U 1965
C.1

COMISION NACIONAL DE RIEGO
Departamento de Proyectos

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
Facultad de Ingenieria Agrícola
Departamento de Riego y Drenaje

NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

"DESARROLLO DE SISTEMAS DE RIEGO EN EL SECANO INTERIOR Y COSTERO. COMPONENTE NACIONAL: CAPACITACION Y DIFUSION DE TECNOLOGIAS DE RIEGO"

Chillán, febrero de 1998

U1965
c.1

El Departamento de Proyectos de la Comisión Nacional de Riego y el Departamento de Riego y Drenaje de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Concepción, Campus Chillán, presentan esta Cartilla Divulgativa, correspondiente a una serie de publicaciones de este tipo realizadas con financiamiento del Programa:

"Desarrollo de Sistemas de Riego en el Secano Interior y Costero. Componente Nacional: Capacitación y Difusión de Tecnologías de Riego"

Autor:
Jorge Jara Ramírez
Ingeniero Agrónomo Ph.D

Alejandro Valenzuela Avilés
Ingeniero Agrónomo Ph.D

Editor:
José Contreras Urízar
Ingeniero Agrónomo

Diseño e Impresión:
Impresora La Discusión

Tiraje:
1.000 ejemplares

Chillán, febrero 1998

PREAMBULO

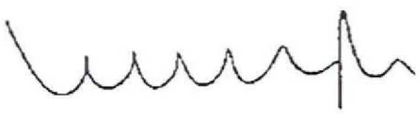
El aprovechamiento de las ventajas de cualquier sistema de riego depende en gran medida del conocimiento de la cantidad de agua que consumen los cultivos y del momento oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento.

Es importante para los técnicos y agricultores conocer cuales son los períodos sensibles del cultivo al déficit hídrico, con el objeto de planificar la aplicación de agua, especialmente en períodos de escasez de ella, ya que cuando ésta es escasa o no se aplica oportunamente, el cultivo detiene su crecimiento y afecta su productividad.

Esta cartilla aporta una metodología de estimación de las necesidades de agua de los cultivos y algunos valores de evapotranspiración de un amplio sector del secano interior y costero de la zona central de Chile que contribuirá a optimizar el diseño, elaboración y operación de sistemas de riego.

Luego de este primer paso, se debe avanzar en la optimización del uso del agua mediante puesta en operación de estaciones agrometeorológicas automatizados y el establecimiento de un sistema de información que permita a los agricultores tener una estimación más precisa de los requerimientos hídricos del cultivo.

El Departamento de Proyectos de la Comision Nacional de Riego, ante el desafío de lograr mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos en Chile, está realizando diversas acciones en el plano de la capacitación y difusión que complementan la aplicación de la Ley de Fomento al Riego y la realización de estudios integrales de riego, gestionados por la Comisión.



ERNESTO SCHULBACH BORQUEZ
Secretario Ejecutivo
Comisión Nacional de Riego

INDICE DE MATERIAS

Materia ..... **Página**

El agua en el suelo 01
Curvas de retención de humedad 03
Medición de humedad a CC y PMP 06

¿Cuándo Regar? 07
1. Técnicas de balance de agua 08
2. Indicadores del suelo 11
3. Indicadores de la planta 13

Evapotranspiración del Cultivo, ETc 14

Requerimientos de Agua (Goteo-Cinta) 18

Déficit Hídrico y Producción 21

Bibliografía 24

NECESIDADES DE AGUA DE LOS CULTIVOS

Dr. Jorge Jara R.*(1)*
Dr. Alejandro Valenzuela A.*(1)*

EL AGUA EN EL SUELO

El objetivo primario y esencial de la agricultura es producir alimentos para los individuos que trabajan en el campo, como también para la sociedad. Para ello, dispone de cuatro elementos : la tierra, el trabajo, la energía del sol y ocasionalmente, el agua. Cualquiera de éstos que falte aún en parte, repercutirá en la producción agrícola que no logrará ser la óptima que se espera.

El suelo agrícola es una capa fina de material, que está en la superficie de los continentes del globo terráqueo. Esta capa se ha formado por el efecto del agua y del aire sobre las rocas. Está formada por tres partes : una sólida, la otra líquida y la gaseosa. La parte sólida, está formada por pequeñas partículas que se han separado del material original (rocas) y una pequeña proporción de material orgánico, que ha generado la vegetación que existió en tiempos recientes. Estas partículas dejan espacios libres que están ocupados, sea por agua o por aire, según la estación en que nos encontremos. La suma de los espacios huecos en un suelo seco, se llama porosidad del suelo, cuando se expresa en relación al volumen de las partículas sólidas.

Aquellos poros que se encuentran vacíos, se llenan con agua luego de una lluvia o riego.

La porosidad total de los suelos arcillosos es mayor que la de los suelos arenosos por el siguiente hecho : como el material arcilloso es mas fino que las arenas, disponen de una

(1) Ing. Agrónomos, Ph.D., Depto. Riego y Drenaje, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción

mayor cantidad de poros pequeños, en comparación a las arenas que son partículas más grandes y por tanto, dejan huecos de tamaño mayor pero menos numerosos. Por otra parte, el movimiento del agua libre es mayor en los arenosos que en los arcillosos. Sin embargo, la retención de agua es mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos.

