiación solar incidente langleys/día promedio mensual.
- \*Horas de sol total mensual.
- \*Humedad relativa promedio mensual.
- \*\*Latitud de la estación
- Longitud de la estación (sólo para ubicación).
- Elevación de la estación (sólo para ubicación).
- N° de años de registro (sólo para referencia).

---

\*/  
El método pide sólo uno de estos tres tipos de datos, horas de sol o humedad relativa sirven en caso de ausencia de registros confiables de radiación solar incidente.

\*\*/  
Salvo que se indique específicamente otra unidad, la latitud y la declinación, expresadas en grados, deben convertirse a radianes para fines de los cálculos en las ecuaciones correspondientes que se presentan más adelante. (1 radián = 57.2958 grados)

#### 4.2.1.5.1 ETo en función de la Radiación Solar Incidente y la Temperatura.

Para el estimado de ETo, la radiación solar (RS) que se expresa en langleys/día, promedio mensual, debe convertirse a evaporación en mm/mes (RSM) (u otro número de días indicado), mediante el número de días del mes (DM) y el calor latente de vaporización del agua (L).

Así, la ecuación de Hargreaves es:

$$ETo = 0.0075 RSM \times TMF = \text{mm/período indicado} \quad (1)$$

donde,

$$*RSM = 10 (DM \times RS) / L \quad (\text{mm/período DM}) \quad (2)$$

$$L = 595.9 - 0.305 \times (TMF - 32) \quad (\text{cal/cm}^3) \quad (3)$$

TMF = promedio diario de temperatura del período deseado en °F.

Generalmente, es difícil encontrar registros de radiación incidente y, cuando existen, pueden provenir de radiómetros mal instalados o mal calibrados. En consecuencia, Hargreaves presenta algunas alternativas para adaptar el término de radiación a los datos disponibles.

---

$$* RSM = 10 \frac{\text{mm}}{\text{cm}} \times \text{días} \times \frac{\text{cal}_2}{\text{cm}} \times \text{día} \times \frac{1}{\frac{\text{cal}}{\text{cm}^3}} = \text{mm}$$

L = 595.9 - 0.55 TMC (para temperatura media en °C).

TMF = 32 + 1.8 TMC (conversión de centígrados a Fahrenheit).

4.2.1.5.2 ETo en función de Porcentaje de horas de sol posibles, Radiación Extraterrestre y Temperatura.

Cuando se cuenta con información local de horas de sol total mensual (HSOL), se puede estimar la radiación solar incidente (RSM) en función del porcentaje de horas de sol posibles (S) y la radiación extraterrestre expresada en mm de evaporación equivalente (R<sub>ET</sub>), de manera que la ecuación (1) se satisface con,

$$RSM = 0.075 R_{ET} \times S^{1/2} \quad (4)$$

El único registro meteorológico adicional local requerido es horas de sol total mensual (HSOL), el resto depende de la ubicación del lugar dada por la latitud y la declinación de la tierra (DEC) según el mes.

El desarrollo de la ecuación (4) es como sigue:

$$S = 100 \times HSOL / (DM \times DL) \quad (5)$$

DL = Duración del día entre el amanecer y la puesta del sol, promedio del mes en horas por día.

Si llamamos:

$$OM = \cos^{-1} (-\tan(\text{latitud}) \times \tan(\text{DEC})) \quad (6)$$

Entonces:

$$\underline{1/} \quad DL = OM / .1309 \quad (7)$$

donde,

DEC = ángulo promedio mensual de declinación de la tierra (Cuadro 18 ), radianes

---

1/ Se puede calcular o hallar en tablas en función del mes y la latitud, Doorenbos y Pruitt, 1975, p. 45.

La radiación extraterrestre RLD en  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$  promedio mensual, en la misma forma que para RSM (fórmula 2) se convierte a mm/mes de evaporación equivalente.

$$\underline{1/} \quad \text{RMM} = 10 (\text{DM} \times \text{RLD}) / \text{L} \quad (8)$$

El término aún desconocido es RLD que depende también de la latitud, la declinación y la distancia media mensual del sol a la tierra en la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \text{RLD} = & 916.732 \int \text{OM} \times \text{Sen} (\text{latitud}) \times \text{Sen} (\text{DEC}) + \\ & + \text{Cos} (\text{latitud}) \times \text{Cos} (\text{DEC}) \times \text{Sen} (\text{OM}) \int / \text{ES} \quad (9) \end{aligned}$$

Donde,

ES = distancia media mensual del sol a la tierra dividida entre la distancia media anual (Cuadro 18 ).

---

1/ Se puede hallar en tablas, Doorenbos y Pruitt, 1975. p.44.

#### 4.2.1.5.3 ETo en función de la Humedad Relativa, Radiación Extraterrestre y Temperatura.

Si no es posible obtener información de radiación solar incidente ni horas de sol, Hargreaves presenta una alternativa adicional para aproximar el componente de radiación de la ecuación (1), por medio de los registros de humedad relativa.

$$ETo = 4.0132 \times 10^{-4} \quad (RMM \times DL \times CLA \times CH \times TMF) \quad (10)$$

donde los componentes desconocidos son:

$$CH = 0.166 \quad (100 - HM)^{1/2} \quad (11)$$

HM= promedio diario mensual de humedad relativa en porcentaje

$$CLA = 0.17 \quad (70 - \text{latitud})^{1/2} \quad (12)$$

latitud en grados y décimas de grado.

NOTA: Si el resultado de calcular CH ó CLA es mayor que la unidad, se pone CH= 1 o CLA= 1, según el caso.

#### Estimado de la Humedad Relativa

En el programa de cómputo del Anexo B se incluye la siguiente ecuación para determinar la humedad relativa en función de la temperatura media diaria mensual (TMC) y el promedio mensual de lluvia (PREC); esta ecuación se determinó para las condiciones de la República Dominicana y sólo es usada cuando la Estación es termopluviométrica (30 Estaciones distribuidas en el territorio, 360 observaciones,  $r = .65$ ). En casos como este podría hacerse lo mismo para cada país. El estimado de ETo es afectado por el factor CH de la ecuación(10) el que es mas sensible a la humedad relativa cuando ésta aumenta de 64 %.

$$HM = 82.24 - 0.5078(TMC) + 0.0669(PREC) \quad (13)$$

#### 4.2.1.5.4 Ejemplo de Aplicación.

Se trata de hallar ETo para el mes de Enero en la estación de Santiago Rodríguez, que tiene las siguientes condiciones:

Latitud, 19°28' (19.47) Longitud 71°20'  
Temp. media de Enero, 25.1°C (77.18°F) N° de días, 31  
Radiación incidente media de Enero, 350 Langleys/día.  
Horas de sol total promedio del mes de Enero, 244.9  
Humedad relativa media del mes de Enero, 71%.  
Del cuadro 18 DEC= - .3656 ES=.97104

a. Utilizando la Radiación Incidente Ecuación

$$L = 595.9 - 0.55 \times 25.1 = 582.1 \text{ cal/cm}^3 \quad (3)$$

$$RSM = 10 \times 31 \times 350 / 582.1 = 186.4 \text{ mm/mes} \quad (2)$$

$$ETo = 0.0075 \times 186.4 \times 77.18 = 107.9 \text{ mm/mes} \quad (1)$$

b. Utilizando las horas de sol total mensual

$$OM = \cos^{-1} (- (0.35 \times -0.38)) = 1.44 \quad (6)$$

$$DL = 1.44 / 0.1309 = 11.0 \quad (7)$$

$$S = 100 \times 244.9 / (31 \times 11.0) = 71.8 \% \quad (5)$$

$$RLD = 916.732 \sqrt{(1.44 \times 0.33 \times -0.36) + (0.94 \times 0.93 \times 0.99)} / 0.971 = 662.22 \text{ Langley/día} \quad (9)$$

$$RMM = 10 \times 31 \times 662.22 / 582.1 = 352.7 \text{ mm/mes} \quad (8)$$

$$RSM = 0.075 \times 352.7 \times 71.8^{1/2} = 224.14 \text{ mm/mes} \quad (4)$$

$$ETo = 0.0075 \times 224.14 \times 77.18 = 129.74 \text{ mm/mes} \quad (1)$$

c. Utilizando la Humedad Relativa Ecuación

$$CIA = 0.17 (70 - 19.47)^{1/2} = 1.21 \quad (12)$$

$$CIA = 1$$

$$CH = 0.166 (100 - 71)^{1/2} = 0.894 \quad (11)$$

$$ETo = 4.0132 \times 10^{-4} (352.7 \times 11 \times 1 \times 0.894 \times 77.18) = (10) \\ = 107.42 \text{ mm/mes}$$

4.2.1.5.5. El déficit de agua y el índice de humedad disponible (MAI)

El déficit de agua (o el exceso de agua) es la diferencia entre la evapotranspiración potencial calculada en función de las variables del clima consideradas (ETo) y la lluvia total esperada para el período en que se estimó ETo. La lluvia esperada es aquella magnitud mínima que puede precipitar en el lugar con un 75 por ciento de probabilidades. Esta cantidad se obtendría como resultado de un análisis de frecuencias de ocurrencia de las magnitudes totales observadas históricamente.

A falta de análisis mencionado se utiliza una ecuación para estimar ese valor en función del promedio de los totales observados de lluvia durante el período (PREC).

Para este caso se utilizó la ecuación aportada por Hargreaves,

$$PD = -10 + 0.7 (PREC) \quad (14)$$

Donde,

PD = precipitación confiable, mm

PREC = promedio de totales de lluvia observados

durante el período (de cada mes en este caso, mm).

El índice de humedad disponible (MAI) es el cociente de dividir la precipitación confiable entre la evapotranspiración potencial  $E_{to}$ ,

$$MAI = PD/E_{to}.$$

En general, el MAI indica el grado en que la precipitación es adecuada para satisfacer los requerimientos de agua en un determinado período y da una medida del éxito que se puede obtener con la agricultura bajo condiciones de secano o la medida de los beneficios que se podrían esperar con el riego suplementario de los cultivos.

Ejemplo.

Para el caso del ejemplo de aplicación anterior, la Estación de Santiago Rodríguez en el mes de Enero la precipitación confiable es,

$$PD = -10 + 0.7 (48) = 23.6$$

Ecuación  
(14)

El déficit y el MAI se calculan según la existencia y confiabilidad de los datos, con la evapotranspiración potencial estimada con la radiación solar ( $ET_{POT RS}$ ) o en su ausencia, con aquella estimada con la humedad relativa ( $ET_{POT H}$ ).

La evapotranspiración estimada con horas de sol ( $ET_{POT S}$ ) difiere mucho de las otras dos (en el caso de los datos que se presentan en este documento). En consecuencia,  $ET_{POT S}$  no se utiliza para los estimados del déficit de agua y del MAI.

Para Santiago Rodríguez, mes de Enero,

$$\text{Déficit} = 107.9 - 23.6 = 84.3 \text{ mm}$$

$$MAI = 23.6/107.9 = 0.22$$

Se notan diferencias entre los resultados del ejemplo y aquellos calculados por la computadora, (Pag. A-21) debido a que ésta trabaja con mayor número de cifras significativas en todos los cálculos y en consecuencia, el error que se lleva a la cifra final es menor.

#### 4.2.2 Estimado de la Evapotranspiración Potencial del Cultivo (ETA).

Los valores de ETA representan la cantidad de agua que teóricamente debíamos abastecer a la planta en un período determinado.

Para que las condiciones de producción sean óptimas el consumo real y los valores de ETA deben ser sensiblemente iguales.

Es posible sin embargo, que durante ciertas etapas del cultivo sea deseable producir diferencias que reduzcan la cantidad de agua necesaria (ET real, menor que ETA) al mismo tiempo que se favorecen ciertos procesos fisiológicos de importancia para la producción (stress cropping). Esto se está investigando en otros países donde también es muy crítica la situación de escasez de agua, y por lo tanto, la economía del agua es esencial.

Por otro lado, como vimos en la Sección 3, para disminuir la diferencia entre el consumo real de las plantas y ETA es preciso que el agua esté disponible en el suelo en una situación de energía tal que pueda ser absorbida por las raíces sin dificultad. Esto es, que la tasa de consumo de agua de la planta no sea restringida por la fuerza con que el agua es retenida por el suelo. Esta es una condición variable principalmente según el tipo de planta, el tipo de suelo y las condiciones de demanda atmosférica.

##### 4.2.2.1 Ejemplo, estimado de ETA para el ciclo vegetativo del cultivo.

En el Cuadro 9 presentamos el rango aproximado de la evapotranspiración potencial de algunos cultivos y su relación en porcentaje con aquella de un cultivo de pasto tal como el usado para determinar la demanda climática ETo.

En el Cuadro 10 se presentan ejemplos de resultados del estimado de la demanda de agua climática en algunos lugares. El método utilizado es el de Hargreaves. Por diferencia entre la evapotranspiración potencial ( $ET\ POT = ETo$ ) y la precipitación confiable ( $PREC\ CONF$ ) se obtiene el déficit de agua, mensual en este caso, y la relación  $(PREC\ CONF)/(ET\ POT)$  es igual al MAI que se le llama índice de humedad disponible. Si el MAI es menor de 0.3, el riego para la agricultura es indispensable, el beneficio del riego disminuye con el incremento del MAI desde 0.3 a 0.7, la disponibilidad de agua de lluvia es adecuada cuando el MAI varía entre 0.7 a 1.0.

El Cuadro 11 da información para establecer los coeficientes de algunos cultivos según las etapas de crecimiento de los mismos. El Cuadro 12 da los coeficientes  $Kc$  promedio a utilizar en el planeamiento de sistemas de riego. La Figura 13 y el Cuadro 14 dan información para estimar los coeficientes con un mayor grado de precisión con el fin de utilizarla en la programación de los riegos.

Para usar la información de la Figura 13 y el Cuadro 14 es necesario conocer cuántos días de duración puede tener el cultivo en cada etapa de cuatro etapas de crecimiento.

- (1) Período inicial, germinación hasta crecimiento de las plantas cuando éstas empiezan a cubrir el suelo.
- (2) Período de desarrollo, desde el fin del período anterior hasta que la cobertura sea de un 70 a 80 por ciento (sin haber llegado al máximo de crecimiento de la planta).
- (3) Período de medio ciclo, desde el fin del período anterior hasta el comienzo de la madurez indicada por la pérdida de las hojas (frijol o habichuelas) caída de hojas (algodón). Para algunos cultivos este período puede llegar hasta casi la cosecha, a menos que una práctica sea el corte de riego cerca de la maduración para inducir un incremento de rendimientos y/o calidad del producto (caña de azúcar, algodón, algunos granos).
- (4) Último período del ciclo, desde el fin del período anterior hasta la completa madurez o cosecha.

El Cuadro 13 da esta información para algunos de los cultivos más importantes. Para las condiciones del país en que puede ser distinto el ciclo vegetativo habría que hallar los períodos en base a los porcentajes de cada período sobre el total del Cuadro 13.

Problema:

Se desea estimar los requerimientos de agua en Baní, para un cultivo de maíz de 100 días de ciclo vegetativo a sembrar el primero de abril. Las condiciones de suelo son las mismas que el problema precedente (períodos, 20/27/33/20, días, Cuadro 13).

Solución:

(1) Coeficiente  $K_c$ , del primer período. Suponemos que para el primer período nos interesa una profundidad de riego de 30 cm. Nos interesa regar cuando la humedad está a una tensión máxima de 0.5 bares (o atmósferas, aproximadamente). Para el suelo franco - arenoso hemos visto que esto equivale a una disminución de la humedad disponible de 40 por ciento (Figura 7).

Entonces, para este primer período, la lámina de agua de reemplazo en cada riego es de:

$$0.052 \text{ cm/cm} \times 30 \text{ cm} = 1.56 \text{ cm de agua}$$

$$\text{En el mes de abril en Baní, } E_{To} = 169 \text{ mm (Cuadro 10) } \delta$$

$$169/30 = 5.6 \text{ mm/día.}$$

En consecuencia, para el primer período, la frecuencia de riego aproximada debería ser,

$$15.6 \text{ mm de lámina} \times \frac{1}{5.6 \text{ mm}} \frac{\text{día}}{\text{consumo}} = 3 \text{ días}$$

Con la información hallada entramos a la Figura 13 para encontrar  $K_c$  período (1) = 0.72.

- (2) Hallamos los coeficientes para los siguientes períodos, del Cuadro 14 y mediante el siguiente procedimiento obtenemos,

$$\begin{aligned} Kc \text{ período (3)} &= 1.15 \\ Kc \text{ cosecha} &= 0.60 \\ Kc \text{ período (2)} &= (0.72 + 1.15)/2 = 0.94 \\ Kc \text{ período (4)} &= (1.15 + 0.60)/2 = 0.88 \end{aligned}$$

- (3) De acuerdo a las etapas de cultivo para maíz indicadas en el Cuadro 13, los valores de  $ETo$  para Banf (Cuadro 10) y los coeficientes  $Kc$  recién hallados, estimamos la evapotranspiración del cultivo según el procedimiento que se presenta en el Cuadro 16.

De acuerdo a este procedimiento la evapotranspiración potencial del cultivo para las condiciones del problema es 503.38 mm ( $5034 \text{ m}^3/\text{Ha}$ ).

