



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Tijerina Chávez, Leonardo
Requerimientos hídricos de cultivos bajo sistemas de fertirrigación
Terra Latinoamericana, vol. 17, núm. 3, julio-septiembre, 1999, pp. 237-245
Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317308>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

REQUERIMIENTOS HIDRICOS DE CULTIVOS BAJO SISTEMAS DE FERTIRRIGACION

Crops Water Requirements under Fertirrigation Systems

Leonardo Tijerina Chávez¹

RESUMEN

En la actualidad, la escasez del agua para uso agrícola obliga al hombre al empleo de sistemas de riego más eficientes, tal como lo representa el riego localizado. Para el diseño y la operación del mismo se necesita hacer la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se pretenden establecer. Para alcanzar este propósito es necesario proponer una metodología práctica y sencilla que permita indicar cuándo y cuánto regar, así como los requerimientos de fertilizante diario, para proporcionar a los cultivos estos insumos en la cantidad y oportunidad adecuada.

Palabras clave: *Riego localizado, evapotranspiración, fertirriego.*

SUMMARY

At present, because of the scarcity of agricultural water, the use of more efficient irrigation systems is necessary, such as the drip irrigation system. To design and operate it, an estimate must be made of the water requirements of the crop that will be established on the field. To reach this purpose it is necessary to propose a practical and easy methodology that indicates when and how much must be irrigated, as well as the amount of the daily fertilizer to be supplied, in order to provide the crops with the adequate amount.

Index words: *Drip irrigation system, evapotranspiration, fertigation.*

INTRODUCCION

En los últimos años, la escasez de agua ha obligado a reorientar la investigación hacia el uso de

sistemas de riego más eficientes que permiten ahorrar agua. Una de las etapas obligadas para el diseño, construcción o instalación y operación de cualquier sistema de riego es la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos que se pretenden establecer en alguna región. En México, el Gobierno está apoyando la tecnología del fertirriego a través de uno de los Programas de la Alianza para el Campo, la cual tiene como objetivos incrementar la productividad por m³ de agua, hacer eficiente su uso, incrementar la producción de alimentos y mejorar la calidad de los productos. Este programa tiene como meta para el periodo de 1996 a 2000, incorporar al riego tecnificado un millón de hectáreas y contribuir a un ahorro de agua de alrededor de 6000 millones de metros cúbicos y 2.8 millones de Megawatts hora (Contijoch, 1998). Este mismo autor indica que para 1995 se tenían en el país 350 mil hectáreas con sistemas de riego tecnificado, de los cuales 33 % eran sistemas con tuberías de compuertas, 17.7 % con microaspersión, 15.1 % por aspersión, 10.7 % con cintilla de goteo, 6.1 % con goteo y 17.4 % con otros sistemas, llegando en 1997 a 604 mil hectáreas con riego tecnificado. Sin embargo, una vez que son instalados estos sistemas de riego, en general, excepto algunos casos, los productores requieren de capacitarse para la operación de estos sistemas para obtener buenos resultados en cuanto al ahorro de agua, lograr buena producción y mitigar el deterioro de sus suelos.

Por lo anterior, es notorio el impulso que se está dando a los sistemas de riego localizado en cualquiera de sus modalidades (microaspersión y goteo) y es muy importante la capacitación del productor. Una vez que éste decide qué sembrar, necesita saber cuándo, cuánto y cómo regar y fertilizar con estos sistemas.

Actualmente, la tecnología de fabricación de sistemas de riego localizado está en auge; existen empresas donde se pueden adquirir equipos de riego cuya operación es totalmente manual, hasta equipos completamente automatizados asistidos por computadora. Toda esta variedad de equipos dispone de dispositivos y servomecanismos para controlar la

¹ Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Instituto de Recursos Naturales. Especialidad de Hidrociencias. Carretera México-Texcoco, Km 35.5, 56230 Montecillo, Méx.
E-mail: tijerina@colpos.colpos.mx

aplicación y dosificación del agua y fertilizantes a los cultivos en las cantidades deseadas.

De acuerdo con los principios del diseño y operación de los sistemas de riego localizado, el suelo no se moja en su totalidad, el agua se aplica por un número variable de emisores, al ser menor el volumen de suelo mojado, el volumen radical se restringe, por lo que estos sistemas se operan con la frecuencia necesaria para mantener la humedad del suelo para cada cultivo en particular a un nivel adecuado.

