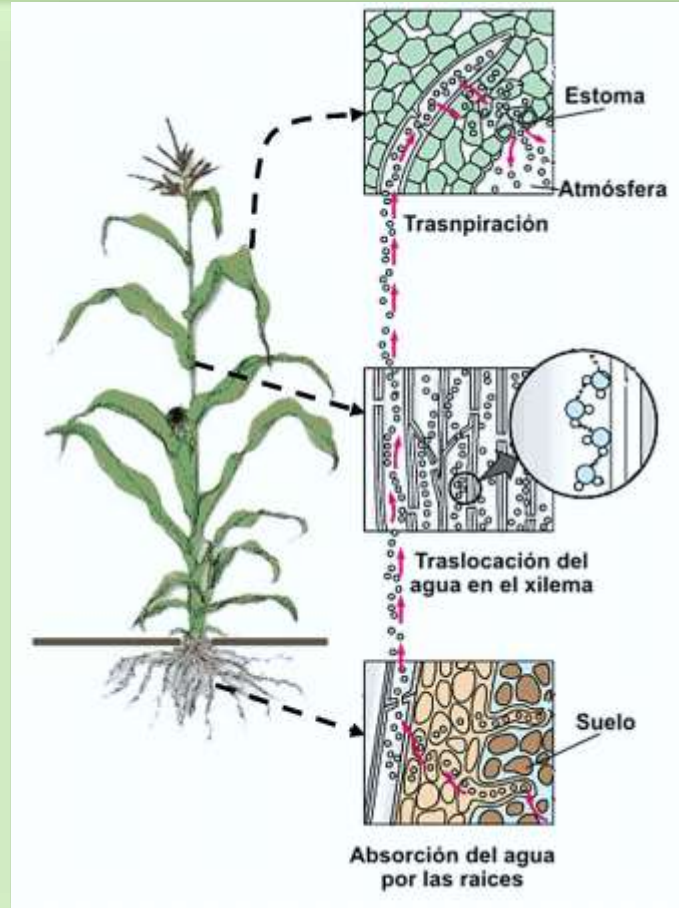


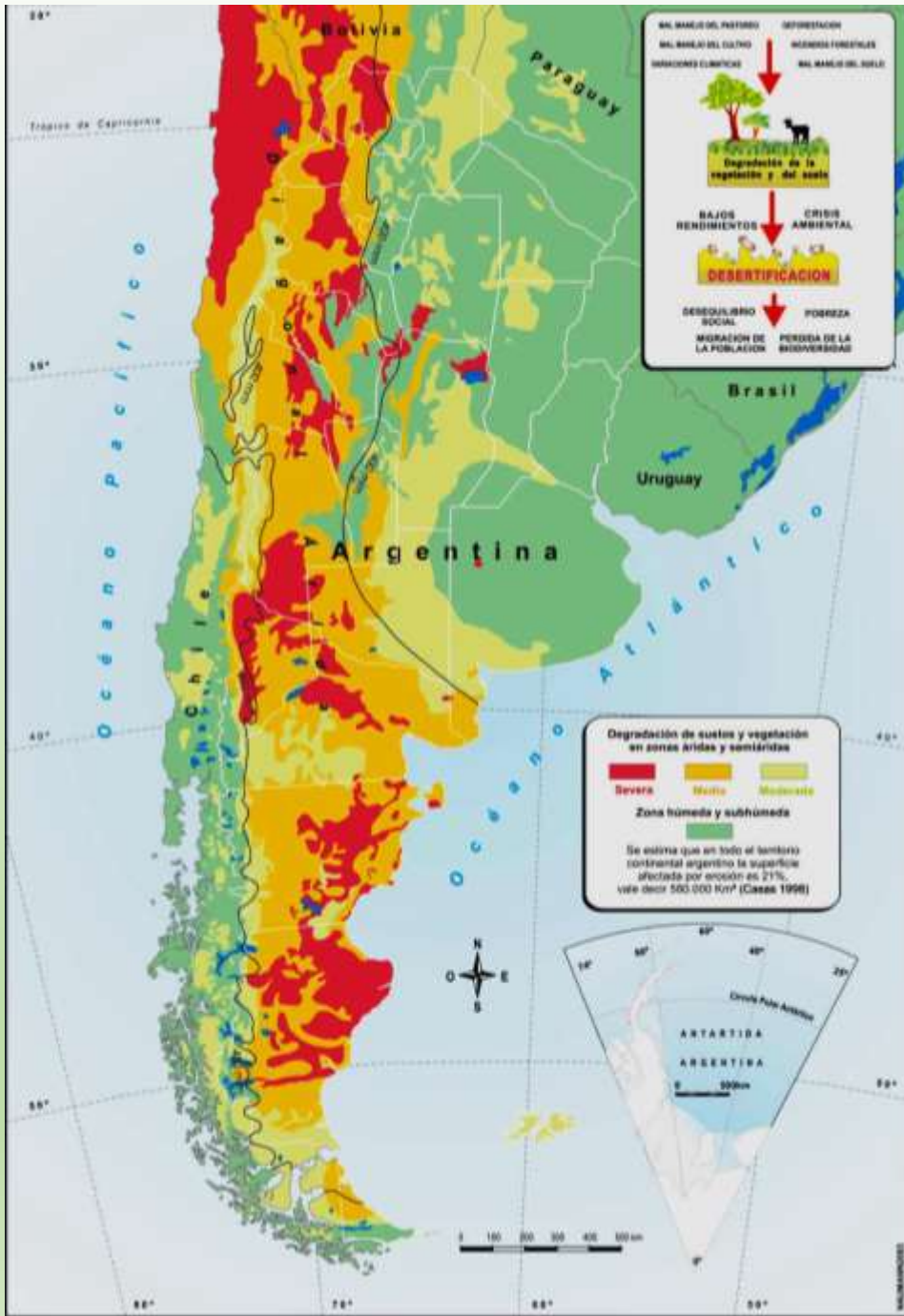