Las arcillas son partículas muy finas (coloides) y por tanto, poseen algunas propiedades físico-químicas, tales como la capacidad de absorber agua e hincharse. Esta propiedad, además de poseer en su superficie una gran concentración de cargas eléctricas desbalanceadas, las hace comportarse como láminas absorbentes de moléculas de agua, por tener este elemento cargas diferentes positivas y negativas por efecto de su composición molecular. Esto, a su vez, produce un potencial para atraer moléculas de agua y retenerla con la fuerza suficiente para evitar que sean atraídas por la aceleración de gravedad. Además, la porosidad que deja libre es extremadamente fina y se comporta en la práctica como un gran número de tubos capilares, produciendo otro impedimento al movimiento del agua. El agua es atraída, entonces, por tales partículas del suelo y se conoce esta atracción como fuerza matricial.

*La energía del agua cuando está retenida por el suelo, implica efectuar un trabajo para sustraerla de su ambiente. Este ambiente es la matriz del suelo. En tanto más seco se encuentre el suelo, mayor será el trabajo que tendrá que ejercer la planta para extraer el agua desde el suelo. Es interesante, entonces, conocer la energía con que el agua es retenida por el suelo. Esta varía según sea el contenido de humedad del suelo en ese momento. El potencial de retención del agua, se expresa comúnmente en unidades de medida de metros de columna de agua, m.c.a. (energía por cantidad unitaria de peso), en kPa, bar o centibar (energía por cantidad unitaria de volumen), o en Joule*kg $^{-1}$ (energía por cantidad unitaria de masa).*

La siguiente tabla de equivalencias es útil para convertir una unidad en otra.

Tabla 1. Equivalencia para expresar el potencial de agua en 1 suelo.

Unidad	*Equivalencia*
1 bar	*≈ 100 kPa = 1 atm*
1 bar	*100 Joule/kg*
1 bar	*10 m.c.a.*
1 bar	*100 centibar*

Curvas de retención de humedad

Desde el punto de vista de la planta, interesa conocer cuál es la energía con que un volumen de agua está retenido por el suelo, información de mayor interés que la humedad que tiene ese suelo. La relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y el potencial o energía con que está retenida esa humedad, se llama curva de deserción o retención de humedad (Figura l).

Estas curvas de retención, se confeccionan en laboratorios de suelos o riego que cuenten con olla de presión (Universidades o Institutos de Investigación).

El contenido de humedad del suelo, en porcentaje base peso seco o gravimétrico (0 % bps), expresa la cantidad de agua presente en una muestra y se define como el cuociente entre la masa de agua y la masa de suelo seco. Así:

$$\theta\,\%\,bps = \frac{masa.agua}{masa.suelo.seco} * 100 \qquad Ec.N°1$$

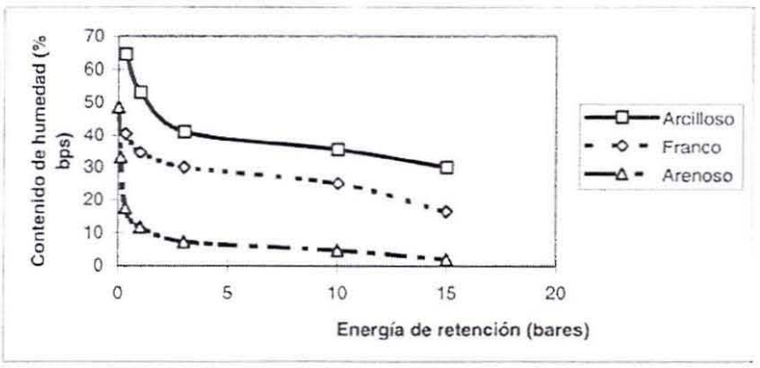


Figura 1. Curva de retención de agua en el suelo para diferentes texturas

De este modo, el contenido de humedad gravimétrico de una muestra de suelo humedo, se mide pesando una muestra de suelo húmedo, secándola posteriormente en un horno de 105°C por 24 horas y volviendo a pesar la muestra.

Tal como se puede apreciar en la Figura 1, los contenidos de humedad del suelo a una misma energía de retención son diferentes según textura. Asimismo, se puede observar que los rangos de humedad del suelo entre dos energías de retención, (Por ejemplo, 1/3 y 15 bar) difieren también según textura. Este antecedente resulta de sumo interés cuando se desea precisar la cantidad de humedad o agua aprovechable en el suelo (HA), desde un punto de vista agrícola.

Para calcular la humedad aprovechable de un suelo, en términos de una altura de agua, se puede utilizar la siguiente expresión

$$H.A. = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Dap}{D_{H2o}} * p \qquad Ec.N°2$$

en donde :

H.A. = *Altura de agua aprovechable para el cultivo (mm). (Un milímetro de altura corresponde a un litro de agua por metro cuadrado de terreno).*

CC = *Contenido de humedad de suelo, expresado en porcentaje base peso seco, a una energía de retención que oscila entre 1/10 a 1/3 de bar. Indica el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad Se conoce como Capacidad de Campo.*

PMP = *Contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje base peso seco, a una energía de retención que oscila entre 10 y 15 bar. Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para la planta. Se conoce como Punto de Marchitez Pennanente.*

Dap = *Densidad aparente del suelo (glcc)*

D_{H20} = *Densidad del agua. Se asume nonnalmente un valor de 1 (g/cc).*

P = *Profundidad representativa de la muestra de suelo analizada (mm).*

Al aplicar esta expresión a los valores normales encontrados en los diferentes tipos texturales de suelos, se encuentra la situación descrita en la Figura 2, en donde suelos arcillosos retienen una mayor cantidad de agua útil o aprovechable para la planta que suelos arenosos.

