

## CAPÍTULO 3

### REQUERIMIENTOS DE CAUDAL DEL SISTEMA

---

#### **Evapotranspiración del Cultivo (ET)**

La evapotranspiración (ET) es un proceso combinado de evaporación desde las superficies del suelo y de la planta, y de transpiración de las plantas.

En un clima en particular, para un cultivo y un estado de crecimiento dados, la ET depende de la humedad de la superficie del suelo (evaporación) y de la humedad del suelo en la zona de raíces. La ET puede reducirse si la humedad en la superficie del suelo es limitante. Si la superficie de un suelo y/o la superficie de la planta están húmedas, la evaporación más la transpiración combinadas serán mayores que la transpiración que ocurriría si la superficie del suelo estuviera seca. A medida que la evaporación se incrementa, la transpiración decrece (aunque sin llegar a cero).

#### **Valores Publicados de ET**

Existen muchos libros en los cuales se discuten los procedimientos para estimar valores de ET de cultivos. Este libro no intentará duplicar esas discusiones en detalle; no obstante, señalará algunos hechos pertinentes al diseño de sistemas de riego por goteo/microaspersión.

En muchas áreas de los Estados Unidos hay abundancia de información relativa a la ET de cultivos. En algunas áreas, los distritos de riego locales o el USDA/Soil Conservation Service tienen disponible información de ET mensual. Conviene señalar sin embargo, que los datos publicados sobre ET deben ser siempre verificados con el fin de observar si tienen sentido lógico. Los siguientes puntos son de gran importancia:

1. El caudal de bombeo y la capacidad de diseño del sistema se fundamentan en general sobre el período de “ET máxima” (como ejemplo la época de verano en los Estados Unidos, cuando los cultivos crecen vigorosamente y el clima es el más cálido y seco). Una excepción sería que el sistema hubiese sido diseñado para protección contra heladas como objetivo principal.
2. El valor de “ET máxima” seleccionado puede corresponder al mes pico o a la semana pico y los datos pueden provenir de un “promedio” o de un año “normal”, o de un año “más cálido que un año promedio”. En consecuencia, se debe hacer uso de un juicio razonable al seleccionar el valor de ET.

Para un suelo franco o de textura más pesada, con al menos el 60% del volumen de suelo humedecido por emisores o rociadores, la práctica estándar es diseñar para el mes pico de un año “normal”. La capacidad de retención de humedad del suelo proveerá una especie de amortiguación para los períodos extremadamente cálidos. En general resulta antieconómico diseñar para la semana más cálida del año más cálido. Sin embargo, en cualquier situación de un suelo de baja capacidad de retención de humedad, los caudales de diseño pueden ser cerca de 10% - 15% mayores que para un suelo franco profundo, simplemente porque el suelo no tendrá suficiente “capacidad de amortiguación” para suplir requerimientos de agua adicionales durante una temporada seca. Las bajas capacidades de retención de humedad son causadas por:

- Un porcentaje pequeño de área humedecida (muy pocos emisores/árbol, y/o un patrón de rocío pequeño).
  - Suelos arenosos o rocosos.
  - Sistemas de raíces de poca profundidad, tales como en aguacate o en algunas hortalizas.
3. El análisis económico que determina el diámetro óptimo de un tubo para cierto caudal requiere conocimiento del total de horas de bombeo durante el año. Un estimativo de las horas de bombeo requiere información sobre ET anual, precipitación efectiva y sobre contribuciones de niveles freáticos altos a la ET de la planta.
  4. Los árboles grandes necesitan más agua por árbol que los pequeños. Sin embargo, un lote de árboles pequeños adultos separados a corta distancia, puede requerir la misma cantidad de agua por hectárea que un lote de árboles grandes adultos pero separados a mayor distancia. Lo anterior asume la misma altura de árboles y la misma variedad.

