

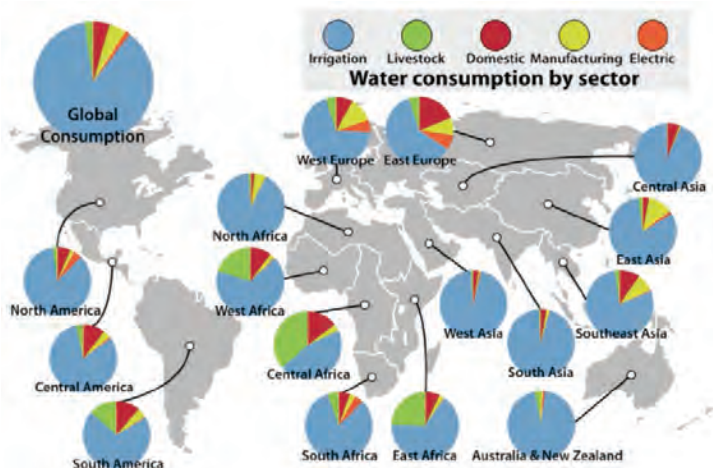
## CAPÍTULO 3

### Demanda de agua de los cultivos

**Autor:** Dr. Rafael López-Olivari

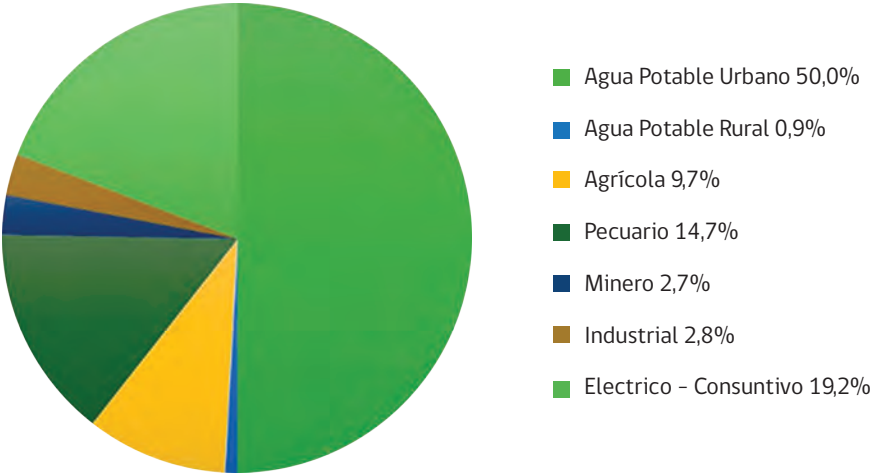
A nivel global existe un evidente cambio en los patrones climáticos (emisiones de partículas de efecto invernadero, cambios significativos en las precipitaciones y temperatura, entre otros) repercutiendo de manera directa en las diferentes regiones de interés silvoagropecuario. En Chile, la variabilidad climática está afectando a todo el territorio, principalmente, con un cambio en los patrones, intensidad y frecuencia de las precipitaciones. Sin embargo, en la Región de Magallanes se proyecta que las precipitaciones medias anuales, mínimas y máximas no presentarían gran variación, pero habría un incremento en las temperaturas medias, mínimas y máximas cercanos a 1,0 °C para el año 2050 (MMA, 2016) afectando la evapotranspiración y el consumo de agua de todos los sistemas productivos.

En términos de consumo hídrico, la agricultura de riego domina el consumo de agua en todas las regiones del mundo, el cual varía según el clima y la infraestructura, seguido por el consumo doméstico y empresas de manufacturas (Figura 13).



**Figura 13.** Consumo de agua por sector para las principales regiones de todo el mundo (Brauman et al., 2016).

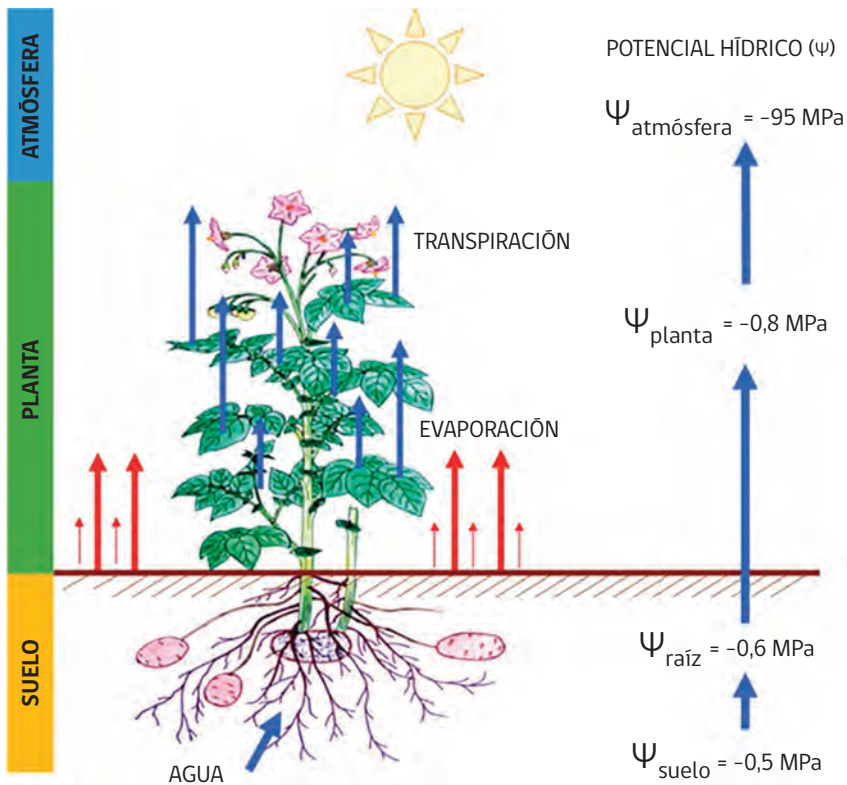
En Chile, al igual que en el resto de mundo, la distribución actual de la demanda consuntiva de agua está en las áreas de agricultura (72%), agua potable (12%) e industrial (7%). Se estima una proyección de esta demanda consuntiva total de agua de un incremento cercano al 10% al año 2040 (MOP, 2020; DGA, 2017). Sin embargo, en la región de Magallanes la mayor distribución de la demanda consuntiva actual se encuentra en los sectores agua potable urbana (50%), área agrícola y pecuaria (24%), y eléctrico-consuntivo (19%) (Figura 14). Así, la proyección de la demanda consuntiva total de agua en esta región se estima que aumentará cerca del 20% al año 2040 (DGA, 2017).