EVAPOTRANSPIRACION



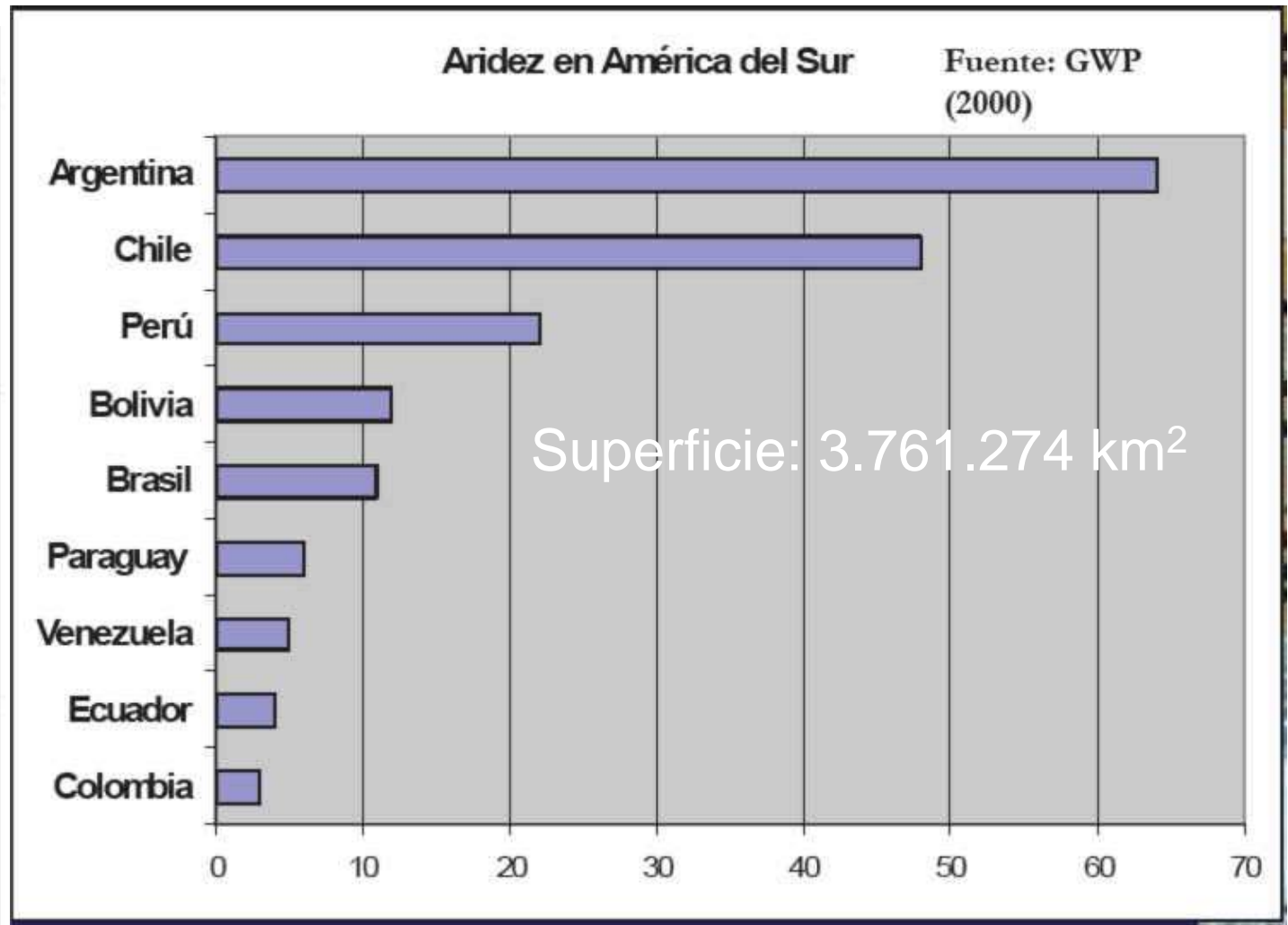