Se suministran los fertilizantes a través del agua de riego, siguiendo tres criterios: 1) aplicar solución nutritiva en concentraciones variables dependiendo de las necesidades del cultivo, 2) aplicar los nutrimentos en forma fraccionada de acuerdo con las necesidades del cultivo según la etapa fenológica en que se encuentre, y 3) definir la dosis total de aplicación y dividirla de acuerdo con el número de aplicaciones.

Cualquiera de los tres criterios tiene como objetivo aplicar las dosis de nutrimentos mínimas necesarias para obtener los máximos rendimientos y evitar, en lo posible, el deterioro del suelo por el incremento de la salinidad y la lixiviación de nutrimento permisible.

La solubilidad de los nutrimentos en el ambiente edáfico y su disponibilidad para ser absorbidos por el sistema radical de los cultivos es tema de investigación; las interacciones iónicas con la matriz del suelo y entre ellos mismos son complejas y, debido a la variabilidad espacial de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, los resultados no son del todo extrapolables.

Por lo anterior, a continuación se presenta una metodología para la estimación del cálculo del requerimiento de riego, el cual puede tener dos objetivos: para el diseño del sistema de riego y para la determinación de la evapotranspiración en tiempo real en períodos de un día a una semana, dependiendo del manejo del riego que se le quiera dar al cultivo.

ESTIMACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION CON FINES DE DISEÑO

En la literatura se hace énfasis en que cuando no se dispone de información experimental local, se parte de la determinación de la evapotranspiración del cultivo, la cual puede ser calculada por diferentes métodos empíricos y que su aplicación es función de la información climatológica disponible para la región bajo estudio; entre los métodos más difundidos a nivel

mundial son los publicados por Doorenbos y Pruitt (1977), en donde detallan los procedimientos para calcular la evapotranspiración de referencia (ET_o), que denota el valor de la evapotranspiración para diferentes condiciones climáticas. Los procedimientos a que se hace referencia tienen diferente grado de confiabilidad, así, por ejemplo, con los métodos de Blaney y Criddle y el de Radiación (modificación de la fórmula de Makkink) se obtienen resultados confiables para períodos de un mes, mientras que muchos investigadores han estimado la ET_o para períodos de diez días y hasta de una semana. El método para estimar ET_o a partir de la evaporación en el tanque tipo "A", ha tenido resultados satisfactorios, dado que la medida de la evaporación integra el efecto de la radiación, viento, temperatura y humedad para un lugar específico. En condiciones operativas, los valores de la evaporación medidos en el tanque tipo "A" afectados por sus correspondientes factores de corrección, se han utilizado para calcular los volúmenes de agua de riego a reponer en lotes comerciales de diferentes cultivos bajo sistemas de fertirrigación. Finalmente, el documento citado proporciona el procedimiento de Penman modificado para cálculo de la ET_o dando resultados razonables para un día.

A continuación se resumen algunas fórmulas para estimar la evapotranspiración de diseño.

Cuadro 1. Ecuaciones de diseño para sistemas de riego localizado.

Número	Ecuación	Autores
1	$ET_d = 0.6ET_c$	Goldberg, Gornat y Rimon (1976)
2	$ET_d = 0.7E_v$	Goldberg, Gornat y Rimon (1976)
3	$ET_d = 0.6F \cdot E_v$	Aljiburi, Marsh y Huntamer (1974)
4	$ET_d = K \cdot A \cdot E_v$	Shearer (López <i>et al.</i> , 1992)
5	$ET_d = ET_c (0.10 + A') \leq 1$	Decroix (López <i>et al.</i> , 1992)
6	$ET_d = F \cdot E_v$	Hoare <i>et al.</i> , (1974)
7	$ET_d = ET_c [A' + 0.15 (1-A')]]$	Keller (1978)

Donde:

ET _d	Evapotranspiración de diseño
ET _c	Evapotranspiración del cultivo
E _v	Evaporación del tanque tipo "A"
K	Coefficiente de cultivo para riego por goteo
A	Area sombreada por el cultivo
F	$0.8f_1' \cdot f_2$
f ₁ '	$Kc [A' + 0.5 (1-A')]]$

Kc Coeficiente de cultivo en estado adulto
 A' Fracción de la superficie sombreada
 f₂ Factor del suelo

Algunos valores del Kc reportados por López *et al.* (1992) son: cítricos 0.7; plátano 0.8; vid 0.9; frutales 0.9; hortalizas 0.9; tabaco 1.0; tomate 1.0 y maíz 1.1 .