Dado que los suelos rara vez son homogéneos en profundidad, será necesario el detenninar los valores de contenido de humedad a Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente para las diferentes estratas de suelo. Así, para un suelo de la serie Arrayán se detenninaron las siguientes propiedades hídricas.

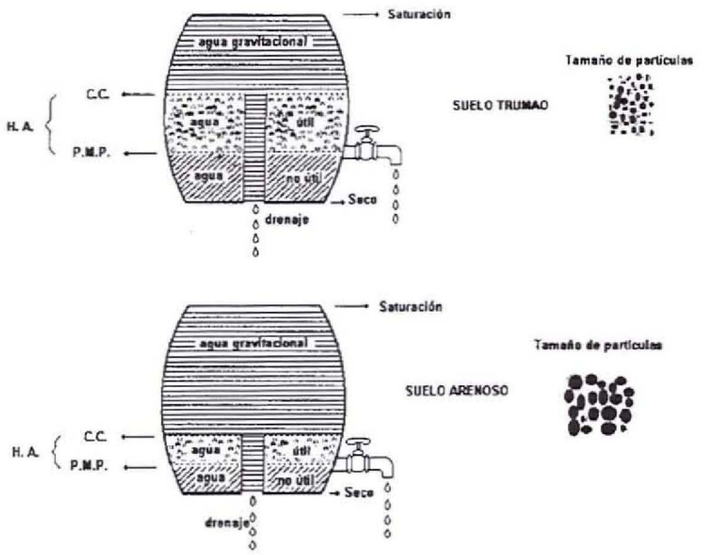


Figura 2. Disponibilidad de agua para las plantas según textura de suelo.

Tabla 2. Características hídricas de contenido de humedad a capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP), densidad aparente (Dap) y altura de agua aprovechable (HA) de un suelo de la serie Arrayán.

Profundidad (cm)	*CC (%)*	*PMP (%)*	*Dap (g/cc)*	*HA (cm)*
0-31	*39*	*21*	*0.93*	*5.19*
31-50	*44*	*26*	*1.15*	*3.93*
50-90	*35*	*23*	*1.09*	*5.23*
			TOTAL	***14.35***

*El valor total de agua útil aprovechable para la planta de 143.5 mm indica que, en los 90 cm de profundidad del suelo, la planta dispone de 143.5 litros de agua por metro cuadrado de terreno o, que es lo mismo, de 1435 m^{3} *ha^{-1}.*

Medición de humedad a CC y PMP

La obtención del valor de HA resulta de primordial interés para el diseño, planificación y manejo de sistemas de riego. Si no se dispone de los servicios de un laboratorio de suelos para la detenninación de los contenidos de retención de humedad de suelo a Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente, una buena aproximación a estos valores puede obtenerse de la siguiente manera:

1. *Inmediatamente después de un riego o lluvia intensa que haya saturado el suelo, seleccione un sector representativo del potrero y cúbralo con una lona o plástico impermeable, que evite la evaporación desde el suelo.*

2. *24 a 48 horas después del evento, extraiga muestras de suelo de entre 100 a 200 gr en cada estrata. Depositelos en una cápsula hermética o en una bolsa plástica sellada.*

3. *Pese las muestras en una balanza de lectura de décimas de gramo, sin abrir o destapar la muestra. Registre la lectura como PSH + PE (Peso del suelo húmedo mas Peso de envase).*

4. *Una vez pesada la muestra, déjela en un horno a 105°C por 24 horas y pese la muestra seca. Si utilizó bolsas plásticas previamente, asegúrese de extraer la totalidad de la muestra de suelo de la bolsa antes de ponerla en el horno, pesando el envase plástico (PE) y el envase nuevo utilizado en el horno de secado.*

En cualquier caso, debe existir absoluta certeza del peso del envase, debido a que este valor se debe restar al peso de suelo.

5. *Obtenga el valor de contenido de humedad del suelo a Capacidad de Campo (θcc).*

$$\theta cc = \frac{(P_{SH} + P_E) - (P_{SS} + P_E)}{P_{SS}} * 100 \qquad Ec.N°3$$

De este modo, la Ec.N3 indica la relación porcentual en el contenido de agua en una muestra de suelo, quedando expresada como

$$\theta cc = \frac{Peso.agua.en.la.muestra}{P_{SS}} * 100 \qquad Ec.N°4$$

en donde :

P_{SH} = Peso del suelo húmedo (g)
P_E = Peso del envase al momento de pesar (g)
Pss = Peso del suelo seco (g)

Así, si la muestra de suelo y envase recién extraída pesaba 250 g (P_{SH} + P_E). y una vez seca era de 200 g (Pss + P_E), pesando el envase 20 g (P_E). Entonces el contenido de humedad sería

$$\theta cc = \frac{250\text{-}200}{200\text{-}20} * 100 = 27.8\% \qquad Ec.N°5$$

6. *Para obtener el contenido de humedad de una muestra de suelo a Punto de Marchitez Permanente, es necesario someterla a un plato de presión a 15 atmósferas y luego detenninar su contenido de humedad.*

Otra forma de obtener el contenido de humedad a Punto de Marchitez Permanente sería multiplicar el valor de humedad a Capacidad de Campo por 0. 55, es decir:

$$\theta_{PMP} = 0.55 * \theta cc \qquad Ec.N°6$$

De este modo, en el ejemplo anterior, el valor aproximado de θ_{PMP} sería de un 15.3%.

¿CUANDO REGAR?

