

## EVAPORACION:

Proceso por el cual agua liq se transforma en vapor y se retira de la sup evaporante

Radiación

Taire

HR

Viento

Cobertura del suelo

Cantidad de agua disponible en la superficie evaporante

## TRANSPIRACION

Vaporización del agua liq contenida en los tejidos de la planta

Var. Climaticas: Radiación

Taire

HR

viento

Factores de cultivo: agua en el suelo  
capacidad del suelo para conducir agua a las raíces

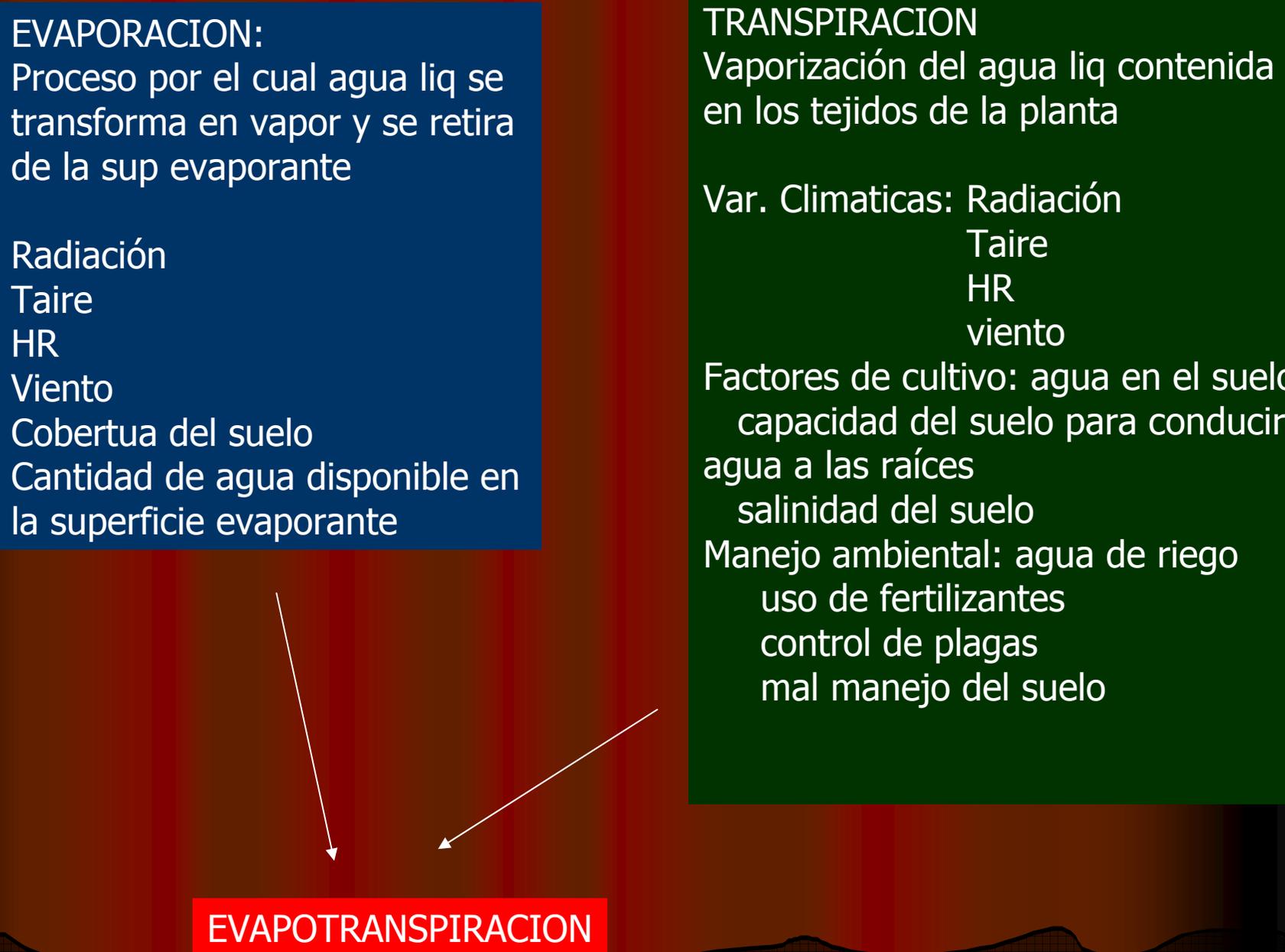
salinidad del suelo

Manejo ambiental: agua de riego

uso de fertilizantes

control de plagas

mal manejo del suelo



EVAPOTRANSPIRACION

1mm por día de agua evaporada equivale a:

10 m<sup>3</sup> /Ha día

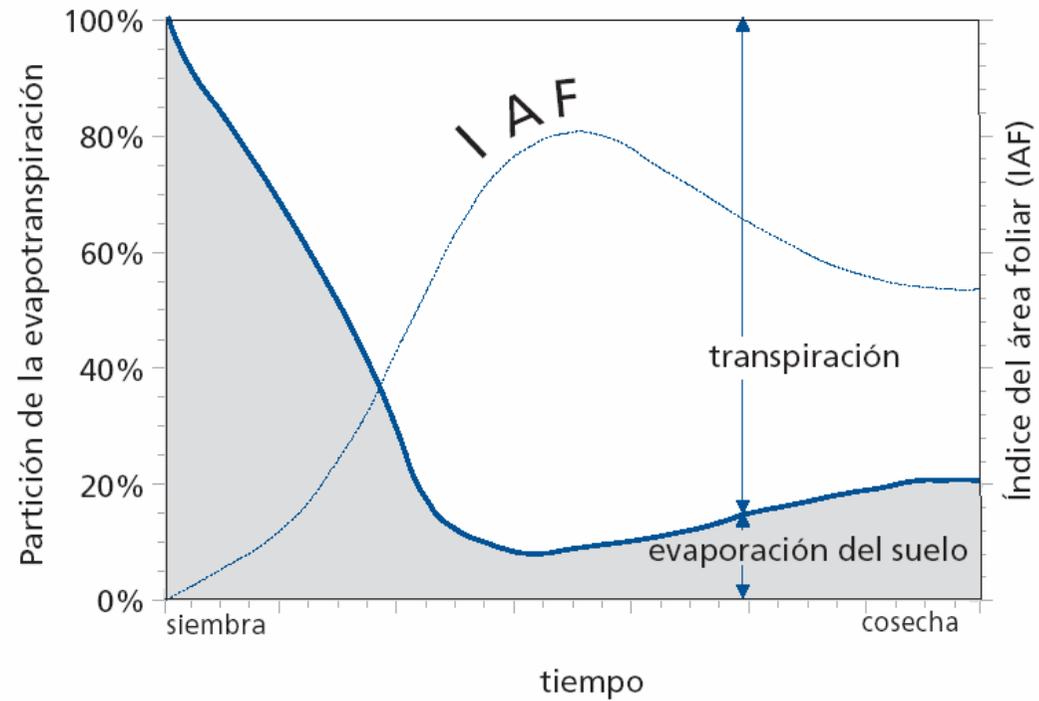
2.45 MJ/kg es decir que 2.45 Mj de energía es necesaria para evaporar 1 kg de agua

CUADRO 1  
Factores de conversión para expresar evapotranspiración

	Altura de agua	volumen por unidad de área		energía por unidad de área *
	mm día <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	l s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>
1 mm día <sup>-1</sup>	1	10	0,116	2,45
1 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	0,1	1	0,012	0,245
1 l s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	8,640	86,40	1	21,17
1 MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup>	0,408	4,082	0,047	1

\* Para el agua con una densidad de 1 000 kilogramos m<sup>-3</sup> y a 20 °C.