**Figura 14.** Distribución demanda consuntiva de agua actual de la región de Magallanes (DGA, 2017).

## Evapotranspiración (ET)

En primera instancia el movimiento del agua desde el suelo a la atmósfera se produce por la diferencia en concentración del vapor de agua, potencial osmótico, potencial de presión y potencial hídrico (siempre de menos negativo a más negativo) y el proceso de intercambio de esta agua se conoce como demanda hídrica o evapotranspiración (Figura 15).



**Figura 15.** Movimiento del agua desde el suelo hacia la atmósfera por diferencias de potencial hídrico y el proceso de evapotranspiración (evaporación + transpiración). (Elaboración propia).

Así, los sistemas agrícolas el agua se mueve a través de este proceso combinado que ocurre de manera simultánea, donde el agua presente en el sistema (cultivo) es traspasada a la atmósfera mediante: la evaporación directa desde el suelo húmedo y la transpiración de la planta a través de sus estomas (que ocupan el 1% de la superficie celular y son los responsables del 90% de la pérdida de agua por transpiración).

Así tenemos que la evaporación es el proceso donde el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) retirándose de la superficie evaporante. El agua se puede evaporar de una gran variedad de superficies (lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada). En tanto que, la transpiración es un proceso que permite

la entrada de CO<sub>2</sub> y la salida de agua en forma de vapor de agua (H<sub>2</sub>O) desde los tejidos verdes de la planta a la atmósfera. Así, este proceso es indispensable para que el cultivo pueda producir hojas, tallos, frutos y raíces (proceso de fotosíntesis) y ayuda a la termorregulación de la planta para evitar daños metabólicos por exceso de temperatura. La cantidad de agua transpirada debe ser repuesta por el riego. La planta extrae el agua desde el suelo a través de las raíces. Finalmente, el proceso de transpiración es la responsable de mantener un flujo continuo de agua desde el suelo a la atmósfera, lo que permite mantener a la planta refrigerada y movilizar los nutrientes disueltos en el agua necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta.

En los sistemas agrícolas, al proceso continuo de evaporación y transpiración se le conoce como evapotranspiración (ET). Entre los factores que afectan directamente la evapotranspiración tenemos las variables meteorológicas, tipo de cultivo, manejo y condiciones ambientales en las que se desarrolla una planta o cultivo. A continuación, serán descritas brevemente (Allen et al., 2006):

## Variables meteorológicas

**Radiación solar ( $R_s$ ):** es la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la fuente de energía más importante en el planeta y permite el paso de agua del estado líquido en vapor de agua (gaseoso). La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante es dependiente de la ubicación geográfica y época del año. Debido al proceso de rotación y traslación del planeta, esta cantidad potencial de radiación es diferente según la latitud y las estaciones del año. La radiación solar que alcanza una superficie evaporante depende de la turbidez de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación. Cuando se determina el efecto de la radiación solar en la evapotranspiración, se debe considerar que no toda la energía disponible se utiliza para evaporar el agua, donde parte de ésta se usa para calentar la atmósfera y el suelo. Finalmente, la radiación también actúa sobre la apertura y cierre parcial de los estomas haciendo mínima la transpiración cuando ésta está ausente.

**Temperatura del aire ( $T_a$ ):** la temperatura del aire es influenciada por la radiación solar absorbida por la atmósfera y el calor emitido por la tierra. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que

en un día nublado y fresco. La temperatura está relacionada directamente con la presión de vapor, donde aumentos de la  $T_a$  disminuye la presión de vapor e incrementa la ET. Por otro lado, la  $T_a$  por sí sola no afecta directamente la ET, pero si es un indicador de la cantidad de radiación. Así, aumentos de la  $R_s$  resulta en un incremento de la  $T_a$ .