#### 5.0 PROGRAMACION DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN LA FINCA.

##### 5.1 Ejemplo, como debería ser el abastecimiento de agua para el cultivo del maíz según los ejemplos anteriores.

La dotación de agua por unidad de área que se requiere para satisfacer los requerimientos indicados, además de  $ETA$ , depende de (1) la lluvia efectiva, (2) las necesidades de agua adicional según la calidad de ésta o de los suelos, en términos de su contenido de sales solubles, (3) el método de aplicación de agua. Otros aspectos a considerar son la posibilidad de tener un nivel freático alto que esté contribuyendo con agua hacia la superficie, por ascenso capilar. Generalmente, en zonas áridas, éste puede ser un origen de la salinización de los suelos, por lo que, habrá que proveer un adecuado sistema de drenaje de subsuelo que baje el nivel freático fuera del área de mayor influencia del sistema radicular.

Igualmente, en zonas semi-áridas o donde el riego es suplementario, será necesario proveer un sistema de evacuación del escurrimiento para las épocas en que las lluvias son excesivas.

Si lo que se desea es planificar la dotación de agua para el campo, la lluvia efectiva a descontar (o la cantidad de agua que queda en el terreno después de la lluvia, descontando pérdidas), se puede estimar en función de las probabilidades de lluvia en el período y las características de los suelos que reflejan la capacidad de almacenamiento de agua que estos tienen (ver por ejemplo, Doorenbos, et. al. 1975. p. 115). Por otro lado, si lo que se desea es la programación de los riegos durante el desarrollo del cultivo, ésta se deberá realizar mediante el control de la humedad del suelo y los registros de lluvia precedentes. Para suelos moderadamente profundos y de buena capacidad de almacenamiento el valor de la precipitación confiable derivada de la precipitación media mensual que aparecen en los resultados del Cuadro 10, puede considerarse como una medida de la precipitación efectiva.

Una forma de determinar los requerimientos de lavado debido a la calidad del agua de riego (Hargreaves, 1977 p. 11) mediante la relación entre la conductividad eléctrica del agua de riego ( $CE_{ar}$ ) y la conductividad máxima permisible de la solución suelo ( $CE_{ss}$ )<sup>1/</sup> en la parte inferior del alcance de las raíces (o del agua de drenaje), lo cual depende también de la tolerancia de los cultivos. En el cálculo de la dotación de agua será necesario incluir el factor que resulte de esta relación.

---

<sup>1/</sup> La conductividad de la solución suelo es aproximadamente tres veces mayor que aquella del extracto de saturación del suelo.

En zonas donde el riego es suplementario existen pocas probabilidades de que sea necesario aplicar un requerimiento de lavado. Cuando el origen de la salinidad es el suelo, o nivel freático alto, generalmente la solución es específica para las condiciones particulares del lugar y se define mediante una investigación sobre el proceso de lavado y drenaje del suelo para su recuperación.

La dotación de agua necesaria para el riego es significativamente variable en función de la metodología de riego que se adopte. La dotación de agua necesaria es mayor a medida que la metodología de riego que se utiliza es menos eficiente en términos de la cantidad de agua que realmente se puede poner a disposición de las raíces. En general, los sistemas de riego deben diseñarse para eficiencias<sup>1/</sup> entre 60 y 80 por ciento cuando el riego es por escurrimiento superficial y para eficiencias del 80 por ciento cuando se trata de riego por aspersión o goteo. El diseño con menores eficiencias permite el desperdicio del agua y los problemas derivados de ello.

Así el método de riego define la eficiencia de aplicación y por tanto, los requerimientos adicionales de agua en la parcela para conseguir el humedecimiento uniforme y compensar las pérdidas por percolación profunda que se producen durante la aplicación en algunas zonas del terreno mientras que en otras la penetración del agua es insuficiente. En la selección del método de riego inciden las siguientes consideraciones (1) la capacidad de retención de agua de suelo y la velocidad de infiltración que definen el tiempo de riego necesario, (2) la topografía del terreno, (3) el costo de instalación y mantenimiento, (4) la dependencia de materiales importados o la facilidad para conseguirlos o fabricarlos en el medio y, (5) el nivel técnico del usuario, sus costumbres y tradición agrícola.

---

1/ Se refiere a la cantidad de agua que queda almacenada en el suelo al alcance de las raíces en relación al total aplicado en el campo.

Conocido el requerimiento de agua de un terreno y la frecuencia de aplicación necesaria, una fuente de abastecimiento de agua -un canal por ejemplo- para varios terrenos de una parcela debe tener la capacidad suficiente para satisfacer los requerimientos de los cultivos en existencia en los diferentes terrenos de manera tal que un mismo terreno pueda recibir el agua en cantidad y frecuencia correctas después de un ciclo en que todos los terrenos de cultivo han satisfecho sus requerimientos.

Este mismo criterio deber regir para el abastecimiento de agua que sirve a varias parcelas simultáneamente y así para sectores de riego de mayor orden en lo que define el diseño de un sistema de riego. En todo el sistema de distribución del agua se producen pérdidas que deben compensarse en el diseño de manera que llegue al terreno la cantidad que se necesita.

#### 5.1.1 Problema.

Suponiendo que en Baní se puede contar como lluvia efectiva la precipitación confiable que aparece en el Cuadro 10, que no hay problema de sales y que se utilizará un sistema de riego por surcos mediante sifones con lo que se espera conseguir una eficiencia del 60 por ciento. El suelo es franco - arenoso profundo como el de los problemas anteriores. Cuál debiera ser la dotación de agua para el cultivo de maíz en un terreno de una hectárea y como deberían programarse los riegos.

#### Solución.

Hemos visto (sección 3) que la lámina de agua de reemplazo en el tipo de suelo indicado para el cultivo del maíz es de 0.052 cm de agua por cm de espesor de suelo.

Suponemos que la profundidad efectiva de las raíces es de 60 cm (Cuadro 7) pero que durante el primer mes sólo nos interesan 30 cm. Entonces, la lámina de agua de reemplazo es de  $30 \times 0.052 = 1.56$  cm para cada riego durante el primer mes, y es de  $60 \times 0.052 = 3.12$  cm para cada riego durante el resto del ciclo vegetativo del cultivo.

En el Cuadro 17 se indican para el ejemplo de Baní--Cuadro 16--, los resultados de deducir la precipitación efectiva en la determinación de los verdaderos requerimientos de agua que tendría el cultivo si se toman en cuenta las lluvias.

En este ejemplo, los requerimientos totales del cultivo son  $4940\text{m}^3/\text{Ha}$ . Si no se considera la precipitación efectiva, los requerimientos totales serían del orden de los  $7500\text{m}^3/\text{Ha}$  (columnas 1+8 del Cuadro 17). Los verdaderos requerimientos según las condiciones deben estar entre las dos cifras mencionadas.

Estas cifras se podrían usar sólo con fines de planificación--para tomar previsiones de operación al corto o mediano plazo de un distrito o zona de riego, o para un proyecto de irrigación--ya que, además de que la precipitación efectiva "real" puede ser menor, las cantidades de lluvia esperadas son solamente probables.

Si lo que se desea es la programación de los riegos durante el desarrollo del cultivo y su aplicación durante el ciclo de crecimiento y producción, las cifras de ETA parcial en el Cuadro 16, expresadas en mm/día y acumuladas día a día en un calendario, podrían utilizarse como indicativas de las necesidades futuras en los períodos inmediatos a la aplicación de los riegos, pero, la oportunidad de cada riego debería ser el resultado de un control de campo de la humedad del suelo y de los aportes de agua por riego y lluvias registradas. Para conocer la lámina de riego a aplicar se utilizan los principios ya descritos anteriormente relativos a la determinación de la "lámina de agua de reemplazo".

El problema de establecer la oportunidad en que, en realidad, se presenta la demanda por esa "lámina de reemplazo" después de cada riego, es dependiente de conocer las condiciones reales—y no estimadas— de almacenamiento de agua en el suelo y de la tasa de evapotranspiración real; de allí la necesidad del control de campo. La experiencia de aplicar sobre un mismo campo en forma iterativa este proceso de programación de riegos teórico—uso de ETA diario, y cifras estimadas de lámina de reemplazo en base a estudios del suelo—, y de control de campo de la humedad del suelo, proveerá los elementos para ir perfeccionando los estimados de manera que el control de campo se reduzca al mínimo.

## 5.2 Estimado de los requerimientos de agua para una combinación de cultivos en una unidad agropecuaria.

En una unidad agropecuaria pueden haber diversos cultivos con diferentes épocas de siembra, requerimientos de agua y longitud del ciclo vegetativo. En consecuencia, en un momento determinado los requerimientos de agua de la unidad que deben ser satisfechos por la dotación de agua son el resultado de una combinación particular de las condiciones indicadas. Generalmente, la capacidad de los sistemas se diseña para los períodos críticos de mayor intensidad de uso de la tierra en que la demanda global de agua no satisfecha por las lluvias es más alta.

Siguiendo el mismo procedimiento que aquel utilizado para el maíz, con información sobre épocas de siembra y cosecha en la República Dominicana (Free, J. et.al. 1975, p.25) se ha elaborado como un ejemplo el gráfico de la Figura 14. Se trata de una célula de 5 Ha hipotética pero con una combinación de cultivos razonables para las condiciones de Baní. La célula contiene ají, cebolla y yautía 0.5 Ha cada cultivo, tomate y maíz, una hectárea cada uno, y plátano 1.5 Ha.

### 5.2.1. Interpretación de los requerimientos de la célula.

En el gráfico, el ciclo vegetativo del cultivo está indicado con una línea horizontal con marcas para indicar el período en que es efectivo cada coeficiente de consumo  $K_c$ , determinado según el ejemplo de la sección 4.2.2.1. Los valores de  $K_c$  aparecen en la parte superior de la línea. Los valores que aparecen en la parte inferior de la línea son los requerimientos mensuales en mm calculados de la siguiente manera, por ejemplo, mes de abril, cultivo de tomate.

ETA, los primeros 20 días,

$$= 5.63 \frac{\text{mm}}{\text{día}} \times 20 \text{ días} \times 0.25 = 28.15 \text{ mm}$$

ETA, 10 días que faltan,

$$= 5.63 \frac{\text{mm}}{\text{día}} \times 10 \text{ días} \times 0.73 = 41.10 \text{ mm}$$

ETA, total mes de abril en tomate = 69.25 mm

ETA- precipitación confiable (24 mm) = 45.25 mm

El requerimiento de agua neto para el mes ( $I_n$ ) se calcula de la siguiente manera, ejemplo, mes de abril,

Tomate	45.3	x	1 ha	=	45.3 mm
Maíz	109.9	x	1 ha	=	109.9 mm
Plátano	153.4	x	1.5 ha	=	230.1 mm
Yautía	48.6	x	0.5 ha	=	<u>24.3 mm</u>
					409.6 mm/4 ha

$I_n$ , promedio sobre las 5Ha,  $409.6/5 = 81.9 \text{ mm}$ .

If, suponiendo que la eficiencia de aplicación de agua es de 0.6, los requerimientos de riego para el mes serían  $81.9/0.6 = 136.5$  mm en promedio para las 5 Ha.

Ut, intensidad de uso de la tierra en el mes  $4/5 = 0.8$  ó 80 por ciento. Para todo el año la intensidad de uso de la tierra es 0.65, o sea  $0.65 \times 5 = 3.25$  Ha/mes.

Los requerimientos de agua se dan ponderados para el área total de manera de poder conocer las necesidades relativas mensuales. Los requerimientos para el mes con la intensidad de uso dada son, por ejemplo, mes de mayo,

$$36.5/0.8 = 45.6 \text{ mm}$$

que deben entregarse en diferentes proporciones entre las tierras con cultivo de este mes.

#### 5.2.2 Requerimientos anuales.

Los requerimientos totales anuales ponderados para las 5 Ha son 565.9 mm. Si la eficiencia de aplicación es 0.6 y las eficiencias de conducción y distribución son 0.7 y 0.8, respectivamente (con lo que la eficiencia total del sistema de irrigación es  $0.6 \times 0.7 \times 0.8 = 0.336$ ), entonces los requerimientos totales para esta célula en un año son del orden de,

$$\frac{565.9}{0.336} \times 10 \times 5\text{Ha} = 84,211 \text{ m}^3$$

#### 5.2.3 Requerimientos máximos durante el año.

El diseño del sistema de abastecimiento de agua para la unidad agropecuaria debe basarse en el período de máximos requerimientos de manera que se puedan satisfacer las demandas durante todo el año.

El mes de mayor demanda es Julio con 83.7 mm (2.7 mm/día), ponderado para las cinco hectáreas, entonces son,

$$2.7 \frac{\text{mm}}{\text{día}} \times 1.15 \times \frac{1}{0.336} \times 10 \times 5\text{Ha} \times 2 = 924.1 \text{ m}^3/\text{día}$$

En este cálculo se incluye un factor de corrección de 1.15 para hallar la demanda máxima diaria en función de la demanda máxima mensual y la capacidad de almacenamiento del suelo, 0.336 son las eficiencias, 10 es para convertir de mm a  $m^3/Ha$  y 2 es el factor de flexibilidad debido a que se trata de un área menor de 50 Ha (para mayor explicación al respecto, ver Doorenbos, et.al. 1975 pp111-160).

Si se cambia la intensidad de uso de esta célula en los diferentes meses, así como, si se introducen cultivos que requieren inundación como el arroz, los requerimientos en los períodos críticos podrían ser diferentes. Igualmente, el arroz al momento de la inundación tiene la necesidad de una mayor cantidad de agua que aquella determinada como la demanda máxima en base al requerimiento del mes crítico. Además, si el sistema de irrigación se planea para riego continuo o en rotación, son diferentes las capacidades de los canales o estructuras de abastecimiento. Nuevamente, enviamos al lector a la referencia indicada para analizar en mayor detalle las consideraciones mencionadas y mayor información para el diseño de un sistema de riego.

#### 5.2.4 Apreciación geográfica de los requerimientos de agua para la Agricultura.

Los resultados de este trabajo proveen información para un doble propósito (1) la apreciación geográfica de las condiciones de cada región o zona del país en que los requerimientos de agua para la Agricultura durante el año, pueden o no ser satisfechos por la precipitación esperada y, en consecuencia, la medida en que la agricultura de secano puede tener éxito para diferentes cultivos y niveles de tecnología (o el grado de necesidad del riego), y (2) la determinación de los requerimientos de agua para definir el diseño y la programación del riego en parcelas y para cultivos específicos a fin de mejorar la eficiencia del uso del agua para una producción óptima así como, para mejorar la base de información agroclimática necesaria para el diseño de sistemas de irrigación, tal como se ha discutido en las secciones precedentes.

Con suficiente información de estaciones meteorológicas convenientemente distribuidas en el territorio es posible elaborar un mapa clasificando la región por zonas, en términos del índice de humedad disponible obtenido para cada mes (MAI), que indique la condición promedio anual de cada zona del país en que el abastecimiento de agua por las lluvias en forma directa puede satisfacer los requerimientos potenciales de agua para las plantas.

Siempre utilizando el criterio de Hargreaves, con una ligera variación también sugerida por él sobre una mayor desagregación en la categoría semi-árido la clasificación se basa en el número de meses en el año que en, forma consecutiva, el MAI está en una de las cuatro condiciones siguientes: (1) si MAI es menor que .33, el riego es indispensable, (2) si MAI aumenta de .33 a .7, en el mismo sentido el riego suplementario disminuye en su efectividad, (3) entre .7 y 1, el nivel de humedad es algo deficiente, (4) cuando el MAI es mayor que la unidad es adecuado hasta 1.33 y excesivo cuando es mayor que esa cantidad (ver Cuadro 19). El mapa es el resultado de graficar información como aquella del Cuadro 10, trazando los límites de cada categoría en forma similar a un mapa de isoyetas, incluyendo una cierta interpretación orográfica. Al interpretar la información del mapa, es preciso considerar que ésta, más que reflejar un balance entre demanda y disponibilidad, refleja una frecuencia promedio en el año de meses consecutivos en que la relación lluvias confiables/demanda, MAI, es o no adecuada. En consecuencia, puede suceder que hayan zonas del país en que las cantidades totales de lluvia en un determinado mes o en todo el año sean drásticamente distintas implicando una mayor o menor condición de humedad o aridez de una zona con respecto a otra; sin embargo, en términos de la frecuencia de meses -u otro período relativamente corto de análisis-, las zonas pueden ser similares. Se enfatiza aquí la importancia de la frecuencia de períodos consecutivos en que el balance es adecuado principalmente para la producción de cultivos de ciclo corto o plantas que son sensibles a períodos críticos de disponibilidad de agua.

Indudablemente, una cobertura vegetal de tipo permanente con raíces profundas, establecidas sobre terrenos permeables retentivos y profundos, puede satisfacer su demanda de agua con el efecto acumulativo de las lluvias de manera que su sensibilidad a la frecuencia indicada es inferior a la de plantas de ciclo corto; inversamente, cuando se trata de terrenos relativamente impermeables -o poco retentivos-, la información del mapa puede ser insuficiente y se haría necesario un período de análisis inferior a un mes, esencialmente con la misma metodología.