FIGURA 2  
Repartición de la evapotranspiración en evaporación y transpiración durante el periodo de crecimiento de un cultivo anual



En el momento de siembra: casi el 100% de la ETP es Evaporación  
A medida que el cultivo crece y tiene mayor cobertura más del 90% de ETP se debe a la transpiración del vegetal

## CÁLCULO DE EVAPORACIÓN:

Cálculo de tasa de evaporación (mm/día)

### METODO DEL BALANCE DE ENERGIA

Toda la radiación entrante se utiliza para evaporar

$$E_r = R_n / l_v \rho_w \quad (\text{en mm/día})$$

$R_n$  : flujo neto de radiación ( $\text{w/m}^2$ )

$l_v$ : calor latente de vaporización (depende de la temperatura)

$\rho_w = 997 \text{ kg/m}^3$  densidad del agua (aprox  $1\text{g/cm}^3$ )

**METODO AERODINAMICO:** Se considera predominio del flujo de aire horizontal (viento)

$$E_a = B(e_{sa} - e_a)$$

donde 
$$B = \frac{0.622 k^2 \rho_a u_2}{p \rho_w \left[ \ln \left( \frac{z_2}{z_1} \right) \right]^2}$$

B: coeficiente de transferencia de vapor

$e_a$ : tensión de vapor del aire

$e_{sa}$ : tensión de vapor de saturación del aire

K: constante de Von Karman  $k=0.4$

$\rho_a$ : densidad del aire (depende de T)

$U_2$ : viento a 2m de la superficie evaporante

p. Presión atmosférica

$\rho_w$ : densidad del agua  $997 \text{ kg/m}^3$

$Z_0$ : parámetro o altura de rugosidad (depende de la superficie)

#### Valores aproximados de la altura de rugosidad en superficies naturales

Superficie	Altura de rugosidad $z_0$ (cm)
Hielo, fango	0.001
Agua	0.01 - 0.06
Pasto (hasta 10 cm de altura)	0.1 - 2.0
Pasto (10 - 50 cm de altura)	2 - 5
Vegetación (1 - 2 de altura)	20
Árboles (10 - 15 de altura)	40 - 70

## METODO COMBINADO: considera energía entrante y viento como condicionantes

La tasa de evaporación que se calcula de la radiación neta  $E_r$  y de los métodos aerodinámicos  $E_a$  se combinan para dar un valor estimado ponderado de evaporación:

$$E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$$

Válida para áreas pequeñas

$$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} = 1$$

$\gamma$  = constante psicrométrica

$\Delta = de_s/dT$  = gradiente de la curva  $e_s$  vs.  $T$

$$\Delta = \frac{4.098e_s}{(237.3 + T)^2}$$

$$\gamma = \frac{C_p K_h P}{0.6221_v K_w}$$

Constante psicrométrica

$Kh/Kw = 1$

$cp = 1005 \text{ J/kg K}$

$P$ : presión atmosférica

METODO DE PRIESTLEY-TAYLOR: simplificación del combinado para grandes áreas de evaporación

$$E = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} E_r$$

con  $\alpha=1.3$

## **EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL:**

Agua que transpirarían las plantas y evaporaría del suelo si el mismo estuviera a su capacidad de campo

## **CAPACIDAD DE CAMPO:**

Cantidad de agua máxima que puede contener el suelo.  
Depende del tipo de suelo y de la cobertura vegetal.

## **CAPACIDAD DE RETENCION:**

Agua contenida en el suelo disponible para evapotranspirar. El agua del suelo no es una superficie libre sino que forma parte de un sistema que lo retiene.  
Depende de la capacidad de campo y de la profundidad de las raíces

## **PUNTO DE MARCHITEZ:**

Mínima cantidad de agua disponible en el suelo, compatible con la vida de las plantas

## CALCULO DE EVAPOTRANSPIRACION

### METODO DE BLANEY-CRIDDLE (1950):

Calcula ETP real

Determina requerimiento de agua de los cultivos

Depende de la temperatura del aire, número de horas de sol y tipo de cultivo.

$$C_u = k_m f$$

$$f = 0,01 (1,8T_a + 32)p$$

$K_m$ : constante empírica que depende del tipo de cultivo (depende del tipo de cultivo y de la época del año)

$F$ : factor de uso consumible mensual (TABLA II ANEXO 1)

$p$ : porcentaje de número de horas de sol mensual respecto del anual (TABLA I ANEXO 1)

$T_a$ : temperatura del aire

## METODO DE BLANEY-CRIDDLE – FAO (1975):

Modificación del anterior realizada por Doorembos y Pruitt (1976) para ajustar con medidas derivadas de lisímetros. En general, sobrestima.