**Humedad Relativa del Aire (HR):** el aporte de la energía del sol y del aire que rodea a las plantas son el motor que provoca la evaporación del agua, la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie evapotranspirante (ejemplo; superficie de la hoja + suelo) y el aire circundante a ella es lo que determina la eliminación del vapor (concepto de Déficit de Presión de Vapor, DPV). Así, aumentos del DPV hacen incrementar el poder secante de la atmósfera y por ende la ET. Por lo que en regiones áridas secas y calientes con buen suministro de riego, consumen grandes cantidades de agua debido a la gran disponibilidad de energía y al poder de extracción de vapor por parte de la atmósfera. Por el contrario, en regiones húmedas tropicales donde el ingreso de energía es igualmente elevado, la alta humedad del aire reducirá la evapotranspiración. Por tal razón, como el aire ya está cerca de saturación, puede absorber menos agua adicional resultando en una tasa de evapotranspiración más baja que en las regiones áridas.

**Velocidad del Viento (Vv):** el proceso de eliminación de la capa de vapor de agua de la superficie evaporante depende directamente del viento y de la turbulencia de éste que permite la mezcla de las capas con mayor y menor contenido de agua evitando que las capas próximas a la superficie evaporante se saturen y, por ende, detengan el proceso de evapotranspiración. La demanda evapotranspiratoria es alta en condiciones climáticas calientes y secas, debido a la sequedad del aire, la radiación solar directa y calor latente. Mientras que, bajo condiciones atmosféricas húmedas, la alta humedad del aire y la presencia de nubes hacen que la demanda de agua sea más baja. Así, cuanto más seca esté la atmósfera (DPV alto), más grande será el efecto sobre la ET y mayor es la pendiente de la curva. Sin embargo, en condiciones húmedas la velocidad del viento afecta la evapotranspiración en un menor grado (dado que cambia el aire saturado por uno un poco menos saturado) que bajo climas áridos en los que variaciones pequeñas en la velocidad del viento pueden dar lugar a importantes variaciones en la evapotranspiración. Finalmente, incrementos en la Vv implica un aumento en el gradiente de presión de vapor y, por ende, en una mayor pérdida de vapor de agua a través del proceso de evapotranspiración.

## Factores de Cultivo

***El tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo:*** deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos, principalmente aquellas que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas (por ejemplo; cereales, praderas, hortalizas, frutales, flores, bosques, entre otros). Así, las diferencias en resistencia a la pérdida de agua, la altura del cultivo, la rugosidad de las hojas del cultivo, el reflejo, la cobertura del suelo y las características radicales del cultivo dan lugar a diferentes niveles de ET, aunque se encuentren bajo condiciones ambientales idénticas. Por lo tanto, la evapotranspiración de un tipo de cultivo bajo condiciones estándar se refiere a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en áreas extensas, en condiciones óptimas de agua en el suelo, y adecuados manejos agronómicos como ambientales, y que alcanzan la producción potencial bajo las condiciones climáticas dadas. Por lo anterior es importante hacer este cálculo de demanda evaporativa en todas las zonas donde tengamos un cultivo considerando las condiciones ambientales de la temporada de crecimiento. En este contexto, el fitomejoramiento juega un rol relevante, ya que son los encargados de desarrollar materiales vegetales que mantengan la producción en diferentes ambientes (materiales adaptables) utilizando un mínimo de recursos básicos como lo son el agua y los fertilizantes (que demanden menos agua y nutrientes).

## Manejo y condiciones ambientales

La evapotranspiración depende del cultivo, cualquier factor o evento que afecte el crecimiento de las plantas reducirá a su vez la ET. Así suelos con la salinidad o baja fertilidad del suelo, limitado uso de fertilizantes, horizontes en el perfil de suelo impenetrables y mal manejo del suelo podrían limitar el normal crecimiento y desarrollo del cultivo.

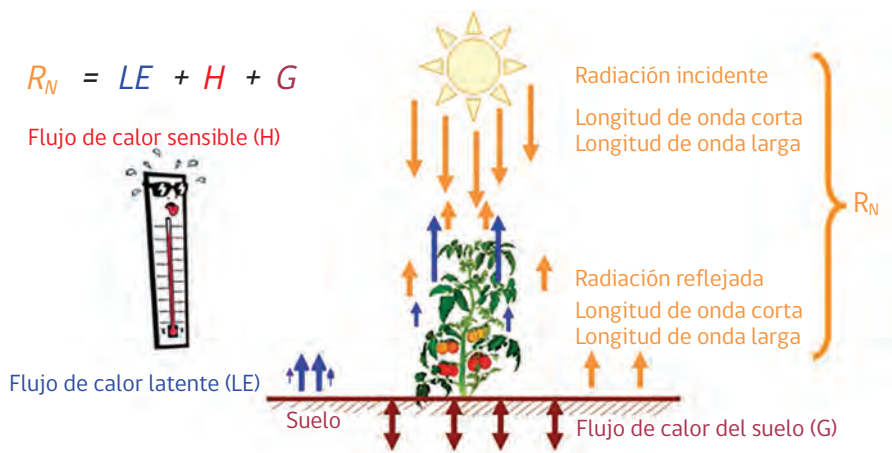
Adicionalmente, prácticas locales de manejo que actúan sobre algunos factores meteorológicos y de cultivo que afectan el proceso de ET, deben ser considerados cuando se desea evaluar la tasa de ET. Así, el manejo del cultivo y el método de riego pueden alterar el microclima circundante de las plantas, afectar la capacidad de absorción de agua del suelo y la superficie de cultivo. Al colocar una barrera rompevientos reduce la velocidad del viento y disminuye la tasa de ET de la zona situada directamente después de la barrera. El efecto