Con los criterios indicados se podrían explicar, analizando los Cuadros respectivos (tal como el Cuadro 10), las diferencias que se encuentren de clasificar las regiones según las categorías que se presentan en el Cuadro 19 con aquéllas expresadas por otros mapas climáticos en que la nomenclatura utilizada puede dar una idea no concordante con la concepción tradicional del clima.

## 6. REFERENCIAS

- BAVER, L.D., W. H. Gardner and W. R. Gardner. 1972. Soil Physics. Fourth ed. John Wiley & Sons, Inc. New York, U. S. A.
- DONEEN, L.D. 1971. Irrigation Practice and Water Management. Irrigation and Drainage Paper, No. 1. FAO, Rome.
- DOORENBOS, J. and W. O. Pruitt. 1975. Guidelines for Predicting. Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper, No. 24. FAO, Rome.
- FREE, J., C. Kresge and T. H. Foster. 1975. Dominican Republic Fertilizer Situation. Tennessee Valley Authority Muscle Shoals, Alabama 35660) in coop. with USAID, Special report. U.S.A.
- HARGREAVES, G.H. 1977. Manual de Requerimiento de Agua para cultivos bajo Riego y para Agricultura de Secano. Utah State University. Logan, Utah, U.S.A.
- HEXEM, R. W. and E. W. Heady. 1978. Water Production Functions for Irrigated Agriculture. The Iowa State University Press. Ames, Iowa, U. S. A.
- HOLMES, J.W., S. A. Taylor and S. J. Richards. 1967. Measurement of Soil Water. ASA, Monograph No. 11. pp.275-303. Madison, Wis., U. S. A.
- HOWARD, R.H. and R. S. Hagan. 1967. Soil Plant and Evaporative Measurements as Criteria for Scheduling Irrigation. ASA, Monograph No. 11. pp.577-604. Madison, Wis., U. S. A.
- PAULET, M. 1976. Apreciación del Significado del Riego Suplementario para la Producción Agrícola en la Sierra del Perú. Universidad Nacional Agraria, Dirección General de Aguas USAID/Perú. Lima, Perú.
- REYNA, E. Y M. Paulet. 1979. Demanda de Agua para las Plantas según el Clima en la República Dominicana. Estudio del Departamento de Recursos de Tierra y Agua de la SURENA, SEA y el IICA/ República Dominicana. Santo Domingo, R. D.
- STANHILL, G. and Y. Vaadia. 1967. Factors Affecting Plant Responses to Soil & Water. ASA, Monograph No. 11. pp.446-471. Madison, Wis., U. S. A.



**ANEXOS DEL DOCUMENTO**

**A/D - 26/79**

**ANEXO A**

**Cuadros y Figuras**

**ANEXO B**

**Manual del usuario del programa de  
Hargreaves para estimar la demanda  
climática de agua para la agricul-  
tura.**



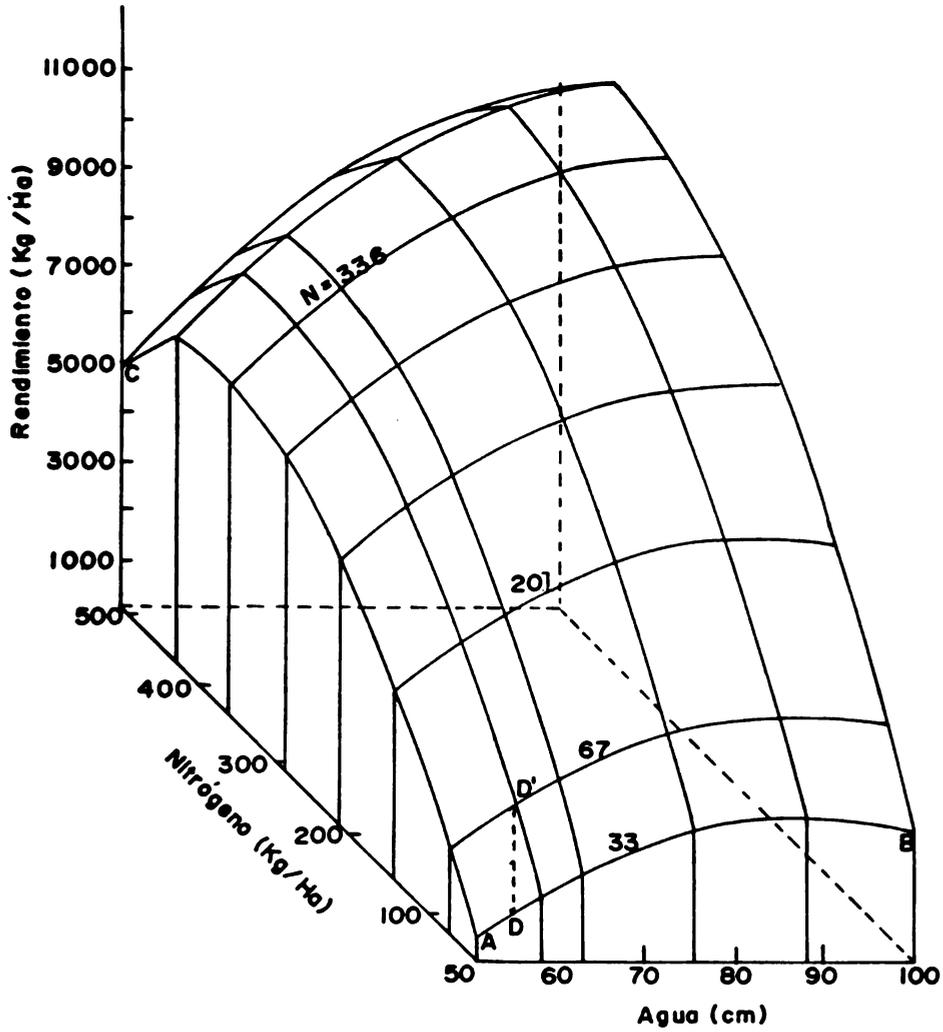


Fig. 1 Superficie de producción para maíz en grano estimado en función de varios niveles de humedad y nitrógeno. (Colby, Kansas, 1971)

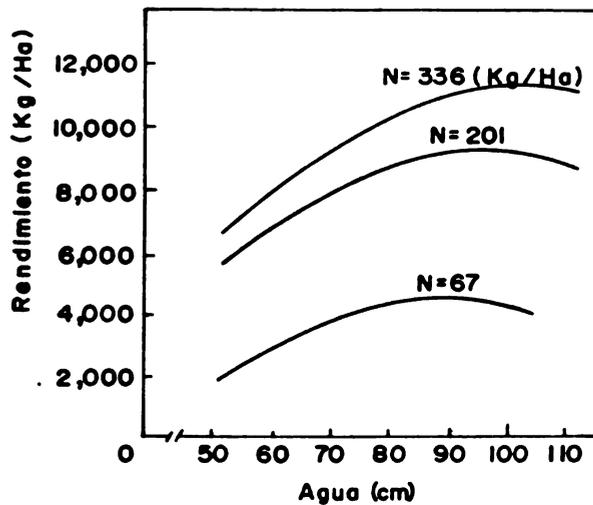


Fig. 2 Curvas de respuesta del rendimiento de maíz al agua en función de determinados niveles de nitrógeno (Colby, Kansas, 1971)

Siembra	Probabilidad de que ocurra un PC igual o mayor que aquel que se elija																				
1 <sup>a</sup> Septiembre	75	68	57	47	38	30	24	18	13	10	7	5	4	3	2	Mantaro					
1 <sup>a</sup> Octubre	97	95	92	87	80	75	65	58	50	44	35	30	25	20	15	10	8				
1 <sup>a</sup> Noviembre	98	97	95	92	89	85	80	79	70	65	59	52	46	40	34	28	19				
1 <sup>a</sup> Diciembre	92	89	85	80	75	70	61	58	51	47	42	37	33	28	25	22	19	Cajamarca			
1 <sup>a</sup> Enero	87	83	79	79	70	65	60	56	51	47	42	38	34	30	26	22	19				

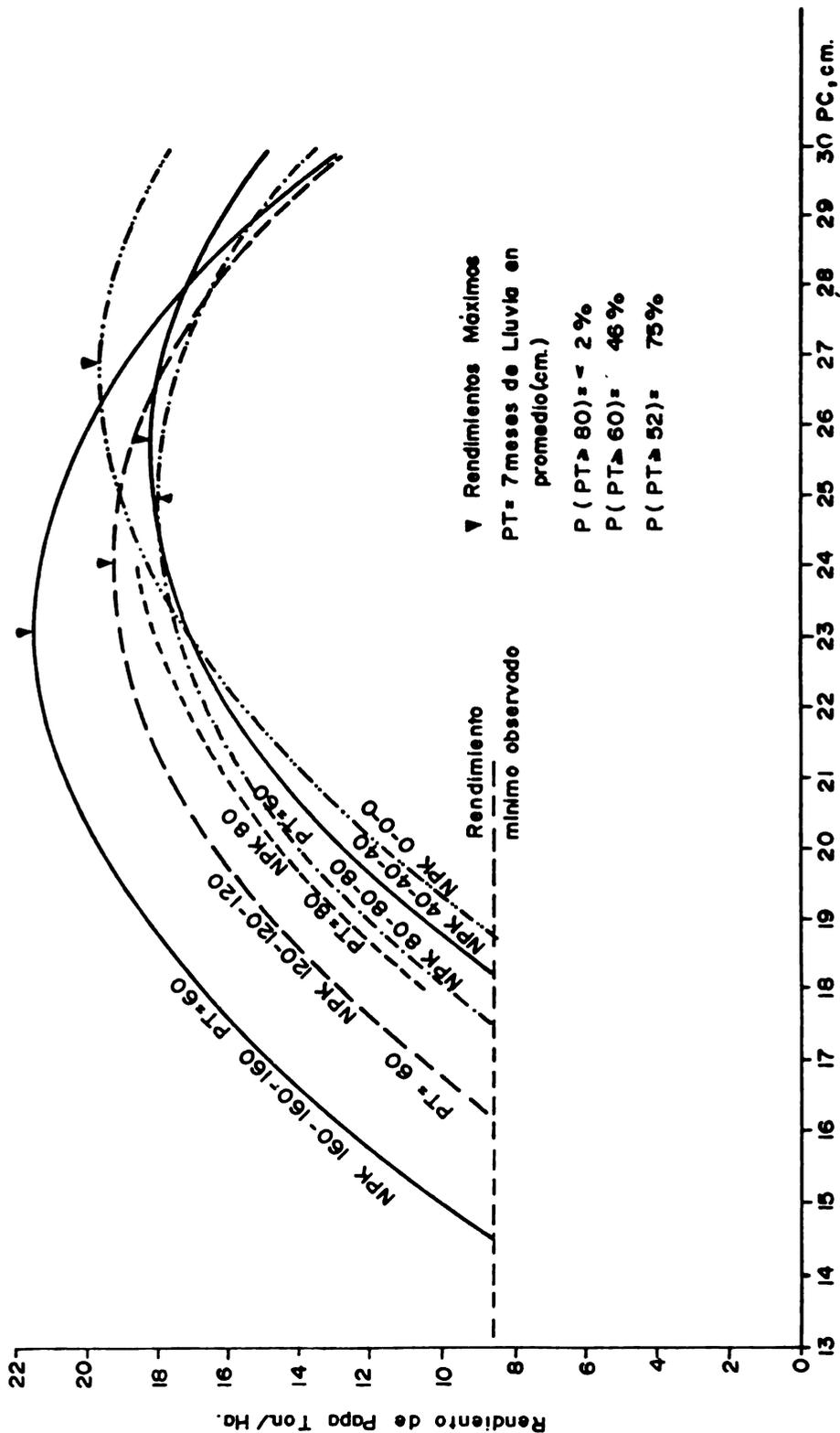


FIGURA 3 EFECTO DEL USO DE FERTILIZANTES Y CANTIDAD DE LLUVIA EN LOS RENDIMIENTOS DE PAPA EN EL MANTARO (Pauler, 1976)

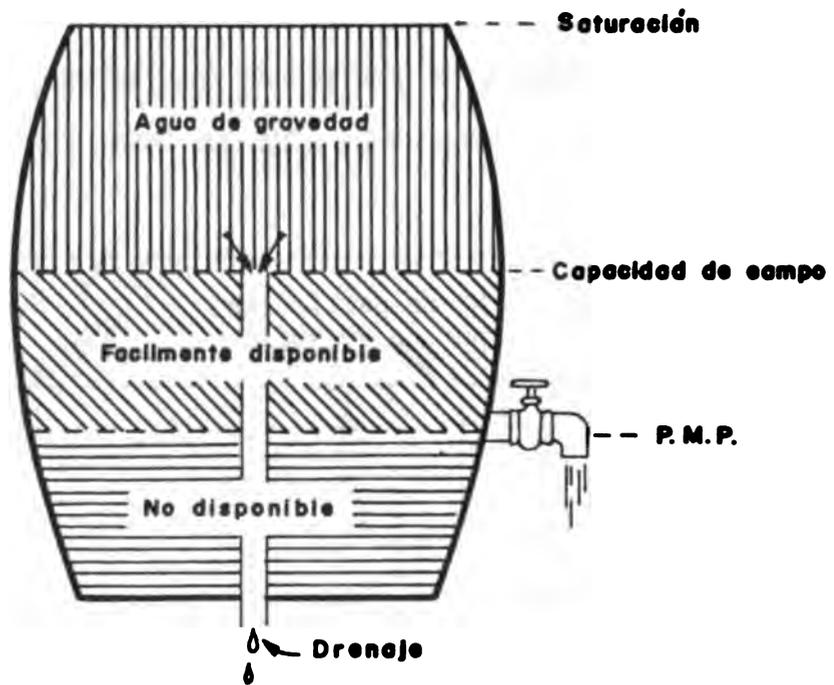
Cuadro N°1

RELACION ENTRE EL DIAMETRO DE PARTICULAS, LA TEXTURA, LA SUPERFICIE EXPUESTA DEL SUELO Y EL VOLUMEN DE AGUA QUE PUEDE CONTENER. (Doneen FAO. 1971. 1DP. 1)

Díametro de partículas mm	N° de partículas por cc de suelo	Superficie expuesta en cm <sup>2</sup>
10	1	3.14
5	8	6.28
0.625 (arena fina)	4.096	50.23
0.010 (limo fino)	1 x 10 <sup>9</sup>	3141.60

Textura	Superficie expuesta/ m <sup>3</sup> de suelo	Retención de agua a capacidad de campo por m <sup>3</sup> de suelo.
Franco limoso	70,000 m <sup>2</sup>	
Franco		270 litros
Arenoso		135 litros
Arcilloso		400 litros

\* Una planta de maíz en este suelo con 1.20 m. de profundidad de raíces tiene aproximadamente 7 Ha de superficie expuesta de las cuales puede extraer agua y nutrientes para su crecimiento.



El barril representa las características de humedad de un suelo arcilloso.

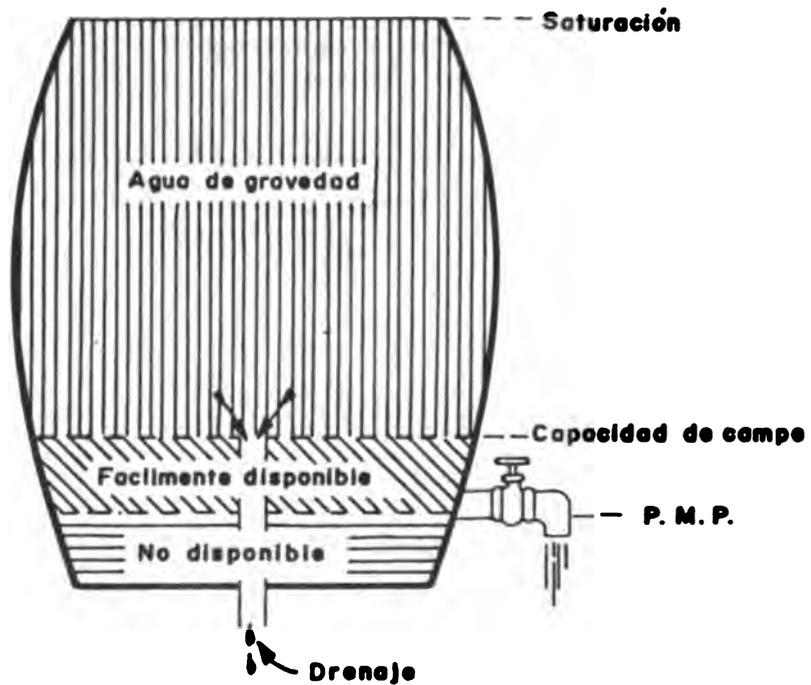


Fig. 4 El barril representa las características de humedad de un suelo arenoso.