Una de las preguntas mas frecuentes en la agricultura de riego, es detenninar cuando regar (frecuencia de riego). Así, diferentes métodos son usados para este propósito y se pueden clasificar como

1. *Técnica de balance de agua*
2. *Indicadores del suelo*
3. *Indicadores de la planta*

*1. **Técnica de balance de agua.***

Esta basada en aspectos meteorológicos del suelo y de la planta.

Tres aspectos deben considerarse previamente. El primero, consiste en determinar un criterio de riego (CR) el cual señala el porcentaje tolerable de disminución del agua aprovechable del suelo (HA). En general, se sugiere un valor de cincuenta por ciento (CR = 0.5) asignándose valores de CR del treinta por ciento (CR = 0.3) para cultivos sensibles a un déficit de agua y valores de CR = 0.6 para cultivos que soportan de mejor manera un estrés hídrico (Tabla 3).

El segundo aspecto tiene que ver con la profundidad de raíces del cultivo (Tabla 3). En cultivos anuales, dicha profundidad cambia rápidamente con el tiempo, a partir, de emergencia a madurez fisiológica. Por tanto, una adecuada programación del riego, requiere el conocimiento de la profundidad efectiva de raíces en cada período de tiempo analizada. Así, este valor determinará la profundidad P del suelo desde donde se extrae agua. En otras palabras, si el suelo tiene 1.80 m de profundidad, pero el cultivo está en una etapa temprana de desarrollo (30 cm de profundidad de raíces, por ejemplo), el valor P a considerar en la Ec.N°2 debe ser de 30 cm.

Similar criterio debe mantenerse para especies frutícolas, antes que alcancen un desarrollo completo de plena producción.

En general, se establece que la planta alcanza el 90% de su profundidad radical efectiva, cuando su desarrollo fonológico corresponde al 50%, acorde al modelo mostrado en la Figura 3.

Tabla 3. Criteyios de riego (CR) y profundidad radical efectiva para diferentes cultivos.

Cultivo	*CR*	*Profundidad radical efectiva (cm)*
Aji	*0.5*	*60*
Ajo	*0.5*	*60*
Alcachofa	*0.50*	*100*
Alfalfa	*0.65*	*180*
Arveja	*0.6*	*60*
Brocoli	*0.5*	*60*
Cebolla	*0.50*	*60*
Coliflor	*0.5*	*60*
Damascos	*0.65*	*180*
Duraznos	*0.65*	*180*
Espárragos	*0.5*	*180*
Empastadas	*0.65*	*60*
Frejol	*0.50*	*90*
Frutilla	*0.5*	*60*
Habas	*0.6*	*80*
Lechugas	*0.40*	*60*
Maíz	*0.65*	*120*
Manzanos	*0.65*	*180*
Melón	*0.5*	*90*
Menta	*0.35*	*60*
Papas	*0.30*	*60*
Perales y ciruelos	*0.65*	*180*
Pimiento	*0.5*	*60*
Repollo	*0.5*	*60*
Sandía	*0.5*	*120*
Trigo invierno	*0.65*	*100*
Trigo primavera	*0.65*	*90*
Vid	*0.65*	*180*
Zanahoria	*0.5*	*90*
Zapallo	*0.5*	*120*

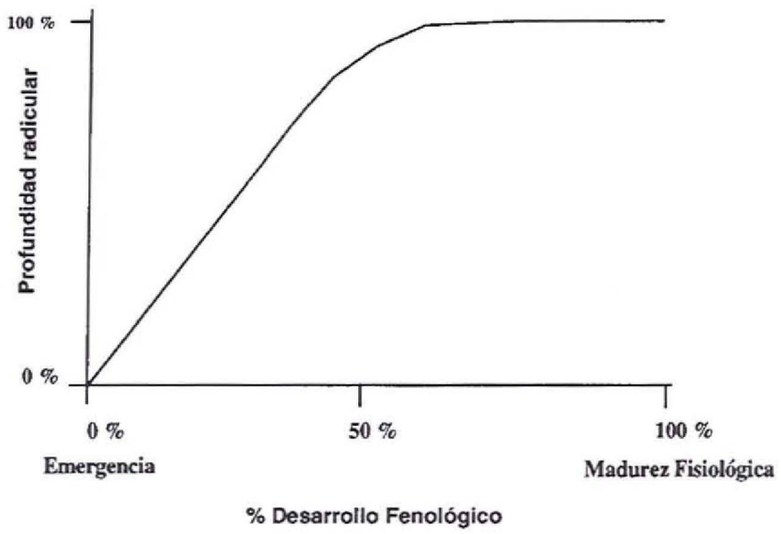


Figura 3. Evolución de la Profundidad radical acorde al desarrollo fonológico del cultivo.

El tercer aspecto, se refiere al conocimiento de la cantidad de agua que el cultivo y el ambiente extraen desde el suelo (Evapotranspiración del cultivo, ETc). Esta cambia con la edad del cultivo, clima y ubicación geográfica. Por tanto, debe recurriese a una fuente de información o metodología contable de cálculo que considere los aspectos reseñados.

De este modo, la frecuencia de riego (FR) o el cada cuantos días debiera regarse nuevamente para no perjudicar el rendimiento del cultivo, se

Determinará por:

$$FR = \frac{HA * CR}{ETc} \qquad Ec.N°7$$

Así, del ejemplo del suelo Arrayán de 90 cm de profundidad y con las raíces de un cultivo de maíz en enero explorando la totalidad del perfil, un CR = 0.5 y ETc = 6 mm/día.

$$FR = \frac{143.5mm * 0.5}{6mm / dia} = 12.dias$$

El resultado anterior, indica que el cultivo debiera regarse aproximadamente 3 veces en el mes.

2. <u>Indicadores del suelo</u>.