puede ser significativo especialmente en condiciones ventosas, calientes y secas, aunque la evapotranspiración de los mismos árboles podría compensar cualquier reducción en el campo. Otro ejemplo es que la evaporación del suelo puede ser reducida dentro de un huerto con árboles jóvenes bien espaciados usando un sistema de riego por goteo bien diseñado. El uso de coberturas sobre camellones, especialmente cuando el cultivo es pequeño, es otra manera de reducir substancialmente la evaporación del suelo (algunas hortalizas y frutales menores). Los anti-transpirantes (estimulantes del cierre estomático, materiales que favorecen el reflejo del suelo, entre otras), reducen las pérdidas de agua del cultivo (por una menor tasa de transpiración). Cuando las condiciones de campo difieran de las condiciones estándar, son necesarios factores de corrección para ajustar  $E_{Tc}$  ( $E_{Tc}$  ajustada). Estos factores de ajuste reflejan el efecto del ambiente y del manejo cultural de las condiciones de campo.

## Determinación de la Evapotranspiración

La evapotranspiración no es simple de cuantificar, sin embargo, puede ser determinada por métodos directos o cuantitativos y por métodos indirectos o estimativos. Así, para cuantificarla experimentalmente (método directo) se necesita de equipamiento o sensores específicos y mediciones precisas de varios parámetros físicos o del balance hídrico del suelo (balance de energía y lisímetros de pesada). Estas metodologías de medición a nivel experimental aún son poco económicas, exigiendo precisión en las mediciones, y pueden ser completamente realizados y analizados apropiadamente sólo por personal de investigación suficientemente capacitado. Así, estos métodos son muy necesarios e importantes para la evaluación de las estimaciones de la ET obtenidas con los métodos indirectos. Los métodos directos e indirectos más comunes para la determinación de la ET se explicarán de manera general.

***Método del Balance de Energía de la Superficie:*** este método aplica el principio de la conservación de la energía y se conoce también como el método del balance de energía residual (Figura 16), debido a que el flujo de calor latente ( $LE = \lambda ET$ ) se obtiene despejando la ecuación.



**Figura 16.** Dinámica general de los principales componentes del balance de energía de una superficie de cultivo homogénea y sin pendiente (Elaboración propia).

Así, el componente de flujo de calor latente ( $LE = \lambda ET$ ), que es la energía utilizada para la evapotranspiración, se despeja como un residuo que surge de extraerle a la radiación neta ( $R_n$ ) el flujo de calor sensible ( $H$ ) y el flujo de calor del suelo ( $G$ ) como se muestra a continuación:

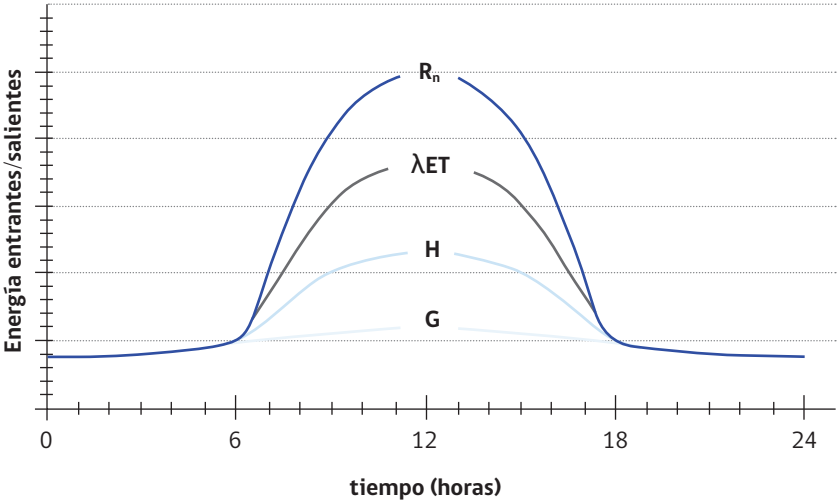
$$R_n = LE + G + H + \Delta Q_c + \Delta Q_A$$

Los términos  $\Delta Q_c$  y  $\Delta Q_A$  son el calor almacenado en el espesor ocupado por los obstáculos sobre el suelo (ejemplo; cobertura vegetal) y la variación de calor dada por la advección horizontal, respectivamente. Así, el término de calor almacenado en la cobertura vegetal puede ser despreciable durante el día frente al valor de los otros términos del balance (Oliphant et al., 2004), mientras que, si las superficies estudiadas son horizontalmente homogéneas y no presentan pendientes,  $\Delta Q_A$  también se puede despreciar.