Resultado: Un huerto con varios bloques de árboles y con leves diferencias de separación [ejemplo: algunos bloques con separación entre árboles de 4,9 m x 5,5 m (*16' x 18'*) y otros con separación de 4,9 m x 4,9 m (*16' x 16'*), requiere un diseño de manera tal que los bloques puedan regarse durante un número diferente de horas/semana si el caudal/árbol es el mismo. En esta forma, cada bloque recibirá la misma cantidad de agua/**hectárea**/semana.

5. Una vez que aproximadamente el 65% de la superficie del terreno haya sido cubierta por el canopeo de los árboles, la ET de los árboles alcanza su valor máximo.
6. La mayoría de la información sobre evapotranspiración (ET) en huertos de árboles es para condiciones “típicas”. Esto a menudo significa que el lote es regado por superficie una vez cada dos semanas o algo por el estilo. La superficie del terreno solo se humedece entre 10% - 20% del tiempo total y los árboles pueden en realidad mostrar algún estrés de humedad justo antes de un

riego. Con riego por goteo/microaspersión en árboles (bien sea goteo o microrocío), no toda la superficie del terreno es humedecida, pero la parte que se humedece permanece húmeda durante casi todo el tiempo. Esto significa que hay más pérdidas por evaporación en la mayoría de los sistemas micro que en los sistemas de riego por superficie. Con la mayoría de sistemas de riego por goteo/microaspersión los riegos frecuentes y livianos no producen estrés o este es muy pequeño, lo cual significa que la TRANSPIRACIÓN de los árboles está siempre en su máximo valor. Estos dos factores: (1) EVAPORACIÓN mayor y (2) Mayor TRANSPIRACIÓN contribuyen a obtener unas tasas más elevadas de ET (EVAPOTRANSPIRACIÓN) en árboles regados por sistemas micro que en aquellos regados por superficie. En algunas ocasiones se recomienda entonces que para fines de diseño, las tasas de ET se incrementen en un **15%** sobre las tasas de ET estándar publicadas. Obviamente, el porcentaje de incremento o reducción dependerá de la diferencia relativa tanto en transpiración como en evaporación desde la superficie del suelo.

7. Los cultivos de cobertura en huertos de árboles son de diversos tamaños, formas y tipos. En la mayoría de los sistemas de riego por goteo/microaspersión no se encuentran cultivos de cobertura, no obstante se encuentran en algunos sistemas de rocío. Un buen cultivo de cobertura tendrá un componente adicional de ET, el cual dependerá del tipo de cultivo, porcentaje de área cubierta, vigor de la cobertura, altura y frecuencia de corte. Las tasas de ET pueden fácilmente ser 15% - 20% mayores en huertos adultos con cultivo de cobertura, que en un huerto también en estado adulto pero sin cultivo de cobertura.
8. El hecho de que los cultivos puedan potencialmente tener cierta tasa de ET, no significa que en realidad sea deseable alcanzar dicha tasa. Un ejemplo es el cultivo de uva; con frecuencia se somete a estrés de humedad antes de la cosecha con el fin de mejorar el contenido de azúcar de las uvas.

La Tabla 4 de este libro proporciona valores típicos de ET de varios cultivos para el Valle Sureño de San Joaquín en California.

Para mayor información detallada relacionada con salinidad, ET y programación del riego, se puede consultar el libro del ITRC de Cal Poly titulado **Ag-Irrigation Management**. El ITRC también cuenta con una herramienta de entrenamiento computarizada, sofisticada y amigable, llamada “AGWATER” la cual puede correrse en PCs bajo DOS. AGWATER permite a los distribuidores de equipos de riego o a los agricultores ajustar una programación de riego por goteo para un año normal en:

- un predio específico, y
- para un diseño específico de sistema de riego por goteo/microaspersión.

## **Volumen de Suelo Húmedo**

En 1984 Boswell presentó una información acerca del movimiento lateral del agua en varios tipos de suelo. “Típicamente” el agua se esparcirá en esas distancias horizontalmente, más allá del agua estancada sobre la superficie. Se advierte con mucho énfasis que estos son solamente números muy generales y que deben ser siempre verificados en el campo.