Cuadro N° 2

PORCENTAJE DE MARCHITEZ PERMANENTE EN BASE A PESO SECO DE UN SUELO ARCILLOSO  
DETERMINADO MEDIANTE EL MARCHITAMIENTO DE VARIAS ESPECIES DE PLANTAS

Planta	Número de Pruebas	Porcentaje de Marchitez permanente
Mostaza	22	13.8
Espinaca	13	13.7
Sorgo	24	14.2
Trigo	25	13.6
Lechuga	19	14.6
Lechuga silvestre	19	14.3
Soya	20	14.0
Petunia	25	13.5
Pimiento	25	14.5
Alfalfa	25	13.0
Girasol	54	14.0

## Cuadro N°3

RELACION ENTRE EL TIPO DE SUELO Y CARACTERISTICAS DE HUMEDAD EXPRESADO EN  
BASE A PESO DE SUELO SECO

(Doneen 1971. FAO. IDP. 1)

Tipo de Suelo	Lugar	Capacidad de Campo	P.M.P	Relación $\frac{C.C.}{P.M.P.}$	cm. de agua disponible por 30 cm. de profundi- dad. *
		%	%	%	
1 Arena fina	California	3.29	1.33	2.47	0.86
2 Arena	Arizona	4.79	3.17	1.51	0.66
3 Franco arenoso	California	9.69	4.17	2.17	2.03
4 Franco arenoso	California	11.09	3.08	3.60	3.31
5 Franco arenoso fino	California	16.80	8.93	1.88	3.20
6 Franco limoso	New Mexico	17.28	8.23	2.10	3.76
7 Franco arenoso	Oregon	18.79	6.61	2.85	5.06
8 Franco limo arcilloso	New York	21.70	5.02	4.35	6.93
9 Franco limoso	Ohio	23.36	6.12	3.82	7.35
10 Franco arcilloso	Ohio	24.51	11.55	2.12	5.02
11 Arcilloso	California	27.33	12.53	2.18	6.00
12 Franco fino arcilloso	California	28.33	12.49	2.26	6.43
13 Arcilloso	New Mexico	30.42	16.00	1.91	6.00
14 Franco arcilloso	California	31.12	25.70	1.21	1.81
15 Franco	Oregon	37.90	19.03	1.99	7.82

\* Calculado en la siguiente fórmula:  $D = \frac{dP \cdot da \cdot L}{100}$  donde P es la diferencia de humedad entre CC y PMP expresado en porcentaje, da es la densidad aparente (gr/cc) y L es la profundidad indicada (cm).

## Cuadro N° 4

EFFECTO DEL GUANO SOBRE LAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD  
DEL SUELO

Tipo de Suelo	Marchitez permanente		Capacidad de Campo*		Humedad disponible	
	sin Guano	tratado**	sin Guano	tratado	sin Guano	tratado
Arena fina	1.0	1.5	3.2	3.7	2.2	2.2
Franco arenoso	2.9	3.0	9.5	9.7	6.6	6.7
Franco limoso	7.5	7.6	16.1	15.9	8.6	8.3
Franco	10.3	9.8	21.7	20.9	11.4	11.1
Arcilla	13.4	14.2	28.4	29.3	15.0	15.1

\* Medido por el equivalente de humedad .

\*\* 170 toneladas por hectarea mezcladas con los primeros 30 cm. de suelo.

## Cuadro N° 5

## AGUA DISPONIBLE PARA DIFERENTES TEXTURAS DE SUELO

Textura	cm de agua por 30 cm de suelo
Arena gruesa	1.0 a 2.0
Arena Franca a arena gruesa	2.0 a 2.5
Franco arenoso fino a franco arenoso	2.5 a 4.0
Franco limoso a franco arenoso fino	4.0 a 5.5
Arcilla a franco arcilloso	4.5 a 6.0

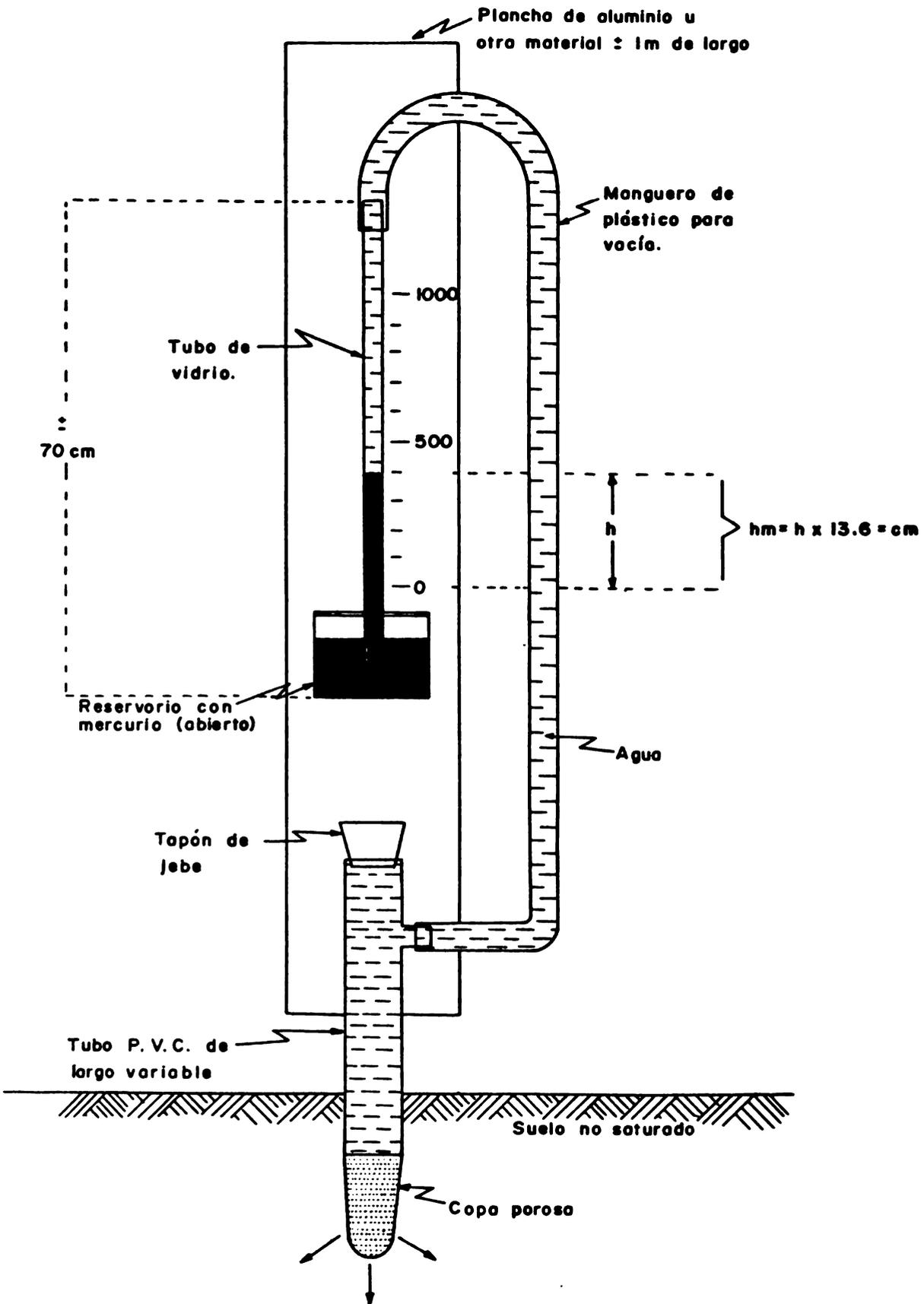


Figura 5 Esquema de un Tensiómetro sencillo.

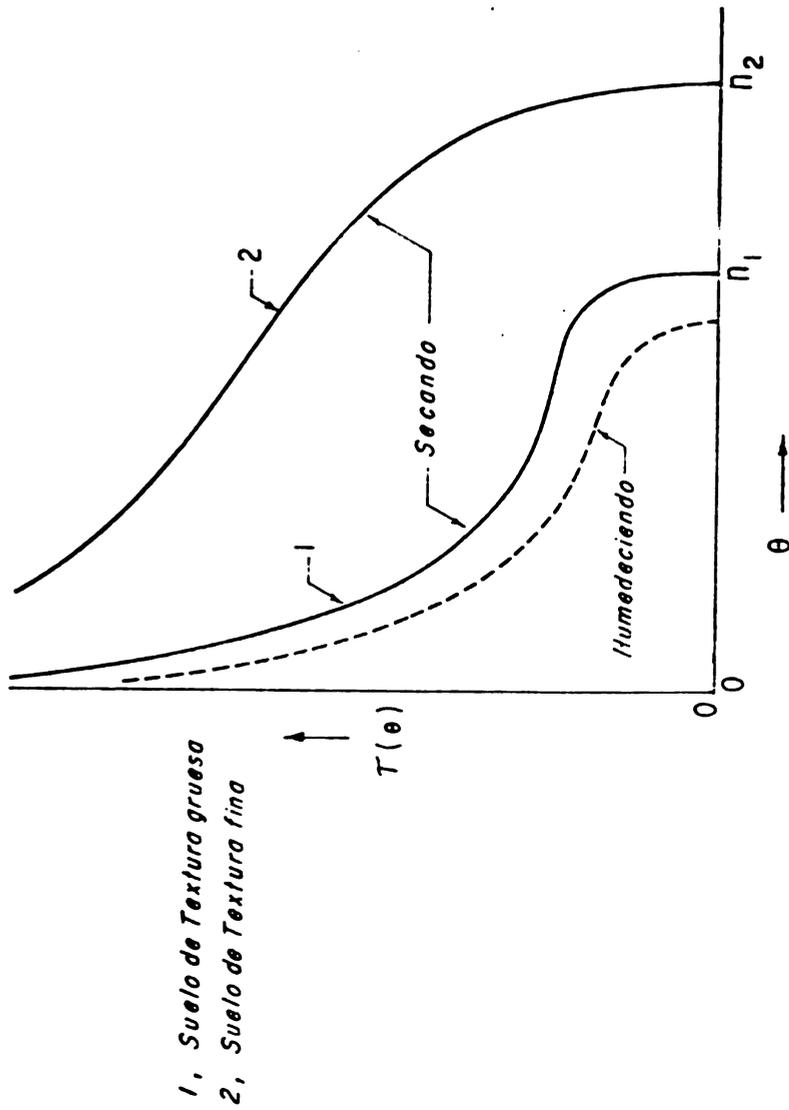


Figura 6. Naturaleza de la relación entre la carga de succión del agua en el suelo o tensión de humedad y el contenido de agua en el mismo.

Humedad disponible en el Suelo en función de la textura  
y de la tensión de humedad.

Cuadro 6

Textura	Humedad disponible a las tensiones indicadas, % en volumen.				Disminución de la Humedad disponible a las tensiones indicadas, % en volumen.			
	0.2	0.5	2.5	16 (atm)	0.2	0.5	2.5	16 (atm)
Arcilla	18	15	8	0	0	17	55	100
Arcillo-limoso	19	17	10	0	0	10	45	100
Franc	20	15	7	0	0	25	65	100
Franco-limoso	25	19	5	0	0	25	80	100
Franco-arcillo - Limoso	16	12	7	0	0	25	55	100
Franco-Arcillo - Arenoso	14	11	6	0	0	20	55	100
Franco-arenoso	13	8	3	0	0	40	75	100
Arena fina- limosa	14	11	5	0	0	20	65	100
Arena fina- media	6	3	2	0	0	50	65	100

**NOTA:** Ejemplo del uso del cuadro.

Si deseamos regar a una tensión (P) de 2.5 atm en un suelo arcilloso debemos aplicar una lámina de agua equivalente al 8% de la profundidad que queremos regar en este caso, estamos dando agua cuando el suelo ha perdido el 55 por ciento de su volumen de agua disponible. Esto es  $8/18 = .45$  siendo 18% el volumen de agua disponible en el suelo a la capacidad de campo.  
100 - 45 = 55

**Fuente:** Doorenbos y Pruitt, 1975, p.91.

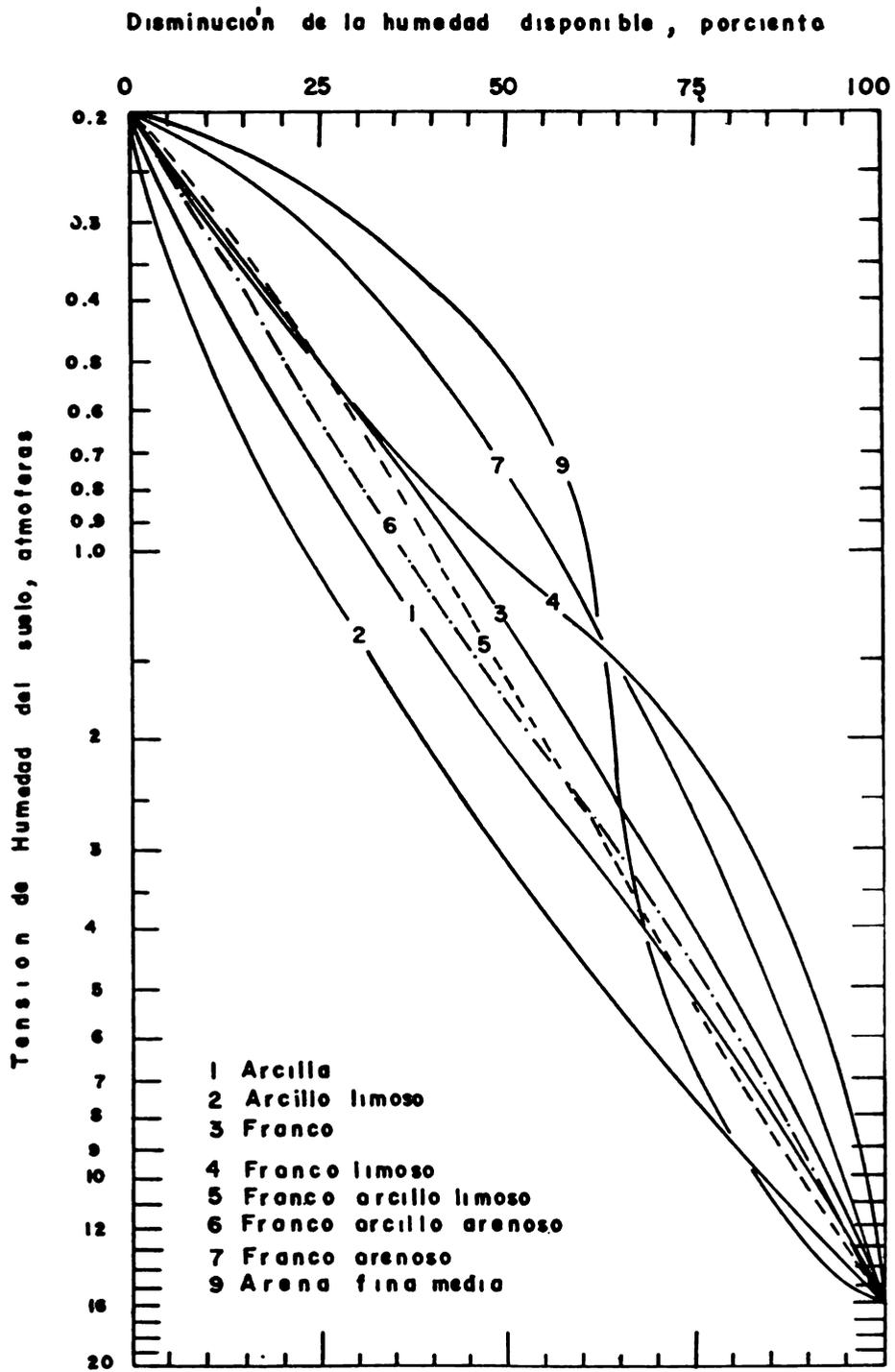


Figura 7 Curvas de Retención de Humedad en función de la disminución de la humedad disponible (del cuadro 5.2)

Cuadro 7 Profundidad efectiva de raíces para algunos cultivos en la etapa de medio ciclo

Cultivo	Profundidad en Metros
Alfalfa	1.20-1.80
Algodón	0.90-1.20
Arveja	0.60-0.75
Cebolla	0.30-0.45
Caña de Azúcar	0.75-1.80
Granos (incluyendo sorgo)	0.60-0.75
Fresas	0.30-0.45
Frijol	0.60
Frutales	0.90-1.80
Lechuga	0.30
Maíz	0.60-1.20
Maní	0.45
Melón	0.60-0.75
Papa	0.60
Batata	0.75-0.90
Pastos	0.45-0.75
Remolacha	0.60-0.90
Repollo	0.60
Soya	0.60
Tabaco	0.75
Tomate	0.30-0.60
Uva	0.90-1.50
Zanahoria	0.45-0.60

Fuente: (Hargreaves, 1977).

Nota: Estos son valores generalizados que pueden y deben modificarse si se cuenta con información más precisa para las condiciones del lugar. Ver por ejemplo referencia ASA, 1967, pp. 391-429.