Por otra parte, cuando  $R_n$  es positiva, proporciona energía a la superficie y cuando  $G$ ,  $\lambda ET$  y  $H$  son positivos retiran energía de la superficie (Figura 17). Los componentes del balance de energía pueden variar en su magnitud, principalmente, de acuerdo con la superficie evaporante o transpirante, contenido de agua disponible, condiciones micrometeorológicas, si es un día

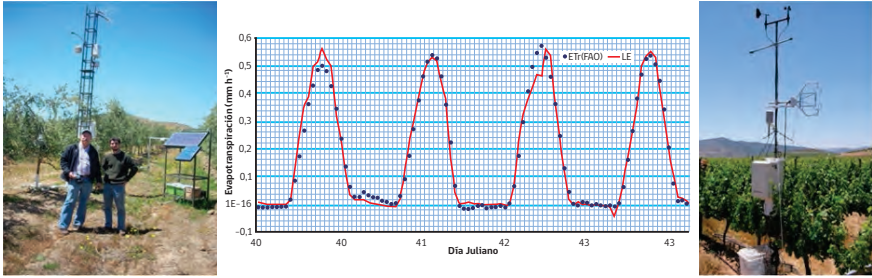


despejado o nublado, entre otros. Por lo que, si la medición de los componentes del balance de energía se realiza, por ejemplo, en un ambiente desértico habría una mayor proporción de H que LE, mientras que bajo una superficie de agua libre (lago, laguna o similar) por lo general el cambio de almacenamiento de calor sobre el cuerpo de agua sería mínimo y LE tendría un valor alto pero menor a Rn y H sería bajo.



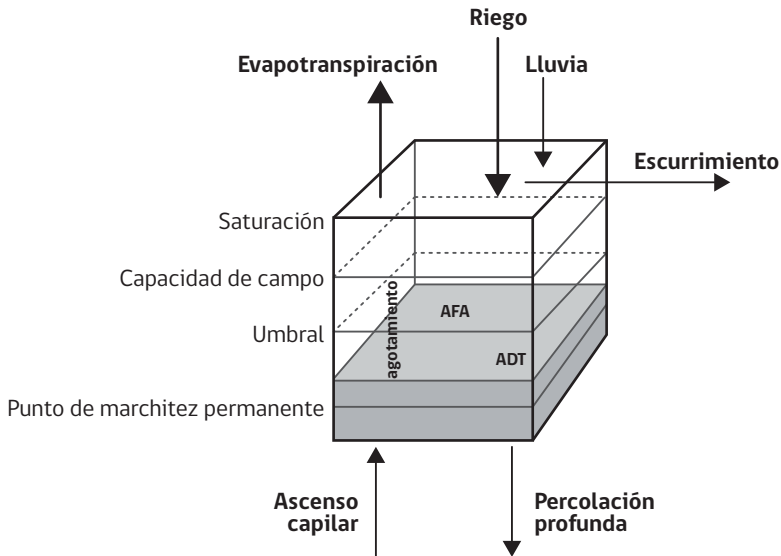
**Figura 17.** Variación diurna de los componentes del balance de energía sobre una superficie transpirante (vegetación) con suficiente cantidad de agua para un día despejado (Allen et al., 2006).

En este sentido, ET puede ser determinada a través del método de la relación de Bowen y a través de un sistema de flujos turbulentos (covarianza de torbellino; Eddy covariance method), donde cada componente de este balance de energía es medido con equipos independientes entre sí. Por lo que su aplicación se restringe, principalmente, a situaciones de investigación (Figura 18).



**Figura 18.** Sistemas de flujos turbulentos (Eddy Covariance System) midiendo el flujo de calor latente ( $LE = \lambda ET$ ) en viñedos, huerto de olivos y un ejemplo de gráfico en una condición de pasto en referencia (Modificado de CITRA-Utalca y elaboración propia).

**Método del Balance hídrico de suelo:** este método se basa en el principio de la conservación de la masa y consiste en que los flujos de agua que entran en el suelo deben ser iguales a los que se almacenan más los que salen de la zona radical del cultivo dentro de un determinado periodo de tiempo (Figura 19).



**Figura 19.** Diagrama simplificado de los componentes del balance hídrico de suelo en la zona radical efectiva de un cultivo (Allen et al., 2006).

La ET es despejada del balance hídrico de suelo diario en la zona radical efectiva presenta como componentes de entrada el riego ( $I_i$ ), las precipitaciones ( $P_i$ ) y el ascenso capilar ( $C_i$ ), mientras que los componentes de salida en la zona radical efectiva están la percolación profunda ( $PE_i$ ), escurrimiento superficial ( $E_i$ ) y las variaciones de humedad en el suelo ( $H_{r,i}$  e  $H_{r,i-1}$ ) como se muestra en la siguiente ecuación:

$$ET_i = (P - E)_i + I_i + C_i - PE_i - (H_{r,i} - H_{r,i-1})$$

Generalmente, el método del balance de agua en el suelo solo puede dar estimaciones de ET para periodos largos de tiempo del orden de una semana o diez días.