En la Ecuación 3, F es un coeficiente de cobertura del cultivo, tomando valores de F = 0.13 para 10 %, 0.33 para 25 %, 1.0 para 75 % y 1.33 para 100 %, respectivamente.

Las Ecuaciones 6 y 7 del Cuadro 1 consideran el efecto de la microadvección y emisión de radiación desde las áreas secas.

Cuando la superficie sembrada es igual a 100 %, ETd es igual a ETc. Estas ecuaciones también son aplicables tanto para el cálculo de la evapotranspiración para el período de máxima demanda, como para las necesidades hídricas en diferentes etapas fenológicas.

Con propósitos de diseño, deberá considerarse la ETd máxima para el intervalo de riego más corto. Sin embargo, otros autores opinan que para ciertos cultivos en estados fenológicos específicos, moderados, déficits hídricos durante cortos intervalos de tiempo no afectan significativamente la producción, por lo que la ETd corresponde a la media máxima mensual, ya que sólo de 5 a 10 % de los días, la evapotranspiración máxima diaria puede alcanzar un valor de 50 a 100 % superior al valor promedio máximo mensual.

Doorenbos y Pruitt (1977) proponen estimar la ETe máxima media conociendo la lámina de agua disponible en el suelo y el tipo de clima, mientras que en el caso de riegos localizados se debe considerar un factor de ajuste de acuerdo con el área sombreada y no con la superficie mojada.

NECESIDADES DE RIEGO

Las necesidades de riego se calculan en función de la ecuación de balance hídrico. Recordando que el cálculo de la evapotranspiración de cualquier cultivo (Etc) es de acuerdo con la fórmula:

$$Rn = ETc - (Pe + G + W)$$

Donde:

Rn Requerimiento de riego neto

ETc Evapotranspiración del cultivo
 Etc Kc * Eto
 Eto Evapotranspiración del cultivo de referencia
 Pe Precipitación efectiva
 G Aportaciones del manto friático
 W Cambio del almacenamiento del agua en el suelo.

Para calcular el requerimiento total de riego (Rt) se deberá sumar al requerimiento neto las pérdidas por percolación (f₂) y el requerimiento de lavado (RL), así como considerar el coeficiente de uniformidad de aplicación (CU).

Las pérdidas por percolación para la Ecuación 6 del Cuadro 1 [Hoare *et al.* (1984)] se consideran los factores propuestos por Jobling (1974) (Cuadro 2).

El cálculo de las necesidades totales se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$Rt = Rn / K * CU \rightarrow \text{si } K < (1-RL)$$

o

$$Rt = Rn / K(1-RL) \rightarrow \text{si } K > (1-RL)$$

o

$$Rt = Rn / Ea,$$

Donde:

K = Coeficiente de pérdidas por percolación, pudiéndose utilizar el inverso de los valores de f₂ de Jobling (1974) o los coeficientes de transpiración propuestos por Keller (1978) y listados en el Cuadro 3.

Ea = Eficiencia de aplicación [Ea= K*CU si K<(1-RL) y Ea=(1-RL)CU si K>(1-RL)].

Es importante indicar que actualmente el reto desde el punto de vista técnico es obtener eficiencias totales en sistemas de riego presurizados mayores que 85 %.

Keller (1978) define como relación de transpiración (Tr), al cociente que resulta de dividir el agua aplicada entre el agua transpirada, quedando implícitos en este factor las pérdidas por percolación; los valores Tr se presentan en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 2. Valores de pérdidas por percolación (f₂).

Tipo de suelo	f ₂
Arena gruesa: horizonte superficial	
Ligero	1.15
Arenoso	1.10
Limoso	1.05
Franco-arcilloso	1.00

Jobling (1974).

Cuadro 3. Relación de transpiración (Tr) para sistemas de riego tradicional.