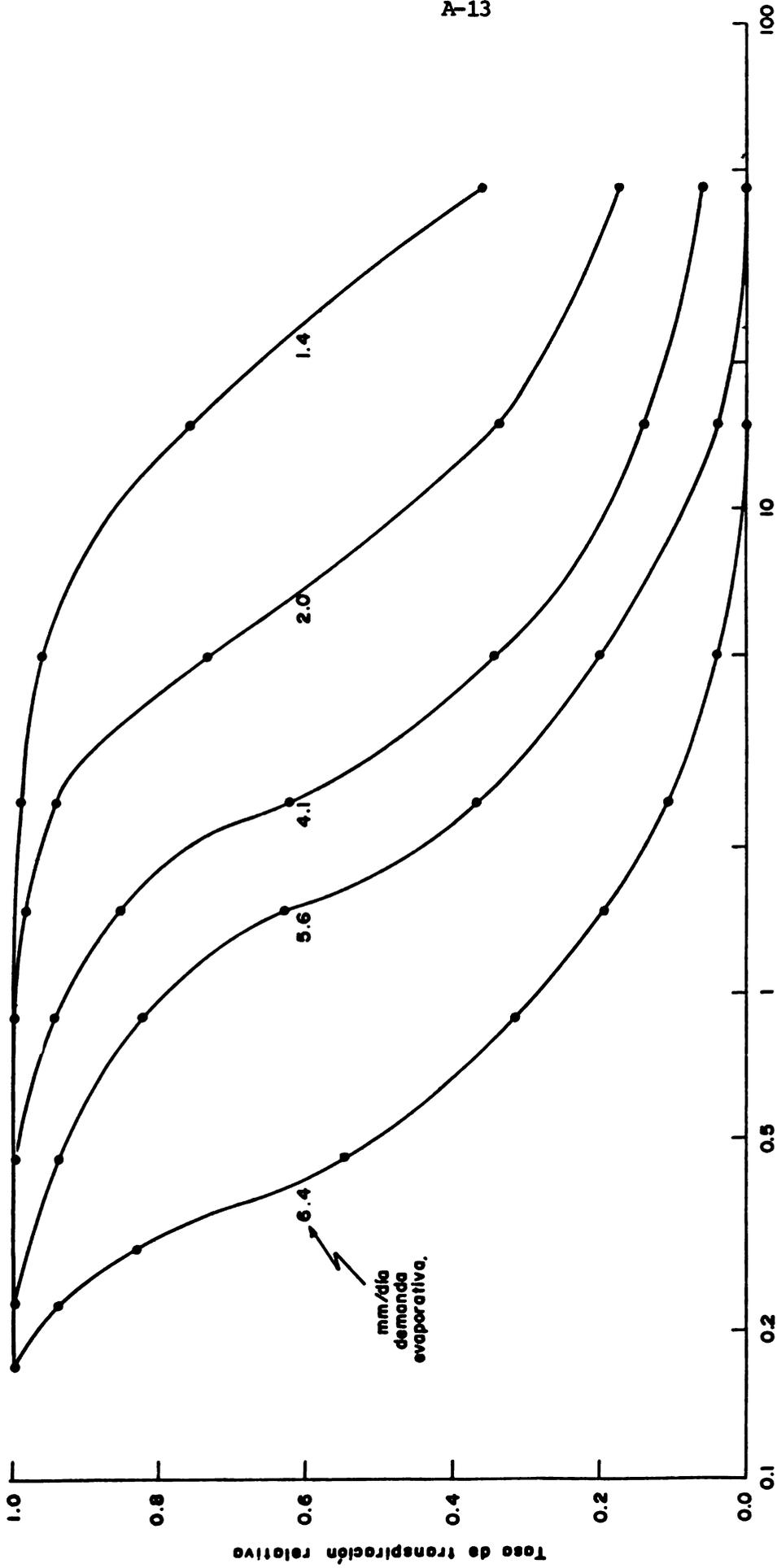


Fig. 8 Tasa de transpiración relativa en función de la tensión de humedad en el suelo para diferentes condiciones de demanda evaporativa del clima (Denmead y Shaw, 1962, en ASA. Monograph II. p. 454 )



## Notas del Cuadro 8

- \* Donde se dan dos valores para tensión de humedad, el más bajo valor de la tensión se usa cuando la demanda evaporativa es alta y el valor más alto cuando ésta es baja; se usan valores intermedios cuando la demanda atmosférica por evapotranspiración es intermedia. (Estos valores están sujetos a revisión a medida que se cuente con mayor información experimental).
- + Basado en la conversión del 50% de la humedad disponible a tensión de humedad equivalente utilizando las curvas apropiadas según la textura del suelo (ver figura )
- ‡ Basada en la conversión del 70% de la humedad disponible a la tensión de humedad equivalente utilizando curvas para suelos arcillosos.
- & Se convirtieron valores de resistencia a potencial de humedad utilizando curvas de calibración de unidades similares de bloques de yeso.
- # 1 bar = 0.9869 atmósferas

Nota.- Los valores dados se deben a resultados hallados por un número considerable de investigadores en experimentos realizados entre el período 1951-1963; las citas bibliográficas respectivas aparecen en la referencia dada.

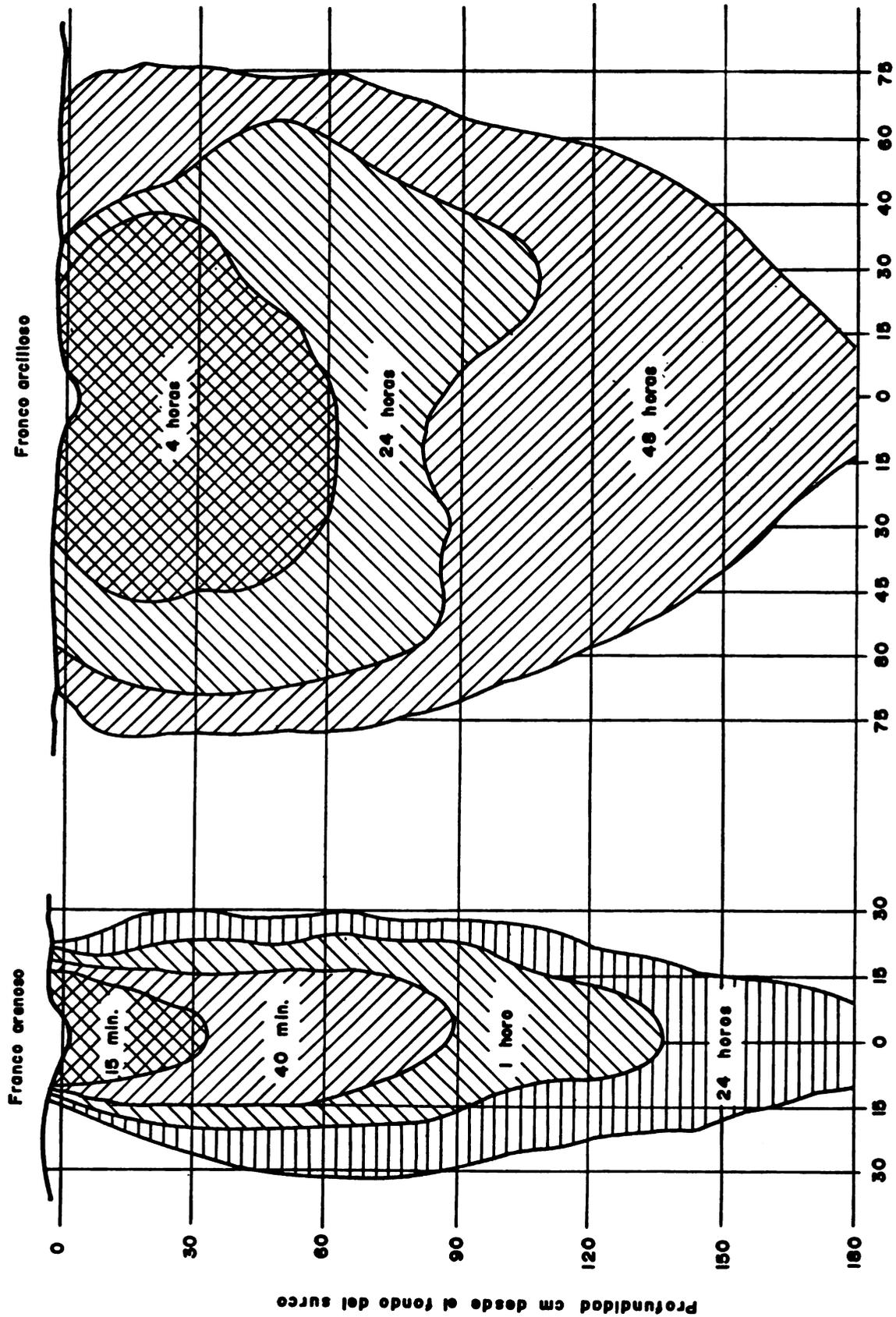


Fig. 9 Un riego ligero humedece una menor profundidad e copeidad de campo que un riego pesado. Los suelos no se pueden humedecer por completo, e se humedecen totalmets o no se humedecen en absoluto.

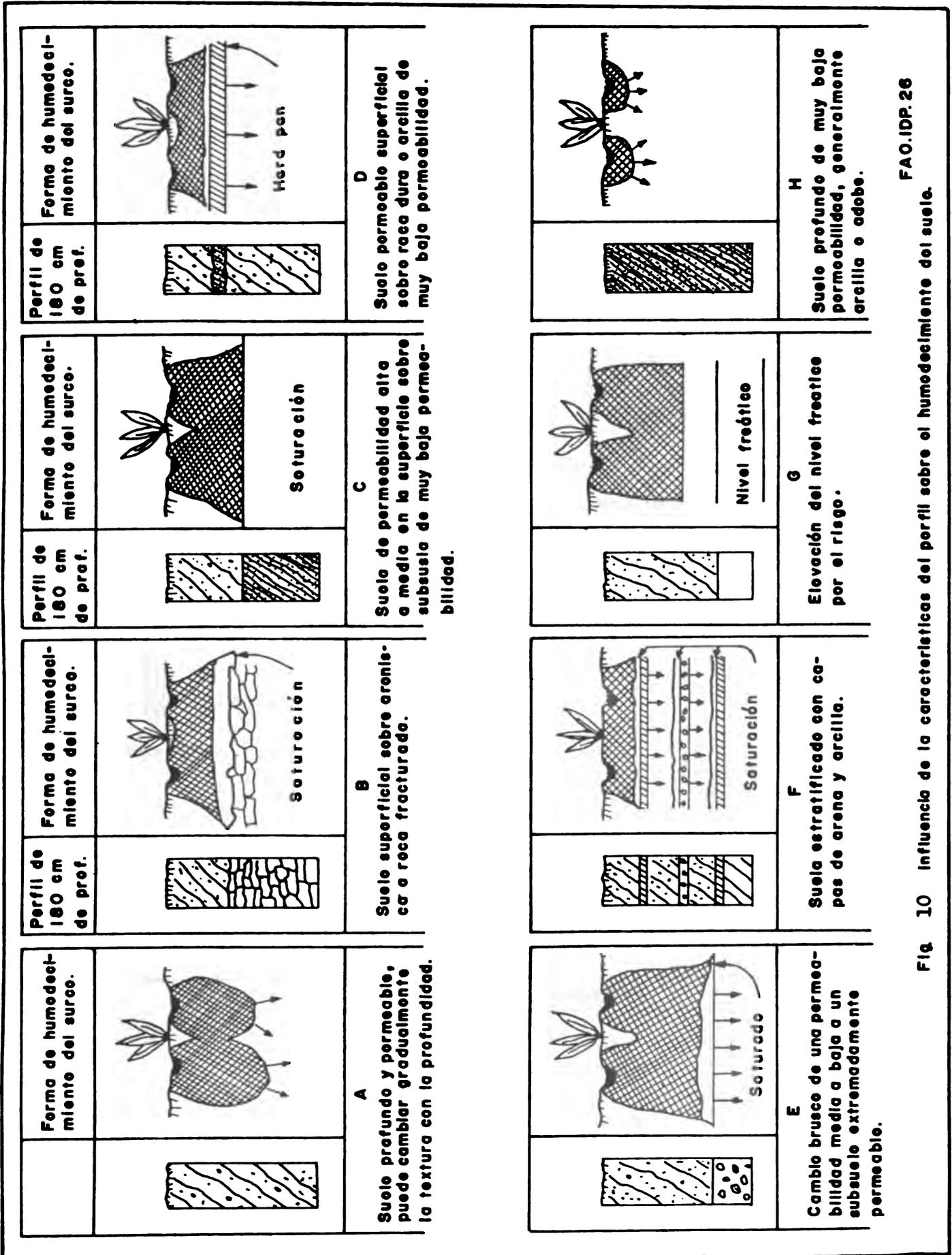


Fig. 10 Influencia de la características del perfil sobre el humedecimiento del suelo.

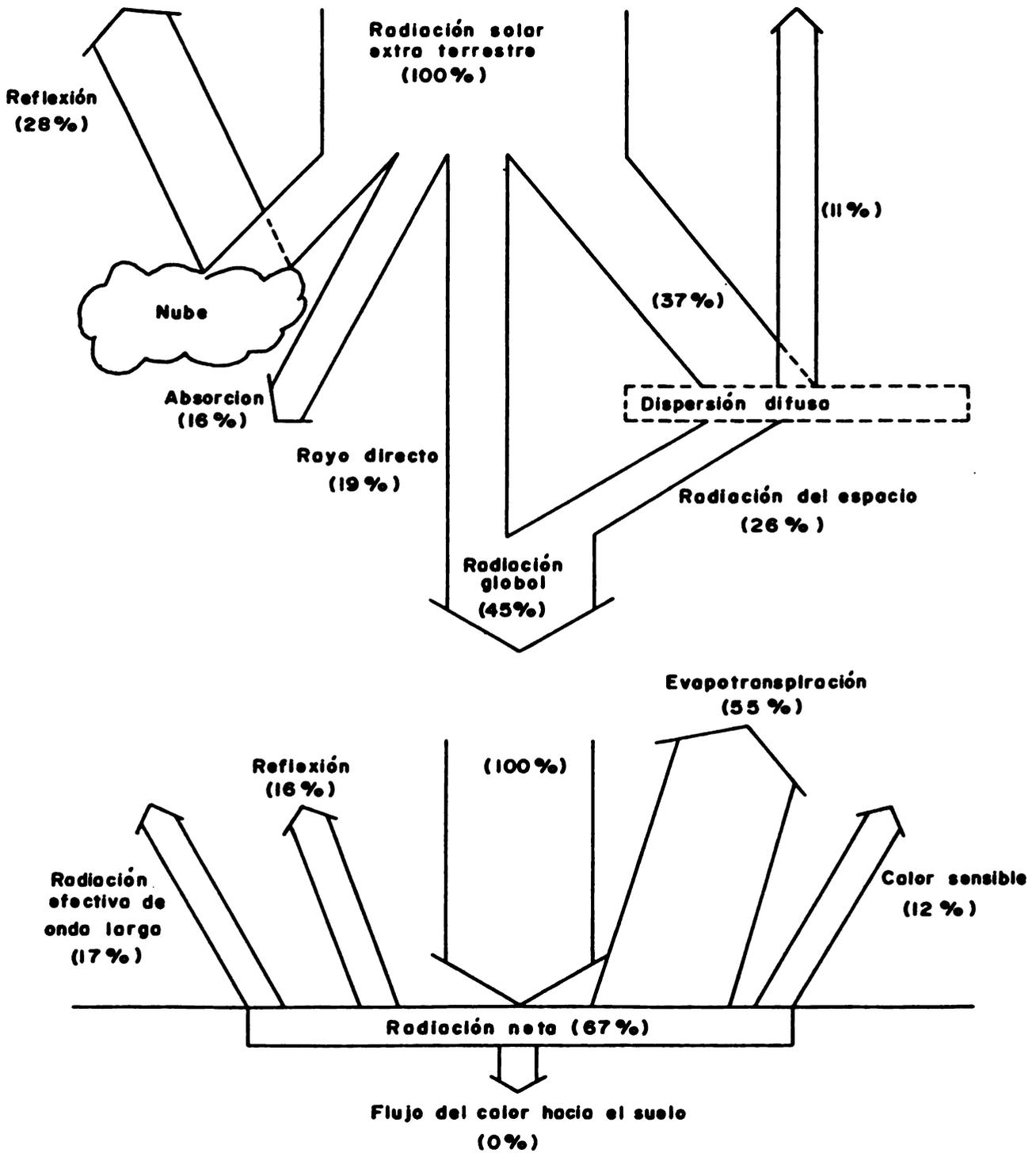
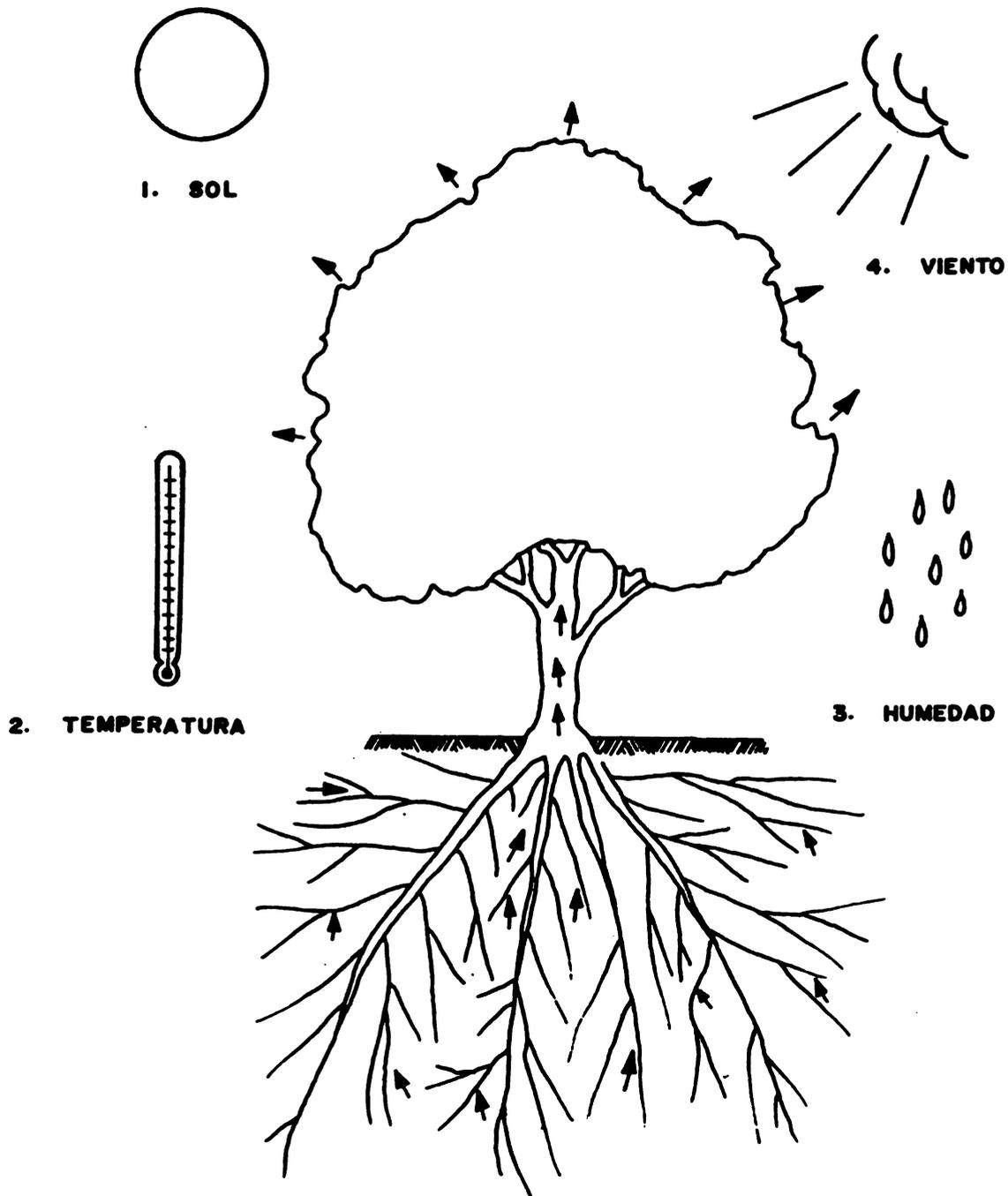