Los valores “típicos” son:

<u>Tipo de Suelo</u>	<u>Movimiento Lateral Adicional</u>	
	<u>(m)</u>	<u>(pies)</u>
Arena Gruesa	0,15 - 0,5	0,5 - 1,5
Arena Fina	0,3 - 0,9	1,0 - 3,0
Suelo Franco	0,9 - 1,4	3,0 - 4,5
Arcilla Pesada	1,2 - 1,8	4,0 - 6,0

El movimiento lateral real depende de las cantidades y tipos de sales, de las texturas del suelo, de las estratificaciones y de las tasas de aplicación. Los patrones típicos de infiltración en forma de “cebolla” bajo emisores de goteo, los cuales se muestran con frecuencia en la mayor parte de la literatura, muy rara vez se observan en el campo. Los modelos matemáticos sobre movimiento del agua desarrollados en condiciones de laboratorio, muy rara vez reflejan la realidad de las condiciones de campo.

## **Tasas de Aplicación**

### **Requerimientos Netos vs. Requerimientos Brutos**

La cantidad “**neta**” de agua necesaria es aquella requerida justamente para satisfacer el uso beneficioso. Para diseño de requerimientos de caudal, el uso beneficioso es usualmente la evapotranspiración (ET) durante la época más cálida del año, menos cualquier fracción de la ET que pueda ser abastecida por la precipitación o por un elevado nivel freático.

La lixiviación para control de salinidad es considerada también como uso beneficioso. En condiciones de salinidad del agua entre moderada y baja, el agua extra (2% - 5%) requerida para control de salinidad puede ser aplicada en una sola aplicación, usualmente durante la primavera o el otoño. Para satisfacer los requerimientos de lixiviación durante el verano no siempre es necesario incrementar el caudal de bombeo. En muchas áreas no se requiere agua de riego extra para la lixiviación por cuanto la percolación profunda proveniente de la precipitación es suficiente para lavar las sales acumuladas. Una combinación de un agua altamente salina (típicamente  $EC_w > 1,5$  dS/m) y de una planta sensible a la salinidad, puede requerir percolación profunda para lixiviación de sales en cada evento de riego.

La cantidad “**bruta**” es la cantidad “neta”, ajustada para cualquier tipo de ineficiencias de riego. Las ineficiencias primarias en riego por goteo/microaspersión son:

- UD (este es el ajuste principal).
- Deriva (en el caso de microrociadores).

En el sistema de riego instalado *también* habrá ineficiencias de riego debido a un pobre control del tiempo de aplicación del riego, lo cual ocasiona riego en exceso en el lugar del lote que recibe “la menor” cantidad de agua. Este tipo de ineficiencia generalmente ocurre durante el período no-pico de ET, debido a que quienes manejan el riego a menudo no reducen apropiadamente las horas de riego para que se ajusten a la ET más baja durante ese tiempo. Tales ineficiencias fuera de estación no son utilizadas para estimar el caudal bruto requerido para el diseño del sistema.

El procedimiento usado aquí para determinar la cantidad BRUTA de agua requerida para el diseño tendrá en cuenta lo siguiente:

1. Garantizar que no habrá sectores secos en el lote (excepto para algún riego en déficit permisible en cerca de 1/8 del lote, tal como lo determina la definición de  $UD_{ci}$ ) durante el período pico de ET. Esto asume un cierto número de horas de riego por día.
2. Garantizar la condición (1) anterior para un período pico definido como “ el mes pico en un año normal”.
3. Garantizar que 7/8 del lote recibirán riego en exceso ( esto se desprende del numeral 1). El número “7/8” es una consecuencia de utilizar el valor UD del Cuarto Inferior en los cálculos -- la lámina objetivo es el valor “promedio del cuarto inferior”, lo cual quiere decir que 1/8 del lote recibirá riego en déficit si la lámina objetivo es satisfecha con exactitud.