Profundidad de raíces	Textura del suelo			
	Muy porosa (grava)	Arenosa	Media	Fina
m				
< 0.75	1.10	1.10	1.05	1.00
0.75-1.50	1.10	1.05	1.00	1.00
> 1.50	1.05	1.00	1.00	1.00

Keller (1978).

Cuadro 4. Relación de transpiración (Tr) para sistemas de riego por goteo.

Zona climática	Profundidad de raíces	Textura del suelo			
		Muy arenoso	Arenoso	Media	Fina
	m				
Arida	<0.75	1.15	1.10	1.05	1.05
	0.75- 1.50	1.10	1.05	1.00	1.00
	>1.50	1.05	1.00	1.00	1.00
Húmeda	<0.75	1.35	1.25	1.15	1.10
	0.75-1.50	1.25	1.20	1.10	1.05
	>1.50	1.20	1.10	1.05	1.00

Keller (1978).

COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE RIEGO

De acuerdo con Salomon (1985), las causas que influyen en la uniformidad de la aplicación del agua a través de sistemas de riego presurizado son: las obturaciones, el número de emisores de los que recibe agua cada planta, el coeficiente de variación de fabricación de los emisores, de la sensibilidad del emisor a la temperatura, de las diferencias de presión que se producen en la red debidas a las pérdidas de carga y topografía del terreno, de los coeficientes de variación de fabricación de los reguladores de presión, de la relación entre la pérdida de carga que se produce en las líneas terciarias y el lateral, así como del número de diferentes diámetros que componen la línea terciaria.

Existen varias fórmulas de tipo estadístico que son utilizadas para el cálculo del coeficiente de uniformidad, como la propuesta por Christiansen y otros, reportados por López *et al.* (1992). A continuación se presentan algunas de ellas.

Para Sistemas de Riego por Aspersión

$$CU_c = 100 [1 - S | X_i - X_m | / nX_m]$$

Donde:

CU_c = Coeficiente de uniformidad de Christiansen
 $|x_i - x_m|$ Representan, en valor absoluto, las desviaciones con relación a la media X_m del agua captada por n pluviómetros.

En ocasiones el CU_c de Christiansen también se ha utilizado para evaluar la uniformidad de aplicación del riego en sistemas de riego por gravedad.

$$CU = (q_{25\%} / q_a) * 100$$

Donde:

$q_{25\%}$ = Media de 25 % de observaciones de valor más bajo

q_a = La media de todos los valores

Para Riego Localizado

$$CU = 100 [1 - (1.27 CV / e)] q_n / q_a$$

Donde:

CV = El coeficiente de variación de fabricación del emisor

e = El número de emisores de los que recibe agua cada planta

q_n = Gasto mínimo del emisor que corresponde a la presión mínima

q_a = Gasto medio de todos los emisores considerados

Otras fórmulas consideran aspectos económicos relacionados con el costo de varios insumos como: el valor de la cosecha, el costo del agua, el costo de la energía eléctrica, el costo de la mano de obra, fertilizantes a aplicar con el riego y el costo de la instalación en función de la uniformidad de riego; sin embargo, en este artículo se presentan los valores de CU propuestos por la American Society Agricultural Engineers (1981) (ASAE) (Cuadro 5).

REQUERIMIENTO DE LAVADO

El requerimiento de lavado (RL) es la cantidad mínima de agua de riego que debe ser drenada a través de la zona radical para controlar la salinidad del suelo a un nivel específico dado.

Para suelos de textura franco-arenoso a franco-arcilloso con buen drenaje y donde la lluvia es escasa, el requerimiento de lavado puede ser estimado por las siguientes fórmulas:

Cuadro 5. Valores del coeficiente de uniformidad (CU) recomendados por la ASAE EP405 (ASAE, 1981).

Tipo de emisor	Topografía del suelo	CU para zonas áridas %
Emisores espaciados a más de 4 m en cultivos perennes	Uniforme (<2 % pendiente)	90 a 95
	Terreno en pendiente (>2 %) u ondulado	85 a 90
Emisores espaciados a > 4 m en cultivos perennes o semiperennes	Uniforme	85 a 90
	Terrenos en pendiente u ondulados	80 a 90
Tuberías emisoras en cultivos anuales hortícolas o de escarda	Uniforme	80 a 90
	Terrenos en pendiente u ondulados	70 a 85

Estos valores se disminuyen en 10 % en las zonas húmedas.