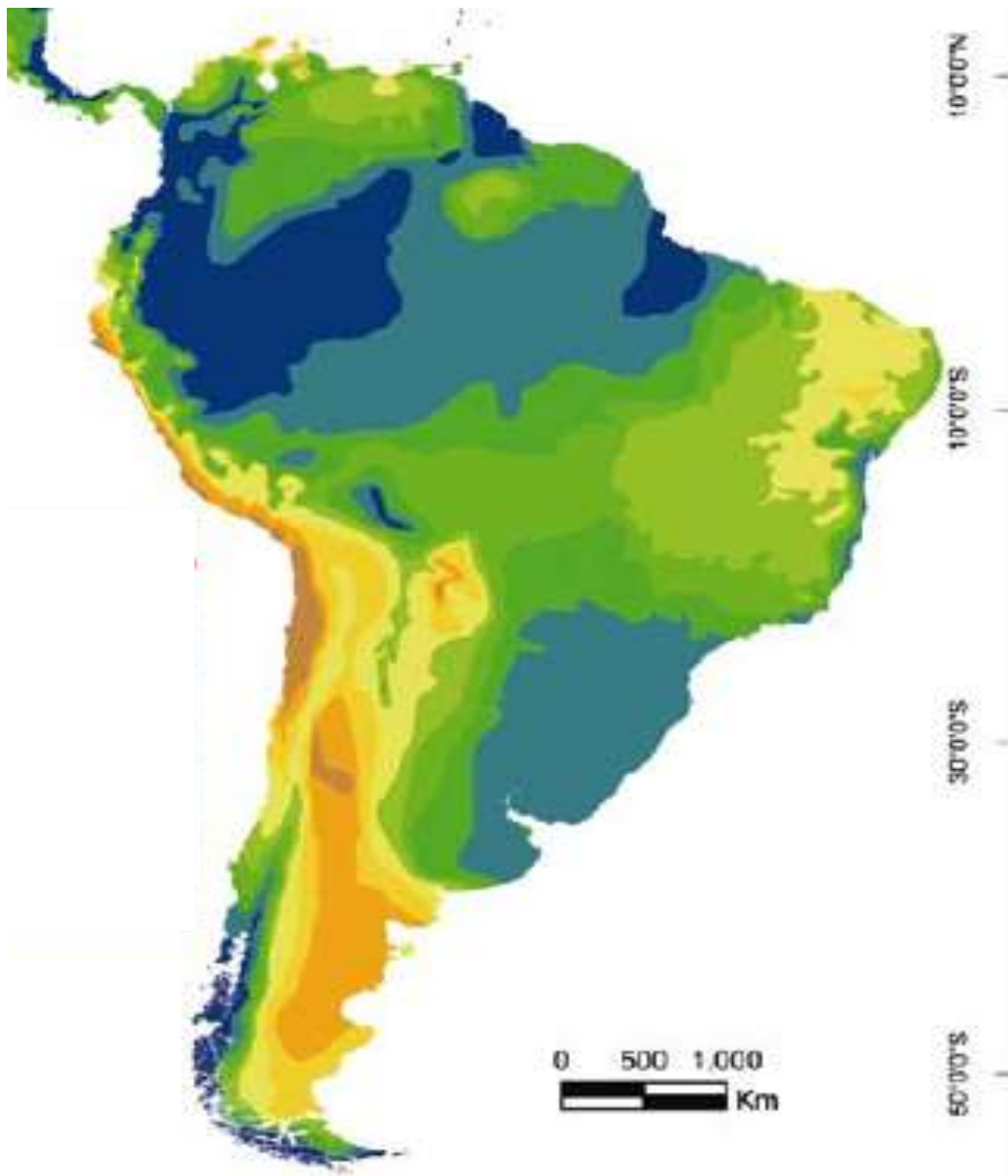
Equipo docente:

Rafael Hurtado
Mónica Valdiviezo Corte
Carla Moreno
Fabio Alabar
María Rivera Funes

Facultad de Ciencias Agrarias
U.N.Ju.



La necesidad de expandir la producción agrícola ha aumentado las áreas de cultivo bajo riego en las regiones áridas y subhúmedas del mundo



Evaporación

Energía requerida: 580 cal/gr. (20°C).

Intensidad:

Variable según:

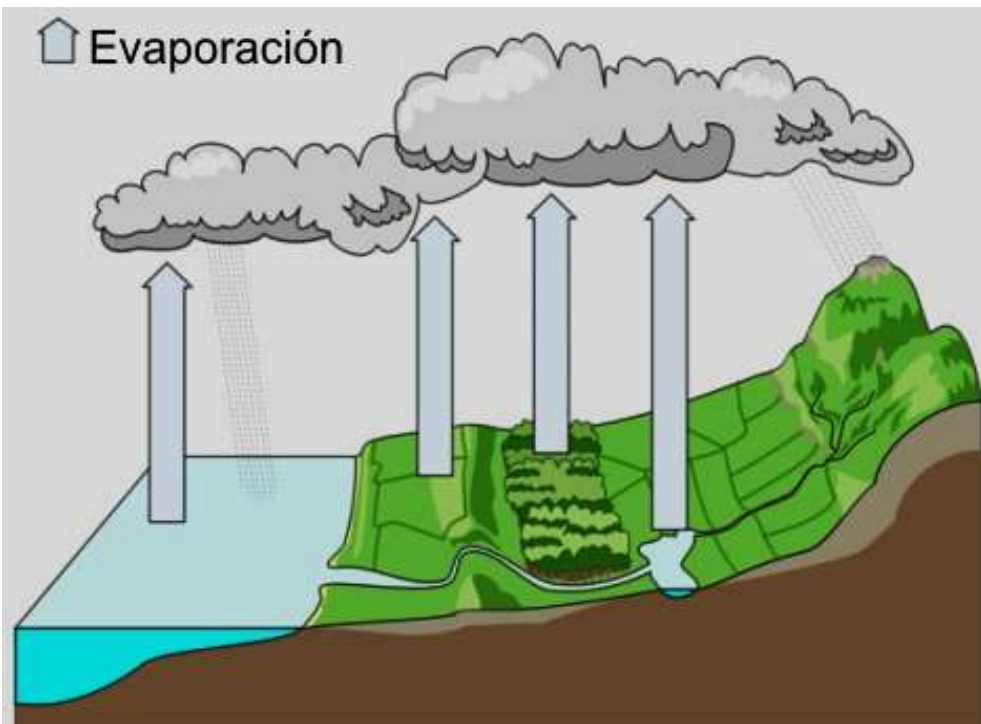
Elementos meteorológicos y de la planta

Superficie considerada:

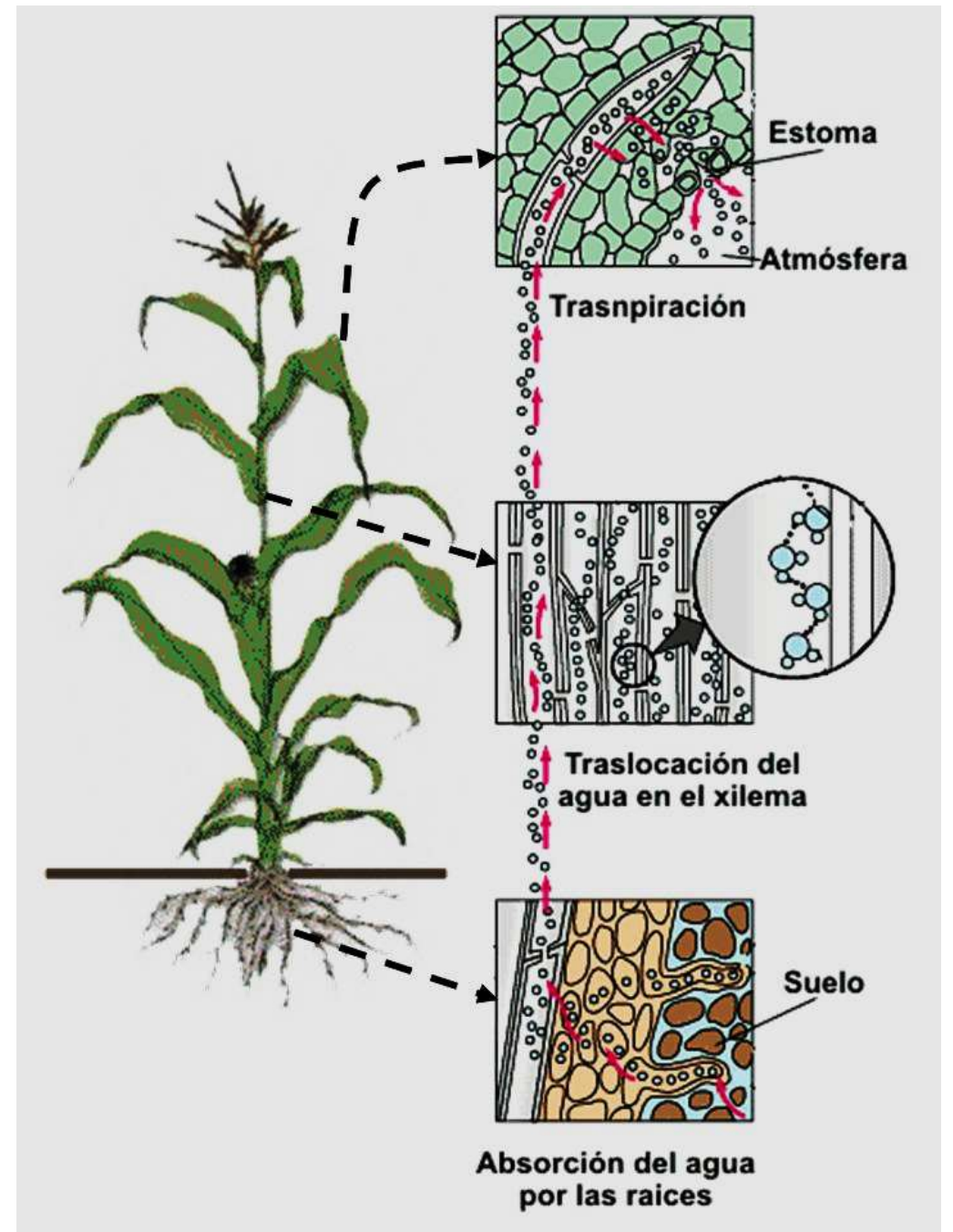


Agua libre
Superficie de suelo

Desnudo
Vegetado



Transpiración: proceso de cambio de estado pero que se realiza a través de la cobertura vegetal.



Evaporación y Evapotranspiración

- Componente del ciclo hidrológico → cambios de estados
- Interviene en las relaciones hídricas → Planta → ambiente

El Agua en los procesos fisiológicos:

- Solvente y medio de reacciones químicas
- Transporte de solutos orgánicos e inorgánicos
- Mantiene la turgencia de las células
- Componente de las reacciones de la fotosíntesis
- Elemento indispensable para la transpiración

■ Función refrigerante que impide daños por altas temperaturas

■ Funciones relacionadas con el **crecimiento y desarrollo** de las plantas

FACTORES AMBIENTALES QUE REGULAN LA EVAPORACIÓN

a) Superficie libre de agua:

- **Radiación solar:** Aumenta la energía entre las moléculas. Mayor temperatura
> **Temperatura > Energía molecular > demanda de la atmósfera**
- **Viento:** Recambia el aire saturado de la superficie evaporante
> **Velocidad del viento > evaporación**
- **Estabilidad vertical:** Movimientos ascendentes y descendentes de aire recambia el aire saturado de la superficie evaporante
- **Hidrolapso o DS:** Produce un gradiente entre la superficie evaporante y el aire
> **Gradiente > evaporación**
- **Salinidad:** Aumentan la tensión entre las moléculas de agua:
> **Salinidad < evaporación**

b) Suelos desnudos:

■ la intensidad dependerá de:

Relación CANTIDAD DE AGUA → Fuerza o Presión con la que es retenida

c) Suelos cubiertos de vegetación:

La intensidad del proceso evaporativo dependerá también de:

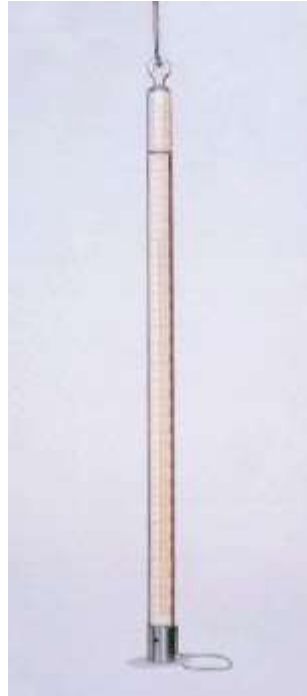
- Densidad de plantas
- Tipo de planta: C3, C4, CAM
- Profundidad de exploración y longitud de raíces
- Albedo de la capa foliar
- Capacidad respiratoria
- Cantidad y distribución de estomas

Medida de la evaporación

a) Tanque de evaporación Tipo "A"



b) Evaporímetro de Piché



Variación diaria y anual de la evapotranspiración

Ambas curvas muestran gran paralelismo con la temperatura

Thornthwaite (1948) definió el término **Evapotranspiración Potencial (ETP)** como la cantidad de agua que evaporaría un suelo y transpirarían las plantas si el suelo estuviera en su contenido óptimo de humedad y con cobertura vegetal completa.

Penman (1948) la definió como la cantidad de agua transpirada en la unidad de tiempo por un cultivo bajo, de altura uniforme que cubra totalmente un suelo sin limitaciones de agua.

Características: Cobertura vegetal uniforme, que morfológicamente no cambien en función del tiempo y sin restricciones de agua en el suelo.

Este proceso es análogo a la evaporación de agua libre en cuyo caso son los factores climáticos los que determinan la velocidad de evapotranspiración.

ETP

Van Bavel (1966) : La evapotranspiración que ocurre cuando la presión de vapor de la superficie evaporante esta en el punto de saturación.

Burman (1980): La velocidad a la cual el agua, si está disponible seria removida de la superficie del suelo y de las plantas, expresada como el calor latente de transferencia (transporte) por unidad de área.

La tendencia actual es referirla a una superficie standard, que difiere para los norteamericanos y europeos en una superficie de alfalfa de 30 a 40 cm de altura con otros de una gramínea de 8 a 15 cm de altura. (**Jensen**, 1970 y **Doorembos y Pruitt**, 1976).

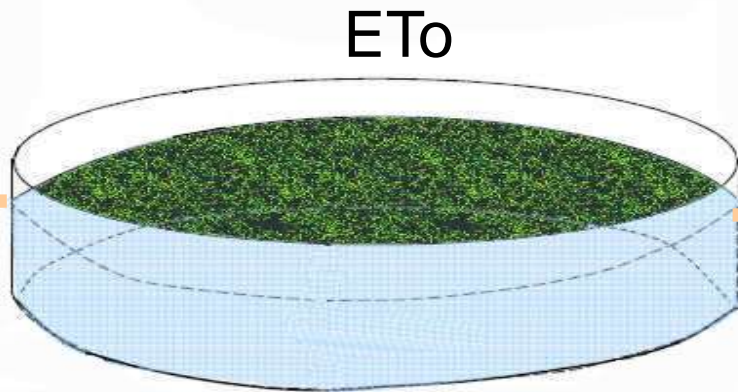
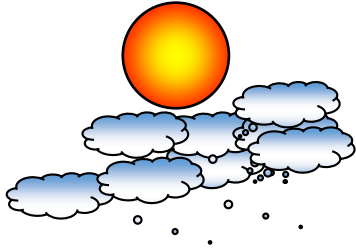
A esta se la denomina **ET_o** o **evapotranspiración de referencia**.