#### Tasa de Aplicación por Día para Satisfacer la ET Pico

Para satisfacer las tres condiciones anteriormente enumeradas, se utiliza típicamente la fórmula que se ilustra adelante. Como se mencionará posteriormente no siempre resulta económico diseñar para un riego completo (satisfaciendo los requerimientos de ET de 7/8 del lote) durante un período muy corto (1 día o quizás 1 semana) de ocurrencia de una ET excesivamente alta. Sin embargo, para un riego completo (excepto el 1/8 más bajo del lote),

$$\text{Tasa Aplic. Bruta} = \frac{\text{Tasa ET Pico Cultivo} - \text{Contribucion de Lluvia o NF Alto}}{\left[ \frac{\text{Efic. Aplic. Potencial sin Déficit en Riego}}{100} \right]}$$

donde: NF = Nivel Freático

La eficiencia de aplicación potencial sin déficit en riego (asumiendo que no hay pérdidas por escorrentía no recoletadas) es:

$$EA \text{ Potencial} = \left(1 - \frac{\% \text{ pérdidas por deriva}}{100}\right) \times UD \times 100$$

Por consiguiente, la ecuación para la tasa de aplicación bruta puede expandirse a:

$$\text{Tasa Aplic. Bruta} = \frac{\text{Tasa Pico ET Cultivo} - \text{Contribución de Lluvia o NF Alto}}{\left(1 - \frac{\% \text{ pérdidas por deriva}}{100}\right) \times UD}$$

Por ejemplo asumiendo:

Tasa ET pico histórica publicada = 8,1 mm/día (0,32"/día)  
 Sin lluvia ni nivel freático alto durante el período de ET pico  
 Emisores regulares sin rocío  
 UD estimada después de varios años de operación = 0,80

En este caso, asuma que la tasa de ET pico "histórica" necesita ser ajustada debido a que fue desarrollada bajo una programación de un riego cada dos semanas con riego por surcos. El riego más frecuente con goteo/microaspersión eliminará el estrés de humedad (y mejorará el desarrollo del cultivo); por consiguiente, se puede ajustar la ET pico hacia arriba en 10%.

$$\begin{aligned} \text{ET pico del cultivo modificada} &= (8,1 \text{ mm/día}) \times 1,10 \\ &= 8,9 \text{ mm/día (0,35"/día)} \end{aligned}$$

$$\text{Pérdidas por deriva} = 0\%$$

La UD de un sistema nuevo definitivamente debe ser mejor que 0,80. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el funcionamiento de un sistema tiende a deteriorarse con el tiempo debido a mantenimiento inapropiado. Por consiguiente, si la meta es evitar déficit en riego posteriormente, se debe calcular la tasa bruta necesaria utilizando la UD eventual. Esta **no** es una ineficiencia que forme parte integral del sistema, ya que las horas de operación pueden ser modificadas con facilidad para obtener justamente una buena UD.

$$\begin{aligned} \text{Tasa bruta de aplic.} &= \frac{8,9 \text{ mm/día} - 0}{(1 - 0) \times 0,80} \\ &= \frac{8,9 \text{ mm/día}}{0,80} \\ &= 11,2 \text{ mm/día} \quad (0,44"/\text{día}) \end{aligned}$$

Esta agua puede ser aplicada diariamente durante el período de ET pico, o en casos inusuales, una planta puede ser regada únicamente una vez por semana. En general, los sistemas de riego por goteo/microaspersión se operan con aplicaciones de riego frecuentes y pequeñas.

### Horas de Bombeo por Día o por Semana

Los costos en selección de diámetros de tubería pueden minimizarse diseñando un sistema para operar en forma continua durante el período de ET pico. No obstante, hay cuatro muy buenas razones para considerar un bombeo menor de 24 horas por día durante períodos de ET pico.