Esta metodología considera la determinación del contenido actual de humedad o agua del suelo, comparándolo con un valor predeterminado mínimo de contenido de humedad, regando cada vez que se alcance dicho valor. El contenido mínimo de humedad varía, con el estado fonológico del cultivo y sensibilidad a déficit hídrico de la planta.

El contenido de humedad del suelo puede medirse o estimarse directamente, o bien ingerirse a partir de otros parámetros del suelo. La Tabla 4 señala las ventajas y desventajas de estos indicadores.

Tabla 4. Indicadores del suelo de cuando regar (James, 1988).

Parámetro observado o medido	*Instrumental o Procedimiento*	*Ventajas*	*Desventajas*
Apariencia y tacto	*Visual*	*Simple*	*Demandante de tiempo; aproximado. Requiere entrenamiento para adquirir habilidades interpretativas*
Gravimetría	*Barreno, cápsulas, balanza y horno*	*Simple y exacto*	*Destructivo; no instantáneo dado los requerimientos de secado de la muestra*
Resistencia Eléctrica	*Block de yeso*	*Da lecturas indirectas del contenido de agua del suelo*	*Calibración individual de cada block de yeso. Requiere instalación cuidadosa en terreno y numerosas repeticiones. Baja durabilidad (1-2 años). No adecuado en suelos de textura gruesa.*
Potencial matricial de agua en el suelo	*Tensíometro*	*Permite medir dirección del movimiento del agua en el suelo, e indirectamente, el contenido de humedad de él.*	*Requiere mantención, instalación cuidadosa y numerosas repeticiones. Lecturas frecuentes.*
Dispersión de neutrones	*Neutrómetro y tubos de acceso*	*Permite sucesivas mediciones en el mismo punto; rápido y exacto*	*Equipo de alto costo que requiere calibración y precauciones especiales en su manejo y almacenamiento; calibración afectada por cambios en materia orgánica.*
Propiedades dieléctricas	*TDR*	*No destructivo, rápido y exacto, sin riesgo de radiaciones*	*Alto costo, limitada resolución espacial. No apto en suelos rocosos o pedregosos.*

3. Indicadores de la planta.

Dado que el objetivo de riego es reestablecer el agua de la planta, el método más directo de cuando regar es monitorear la planta directamente.

Diferentes técnicas y procedimientos pueden utilizarse, señalándose en la Tabla 5 sus ventajas y desventajas.

Tabla 5. Indicadores de la planta de cuando regar (James, 1988).

Parámetro observado o medido	*Instrumental o Procedimiento*	*Ventajas*	*Desventajas*
Apariencia	*Visual*	*Simplicidad*	*La detección temprana en cambios de color y otros cambios requieren experiencia. Aún así, los rendimientos ya han sido afectados.*
Temperatura de la hoja	*Termometría infrarroja*	*Mediciones a distancia*	*Metodología de aplicación bien desarrollada. Problemas de sensibilidad en climas húmedos.*
Potencial de agua en la hoja	*Cámara de presión, psicrometro de termocupla*	*Grado de deshidratación; integra el efecto del ambiente en la planta; lecturas se correlacionan con los procesos metabólicos; indicador del flujo del agua*	*Grandes variaciones durante el día; demandante de tiempo; requiere personal calificado; destructivo.*
Resistencia Estomática	*Porómetro de difusión*	*Mide resistencia de la hoja a la pérdida de vapor de agua.*	*Semejante a potencial de agua en la hoja.*

EVAPOTRANSPIRACION DEL CULTIVO, ETc

La cantidad de agua removida desde el suelo y la planta se denomina evapotranspiración. Esta agua, debe reponerse periódicamente al suelo para no dañar el potencial productivo de la planta. Diversas metodologías se han propuesto para su detenninación, debiendo considerarse siempre que la evapotranspiración depende, entre otros aspectos, de las condiciones climáticas, tipo y estado de desarrollo del cultivo, y de la disponibilidad de agua del suelo.

La evapotranspiración del cultivo (ETc) puede determinarse a partir de la evapotranspiración potencial, ETp (o evapotranspiración del cultivo de referencia), según la expresión

$$ETc = ETp * Kc \qquad Ec.N°8$$

en donde Kc es un coeficiente de cultivo adimensional que varía con el cultivo y su desarrollo vegetativo. Las unidades comunes de medida de ETc y ETp suelen ser mm/día, mm/mes o mm/temporada.

La evapotranspiración potencial ha sido detenninada para diversas localidades del país (CNR-CIREN, 1997). En las Tablas 6 y 7 se entrega la ETp promedio mensual para lugares representativos del secano interior y costero de la VI, VII y VIII regiones del país. Estos valores son promedios de varias temporadas y deben, por tanto, ser utilizadas en ese contexto.

Los valores de Kc se muestran en la Tabla 8 son una recopilación de diferentes fuentes bibliográficas. En general, dichos valores han sido obtenidos para condiciones de no restricción de humedad en el suelo y para cultivos sin problemas fitosanitarios. El rango de valores de Kc señalados son efecto de la variabilidad inherente a cada especie y a la metodología de obtención de Kc por parte de los diferentes autores.

Tabla 6. Evapotranspiración potencial mensual (mm/mes) para diversas comunas del secano interior de la VI, VIIY VIII regiones del país (*).