Así, bajo este concepto se utilizan los lisímetros que son tanques aislados llenados con suelo disturbado o no disturbado en los que el cultivo crece y se desarrolla. Si se aísla la zona radical efectiva de raíces del cultivo y se miden los diversos términos en la ecuación del balance de agua en el suelo se pueden determinar con apreciable exactitud. En **lisímetros de pesaje de precisión**, la evapotranspiración se puede obtener con una exactitud, donde la pérdida de agua es medida directamente por la diferencia de masa y pequeños períodos de tiempo. En **lisímetros de drenaje**, la evapotranspiración es medida por un período dado, restando la cantidad de agua de drenaje, recogida en el fondo de los lisímetros, de la cantidad total de agua ingresada. Así, un requerimiento de los lisímetros es que la vegetación dentro e inmediatamente fuera del lisímetro sea idéntica (la misma altura e índice de área foliar). Igual que los otros métodos de medición, los lisímetros son difíciles de manejar, caros de construir y la operación y mantenimiento requieren de especial cuidado, su uso se restringe normalmente a trabajos investigativos.

## Concepto de Evapotranspiración

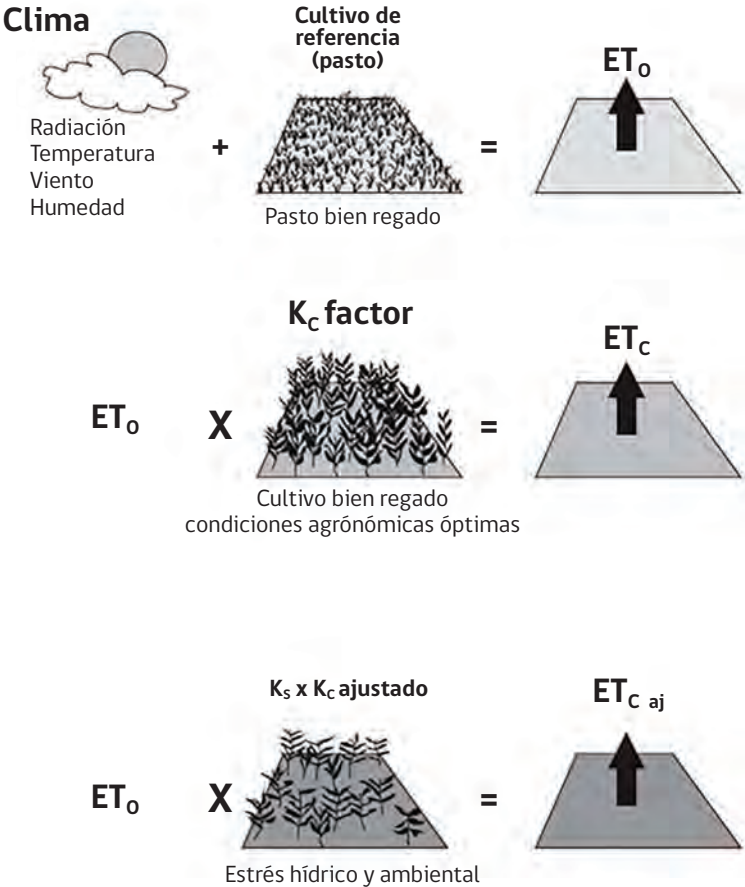
El concepto de evapotranspiración incluye tres diferentes definiciones siguiendo FAO56 (Allen et al., 2006) y descritas a continuación de manera general (Figura 20):



• **Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>):** se relaciona directamente con las variables atmosféricas que expresa el poder evaporante de la atmósfera, donde la superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23. Así, la superficie de referencia tiene que ser una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo.

• **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>):** se refiere a la evapotranspiración en condiciones óptimas presentes en parcelas con un excelente manejo y adecuado aporte de agua y que logra la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas. Así, ET<sub>c</sub> es la multiplicación de ET<sub>o</sub> por un coeficiente o factor (K<sub>c</sub>) que es específico de cada cultivo.

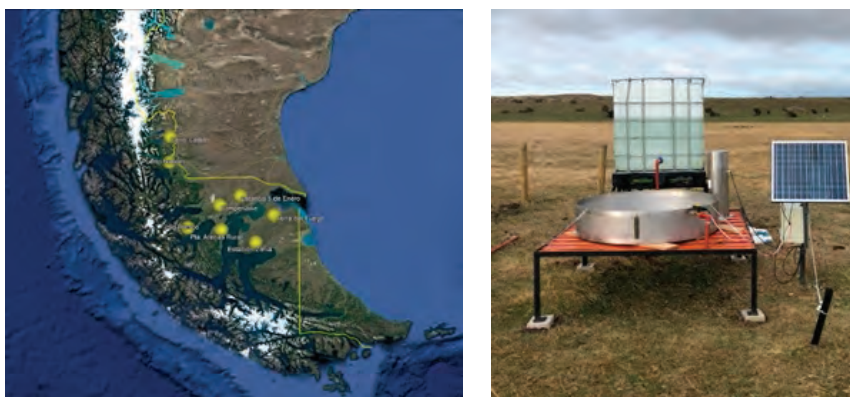
• **Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ( $ET_c$  aj):** requiere generalmente una corrección, cuando no existe un manejo óptimo y se presentan limitantes ambientales que afectan el crecimiento del cultivo y que restringen la evapotranspiración, es decir, bajo condiciones no estándar de cultivo. En este caso  $ET_c$  aj, es la multiplicación de  $ET_o$  por el  $K_c$  y además por un coeficiente reductor por estrés hídrico y ambiental ( $K_s$ ).