Tarifas de Tiempo de Uso (TDU). El término “TDU” se refiere a una tarifa eléctrica especial de “tiempo de uso” provista por las empresas de energía eléctrica. La especificidad de las tarifas de TDU varía entre empresas y por año, pero básicamente hay una reducción substancial en la tarifa eléctrica (\$/kw-h) si el cliente acuerda no bombear durante un cierto lapso de tiempo cada semana. El lapso de no bombeo generalmente abarca un período de tiempo entre medio día y 6:00 pm, y puede o no incluir los fines de semana.

Labores de Cultivo y Disminución del Tiempo de Aplicación. La mayoría de los lotes irrigados tienen ciertas labores de cultivo, tales como aplicación de insecticidas por pulverización, operación durante la cual puede ser necesario suspender el riego. Para estos casos el sistema de riego puede diseñarse de manera tal que se aplique suficiente agua durante las horas restantes de una semana.

Averías, Temporadas Cálidas, Emergencias. En cualquier momento pueden ocurrir interrupciones inesperadas del sistema de riego, así como también períodos de calor inesperados.

Fisiología de la Planta. Aún hay mucho por aprender acerca de cómo las plantas pueden y deben tomar el agua. Algunos agricultores e investigadores creen que es importante suplir justamente la tasa de ET, hora por hora, a medida que va ocurriendo. Esto quiere decir que un sistema de riego por goteo/microaspersión necesitaría altas tasas de aplicación durante el medio día y que no operaría durante la noche. El tiempo dirá qué tan importante es este tipo de programación del riego y sobre qué cultivos esta práctica podría tener el mayor impacto en cuanto a la cantidad y calidad de la producción.

La tasa en mm/día puede convertirse en caudal utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Caudal} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} = \frac{\text{Lámina} \times \text{Área}}{\text{Constante} \times \text{Tiempo}}$$

donde:

Lámina =	lámina bruta que debe ser aplicada
Área =	el área que se va a abastecer de agua
Constante =	constante de la ecuación para las varias unidades utilizadas
Tiempo =	horas de riego correspondientes a la lámina bruta

$$\text{LPS} = \frac{\text{cm} \times \text{m}^2}{360 \times \text{h}} \quad \left[ GPM = \frac{\text{pulgadas} \times \text{pies}^2}{96,3 \times h} \right]$$

Como ejemplo asuma lo siguiente:

Condiciones: Separación entre árboles = 4 m x 5 m (13,2' x 16,4')  
 Tamaño del lote = 12 has (29,7 acres)  
 3 emisores/árbol  
 Lámina bruta = 11,2 mm/día (0,44"/día)  
 El sistema de riego opera 5 días /semana, 18 horas/día

Encuentre: El caudal del bombeo sobre el lote, l/s

Fórmula: 
$$LPS = \frac{cm \times m^2}{360 \times h}$$

Solución: El problema debe ser solucionado sobre la base de programación semanal, puesto que el lote no se riega diariamente. Por consiguiente,

$$\begin{aligned}\text{Lámina bruta} &= 11,2 \text{ mm/día} = 1,12 \text{ cm/día} \\ &= 1,12 \text{ cm/día} \times 7 \text{ días/semana} \\ &= 7,84 \text{ cm/semana}\end{aligned}$$

Puesto que se pregunta el caudal en LPS sobre todo el LOTE, se tendrá en cuenta el hectareaaje del LOTE.

$$\text{Área} = 12 \text{ has} \times (10.000 \text{ m}^2/\text{ha}) = 120.000 \text{ m}^2$$

Siendo que se usará el hectareaje del LOTE, se deben también utilizar las HORAS correspondientes al mismo.

$$\begin{aligned}\text{Horas} &= 5 \text{ días/semana} \times 18 \text{ horas/día} \\ &= 90 \text{ horas/semana}\end{aligned}$$

$$\text{LPS} = \frac{7,82 \text{ cm} \times 120.000 \text{ m}^2}{360 \times 90 \text{ h}}$$
$$= 29 \text{ LPS (460 GPM)}$$