Comuna	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ETp (mm/año)
Las Cabras	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Chépica	196	153	119	72	42	28	323	47	72	110	144	184	1200
Santa Cruz	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Pumanque	186	146	113	68	40	27	31	45	69	104	137	175	1139
Palmilla	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Peralillo	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Litueche	178	139	108	65	38	26	29	43	66	99	131	167	1088
Marchigüe	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Molina	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Sagrada Familia	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Hualañé	179	141	109	66	39	26	30	47	66	101	132	2169	1100
Rauco	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Talca	193	151	118	71	42	28	32	47	71	108	142	182	1184
Maule	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Empedrado	172	135	105	63	37	25	28	42	66	97	127	162	1056
Parral	196	153	119	72	42	28	32	47	72	100	144	184	1200
Retiro	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
San Javier	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Cauquenes	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Nacimiento	195	153	118	71	42	28	32	47	72	109	143	183	1194
Cabrero	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Yumbel	187	146	113	68	40	27	31	45	69	105	137	176	1143
San Rosendo	189	148	115	69	41	27	31	46	70	106	138	178	1156
San Nicolás	196	153	119	72	42	28	32	47	72	110	144	184	1200
Quillón	181	142	110	66	39	26	30	44	67	102	133	171	1111
Quirihue	176	138	107	64	38	26	29	43	65	99	129	165	1077
Ninhue	181	142	110	66	39	26	30	44	67	102	133	171	1111
Ranquil	179	141	109	66	39	26	30	44	66	101	132	169	1100
Contulmo	154	121	94	56	33	22	26	37	57	87	114	145	947
Santa Juana	165	130	101	61	36	24	27	40	61	93	122	156	1014
Florida	172	134	104	63	37	25	28	42	63	96	126	161	1051

Tabla 7. Evapotranspiración potencial mensual (mmlmes) para diversas comunas del secano costero de la VI, VII y VIII regiones del país (*).

Comunas	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ETp (mm/año)
Pichilemu	135	110	91	61	42	31	34	46	61	85	104	130	930
Paredones	142	115	96	64	44	33	35	48	64	90	109	136	976
Licantén	156	127	106	70	49	36	39	53	71	99	120	150	1076
Vichuquén	147	120	100	66	46	34	37	50	67	93	113	142	1015
Constitución	141	114	95	63	44	33	35	48	64	89	108	135	968
Curepto	152	123	102	68	47	35	38	51	69	96	116	146	1042
Pelluhue	143	116	96	64	44	33	36	48	65	90	109	137	980
Chanco	143	116	96	64	44	33	36	48	65	90	109	137	980
Cobquecura	141	115	95	63	47	33	35	48	64	89	108	136	971
Tirúa	125	102	85	56	39	29	31	42	57	79	96	120	862
Cañete	131	106	88	59	41	30	33	44	59	83	100	126	900
Los Alamos	131	106	88	59	41	30	33	44	59	83	100	126	900
Lebu	131	106	88	59	41	30	33	44	59	83	100	126	900
Arauco	138	112	93	62	43	32	34	47	62	87	105	132	946
Hualqui	145	118	98	65	45	34	36	49	66	92	111	139	997
Tomé	140	113	94	62	43	32	35	47	63	88	107	134	959

(*) *Valores derivados de CNR-CIREN (1997)*

Tabla 8. Coeficientes de cultivo Kc para diversas especies vegetales y diferentes estados de desarrollo (*).

Cultivo	Porcentaje de la estación de crecimiento				
	0% 20%	40%	60%	80%	100%
	Establecimiento Inicio	Desarrollo del cultivo	Media estación	Inicio madurez	Madurez fisiológica
Alfalfa	0.3-0.4	----------	promedio	1.10------	----------
Avena-Trigo primavera	0.3-0.4	0.70-0.80	1.00-1.15	0.6-0.7	0.20-0.25
Empastada	0.3-0.4	----------	promedio	1.00------	----------
Remolacha	0.25-0.4	0.60-0.70	0.90-1.10	0.90-1.10	0.80-0.90
Papas	0.40-0.50	0.70-0.80	1.00-1.20	0.95-1.00	0.65-0.75
Tabaco	0.30-0.40	0.70-0.90	1.00-1.20	0.90-1.00	0.75-0.85
Maíz	0.30-0.50	0.70-0.85	1.00-1.20	0.80-0.95	0.50-.060
Frejol verde	0.30-0.40	0.65-0.75	0.95-1.05	0.90-0.95	0.85-0.95
Frejol grano	0.30-0.40	0.70-0.80	1.05-1.20	0.65-0.75	0.25-0.30
Vid	0.30-0.50	0.60-0.80	0.80-0.90	0.6-0.8	0.5-0.7
Frutales hoja caduca	0.40-0.50	0.75-0.85	1.10-1.20	1.10-1.20	0.7-0.90
Cítricos y Paltos	0.60-0.70	0.60-0.70	0.80-0.90	0.80-0.90	0.60-0.70
Frutales con cubierta verde	----------	promedio	1.00------	----------	----------
Arveja verde	0.40-0.50	0.70-0.85	1.05-1.20	1.00-1.15	0.95-1.05
Pimentón	0.30-0.40	0.60-0.75	0.95-1.10	0.95-1.10	0.80-0.90
Cebolla guarda	0.40-0.50	0.60-0.80	0.95-1.15	0.80-1.00	0.70-0.80
Cebolla verde	0.40-0.50	0.60-0.75	0.95-1.10	0.95-1.10	0.95-1.10
Tomates	0.30-0.40	0.60-0.80	1.10-1.25	0.80-1.00	0.60-0.80
Sandía	0.40-0.50	0.70-0.80	0.95-1.05	0.80-0.95	0.65-0.75
Melón, Zapallo	0.40-0.50	0.60-0.75	0.95-1.05	0.70-0.80	0.60-0.70
Hortalizas arraigamiento superficial	0.30-0.40	0.60-0.75	0.90-1.10	0.90-1.10	0.80-0.90

(*) Valores recopilados a partir de James (1988), Millar (1993) y Stewart y Nielsen (1990).