Para sistemas de riego superficial (gravedad y aspersión):

$$RL = CEa / (5CEe - CEa)$$

Para sistemas de riego por goteo y aspersión de alta frecuencia:

$$RL = CEa / 2CEe_{\max}$$

Donde:

Cea = Conductividad eléctrica del agua de riego ($dS m^{-1}$)

Cee = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo para un cultivo dado, en función del grado de tolerancia en la reducción de su rendimiento ($dS m^{-1}$) [ver página 78 de Doorenbos y Pruitt (1977)].

CEe_{\max} = Conductividad eléctrica máxima tolerable del extracto de saturación del suelo para un cultivo dado ($dS m^{-1}$) [ver página 78 de Doorenbos y Pruitt (1977)].

CUÁNDO Y CUÁNTO REGAR

En los sistemas de riego localizado de alta frecuencia en donde prácticamente se riega diariamente, la estimación de la evapotranspiración puede hacerse con base en el valor de la evaporación medida en el tanque tipo "A".

Otro procedimiento consiste en determinar la disminución del contenido de humedad con sensores de humedad del suelo; por ejemplo, los electrotensiómetros, previamente calibrados *in situ*, se instalan estratégicamente en el campo y cuando la lectura llega a un valor predeterminado indican el

momento de riego. Estos sistemas de riego pueden ser asistidos por computadora y las señales enviadas por los electrotensiómetros son procesadas y permiten calcular el volumen de agua y el tiempo que tienen que permanecer abiertas las válvulas del sistema para aplicar dicho volumen.

La disponibilidad de estaciones meteorológicas automáticas, las cuales se localizan en las parcelas de interés, se programa para obtener la información correspondiente en intervalos de tiempo cortos. Esta información se procesa para estimar el valor de la evapotranspiración a nivel diario mediante la utilización de métodos micrometeorológicos, como por ejemplo: la ecuación de Penman-Monteith, balance de energía, entre otras. Las estaciones pueden estar intercomunicadas con una computadora en donde se instalan los programas de cómputo correspondientes para calcular la evapotranspiración y, posteriormente, de manera similar que en el caso anterior, el procesador de información u ordenador debe estar comunicado con los dispositivos de control del sistema de riego y aplicar el volumen deseado.

CALCULO DE LA CANTIDAD DE FERTILIZANTE POR APLICAR EN CADA RIEGO

Conociendo la lámina de riego determinada por cualquiera de los procedimientos anteriormente mencionados, las fórmulas que se utilizan para calcular la cantidad de fertilizante se presentan a continuación:

$$R_t = R_n / E_a$$

Donde:

- R_t = Requerimiento total (m)
- R_n = Requerimiento neto (m)
- E_a = Eficiencia de aplicación

$$V_a = R_t * S * s$$

Donde:

- V_a = Volumen de agua por aplicar (m³)
- S = Superficie (m²)
- s = Factor de sombreado < 1 (adimensional)

Fertilizantes Sólidos

$$F_s = V_a * c * F_c / P_n$$

Donde:

c = Concentración en la solución del nutrimento por aplicar (mg L⁻¹)

F_c = Factor de conversión (Junta de Extremadura, España):

$$N_{total} \text{ a } N_{amoniacal-nítrico-ureico} = 1.00$$

$$P \text{ a } P_2O_5 = 2.29$$

$$K \text{ a } K_2O = 1.20$$

P_n = Porcentaje de nutrimento presente en el fertilizante

Fertilizantes Líquidos

$$F_l = V_a * c * F_c / P_n * D_l$$

Donde:

D_l = Densidad del fertilizante líquido (g cm⁻³)

Cuadro 6. Cálculo de la evapotranspiración del cultivo de durazno con base en la información agrometeorológica de Montecillo, estado de México.