No se dio suficiente información para estimar el caudal por emisor. Para hallarlo se tendría que especificar en cuántos bloques se ha dividido el lote. Por ejemplo, si el lote se ha dividido en 3 bloques,



$$\text{Área regada simultáneamente} = 120.000/3 = 40.000 \text{ m}^3$$

# de emisores en operación simultánea,

$$= \frac{40.000 \text{ m}^2}{4 \text{ m} \times 5 \text{ m}} \times 3 \text{ emisores/árbol}$$

$$= 6.000 \text{ emisores}$$

$$\text{Caudal/emisor} = \frac{29 \text{ LPS}}{6.000 \text{ emisores}}$$

$$= 0,005 \text{ LPS/emisor}$$

$$= 18 \text{ LPH/emisor (4,8 GPH/emisor)}$$

(Nota: Este caudal es demasiado alto para un gotero típico y demasiado pequeño para un microrociador, lo cual quiere decir que para ajustarse al equipo disponible, el lote debe dividirse en otro número de bloques diferente a 3).

En los cálculos anteriormente vistos, la determinación del número apropiado de horas de riego depende de la selección, también apropiada, del área. Con frecuencia ha habido malinterpretaciones en relación con el área que se debe usar en los cálculos de riego por goteo. El siguiente ejemplo ilustra el procedimiento correcto que debe ser utilizado:

Dado:	<p>Separación entre árboles de hoja caduca = 4 m × 5 m (13,2' × 16,4').</p> <p>Los árboles tienen 75% de cobertura del canapeo sobre la superficie del terreno.</p> <p>Los emisores humedecerán 50% de la superficie del terreno.</p> <p>Las tasas de ET publicadas para árboles en el área se encuentran en la Tabla 4.</p> <p>3 emisores/árbol.</p> <p>Caudal/emisor = 4,2 LPH (1,1 GPH).</p> <p>No hay cultivo de cobertura del suelo.</p> <p>No hay niveles freáticos altos ni lluvia durante el verano.</p> <p>UD anticipada = 0,85.</p> <p>Pérdidas anticipadas por deriva y evaporación no beneficiosa = 6%.</p>
Encontrar:	<p>Horas necesarias de operación <u>por mes</u> durante el período de ET pico para cada árbol.</p>

Solución: De la Tabla 4, la tasa de ET mensual pico = 19,3 cm (7,59"). Se asume que se sabe que las tasas de ET en esta tabla fueron derivadas de riego por surcos y se estima que no habrá estrés bajo riego por goteo, de tal manera que la transpiración será 10% más alta.

$$\begin{aligned} \text{Tasa ajustada de ET pico} &= 1,1 \times 19,3 \text{ cm/mes} \\ &= 21,2 \text{ cm/mes} \end{aligned}$$

Tasa bruta de reposición necesaria:

$$= \frac{\text{Tasa ET cult. pico} - \text{Contrib. lluvia o alto NF}}{\left[1 - \frac{6\%}{100}\right] \times \text{UD}}$$

$$= \frac{21,2 \text{ cm/mes} - 0 \text{ cm de lluvia o NF}}{\left[1 - \frac{6\%}{100}\right] \times 0,85}$$

$$= \frac{21,2 \text{ cm/mes}}{0,94 \times 0,85}$$

$$= 26,6 \text{ cm/mes } (10,45 \text{ "/mes})$$

El caudal por árbol es:

$$\text{LPH/árbol} = 4,2 \text{ LPH/emisor} \times 3 \text{ emisores/árbol}$$

$$= 12,6 \text{ LPH/árbol } (0,055 \text{ GPM/árbol})$$

\*El punto importante en el próximo paso de este ejemplo es la selección apropiada del área a utilizar en la ecuación. Las tasas de ET se calculan y publican asumiendo que la lámina proviene del área completa, no solo del área de cobertura del canapeo o del área humedecida. La tasa de ET, expresada como lámina por unidad de tiempo, está gobernada en gran parte por la cantidad de energía disponible para convertir agua líquida en vapor (es decir ET) y por consiguiente no depende del tamaño del árbol (una vez que la cobertura del fronde excede el 65% del área superficial correspondiente), o del área que es humedecida (siempre y cuando haya suficiente masa de raíces para absorber el agua requerida).