REQUERIMIENTOS DE AGUA (Goteo-Cinta)

Existen varias aproximaciones para detenninar los requerimientos de huertos frutales, hortalizas, u otros cultivos regados por goteo o cinta.

La siguiente relación es comúnmente utilizada, para predecir la evapotranspiración del cultivo ETc

$$Etc = ETp*Kc\ [P+1/2\ (1-P)] \qquad Ec.N°9$$

en donde
ETp = Evapotranspiración potencial (Tabla 6 y 7) (mm/día)
Kc = Coeficiente del cultivo (Tabla 8)
p = Factor de cobertura o sombreo al medio día (O<P<I)

La expresión anterior es válida para valores de cobertura o sombreamiento mayores al 50% (P>0.5). Si P < 0.5, o bien para árboles pequeños de entre uno a tres años y con el propósito de considerar el efecto de microadvección producido en el entorno de la planta, se recomienda

$$ETc = ETp * P \qquad Ec.N°10$$

Sabiendo que un mm de altura de agua es equivalente a un volumen de un litro por metro cuadrado (1mm = 1 lt/m2), los valores de ETc, en mm/día, se transforman en lt/planta/día considerando el marco de plantación o siembra, lo que corresponde al volumen de agua requerido por árbol/día, Va, en donde

$$Va = ETc * Sp * Sh \qquad Ec.N°11$$

siendo :
Sp = espaciamiento de los árboles o cultivo en la hilera (m)
Sh = espaciamiento entre hileras (m)

*Así, para la zona de Las Cabras, en enero, se registra una ETp de 196 mm/mes (Tabla 6), equivalente a 6.3 mm/día. Si se riegan naranjos de 5 años, en un marco de plantación de 2 * 3 m, con una cobertura del 70% (P = 0.7), el coeficiente de cultivo obtenido de la Tabla 8 es Kc = 0.8, entonces:*

$$ETc = 63 * 0.8\ [\ 07+1/2\ (\ 1-0.7)] = 4.3\ mm/dia \qquad Ec.N°9$$

y

$$Va = 43\ mm/dia * 2m * 3m = 25.8\ 1t / dia / arbol \qquad Ec.N°11$$

Considerando que los métodos de riego no permiten aplicar el agua con una eficiencia del 100%, el volumen total a aplicar por árbol (Vt) será :

$$Vt = \frac{Va}{Ea} \qquad Ec.N°12$$

en donde Ea es la eficiencia de aplicación del agua de riego (O<Ea<1).

Así, para el ejemplo anterior y considerando una eficiencia del 90% (Efa=0.9).

$$Vt = \frac{25.81t / dia / arbol}{0.9} = 28.71t / dia / arbol$$

Si cada árbol fuese regado por cuatro goteros de un caudal de 4 lt/hora por gotero, entonces será necesario un funcionamiento del equipo de 108 minutos por día (1.8 horas) para suplir los requerimientos hídricos diarios del naranjo. Si se regará cada dos días, entonces se requerirán 216 minutos para reponer el agua extraida por árbol. Así, el tiempo de riego ese puede expresar como

$$TdeR = \frac{Vt}{q_g * N_g} \qquad Ec.N°13$$

donde :
TdeR = Tiempo de riego o de aplicación del agua para reponer el déficit (horas)
Vt = Volumen total de agua a aplicar por árbol, en cada riego (litros/árbol)
q_g = Caudal de cada gotero (litros/hora)
N_g = Número de goteros por árbol

*Si el cultivo fuese coliflor regado por cinta, con un marco de plantación de 0.40*0.70 m, un porcentaje de cobertura P=0.6, un coeficiente de cultivo Kc=0.9 (Tabla 8, hortalizas de arraigamiento superficial) para el mes de abril, y una ETp para la comuna de Las Cabras de 72 mm/mes (Tabla 6), que equivalen a 2.4 mm/día, entonces:*

$ETc = 2.4 * 0.9 [0.6 + 1/2 (1 - 0.6)]$ *Ec.N°9*

$ETc = 1.73$ mm/dia

y el volumen de agua requerido por planta es:

$Va = 1.73$ mm/dia $* 0.4$ m $* 0.7$ m *Ec.N°11*

$Va = 0.48$ lt/dia/planta

Considerando una eficiencia de aplicación del 80%, entonces el volumen total a aplicar por planta sería :

$$Vt = \frac{0.481t / dia / \text{planta}}{0.8}$$ *Ec.N°12*

$Vt = 0.60$ lt / dia / planta

Si en 10 metros de longitud hay 25 plantas de coliflor (en 1 m habrían 2.5 plantas), entonces una cinta que arroje un caudal de 5 lt/hr por metro deberá funcionar 18 minutos para arrojar el volumen de agua de 1.5 lt por metro que requieren las plantas para ese día. Esto se puede escribir como :

$Vcm = Vt * N° pl.pm$ *Ec.°14*

en donde :

Vcm	*= volumen de agua que se debe entregar por metro lineal de cinta (lt/dia/m)*
Vt	*= volumen total a aplicar por planta (lt/dia/planta)*
N°p1.pm	*= número de plantas por metro lineal*

entonces

$Vcm = 0.6$ lt/dialplanta $* 2.5$ planta/m
$Vcm = 1.5$ lt/dia/m

El tiempo de riego, T de R, con cinta se detennina a partir de:

$$TdeR = \frac{Vcm}{Qcm} \qquad Ec.N°15$$

en donde :