Mes	T media °C	Ev mm	HR media %	Prec mm	Prec cm	Rad media Ly d ⁻¹	Rad mm	VV 24 h m s ⁻¹	VV diurna m s ⁻¹	N h
Ene	10.6	132.7	58.4	2.7	0.27	411.4	7.0	1.8	2.4	9.1
Feb	12.6	154.4	59.3	10.4	1.04	451.7	7.7	2.0	2.7	8.4
Mar	14.2	192.2	57.3	24.8	2.48	472.2	8.0	2.2	2.9	8.3
Abr	16.2	200.7	57.7	22.9	2.29	498.9	8.5	2.1	2.8	8.8
May	17.4	183.5	58.4	36.1	3.61	502.8	8.5	1.6	2.1	8.4
Jun	17.3	140.7	66.5	94.4	9.44	452.8	7.7	1.5	2.0	6.1
Jul	16.5	118.2	68.3	107.5	10.75	453.7	7.7	1.2	1.6	6.4
Ago	16.6	123.4	67.8	64.7	6.47	460.1	7.8	1.2	1.6	6.3
Sep	15.9	117.0	67.0	71.5	7.15	457.7	7.8	1.4	1.9	7.0
Oct	14.5	121.9	63.3	18.1	1.81	461.4	7.8	1.4	1.9	7.8
Nov	13.1	120.4	60.7	2.5	0.25	444.5	7.5	1.5	2.0	8.7
Dic	11.8	115.3	61.5	0.5	0.05	405.6	6.9	1.6	2.1	8.3

Mes	W graf.†	RadW	ET _o mm d ⁻¹	ET _o cm m ⁻¹	Kc	Et _c cm	Pcm	Pe cm	ET _c -Pe cm	ET _c Acum cm
Ene	0.61	4.25	3.75	11.63			6.3	0.00		
Feb	0.65	4.98	4.35	12.18			7.0	0.00		
Mar	0.66	5.28	4.75	14.73	0.85	12.5	8.3	0.00	12.5	12.5
Abr	0.69	5.83	5.20	15.60	0.95	14.8	8.5	0.00	14.8	27.3
May	0.70	5.97	5.35	16.59	1.05	17.4	8.0	0.00	17.4	44.7
Jun	0.70	5.37	4.76	14.28	1.15	16.4	6.5	5.23	11.2	55.9
Jul	0.69	5.31	4.25	13.18	1.15	15.2	5.7	4.59	10.6	66.5
Ago	0.69	5.38	4.35	13.49	1.15	15.5	5.9	4.74	10.8	77.3
Sep	0.69	5.35	4.30	12.90	1.10	14.2	5.7	4.55	9.6	86.9
Oct	0.67	5.24	4.17	12.93	0.97	11.6	5.9	0.00	11.6	98.5
Nov	0.65	4.90	4.34	13.02	0.87	11.1	5.8	0.00	11.1	109.6
Dic	0.64	4.40	3.80	11.78			5.6	0.00		
						128.7			109.6	

Rad = Radiación solar global promedio diaria para cada mes. VV = Velocidad del viento. N = Horas brillo solar promedio diario.

ET_c = Evapotranspiración del cultivo descontando la precipitación efectiva.

† Doorenbos y Pruitt (1977).

EJEMPLO

Calcular la evapotranspiración del cultivo de durazno para el área de influencia de la estación agrometeorológica de Montecillo, estado de México.

Los datos climatológicos corresponden al promedio de 10 años de observaciones, los cuales se resumen en el Cuadro 6. La estación climatológica está localizada a una latitud de 19° 29'; longitud 98° 54' oeste y 2240 m sobre el nivel del mar.

Características del Cultivo:

Cultivo	Durazno
Inicio de brotación	marzo
Separación entre hileras	4 m
Separación entre árboles	2 m
Diámetro del área sombreada	3.25 m
Porcentaje de la superficie sombreada	51.8 %
Densidad de población	625 árboles ha ⁻¹
Duración del periodo vegetativo	270 d (marzo-noviembre)
Periodo invernal	90 d (diciembre-febrero)

Características del Suelo:

Textura	Franco-arcillo-arenosa
Densidad aparente	1.37 g cm ⁻³
Contenido de humedad a 0.3 atm de tensión	34.2 %
Contenido de humedad a 15 atm de tensión	17.7 %
Humedad aprovechable a 100 cm de profundidad	22.5 cm
Capacidad de almacenamiento	225 mm m ⁻¹
Infiltración básica	5 mm h ⁻¹
Profundidad radical	1 m
Conductividad eléctrica del extracto de saturación	2.5 dS m ⁻¹ a 25 °C.