Fig. 11 Balance de calor en el día (Chang y Geiger, en Bayer. et. al. 1972)



**Fig 12 Factores que influncion la transpiración aparte de la falta de humedad en el suelo.**

Cuadro 9 Rango aproximado de ET (cultivo) durante el ciclo, en mm comparado con ET (pasto).

ET (cultivo) para el ciclo	mm.	%
Aguacate	650 - 1 000	65 - 75
Alfalfa	600 - 1 500	90 - 105
Algodón	550 - 950	50 - 65
Arboles caducos	700 - 1 050	60 - 70
Arroz	500 - 800	45 - 65
Bananas	700 - 1 700	90 - 105
Cacao	800 - 1 200	95 - 110
Café	800 - 1 200	95 - 110
Caña de azúcar	1 000 - 1 500	105 - 120
Cebolla	350 - 600	25 - 40
Dátiles	900 - 1 300	85 - 110
Fríjol	250 - 400	20 - 25
Granos (pequeños)	300 - 450	25 - 30
Hortalizas	250 - 500	15 - 30
Lino	450 - 900	55 - 70
Maíz	400 - 700	30 - 45
Naranja	600 - 950	60 - 75
Nuez	700 - 1 000	65 - 75
Oleaginosas	300 - 600	25 - 40
Papa	350 - 625	25 - 40
Papa dulce	400 - 675	30 - 45
Remolacha, Azucarera	450 - 850	50 - 65
Sisal	550 - 800	65 - 75
Sorgo	300 - 650	30 - 45
Soya	450 - 825	30 - 45
Tabáco	300 - 500	30 - 35
Tomate	300 - 600	30 - 45
Toronja	650 - 1 000	70 - 85
Uva	450 - 900	30 - 55

Los valores en porcentaje están basados en pasto con un ciclo de crecimiento de 12 meses, como 100%.

Fuente: FAO, Boletín No. 24, Sobre Riego y Drenaje (6).

CUADRO 1 DEMANDA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA SEGUN EL CLIMA EN REPUBLICA DOMINICANA

EST	YRS 10												SUM O PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
TFMP MED	25.1	26.2	26.6	27.9	27.9	28.4	29.1	29.3	25.7	28.2	26.3	25.1	27.1
PREC MED	48.	50.	47.	148.	252.	177.	78.	110.	147.	164.	90.	63.	1371.
RS MED	350.	402.	454.	454.	468.	478.	499.	449.	355.	391.	356.	317.	414.
S MED	72.	72.	74.	69.	70.	64.	73.	61.	59.	67.	71.	61.	68.
HREL MED	71.	70.	66.	64.	68.	70.	66.	67.	72.	73.	76.	76.	70.
ET POT H	107.	118.	166.	194.	204.	198.	219.	206.	152.	139.	102.	93.	1896.
ET POT S	130.	136.	174.	183.	198.	186.	207.	186.	153.	159.	134.	115.	1960.
ET POT RS	108.	115.	145.	145.	154.	154.	169.	153.	107.	129.	109.	98.	1586.
PREC CONF	23.	25.	23.	93.	166.	114.	45.	67.	93.	105.	53.	34.	
DEFICIT	85.	90.	122.	51.	-12.	41.	124.	86.	15.	25.	56.	64.	
MAI	0.22	0.22	0.16	0.65	1.08	0.74	0.26	0.44	0.86	0.81	0.49	0.35	

EST	YRS 9												SUM O PROM
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
TEMP MED	22.9	23.5	24.6	25.5	27.0	27.6	28.0	28.1	27.6	27.1	25.3	23.3	25.9
PREC MED	20.	35.	34.	43.	92.	114.	33.	55.	88.	84.	69.	50.	718.
RS MED	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
S MED	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
HREL MED	71.	69.	66.	63.	65.	66.	62.	62.	68.	70.	72.	74.	67.
ET POT H	103.	113.	159.	184.	207.	205.	219.	209.	170.	144.	109.	94.	1919.
ET POT S	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
ET POT RS	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
PREC CONF	4.	14.	14.	20.	55.	70.	13.	28.	52.	49.	38.	25.	
DEFICIT	100.	99.	145.	164.	153.	136.	206.	181.	118.	95.	71.	69.	
MAI	0.04	0.13	0.09	0.11	0.26	0.34	0.06	0.14	0.30	0.34	0.35	0.27	

Cuadro 10. Ejemplo de analisis de la demanda de agua para la agricultura en funcion de informacion meteorologica. Republica Dominicana. Metodo de Hargreaves (Reyna y Paulet, 1979)

A-22  
Cuadro 10 (continuacion)

EST	0435	MET												SUM O PROM	
		ENE	6	HDEZ	MAR	ABR	MAY	JUN	YRS 24	ALT	15	LAT	19 37		LON
TEMP MED	24.1	23.9	24.7	24.8	26.3	28.0	27.8	27.9	27.8	27.9	27.8	27.5	25.8	24.3	26.1
PREC MED	192.	177.	134.	156.	224.	123.	136.	111.	101.	145.	312.	287.	2099.		
RS MED	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
S MED	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
HRFL MED	88.	87.	81.	83.	89.	79.	80.	78.	77.	82.	99.	98.	85.		
ET POT H	66.	73.	118.	125.	117.	165.	164.	164.	144.	113.	21.	29.	1298.		
ET POT S	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
FT POT RS	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
PRFC CONF	125.	114.	84.	99.	147.	76.	85.	68.	61.	92.	209.	191.			
DEFICIT	-59.	-40.	35.	26.	-30.	89.	78.	96.	84.	21.	-188.	-162.			
MAI	1.89	1.55	0.71	0.80	1.26	0.46	0.52	0.41	0.42	0.82	10.05	6.61			

EST	0436	BANI												SUM O PROM
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	YRS 10	ALT	60	LAT	18 16	LON	
TEMP MED	25.3	25.6	26.3	27.2	27.5	27.7	28.4	28.7	28.1	27.3	26.5	25.7	27.0	
PREC MED	32.	26.	29.	49.	148.	136.	93.	124.	127.	151.	53.	21.	988.	
RS MED	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
S MED	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
HRFL MED	72.	71.	70.	72.	81.	80.	76.	79.	79.	82.	74.	71.	76.	
PI POT H	108.	116.	155.	169.	153.	157.	180.	162.	138.	112.	110.	107.	1668.	
ET POT S	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
ET POT RS	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	
PRFC CONF	13.	8.	11.	24.	94.	85.	55.	77.	79.	96.	27.	5.		
DEFICIT	96.	108.	144.	144.	60.	72.	125.	85.	60.	17.	83.	102.		
MAI	0.12	0.07	0.07	0.14	0.61	0.54	0.31	0.47	0.57	0.85	0.24	0.04		

Cuadro 11 Coeficientes de cultivo, KC, a varias etapas de crecimiento.

Cultivo	Desde la siembra hasta cobertura efectiva en %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pequeños Granos	0.19	0.22	0.30	0.44	0.61	0.80	0.98	1.13	1.23	1.25
Frijoles	0.24	0.28	0.36	0.47	0.61	0.76	0.91	1.05	1.18	1.28
Arvejas	0.24	0.29	0.37	0.48	0.61	0.76	0.90	1.04	1.16	1.26
Papas	0.12	0.16	0.24	0.36	0.49	0.64	0.78	0.91	1.02	1.09
Remolacha Azucarera	0.12	0.16	0.24	0.36	0.49	0.64	0.78	0.91	1.02	1.09
Maíz	0.24	0.28	0.35	0.46	0.59	0.73	0.86	0.98	1.09	1.15
Alfalfa	0.43	0.56	0.70	0.82	0.94	1.08	1.20	1.20	1.20	1.20
Pastos	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	Dias después de cobertura efectiva									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Pequeños granos	1.25	1.13	0.89	0.59	0.23	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Frijoles	1.22	1.15	1.02	0.88	0.71	0.54	0.37	0.23	0.12	0.12
Arvejas	1.18	1.22	1.19	0.91	0.24	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Papa	1.08	1.02	0.90	0.72	0.46	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Remolacha Azucarera	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
Maíz	1.18	1.18	1.12	0.98	0.82	0.65	0.48	0.34	0.24	0.20
Alfalfa	0.90	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Pastos	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

Fuente: Comité de ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) para Necesidades de Agua de Riego (1).

Cuadro 12 Coeficientes generalizados de cultivo, KC. para estimar ETA

Cultivo	*KC promedio para época de mayor cobertura	**KC promedio para todo el ciclo
Cultivos intensivos y oleaginosas incluyendo frijol maíz, algodón, lino, maní, papa, soya, sorgo, remolacha azucarera, tomate y trigo	1,15	0,90
Frutales, nueces y vid		
Cítricos (Naranja, limón y toronja)	0,75	0,75
Frutos caducos (durazno, ciruelo y nueces)	0,90	0,70
Frutos caducos con cobertura del cultivo	1,25	1,00
Vid	0,75	0,60
Heno, forraje y cultivos de cobertura		
Alfalfa	1,35	1,00
Gramma	1,00	1,00
Trébol	1,15	
Abonos verdes	1,10	0,95
Caña de Azúcar	1,25	1,00
Hortalizas	1,15	0,85

\*Recomendado para el cálculo de capacidad de sistemas

\*\*Para ser utilizado en la estimación de necesidades totales para análisis económico Suministra resultados satisfactorios para programación del riego para la mayoría de los suelos con buena capacidad de almacenamiento de agua aprovechable.

Fuente: ASAE Transacciones, Vol. 17, No. 4. 1974 (8).

Cuadro 13 Período Vegetativo por días según  
el ciclo de algunos cultivos.

Cultivo	Período				Ciclo (días)
	1°	2°	3°	4°	
Tomate fresco	34	46	51	34	165
Tomate " Industrial	20	28	31	21	100
Papa	29	34	34	23	120
Ají	30	35	40	20	125
Hortalizas	30	40	25	10	105
Ajo Blanco Pinto	42	55	55	28	180
Ajo Rosello y chino	30	40	25	10	105
Cebolla Bulbillo	8	12	35	20	75
Cebolla Trasplante	15	25	70	40	150
Arroz	30	30	55	25	140
	30	42	80	28	180
Yuca	62	90	90	58	300
Plátano	60	120	95	90	365
Ñame Liso	44	81	78	67	270
Habichuela	14	24	33	19	90
Batata	23	28	56	33	140
	28	34	68	40	170
Maiz	20	27	33	20	100
Maní	11	16	21	12	60
Yautía	60	110	105	90	365
Guandul UASD	21	24	62	28	135
" " Pinto V. y Kaki	30	35	90	40	195
Algodón	30	50	55	45	180

Fuente: Doorenbos y Pruitt, 1975, p.67

Nota: Para otros cultivos consultar en la referencia ó hallarlos de acuerdo a la interpretación de cada período que se presenta en el texto. Para ciclos vegetativos distintos y para hallar los períodos, aplicar porcentajes sobre los totales que aquí se presentan.

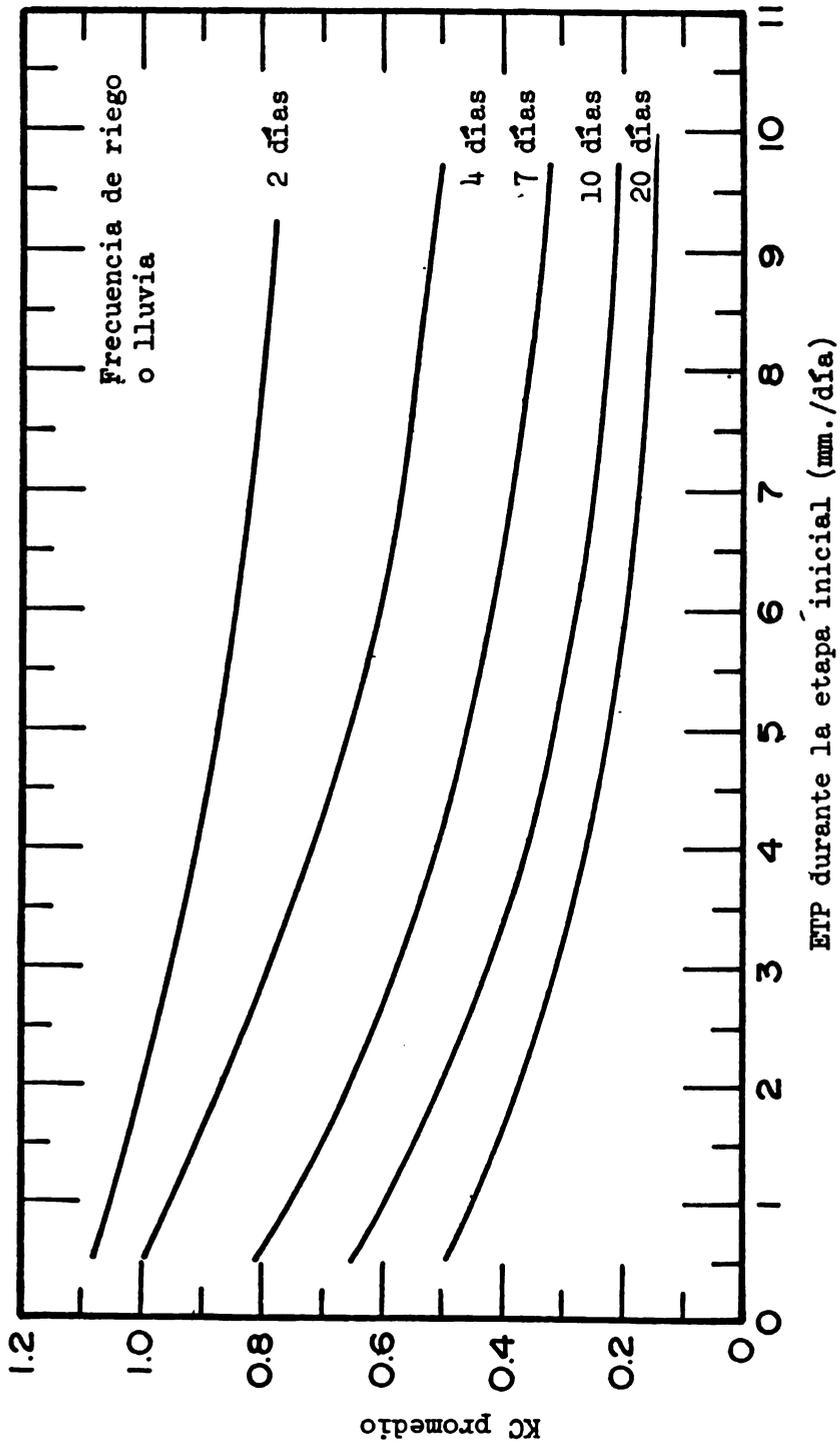


Figura 13 . KC Promedio para la Etapa Inicial como una Función del Nivel de ETP (Durante la etapa inicial) y Frecuencia de Riego o de Lluvia Significativa).