T de R = Tiempo de riego con cinta (horas)
Vcm =Volumen de agua diario que se debe entregar por metro lineal de cinta (lt/día/m)
Qc = Caudal que entrega la cinta (lt/hr/m)

Asi del ejemplo anterior:

$$TdeR = \frac{1.5lt / dia / m}{5lt/hr/m} = 0.3 \text{ horas de riego/día} = 18 \text{ minutos de riego diario}$$

DEFICIT HIDRICO Y PRODUCCION

Es un aspecto conocido que, todo déficit de agua, producirá una disminución en los rendimientos. Sin embargo, hay etapas o estados fenológicos en el desarrollo de un cultivo, en donde el efecto detrimental de un estrés hídrico es mayor. Dichos estados corresponden a una fase de activo crecimiento o división celular donde, en un breve período de tiempo, ocurren grandes cambios de tamaño en algún componente de producción de la planta. Así, déficit hídricos suaves que hubiesen producido una disminución leve en el rendimiento final en otros estados fenológicos del cultivo, causan grandes detrimentos en la producción si ocurren en algún período crítico al déficit hídrico. De este modo, el resultado de numerosas investigaciones confirman que el efecto de la falta de humedad en el suelo sobre el rendimiento final de los cultivos, depende del estado fonológico de la planta al momento del déficit hídrico.

Stewart y Nielsen (1990), y Millar (1993), entregan información de periodos críticos de algunos cultivos al déficit hídrico, los cuales son resumidos en la Tabla 9.

Tabla 9. Períodos críticos de algunos cultivos al déficit hídrico.

Cultivos	Períodos críticos					
Cereales	Encañado	Espiga Hinchada	Espigadura	Floración	Grano Lechoso	Grano Pastoso
Trigo			*********	*********	****	
Cebada			*********	*********	****	
Avena			*********			
Arroz			*********	*********		
Centeno				*********	*********	
Maíz				*********	*********	

Cultivos	Períodos críticos				
Leguminosas Anuales	Botón	Floración	Formación vaina	Vaina verde	Vaina madura
Frejol		**********	**********	**********	
Haba		**********			
Arveja		**********	**********		
Soya	**********	**********	**********		

Hortalizas	
Arveja	Comienzo de floración y durante hinchamiento del capi
Berengena	Floración y desarrollo del fruto
Brocoli	Desarrollo del pan o pella
Cebolla (bulbos)	Durante la formación del bulbo
Cebolla (semilla)	Floración
Coliflor	Requiere riegos frecuentes desde siembra a cosecha, especialmente durante el desarrollo del pan
Espárrago	Comienzo de emisión de follaje
Lechuga	Requiere riego durante todo su período vegetativo, en especial durante formación de la cabeza
Melón	Floración y desarrollo del fruto
Papas	Desde floración a cosecha, especialmente a inicios de la formación del tubérculo
Pepino	Desde floración a cosecha
Pimentón y ají	Desde floración a cosecha
Rabanito	Formación y crecimiento de la raíz
Repollo	Requiere riego durante todo su período vegetativo, en especial durante formación de la cabeza
Tomate	Floración a crecimiento rápido de los frutos
Zanahoria	Alargamiento de la raíz
Zapallo	Desarrollo del brote y floración

Continuación Tabla 9.

Frutales y hortofrutícolas	
Cerezos y duraznos	*Período de crecimiento rápido del fruto que antecede a la madurez*
Cítricos	*Floración y formación del fruto*
Damascos	*Floración y desarrollo de los botones florales*
Frutillas	*Desarrollo del fruto a madurez*
Olivos	*Previo a floración, durante el crecimiento del fruto y último período de madurez de los frutos*
Vides	*Comienzo del crecimiento en primavera hasta pinta del fruto*

Otros cultivos	
Alfalfa (semilla)	*Inicio período de floración*
Alfalfa y otras empastadas	*A través de todo su período de crecimiento; en especial se recomienda aplicar agua inmediatamente después de un corte o talajeo*
Maravilla	*Desde formación de flor a madurez de semilla*
Remolacha (producción de raíces)	*No existe indicación clara. Aparentemente durante los dos primeros meses después de emergencia*
Remolacha (semilla)	*Durante floración y desarrollo de la semilla*
Tabaco	*No existe indicación clara, dada la compleja interrelación con calidad de la hoja*

La utilidad de conocer los períodos sensibles del cultivo al déficit hídrico, radica en su uso como una herramienta en la toma de decisiones. De este modo, es posible administrar el recurso hídrico en períodos de escasez, asignando el agua acorde al estado fonológico de los diferentes cultivos, de manera de minimizar los daños de la producción.

BIBLIOGRAFIA

CNR-CIREN. 1997. Cálculo y Cartografía de la Evapotranpsiración Potencial en Chile. Comisión Nacional de Riego y Centro de Información de Recursos Naturales (CORFO). Santiago, Chile. 54p.

James, Larry G. 1988. Principles of Fann Irrigation System Design. John Wiley and Sons, Inc. USA. 543p.

Millar, Agustín A. 1993. Manejo de Agua y Producción Agrícola. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agrícultura, Oficina en Chile. 556p.

Stewart, B.A. y Nielsen, D.R. 1990 (Ed). Irrigation of Agricultural Crops. ASA, CSSA, SSSA Publishers. Monograph N°30. Madison, Wisconsin, USA. 2118p.