Características del Agua de Riego:

Fuente de abastecimiento	Agua de pozo
Conductividad eléctrica	1.7 dS m ⁻¹ a 25 °C

Cálculo de E_{Tc}

En el Cuadro 6 se detalla el procedimiento del cálculo de la evapotranspiración de referencia (E_{to}), utilizando el método de radiación propuesto por Doorenbos y Pruitt (1977).

La ecuación es la siguiente:

$$E_{to} = c * W (R_s)$$

Donde:

E_{to} = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día⁻¹) para el período considerado (un mes)

c = Factor de ajuste que depende de la humedad relativa media y de la velocidad del viento diurna

W = Factor de ponderación que depende de la temperatura y la altitud

R_s = Radiación solar en evaporación equivalente (mm día⁻¹)

Cálculo de la Precipitación Efectiva

Método de Prescott y Anderson. Este método considera para el cálculo de la lluvia efectiva la precipitación media calculada en función de la evaporación media mensual y se compara con la precipitación media mensual, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$P_{cm} = 0.9 * E_v^{0.75}$$

Donde:

P_{cm} = Precipitación media calculada

E_v = Evaporación mensual media, medida en el tanque tipo "A"

Para calcular la precipitación efectiva (P_e), se utiliza el siguiente criterio:

Si P_{cm} > P_m entonces P_e = 0

Si P_{cm} < P_m entonces P_e = 0.8 P_{cm}

Donde:

P_m = Precipitación media mensual

Balance Hídrico

Si se asume que no hay aportaciones significativas del manto freático y que el día anterior se regó para elevar su contenido de humedad a capacidad de campo, a continuación se hace el balance de agua y se calcula la evapotranspiración acumulada para cada cultivo a nivel mensual (Figura 1).

Cálculo de la E_{td} para el sistema de riego localizado. Observando los valores a nivel mensual para el cultivo de durazno, el mes de mayo es el de mayor demanda, y suponiendo que el cultivo se va a regar diariamente, la evapotranspiración media mensual para dicho mes es de 17.4 cm que equivalen

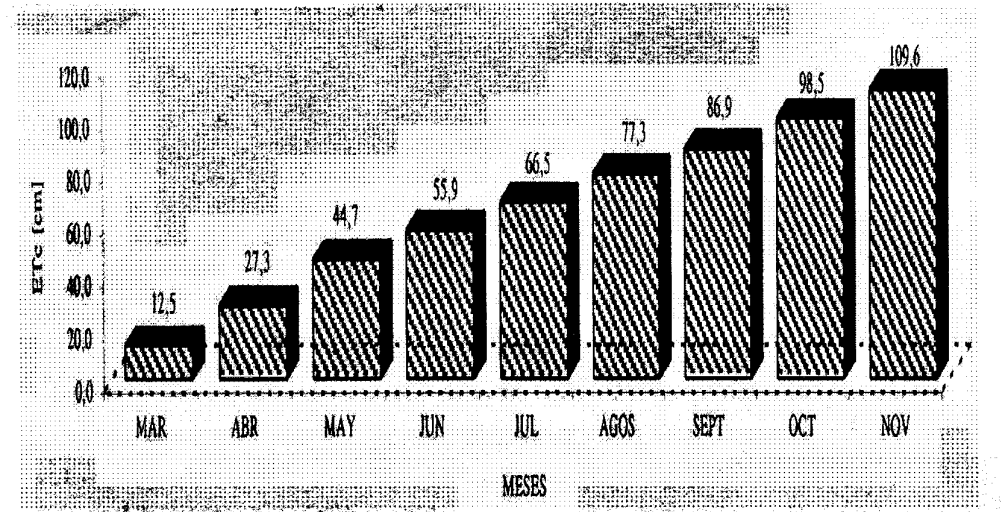


Figura 1. Evapotranspiración acumulada en durazno.

a un promedio de 5.6 mm d^{-1} ; entonces aplicando el criterio de Keller y Kameli (1974).

$$ETd = ETc [A' + 0.15(1 - A')]$$

Suponiendo que el área sombreado del cultivo es 5182.22 m^2 en una hectárea y que la fracción de área sombreado es $A' = 0.518$, la evapotranspiración diseño será igual a:

$$Etd = 5.6[0.518 + 0.15(1 - 0.518)] = 3.305 \text{ mm}$$

(equivalente a $33.05 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$)