Cuadro 14 Coeficientes Kc de cultivo para cultivos intensivos y hortalizas.

Cultivo	Medio-Ciclo	A la cosecha
Algodón	1.20	0.65
Arveja	1.15	1.10
Arroz	1.05	1.0
Ajo	1.0	1.0
Ají	1.05	0.85
Camote (batata)	1.05	0.80
Calabaza (Auyama)	0.95	0.75
Cebolla (seca)	1.05	0.80
Cebolla (verde)	1.00	1.00
Crucíferas (repollo, coliflor, etc.)	1.05	0.90
Espinaca	1.00	0.95
Frijol (verde)	1.00	1.00
Frijol seco, habichuelas	1.15	0.25
Girasol	1.15	0.35
Lechuga	1.00	0.90
Lino	1.10	0.20
Maíz choclo (grano verde)	1.15	1.05
Maíz (grano seco)	1.15	0.60
Maní	1.05	0.60
Melón	1.00	0.75
Millo	1.10	0.75
Papa	1.15	0.75
Plátano	1.05	1.00
Pimiento (fresco)	1.05	0.85
Rábano	0.85	0.80
Remolacha azucarera	1.15	0.60-1.00
Sorgo	1.10	0.55
Soya	1.10	0.45
Yautía	1.05	1.00
Yuca	1.00	0.80
Tomate	1.20	0.65
Trigo	1.15	0.20
Zanahoria	1.10	0.80

Fuente: Doorenbos y Pruitt, 1975. Información más detallada para para éstos y otros cultivos se encuentra en la referencia citada pp. 57-82.

**Cuadro 15** Períodos críticos de la deficiencia de agua para diferentes cultivos.

---

Aceituna	Exactamente antes de la floración y durante el crecimiento del fruto.
Albaricoques	Período de floración y desarrollo de yemas.
Alfalfa	Inmediatamente después del corte para heno y al comienzo de la floración para formación de semilla.
Algodón	FloreCIMIENTO y formación de vellotas > al inicio de la etapa de crecimiento > después de la formación de las vellotas.
Arveja	Al comienzo de la floración y cuando las vainas están en crecimiento
Avena	Al comienzo de la emergencia de la espiga posiblemente hasta el desarrollo del grano.
Brócoli	Durante la formación y crecimiento de la cabeza.
Caña de Azúcar	Período de máximo crecimiento vegetativo.
Cebada	Antes de la formación de la espiga > estado pastoso > al comienzo de la cultivada o etapa de maduración
Cerezas	En el período de rápido crecimiento de frutas anterior a la maduración.
Cítricos	Floración y etapa de formación de frutos; puede inducirse fuerte floración suspendiendo el riego antes de la etapa de floración (limón); debilitamiento de frutos por la "Sequía" de junio, puede controlarse con altos niveles de humedad del suelo.
Coliflor	Requiere frecuente riego desde la siembra hasta la cosecha.
Durazno	Período de rápido crecimiento de la fruta anterior a la maduración.
Fresas	Desarrollo del fruto a maduración
Fríjol	A la floración y período de formación de vainas > período de maduración
Girasol	Posiblemente durante la floración y formación de semilla Etapa de desarrollo de la semilla

## Continuacion del Cuadro 15

Lechuga	Requiere particularmente suelos húmedos antes de la cosecha
Maní	Florecimiento y etapa de desarrollo de semillas > entre germinación y floración y al final del ciclo
Maíz	Período de polinización desde la formación del vellón hasta la formación del grano > antes de formación del vellón > período de relleno del grano; período de polinización muy crítico si no hay déficit anterior de agua.
Nabo	Cuando el tamaño de la raíz comestible aumenta rápidamente hasta la cosecha.
Papa	Altos niveles de humedad del suelo; después de la formación de tubérculos, floración a cosecha
Pequeños Granos	Desde antes del espigamiento hasta completa formación de espiga.
Rábano	Durante el período de crecimiento de la raíz.
Remolacha Azucarera	3 a 4 semanas después de emergencia (brote)
Repollo	Durante la formación y crecimiento de la cabeza.
Ricino	Requiere relativamente alto nivel de agua del suelo durante todo el ciclo.
Sandía	Floración a cosecha
Sorgo	Enraizamiento secundario y brote antes del espigamiento? Floración y formación de grano > período de relleno del grano.
Soya	Etapa de florecimiento y fructificación y posible períodos de máximo crecimiento vegetativo.
Tabaco	Altura de la rodilla hasta floración
Tomate	Cuando se han formado las flores y los frutos están en rápido crecimiento
Trigo	Posiblemente antes y durante la formación de espigas y dos semanas antes de la polinización

Cuadro 16 Ejemplo de Cálculo de ETA para un cultivo de maíz en Banf.

PERIODO	FECHAS	N° DE DIAS	ET0 mm/día	Kc	ETA Parcial mm	ETA Perfodo mm
Siembra Inicio (1)	Abr. 1	<u>1/</u>	<u>2/</u>	<u>3/</u>	<u>4/</u>	
Fin (1), Inicio (2)	Abr. 20 Abr. 30	20(20) 10	5.63 5.63	0.72 0.94	81.07 52.92	81.07
Fin (2), Inicio (3)	May. 17 May. 31	17(27) 14	4.94 4.94	0.94 1.15	78.94 79.53	131.86
Fin (3), Inicio (4)	Jun. 19 Jun. 30	19(33) 11	5.23 5.23	1.15 0.88	114.28 50.63	193.81
Fin (4), (Cosecha)	Jul. 9	9 (20)	5.81	0.88	46.02	<u>96.64</u>
						503.38

7-30

- 1/ Se desagrega el período de cultivo de manera que se puedan aplicar los valores de ET0 calculados para cada mes calendario. Los cuatro períodos para maíz se obtuvieron del Cuadro 5.6 para un ciclo vegetativo de 100 días.
- 2/ Obtenida de dividir los totales mensuales de ET0 para Sani (Cuadro 10) entre el número de días correspondiente a cada mes.
- 3/ Los coeficientes de consumo determinados para este problema.
- 4/ Es el producto de multiplicar los N° de días x ET0 por día x Kc.

Cuadro 17 Estimado del intervalo y frecuencia de riegos para el cultivo de maiz en Banf, entre Abril y Julio --sólo para fines de planificación--.

MES	Precipitación		ETA mm/mes (2)	ETA- -pc mm/día (3)	Lámina		Intervalo de riego días (5)	Número de riegos (6)	Lámina	
	Confiable mm/mes (1)	Reemplazo mm (4)			Lámina de riego Aplicación mm (7)	Total mm (8)				
Abr.	24	134	3.67	15.6	4	7	182			
May.	94	158.5	2.08	31.2	15	2	104			
Jun.	85	164.9	2.66	31.2	12	3	156			
Jul.*	16	46.02	3.34	31.2	9	1	52			
							<u>494</u> (4940 m <sup>3</sup> /Ha)			

- (1), (2) de los resultados páginas A-22 y A-30, respectivamente.  
 (3) ETA menos precipitación confiable entre el número de días del mes.  
 (4) en base al cálculo del problema. 3.2 y 4.2.2.1  
 (5) de dividir las columnas (4)/(3)  
 (6) N° de días del mes entre intervalo de riego (5)  
 (7) columna (4) entre la eficiencia de 0.6  
 (8) columna (7) por el número de riegos (6)  
 \*/ solamente para los primeros 9 días del mes.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	mm/año
PC mm/mes	1.3	8	11	24	94	85	55	77	79	96	27	5	
ETo mm/día	3.48	4.14	5.0	5.63	4.94	5.23	5.81	5.23	4.6	3.61	3.67	3.57	
AJÍ (0.5 Ha) 30/35/40/20	↓ .85	6.5								↓ .40	↓ .70	↓ 1.05	253.1
CEBOLLA (0.5 Ha) 15/25/70/40	87.8								↓ 46	0.0	52.6	106.2	
TOMATE (1.0 Ha) 34/46/51/34	.93								↓ 5.2	↓ 11.0	1.05	106.1	301.5
MAIZ (1.0 Ha) 20/27/33/20	90.6										88.6		388.9
PLATANO (1.5 Ha) 60/120/55/50		.83											284.4
YAUTIA (0.5 Ha) 60/110/105/90	76.5	89.1	151.8	1534	66.8	71.3	130.5	90.0	3.8	6.0	64.4	86.9	984.5
In, PROMEDIO (mm/mes 5 Ha)	98.1	111.4	115.7	48.6	0.0	31.1	78.3	43.0	57.3	21.5	88.6	110.4	804.0
If (mm/mes 5 Ha)	506	38.5	59.6	81.9	36.5	58.7	83.7	45.1	7.4	2.2	42.3	58.3	565.9
Uf	84.3	64.2	99.4	136.5	60.8	97.8	139.4	75.2	12.3	3.6	70.5	97.2	943.2
	0.6	0.5	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.65

ETo Evapotranspiración potencial cultivo de referencia In, requerimientos de agua netos descontando PC de ETA

ETA, Evapotranspiración potencial cultivo indicado If, requerimientos de agua si la eficiencia de riego es 0.8

PC, Precipitación confiable Uf, intensidad de uso de la tierra en el mes

Figura 14 Estimado de los requerimientos de riego para una célula de cultivo en la zona de Bani

Cuadro 18 Días, Declinación y Distancia Media del Sol a la Tierra según el Mes.

	DM	DEC Radianes <sup>1/</sup>	ES
ENE	31	-.3656	.97104
FEB	28	-.2365	.98136
MAR	31	-.04682	.99653
ABR	30	.1607	1.01313
MAY	31	.3247	1.02625
JUN	30	.4017	1.03241
JUL	31	.3699	1.02987
AGO	31	.2360	1.01916
SEP	30	.03995	1.00347
OCT	31	-.1669	.9863
NOV	30	-.3291	.97369
DIC	31	-.4021	.96812

DM= Número de días del mes.

DEC= Declinación de la tierra en radianes según el mes.

ES= Distancia media mensual del sol a la tierra dividida entre la distancia media anual.

<sup>1/</sup> 57.2958 grados por radian.

Cuadro 19

CRITERIO DE CLASIFICACION DEL CLIMA  
SEGUN LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA.

INDICE	MESES	CATEGORIA
(1) MAI < 0.34	Todos los meses	Muy árido
(2) MAI > 0.33	1 ó 2	Arido
(3) MAI > 0.33	3 ó 4	Semi - Arido
(4) 0.33 < MAI < 0.68	5 ó más consecutivos	Húmedo - Seco
(5) 0.67 < MAI < 1	5 ó más consecutivos	Semi - Húmedo
(6) MAI ≥ 1	5 ó más consecutivos	Húmedo

NECESIDADES DE RIEGO

- (1) Muy Arido: Imprescindible durante todo el año.
- (2) Arido: Imprescindible durante todo el año, aunque se pueden obtener cosechas limitadas bajo condiciones, de secano.  
Alto riesgo en condiciones de secano para la aplicación de insumos (fertilizantes semillas mejoradas, etc.). No se recomiendan sino es bajo riego.
- (3) Semi-Arido: Necesario durante todo el año, aunque, en condiciones de secano se pueden obtener cosechas aceptables para cultivos de ciclo corto. Alto riesgo en la aplicación de insumos tecnológicos si no hay riego.
- (4) Húmedo-Seco: El riego suplementario durante la época de cultivo es necesario para elevar la producción mediante el uso de insumos. En condiciones de secano se pueden sacar buenas cosechas en cultivos que requieren 5 ó 6 meses de humedad. El riesgo en la aplicación de insumos es menor.
- (5) Semi-Húmedo: El riego suplementario durante la época de cultivo sólo se justifica para obtener altos rendimientos con insumos de alto costo si los análisis económicos así lo demuestran.
- (6) Húmedo: No se justifica el riego suplementario durante la época de cultivo.

ANEXO B

Programa de Cómputo de  
la Evapotranspiración Potencial  
según el método de Hargreaves

Manual de Usuario



PROGRAMA PARA EL CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION  
POTENCIAL SEGUN HARGREAVES  
MANUAL DEL USUARIO

Este documento describe la forma de utilizar un programa de cómputo para estimar la evapotranspiración potencial según el método desarrollado por Hargreaves (ET POT = ETo, evapotranspiración de un cultivo de grass según como se describe en el documento Doorenbos y Pruitt 1975, y en este documento). El método de Hargreaves estima ET POT en función de la radiación solar incidente y de la temperatura promedio. El período para el cual se realiza el estimado de ET POT puede ser variable aunque en esta descripción los datos se refieren al estimado en milímetros por mes. Como generalmente existe dificultad en conseguir registros de radiación solar incidente que sean confiables, se incluyen como alternativas para satisfacer la componente de radiación el uso de registros de horas de sol total mensual o en su defecto, humedad relativa promedio.

Calculado el valor de ET POT para el período considerado, el programa compara estas cifras con los datos de precipitación para obtener por diferencia el déficit de agua y, por división, el índice de humedad disponible (MAI). La cifra de precipitación que utiliza para ello es la precipitación confiable con un 75% de probabilidades (PREC CONF) estimado en base a la precipitación media para el período considerado -en este caso un mes-. Según la disponibilidad de datos, la cifra de evapotranspiración que se utiliza es aquella obtenida con la radiación solar (ET POT RS), y si ésta no existe, aquella obtenida con la humedad relativa (ET POT H). Si la estación es termoplumiométrica solamente, el programa estima la humedad relativa en base a la precipitación y la temperatura medias mensuales (aunque el error sefa mayor) y prosigue el cálculo en base a ET POT H.

Datos de Entrada

Este programa cuyo listado se anexa, utiliza para resolver las ecuaciones, los siguientes datos:

- Promedio mensual de lluvia (mm) (indispensable)
- Promedio mensual de temperatura (°C) (indispensable)
- \*Radiación Solar incidente, Langleys/día promedio mensual.
- \*Horas de sol total mensual promedio
- \*Humedad relativa promedio mensual
- Latitud de la estación (indispensable)
- Longitud de la estación (sólo para ubicación)
- Elevación de la estación (sólo para ubicación)
- N° de años de registro (sólo para referencia)

Metodología

Se describe en el documento Requerimientos de agua para la agricultura según el clima de la República Dominicana (Publicación SURENA/IICA,1979).

Las referencias básicas de este documento son:

HARGREAVES, G.H. 1977. Manual de Requerimientos de Agua para Cultivos Bajo Riego y para la Agricultura de Secano. Utah State University, Logan Utah, U. S. A.

DOORENBOS, J. and W.O. Pruitt. 1975. Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper N°24. Rome.

---

\*/ El método pide sólo uno de estos tres tipos de datos, horas de sol o humedad relativa sirven en caso de ausencia de registros confiables de radiación solar incidente.

RESULTADOS QUE SE OBTIENEN

## Datos de Salida

Los resultados se imprimen en un cuadro por estación con los valores mensuales en las columnas y las variables indicadas en las líneas. Así, para una estación cualquiera se presentan en las primeras líneas, el código, nombre y organismo que opera la estación; también la elevación, latitud, longitud y el número de años de observación. En las siguientes líneas del cuadro se presentan por cada mes.

Temperatura media mensual y anual (TEMP MED, grad C)

Precipitación total promedio mensual y anual (PREC MED, mm)

Radiación Solar incidente promedio mensual (RS MED, cal/cm<sup>2</sup>/día)

Horas de sol total mensual (S MED)

Humedad relativa promedio mensual (HREL MED, %)

Evapotranspiración potencial del cultivo de referencia, ETo  
calculada con la humedad relativa (ET POT H, mm)

Evapotranspiración potencial del cultivo de referencia, ETo  
calculada con horas de sol (ET POT S, mm)

Evapotranspiración potencial del cultivo de referencia, ETo,  
calculada con la radiación solar (ET POT RS, mm)

Precipitación confiable promedio mensual (PREC CONF, mm)

Déficit de humedad, ET POT - PREC CONF, (DEFICIT, mm)

Índice de humedad disponible, PREC CONF/ET POT, (MAI)

Instrucciones para la perforación de Tarjetas IBM\*

Los datos se pasan a formularios de registro de 80 columnas que corresponden cada línea a una tarjeta IBM. Todos los caracteres van seguidos sin puntos.

Cada estación consta de 6 tarjetas; ver figura con el diseño de las tarjetas.

Primera Tarjeta.

Esta identifica la estación en la cual se hizo la observación de los datos que aparecerán en las cinco (5) tarjetas siguientes.

Columnas.

- 1 a 6 Se perfora la palabra estación abreviada, en cualquier parte del campo, preferiblemente en las tres (3) últimas columnas; por ejemplo EST
- 7 a 12 Código de la Estación, éste consta de cuatro(4) cifras como máximo, perforándose en las últimas 4 columnas; por ejemplo 1806. Si la estación tiene un código con menos de cuatro (4) cifras, 23 por ejemplo se perfora como 0023
- 13 a 24 Nombre de la Estación, si el nombre es muy largo, que cubra más de las 12 columnas asignadas, se abrevia de la forma más conveniente e identificable; por ejemplo: San José de las Matas, se perfora como SAN J MATAS (cubre 11 columnas).
- 25 a 30 Organismo que opera la estación, se perfora la abreviatura del organismo que opera la estación, siempre en las últimas columnas; por ejemplo, Departamento de Meteorología se perfora en las columnas 28, 29 y 30 las letras MET

---

\* Interpretar también como registro de datos al medio de cómputo a imagen de tarjeta.