**Figura 20.** Diagrama simplificado de las diferentes definiciones de la evapotranspiración (Allen et al., 2006).

## Evapotranspiración en la región de Magallanes.

La evapotranspiración en la región de Magallanes se determina en ocho Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) ubicadas en diferentes zonas de importancia agrícola y ganadera (Cerro Castillo, Puerto Natales, Estancia 5 de Enero, Kampenaike, Isla Riesco, Punta Arenas Rural, Estación Zenia y Tierra del Fuego). Éstas son supervisadas por personal técnico del centro de investigación INIA Kampenaike. Además, este centro cuenta con un tanque evaporímetro automático clase A para determinar la evaporación potencial de cuerpos de agua libre (lagunas, vegas, entre otros) (Figura 21).



**Figura 21.** Localización de las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAs) (izquierda) de la región de Magallanes y tanque evaporímetro automática Clase A ubicado en INIA Kampenaike (derecha).

En la región de Magallanes, las zonas de Cerro Castillo, Estancia 5 de Enero y Estancia Zenia son las que existe una mayor demanda atmosférica durante el período agrícola. Mientras que las zonas de más baja demanda atmosférica son Isla Riesco y Punta Arenas Rural (Cuadro 2). Sin embargo, en la zona de Isla Riesco presenta un mayor equilibrio entre la demanda de agua por parte de la atmósfera y la pluviometría caída entre septiembre y abril. Finalmente, la ETo ha incrementado entre un 29, 26 y 35% en los lugares de Puerto Natales, Kampenaike y Tierra del Fuego, respectivamente. Mientras que un incremento cercano al 47 y 51% en las localidades de Isla Riesco y Punta Arenas, respectivamente.

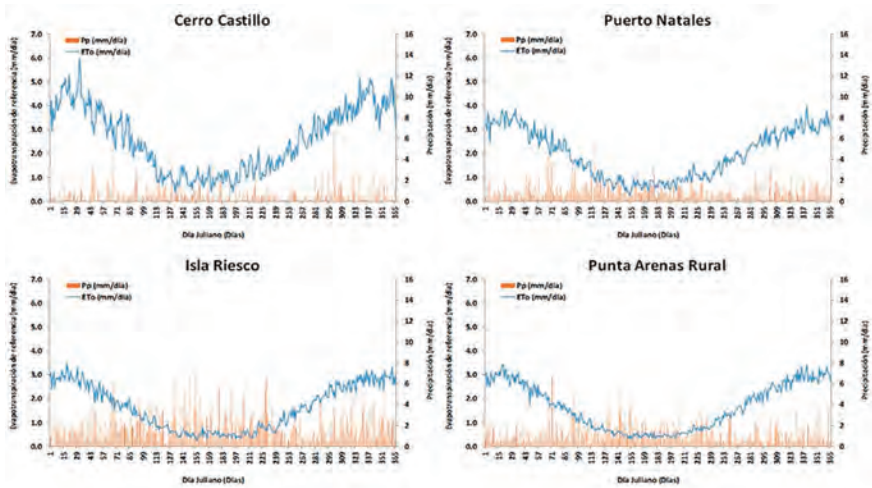
**Cuadro 2.** Valores de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>, mm) y la pluviometría (mm) por temporada agrícola (septiembre - abril) en ocho zonas de la región de Magallanes.

Temporada Agrícola	CC		PN		IR		PAR		KK		EE		EZ		TF	
	ET <sub>o</sub>	Pp	ET <sub>o</sub>	Pp	ET <sub>o</sub>	Pp	ET <sub>o</sub>	Pp	ET <sub>o</sub>	Pp	ET <sub>o</sub>	Pp	ET <sub>o</sub>	Pp	ET <sub>o</sub>	Pp
2010 - 2011	-	-	504	233	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2011 - 2012	-	-	511	228	-	-	277	227	-	-	-	-	-	-	451	175
2012 - 2013	-	-	439	255	275	376	381	375	519	265	-	-	-	-	661	195
2013 - 2014	-	-	630	205	514	450	524	240	529	183	-	-	-	-	635	205
2014 - 2015	-	-	650	287	531	540	538	270	377	200	-	-	-	-	684	150
2015 - 2016	-	-	689	145	570	279	559	179	733	229	-	-	-	-	752	100
2016 - 2017	798	206	644	264	528	306	557	241	678	221	-	-	-	-	657	264
2017 - 2018	773	264	646	355	469	493	565	405	704	297	723	342	675	200	666	232
2018 - 2019	771	168	668	263	552	384	577	476	705	251	722	230	685	311	499	261
2019 - 2020	770	173	642	235	531	382	542	280	707	205	736	222	682	268	626	220
2020 - 2021	846	127	714	212	518	476	572	311	706	181	790	137	703	273	696	127
<b>Promedio</b>	<b>791</b>	<b>188</b>	<b>612</b>	<b>244</b>	<b>499</b>	<b>410</b>	<b>509</b>	<b>300</b>	<b>629</b>	<b>226</b>	<b>743</b>	<b>233</b>	<b>686</b>	<b>263</b>	<b>633</b>	<b>193</b>