Cálculo del requerimiento neto. Suponiendo que la Etc en el cultivo de durazno para el 11 de julio calculada mediante el método de balance de energía (Tijerina y Quevedo, 1997) fue de 4.99 mm y que se está regando diariamente, considerando un factor de sombreado de 0.518 :

$$Rn = 0.00499 * 10000 * 0.518 = 25.85 \text{ m}^3$$

Requerimiento Total de Riego

De acuerdo con el Cuadro 5 se elige un CU igual a 0.85 , por ser la época húmeda del año y el terreno plano.

Cálculo del requerimiento de lavado. La conductividad eléctrica del agua de riego es 1.7 dS m^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y la conductividad eléctrica máxima tolerable por el cultivo ($CE_{e_{\max}}$), de acuerdo con la tabla 36 en

la página 78 de Doorenbos y Pruitt (1977) es igual a 7 dS m^{-1} .

$$RL = CEa / 2CE_{e_{\max}}$$

$$RL = 1.7 / 2 * 7 = 0.12$$

Cálculo de las pérdidas por percolación. Si se asume que se tiene un coeficiente de transpiración (Tr) igual a 1.05 (Keller, 1978), por lo tanto, el coeficiente de percolación (K) es igual a $1/1.05 = 0.952$.

Cálculo de la eficiencia de aplicación.

$$Ea = (1 - RL)CU$$

$$Ea = (1 - 0.12) * 0.85 = 0.748$$

Por lo tanto, el requerimiento total de riego (Rt) será:

$$Rt = Rn / Ea$$

$$Rt = 25.85 / 0.748 = 34.56 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$

CONCLUSION

En relación con el ejercicio antes citado, se determinó que la ETd es menor que el requerimiento total para ese día, por lo que se tendrá que incrementar el tiempo de riego, o bien, modificar el gasto, logrando esto último con un incremento en el número de emisores.

LITERATURA CITADA

- American Society Agricultural Engineers. 1981. Designs installation and performance of trickle irrigation systems ASAE. pp. 511-513. *In: Year book. Engineering Practice ASAE.AP405-Agricultural Engineers. USA.*
- Contijoch. 1998. Resultados del programa de ferti-irrigación y perspectivas a corto plazo. pp. 203-216. *In: Memorias del III Simposium Internacional sobre Ferti-irrigación. León, Guanajuato, México.*
- Cháides B., R. 1997. Fertigación nitrogenada del cultivo de coliflor (*Brassica oleraceae* Var. *Botrytis L.*) mediante riego por goteo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Méx.
- Doorenbos, S. y W.O. Pruitt. 1977. Crop water requirements. Irrigation and drainage. Paper No. 24. FAO. Roma, Italia.
- Hoare, E.R., K.V. Garzoli y J. Blackwell. 1984. Plant water requirements as related to trickle irrigation. pp. 323- 328. *In: I Proc. and II Internat. Drip Irrigation Congress. California, USA.*
- Jobling, G.A. 1974. Trickle irrigation design manual. Part 2. Miscellaneous publication No. 7. Agricultural Engineering Institute, USA.
- Keller, J. 1978. Trickle irrigation. Section 15-7. National Engineering Handbook. Soil Conservation Service. USDA. USA.
- Keller, J. y D. Kameli. 1974. Trickle irrigation design Rain Bird. Glendora, California, USA.
- López J., R., J.M. Hernández, A. Pérez R. y J.F. González H. 1992. Diseño y manejo de un sistema de riego localizado. pp. 149-158. *In: Mundi Prensa (ed.). Riego localizado. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid, España.*
- Rosenberg, N.J. 1972. Microclimate. Tech. Biological Environment. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Salomon, K.H. 1985. Global uniformity of trickle irrigation system. ASAE. Transact. Vol. 28-4. USA. 1.151-1.158.
- Tijerina Ch., L. y A. Quevedo N. 1997. Estimación de la evapotranspiración por métodos micrometeorológicos. Memorias del VII Congreso Nacional de Irrigación. ANEI (ed.). Hermosillo, Sonora, México.