Columnas.

- 31 a 36 Espacio en blanco; se dejan seis (6) espacios en blanco para mejor distribución de los datos en la tarjeta.
- 37 a 39 Longitud de la serie de observación; se perfora siempre al final del campo el número de años que se ha estado haciendo la observación; se dispone de tres(3) columnas para la perforación, por ejemplo, si la cifra es nueve(9) se perfora como 009
- 40 a 44 Elevación de la estación sobre el nivel del mar; se dispone de cuatro columnas en el campo. Si es menor de cuatro(4) cifras, por ejemplo 60m, se perfora como 0060
- 45 a 52 Coordenadas geográficas de la estación (latitud y longitud) en grados y minutos. Las coordenadas se perforan en cuatro(4) columnas para cada una; seguida una de otra, por ejemplo: latitud 19°25' y Longitud 70°05' se perfora como 19257005

Segunda Tarjeta.

Se perforan los datos de temperatura (°C) con tres columnas para cada mes todo seguido según se explicó en el primer párrafo. Al ser 12 datos, esta tarjeta es perforada en las primeras 36 columnas. Por ejemplo si la temperatura de Enero es de 23.1 grados centígrados, se perfora en las primeras tres(3) columnas como 231; si son 9°C, se perfora como 090; y así, continuando en las demás columnas con los valores de los restantes meses.

Tercera Tarjeta.

Se perforan los datos de lluvia (mm), con cuatro(4) columnas por dato. Se perforan las primeras 48 columnas, no se utilizan puntos; por ejemplo si la lluvia de un mes (Febrero) es de 4.5 mm en las columnas correspondientes a Febrero (5-8) se perfora 0045 y así sucesivamente.

Cuarta Tarjeta.

Se perforan los datos de radiación solar, con cuatro (4) columnas por dato. Se perforan 48 columnas, por ejemplo si es  $273 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$  se perfora 2730 Si no existen datos de radiación se pone una tarjeta en blanco.

Quinta Tarjeta.

Se perforan los datos de horas de sol total mensual, con cuatro (4) columnas por dato, por ejemplo si en un mes recibe un promedio de 51.3 horas de sol se perfora 0513 Si no existen datos de horas de sol se pone una tarjeta en blanco.

Sexta Tarjeta.

Se perforan los datos de humedad relativa (%) con tres (3) columnas por dato, de la forma siguiente: si la HM del mes es 71.4% se perfora 714; si es 70% se perfora como, 700 si no existen datos de humedad relativa se pone una tarjeta en blanco.

PROGRAMA DE COMPUTO DE LA DEMANDA DE AGUA CLIMATICA DEL CULTIVO DE REFERENCIA

G. H. Hargreaves, 1977 - FORTRAN IV, probado en IBM 370-115

```

0001 C DETERMINACION DE REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA AGRICULTURA SEGUN HARGREAVES
0002 C RESPONSABLE EN REPUBLICA DOMINICANA E. REYNA SUELOS/SEIECA/SAN CRISTOBAL
0003 C PROGRAMA ORIGIN H.HARGRAVES UTAH STATE UNIVERSITY
      REAL *8 NAME
      REAL MAI, L
      DIMENSION NAME(6), DEC(12), ES(12), DM(12), Z(12), OM(12), DL(12), RLD(12)
      * TM(13), TF(13), RMM(12), KS(13), SX(13), SHM(13), EIPH(13), ETPS(13), ET(13)
      * SX(13), PM(13), L(12), KSM(13), KSMI(13), CH(12), PD(12), ETD(12), MAI(12)
      * HSOL(12), TR(13)
      DATA DM(12)/31., DM(20)/28., DM(23)/31., DM(40)/30., DM(45)/31., DM(60)/
      130., DM(70)/31., DM(80)/31., DM(90)/30., DM(100)/31., DM(110)/30., DM(1
      20)/31./
      C DM ES EL NUMERO DE DIAS EN EL MES
      C DEC ES LA DECLINACION EN RADIANES
      DATA DEC(12)/-.365., DEC(20)/-.2365/, DEC(23)/-.04682/, DEC(40)/.1607/, D
      1EC(50)/.3247/, DEC(60)/.4017/, DEC(70)/.3699/, DEC(80)/.2360/, DEC(90)/.039
      295/, DEC(100)/-.1669/, DEC(110)/-.3291/, DEC(120)/-.4021/
      C ES REPRESENTA LA DISTANCIA MEDIA MENSUAL DEL SOL A LA TIERRA DIVIDIDA POR
      LA DISTANCIA LA MEDIA ANUAL
      DATA ES(12)/.97104/, ES(20)/.98136/, ES(30)/.94653/, ES(40)/1.01313/, ES(5
      0)/1.02625/, ES(60)/1.03241/, ES(70)/1.02987/, ES(80)/1.01916/, ES(90)/1.00
      *347/, ES(100)/.9863/, ES(110)/.97369/, ES(120)/.96812/
      JJNO
      C NAME ES LA ESTACION Y LA REGION
      C NYRS ES EL NUMERO DE AÑOS DE REGISTRO
      C NELEV ES LA ELEVACION EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR
      C LD ES LA LATITUD EN GRADOS
      C LDM ES LA LONGITUD EN MINUTOS
      C LOM ES LA LONGITUD EN GRADOS
      C LOM 2 ES LA LONGITUD EN MINUTOS
      C TM READ(1,100,ENDN26) NAME, NYRS, NELEV, LD, LDM, LO, LOM
      C PH READ(1,120) TM, MNI, I20
      C PM LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL EN MM
      C RS READ(1,122) PM, MNI, I20
      C RS RADIAACION SOLAR INCIDENTE EN LANGLEYS POR DIA PROM MENSUAL
      C HSOL READ(1,122) RS, MNI, I20
      C HSOL HORAS DE SOL TOTAL MENSUAL
      C HM READ(1,122) HSOL, MNI, I20
      C HM HUMEDAD RELATIVA EN PROCENTAJE PROM MENSUAL
      JJRJJ+1
  
```

Símbolos: % representa (   
 u representa )   
 ñ representa =

```

C XLA ES LA LATITUD EN GRADOS Y DECIMAS DE GRADO
C XLR ES LA LATITUD EN RADIANTES
XLANZFLOAI%LDMM+FL0AT%LDMM/60.0
IF%MOD%JJ,30.EQ.10WRKITE%3,2050
IF%MOD%JJ,30.EQ.10WRKITE%3,1020
C MOD ESCKIBE TRES ESTACIONES POR PAGINA
PRINT IOI,NAME,NYRS,NELEV,LD,LDM,LO,LOM
TM%1300.
RS%1300.
PM%1300.
SM%1300.
HM%1300.
ETPH%1300.
ETPS%1300.
ETPRS%1300.
CO 3 MNI,12 TAN%DEC%MM
Z%MON-TAN%XLRO*
OM%MONARCUS%Z%MM
DL%MON OM%MM/1309
C DL ES EL LARGO DEL DIA EN HORAS
C HSOL ES HORAS DE SOL TOTAL MENSUAL
C S ES EL PORCENTAJE DE HORAS DE SOL POSIBLES PROMEDIO DIARIO MENSUAL
RLD%MON916.732%UM%MM+SIN%XLRO*
*SIN%OM%MM/ES%MM
TF%MON32.+1.8*TM%MM
L%MON595.9-.55*TM%MM
RMM%MONDM%MM*10.*KLD%MM/L%MM
TR%MON TM%MM*RM%MM
C ESTIMADO DE HUMEDAD RELATIVA CUANDO NJ HAY DATOS
IF%HM%MM.GT.0.00GO TO 65
HM%MON112.09-1.5172*TM%MM+.0961*PM%MM-.0815*RM%MM+.00272*TR%MM
IF%HM%MM.GE.100.00HM%MON95.
C RMM ES LA RADIACION EXTRACION POTENCIAL EN MM POR MES
C ETP 65 CLAN.17*SQRT%70.-ABS%XLAMM
IF%CLA.GT.1.00CLANI.00
CH%MON.1661.*%SQRT%1CC.-HM%MM
IF%CH%MM.GT.1.00CH%MMNI.00

```

```

0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
0039
0040
0041
0042
0043
0044

```

```

0045 C ETPH ES ETP EN FUNCION DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA Y LATITUD
      ETPH%MON.0000158*RM%MM%MON*DL%MM*TF%MM*CLA*CH%MM*25.4
0046 C RSMI ES LA RADIACION SOLAR INCIDENTE MM DE EVAPORACION EQUIVALENTES
      CAL%MON.075*RM%MM%MON*SQRT%S%MM
0047 C ETPS ES ETP ESTIMADA EN FUNCION DE RSMI Y TEMPERATURA
      ETPS%MON.0075*RSMI%MM*TF%MM
0048 C RSM ES LA RADIACION SOLAR *LANGLEYS CONVERTIDA A MM DE EVAPORACION EQUIVAL
      RSM%MON.0075*RM%MM%MON*10./L%MM
0049 C ETPRS ES ETP ESTIMADA EN FUNCION DE RADIACION SOLAR Y TEMPERATURA
      ETPRS%MON.0075*RSM%MM*TF%MM
0050 TM%130NTM%130+TM%MM
0051 PM%130RPM%130+PM%MM
0052 RS%130NRS%130+RS%MM
0053 S%130NS%130+H%MM
0054 HM%130NHM%130+HM%MM
0055 ETPH%130NETPH%130+ETPH%MM
0056 ETPS%130NETPS%130+ETPS%MM
0057 ETPRS%130NETPRS%130+ETPRS%MM
      C PD EST LA PRECIPITACION CONFIABLE AL 75 PORCIENTO DE PROBABILIDADES
      EST%MON-10+.70*PM%MM
0058 PD%MON-LT.0.010PD%MONO.
0059 IF%PD%MM ES EL DEFICIT DE HUMEDAD CLIMATICO
      C FTDF ES EL INDICE DE HUMEDAD DISPONIBLE
      FTDF%MON.LE.0.0AND.EIPH%MM.LE.0.0 GO TO 95
0060 IF%ETPRS%MM.LE.0.0AND.EIPH%MM.LE.0.0 GO TO 85
0061 IF%ETPRS%MM.LE.0.0AND.EIPH%MM.LE.0.0 GO TO 85
0062 ETOF%MONNETPRS%MM-PD%MM
0063 MAI%MONPD%MM/ETPRS%MM
0064 GO TO 3
0065 ETOF%MONNETPH%MM-PD%MM
0066 MAI%MONPD%MM/ETPH%MM
0067 GO TO 3
0068 ETOF%MONNETPS%MM-PD%MM
0069 MAI%MONPD%MM/ETPS%MM
0070 3 CONT INUE
0071 TM%130NTM%130/12.
0072 RS%130NRS%130/12.
0073 S%130NS%130/12.
0074 HM%130NHM%130/12.
0075 HPRINT 107.%TIM%MM,MNI,130
0076 PRINT 108.%PH%MM,MNI,130

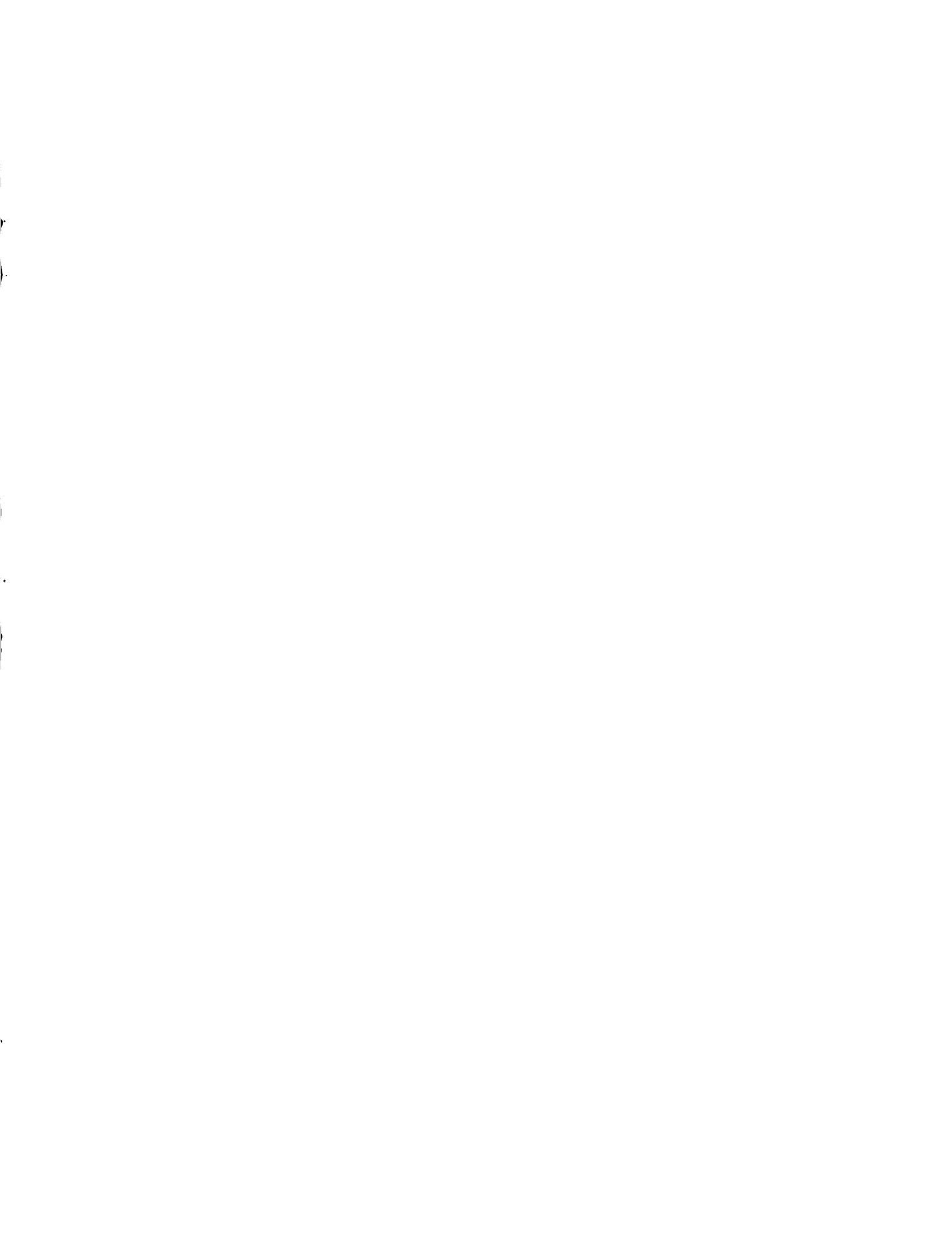
```

```

0077 PRINT 109,RS,M,MN,1,13
0078 PRINT 110,S,M,MN,1,13
0079 PRINT 111,H,M,MN,1,13
0080 PRINT 112,PH,M,MN,1,13
0081 PRINT 113,TPS,M,MN,1,13
0082 PRINT 114,TPKS,M,MN,1,13
0083 PRINT 115,PD,M,MN,1,12
0084 PRINT 116,ETDF,M,MN,1,12
0085 PRINT 117,MAI,M,MN,1,12
0086 WRITE 3,203
0087 GO TO 2
0088 FORMAT 6A6,I3,I5,4I2
0089 FORMAT 12F4.1
0090 FORMAT 12F3.1
0091 FORMAT 1H0/
0092 *MA EN REPUBLICA DOMINICANA/1H,10C%-
0093 *3/ OCT NOV 00%-
0094 FORMAT 1H,100%-
0095 FORMAT 20 TEMP MED @,12F6.1,F8.1
0096 FORMAT 20 PRS MED @,12F6.0,F8.0
0097 FORMAT 20 PRS MED @,12F6.0,F7.0
0098 FORMAT 20 HRELOT MED @,12F6.0,F7.0
0099 FORMAT 20 HRELOT H @,12F6.0,F8.0
0100 FORMAT 20 ET POT S @,12F6.0,F8.0
0101 FORMAT 20 ET POT RS @,12F6.0,F8.0
0102 FORMAT 20 ET POT RS @,12F6.0,F8.0
0103 FORMAT 20 PREC CONF @,12F6.0
0104 FORMAT 20 PREC CONF @,12F6.0
0105 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0106 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0107 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0108 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0109 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0110 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0111 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0112 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0113 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0114 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0115 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0116 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
0117 FORMAT 20 DEFICIT @,12F6.0
261 STOP
END

```

DEMANDA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA SEGUN EL CLI  
 LAT@,14,13, @ LON@,14,1  
 YRS@,13, @ ALT@,15, @ MAY  
 FEB MAR ABR JUN JUL AGO SET  
 SUM 0 PRGM@/





IICA  
PM-425  
C.1

RELACION AGUA SUELO PLA

Autor

Requerimiento de agua  
de las plantas ...

Título

Fecha  
Devolución

Nombre del solicitante

21 MAR. 1997

*Yessy Torres*