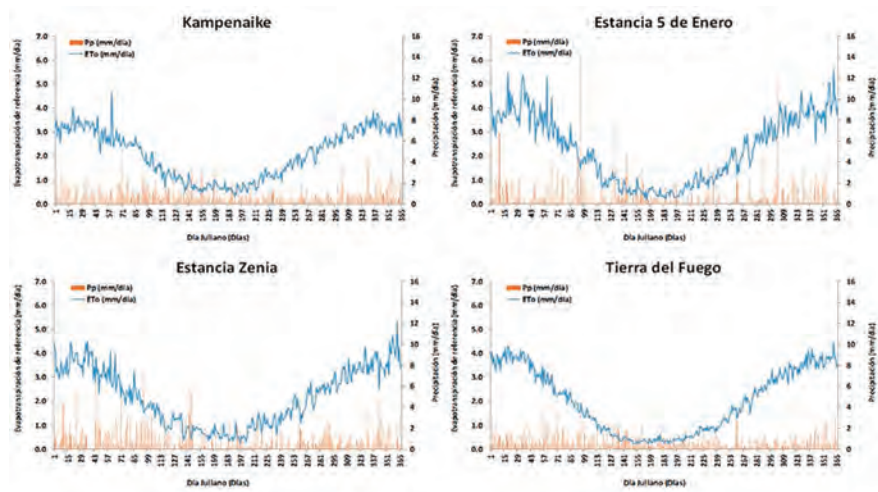
CC: Cerro Castillo, PN: Puerto Natales, IR: Isla Riesco, PAR: Punta Arenas Rural, KK: Kampenaike, EE: Estancia 5 de Enero, EZ: Estancia Zenia, TF: Tierra del Fuego.

Por otro lado, la dinámica anual diaria de las ocho zonas representativas de la región de Magallanes se observa en las Figuras 22 y Figura 23. La zona de Cerro Castillo y Estancia 5 de Enero presentaron valores de ET<sub>o</sub> diaria máxima, en ambos casos, sobre los 5,0 mm/día entre diciembre y enero. Mientras que en la zona de Estancia Zenia los valores de ET<sub>o</sub> máxima estuvieron entre 4,0 y 5,0 mm/día entre diciembre y enero. Sin embargo, el resto de las zonas prácticamente los valores máximos de ET<sub>o</sub> estuvieron bajo los 4,0 mm/día durante los mismos meses.





**Figura 22.** Dinámica histórica diaria de la evapotranspiración de referencia (ETo) y la pluviometría (Pp) de cuatro zonas de la región de Magallanes. (Cerro Castillo; 6 años, Puerto Natales; 12 años, Isla Riesco; 10 años, y Punta Arenas Rural; 11 años).



**Figura 23.** Dinámica histórica diaria de la evapotranspiración de referencia (ETo) y la pluviometría (Pp) de cuatro zonas de la región de Magallanes. (Kampenaike; 10 años, Estancia 5 de Enero; 5 años, Estancia Zenia; 5 años, y Tierra del Fuego; 11 años).





## Consideraciones

Durante los últimos 10 años la región de Magallanes ha experimentado un incremento significativo de la demanda atmosférica y disminución o mantención de la pluviometría entre los meses de mayor demanda y crecimiento y desarrollo de los cultivos agrícolas. Además, la condición regional es bastante variable por lo que las medidas que se deben optar con respecto a los déficits hídricos deben ser diferenciado y bajo las condiciones específicas de cada localidad o zona. Por otro lado, la posibilidad de diversificación productiva se debe considerar según los requerimientos edafotopoclimáticos y en lugares donde no se afecte mayormente los ecosistemas naturales de la región de Magallanes.

## Bibliografía

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Food and Agriculture Organization (FAO) 56: 323. <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>

Brauman, K.A., Brian D. Richter, Sandra Postel, Marcus Malsy, Martina Flörke. Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments Water depletion: Improved metric for seasonal and dry-year water scarcity, *Elementa: Science of the Anthropocene*, 2016, Figure 7. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000083>

Dirección General de Aguas (DGA) 2017. Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile. S.I.T. N° 419. Realizado por. Unión temporal de proveedores Hídrica Consultores spa y Aquaterra Ingenieros Ltda. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios Planificación, Santiago, Chile. <https://dga.mop.gob.cl/Estudios/04%20Resumen%20Ejecutivo/Resumen%20Ejecutivo.pdf>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA) 2016. Datos climáticos históricos y proyectados: Datos línea base y proyecciones al 2050 por comunas. <http://basedigitaldelclima.mma.gob.cl/>

Ministerio de Obras Públicas (MOP) 2020. Mesa Nacional del Agua: primer informe enero 2020. [https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa\\_Nacional\\_del\\_Agua\\_2020\\_Primer\\_Informe\\_Enero.pdf](https://www.mop.cl/Prensa/Documents/Mesa_Nacional_del_Agua_2020_Primer_Informe_Enero.pdf)

Oliphant, A.J., Grimmond, C.S.B., Zutter, H.N., Schmid, H.P., Su, H.B., Scott, S.L., Offerle, B., Randolph, J.C., Ehman, J. 2004. Heat storage and energy balance fluxes for a temperate deciduous forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126 (3-4), 185-201.