$$U_{fao} = A_b + B_b f$$

$$F = p (0.46 t + 8.13)$$

$$A_b = 0.0043 H_{rmin} - (n/N) - 1.41$$

$$B_b = 0.81917 + (0.0040922 H_{rmin} + 1.0705 n/N + 0.0656449 V + 0.0059684 H_{rmin} n/N + 0.000597 H_{rmin} V)$$

p: porcentaje de número de horas de sol mensual respecto del anual

T: temperatura del aire

H<sub>rmin</sub>: humedad relativa mínima del aire en %

n/N: fracción de insolación media mensual o número de horas de sol medidas en la estación meteorológica y el máximo posible según la latitud y el mes. N están dados en (TABLA I ANEXO 1)

V: velocidad media del viento diurno

## METODO DE TURC (1954, 1961)

Estima la etp real

$$ET_r = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \left(\frac{P}{L}\right)^2}}$$

Para  $P/L > 0.316$

$$ET_r = P$$

Para  $P/L < 0.316$

P: precipitación en mm/año  
Etr: etp real en mm/año

$$L = 300 + 25 * t + 0,05 * t^3 \quad (t = \text{temperatura media anual } ^\circ\text{C})$$

## METODO DE PENMAN, PENMAN-MONTEITH, PENMAN-MONTEITH-FAO (1998)

El método FAO Penman-Monteith fue desarrollado haciendo uso de la definición del cultivo de referencia como un cultivo hipotético con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial de 70 s m<sup>-1</sup> y un albedo de 0,23 y que representa a la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado.

$$E = \frac{1}{(1+\Delta/\gamma)} \left( \frac{\Delta R_n}{\gamma \rho_w l_v} + E_a \right)$$

Término  
radiativo

Término  
aerodinámico

**l<sub>v</sub>: calor latente de  
vaporización**  
**L<sub>v</sub> = 2.45 Mj/kg**

**γ : constante  
psicrométrica**  
**γ = 0,67 Hpa/°K**

**ρ<sub>w</sub> = 1 g/cm<sup>3</sup>**  
**densidad del agua**

$\Delta$  es la pendiente de la curva  $e_s(T)$

$$\Delta = \frac{4098 \cdot 0.6108 \cdot \exp(17.27 T / (T+237.3))}{(T+237.3)^2} \quad T \text{ en } ^\circ\text{C}$$

$$e_s(T) = 0.6108 \cdot \exp(17.27 T / (T+237.3))$$

$$E_a = 0.26 (0.54 U_2 + 1) (e_s - e)$$

$U_2$ : viento a 2 m

$$U_2 = u_{10} (2/10)^{1.7}$$

$$\Delta R_n = R_{\text{entrante}} - R_{\text{saliente}}$$

$$R_{\text{entrante}} = (1 - \alpha) R_o (a + b n/N)$$

$\alpha$ : albedo

$R_o$ : radiación en el tope de la atmósfera (depende de la latitud, época del año y hora del día)

$$R_{\text{saliente}} = \sigma T^4 (0.56 - 0.079 (e)^{1/2}) (0.1 + 0.9 n/N)$$



termino de humedad



término de nubosidad

$n$  : heliofanía absoluta: número de horas de luz que recibe un punto si no está nublado

$N$  : heliofanía astronómica: máximo número de horas de luz (depende de latitud y época del año)

## METODO DE THORNTHWAITE

Se calcula un índice calórico mensual:  $T_a$  es la temperatura en °C

$$i = \left( \frac{T_a}{5} \right)^{1.514}$$

(Tabla I)

Se calcula el Índice Calórico anual como la suma de los 12 mensuales (I)

Se calcula la ETP correspondiente a un mes de 30 días con 12 horas de luz diarias (en mm/mes)

$$ET_{P\text{-sincoregi}} = 1.6 \left( \frac{10T_a}{I} \right)^{a_1}$$

$$a_1 = 6.75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7.71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1.79 \cdot 10^{-2} I + 0.49$$

Se corrige según los días del mes y las horas de luz:

$$ET_{P\text{-coregida}} = 1.6 \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{d}{30} \right) \left( \frac{10T_a}{I} \right)^{a_1}$$

El factor de corrección está en **TABLA III**)

Página web para cálculo online del método de Thornwaite :

<http://onlinecalc.sdsu.edu/onlinethornthwaite.php>