$$\begin{aligned} \text{Horas} &= \frac{\text{cm} \times \text{area en m}^2}{360 \times \text{LPS}} \\ \text{Horas/mes} &= \frac{(26,5 \text{ cm/mes}) \times (4 \times 5) \text{ m}^2}{360 \times (12,6 \text{ LPH} \times \frac{1\text{h}}{3.600 \text{ s/h}}) \text{LPS}} \\ &= 421 \text{ horas/mes} \end{aligned}$$

Nótese que en los cálculos anteriores se usan valores diferentes de UD y de eficiencia de aplicación o de eficiencia de riego, dependiendo de si los cálculos son para (i) manejo, o (ii) diseño.

Para fines de diseño se anticipa un cierto valor de UD basado en los criterios de diseño y se estima qué tan bien será mantenido el sistema en el futuro.

Cuando se programan los riegos, el ajuste de lámina NETA a lámina BRUTA depende de la UD real en el momento, y no de algún valor asumido.

Tabla 4. Tabla ejemplo de valores de ET para un área, año y prácticas culturales específicas. Similar al Valle Sureño de San Joaquín en California.

Mes	Tasa de Evapotranspiración, cm/mes ( <i>pulgadas/mes</i> )								
	(Et <sub>p</sub> ) <sup>2</sup> , Et <sub>r</sub> <sup>1</sup> , Alfalfa	(Et <sub>o</sub> ) <sup>3</sup> , Et <sub>r</sub> , pasto	Heno de Alfalfa	Algodón	Cítricos	Huerto caducas sin cultivo cobert.	Huerto caducas con cultivo cobert.	Vid	Granos Pequeños
Enero	2,24	1,75	1,85		1,47		1,73		1,04
	0,88	0,69	0,73		0,58		0,68		0,41
Febrero	6,12	5,00	5,05		3,86		5,03		5,05
	2,41	1,97	1,99		1,52		1,98		1,99
Marzo	9,53	7,95	7,90		5,89	3,78	8,46	0,13	9,96
	3,75	3,13	3,11		2,32	1,49	3,33	0,05	3,92
Abril	15,72	13,31	12,98	1,22	9,53	9,22	14,96	2,95	16,18
	6,19	5,24	5,11	0,48	3,75	3,63	5,89	1,16	6,37
Mayo	20,27	17,22	17,04	5,23	12,32	14,17	20,57	10,49	15,85
	7,98	6,78	6,71	2,06	4,85	5,58	8,10	4,13	6,24
Junio	22,94	19,43	18,59	16,97	12,85	17,35	23,06	15,24	1,60
	9,03	7,65	7,32	6,68	5,06	6,83	9,08	6,00	0,63
Julio	23,67	20,12	19,81	25,48	13,39	19,28	24,33	17,07	
	9,32	7,92	7,80	10,03	5,27	7,59	9,58	6,72	
Agosto	21,44	18,14	17,58	22,25	12,01	17,40	21,36	15,14	
	8,44	7,14	6,92	8,76	4,73	6,85	8,41	5,96	
Septiembre	15,32	12,90	13,11	11,35	9,07	12,37	14,96	8,38	
	6,03	5,08	5,16	4,47	3,57	4,87	5,89	3,30	
Octubre	11,56	9,53	9,22	1,96	6,83	7,67	9,91	3,10	
	4,55	3,75	3,63	0,77	2,69	3,02	3,90	1,22	
Noviembre	4,88	3,86	4,09		3,00	2,46	4,01	0,36	
	1,92	1,52	1,61		1,18	0,97	1,58	0,14	
Diciembre	1,80	1,40	1,52		0,97		1,27		0,23
	0,71	0,55	0,60		0,38		0,50		0,09
<b>TOTAL</b>	155,5	130,6	128,7	84,5	91,2	103,7	149,6	72,9	49,9
	61,2	51,4	50,7	33,3	35,9	40,8	58,9	28,9	19,7

1 Et<sub>r</sub> = ET de Referencia, basada en un cultivo de referencia, el cual ha sido bien humedecido y ha estado en pleno vigor, de una altura específica, sin estrés de naturaleza alguna y con hojas secas.

2 Et<sub>p</sub> = ET de Referencia, con alfalfa como referencia.

3 ET<sub>o</sub> = ET de Referencia, con pasto como referencia.

## **Efectos de un Leve Déficit en Riego**

Algunos sistemas de riego son diseñados para proveer ligeramente menor cantidad de agua que la necesaria durante el mes de ET pico. **Esto en realidad significa que “no todo el lote será regado en exceso”.**

Al diseñar para:

$$\text{BRUTO requerido} = \frac{\text{Neto Requerido}}{\text{Eficiencia de Aplicación}/100}$$

se asume que los sectores secos son indeseables (con excepción de 1/8 del lote). Dicho en otras palabras, es mejor regar en exceso virtualmente todo el lote, que aplicar riego en déficit al resto del área de un lote con respecto a la “insignificante” fracción de 1/8 del mismo.

En algunos sistemas así diseñados, la pequeña porción con riego en déficit tendrá un efecto muy poco significativo (si es que hay alguno) sobre la producción. Las razones son:

1. El déficit en riego a menudo solamente ocurre durante un mes del año. Por ejemplo, un caudal de diseño requerido para ese mes pico puede ser 26 LPM (6,9 GPM) en las mangueras. El caudal real, con una presión de entrada a las mangueras de 138 kPa (20 psi), puede ser 25,4 LPM (6,71 GPM).

Por consiguiente, las plantas (en el punto más seco) recibirán solamente 97% del agua requerida. Sin embargo, ese déficit de 3% es solo para un mes, y, teniendo en cuenta toda la estación, se convierte en algo menos de 1% de déficit.

2. El déficit en riego ocurrirá en un porcentaje muy pequeño del lote. Por consiguiente, el déficit de 1% (máximo) sobre menos del 25% del lote en este ejemplo, se traduce en un déficit casi imperceptible sobre todo el lote.
3. Un déficit (máximo para un solo mes y sobre solamente una parte del lote) puede en muchas situaciones compensarse con extracción de agua almacenada en el suelo de la zona de raíces. Para un manejo adecuado del riego debe haber certeza de que durante los meses anteriores no se presente déficit. El resultado será que las plantas no experimentarán estrés de humedad.

Se debe hacer énfasis sobre el hecho de que el riesgo puede eliminarse construyendo un sistema de riego de mayor tamaño con la consecuente mayor inversión de capital. Quien adquiere el sistema de riego, luego de que su diseñador le haya informado sobre las diferentes opciones, debe sopesar factores tales como la incertidumbre de los estimativos de ET, la habilidad de los regadores para ejercer bien su trabajo, la necesidad de suspender el sistema de riego para atender otras labores de cultivo (fumigación para control de plagas, labranza), tarifas más bajas de energía con horas

TDU, así como también el costo de los diferentes sistemas de riego. Cada productor tiene prioridades y preferencias individuales. Si un sistema de riego se diseña deliberadamente por debajo de los requerimientos (lo cual puede justificarse económicamente), el diseñador debe tener certeza de que este hecho aparezca explícitamente en la oferta de la licitación y en los planos del diseño.

En otras palabras, no es antiético diseñar un sistema de riego por debajo de los requerimientos *siempre y cuando el cliente sepa que es lo que está adquiriendo*. Ciertos cultivos y zonas climáticas dictaminan que el diseño más económico puede ser aquel que permita regar en déficit parte del lote durante parte del tiempo.