Evapotranspiración estándar o de referencia **(ET_o)**

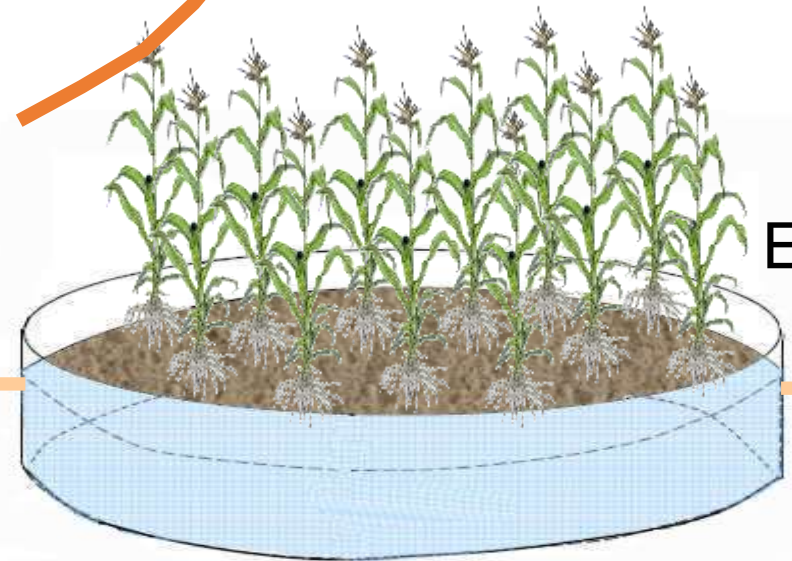
La publicación FAO N° 56 (Allen et al., 1998), definió a la ET_o como la evapotranspiración de un cultivo hipotético de pasto de 12 cm de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo sin restricciones de agua.

Evapotranspiración del cultivo

(ET_c)



ET₀



ET_c

Igual condiciones meteorológicas
Cobertura vegetal completa

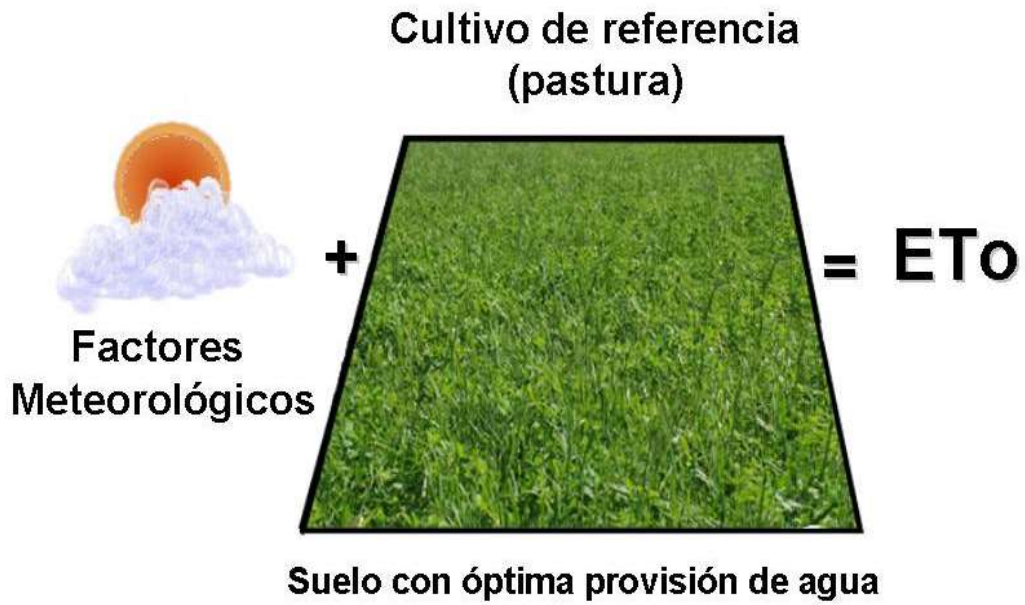
$$\frac{ET_c}{ET_0} = K_c$$

Evolución del cultivo

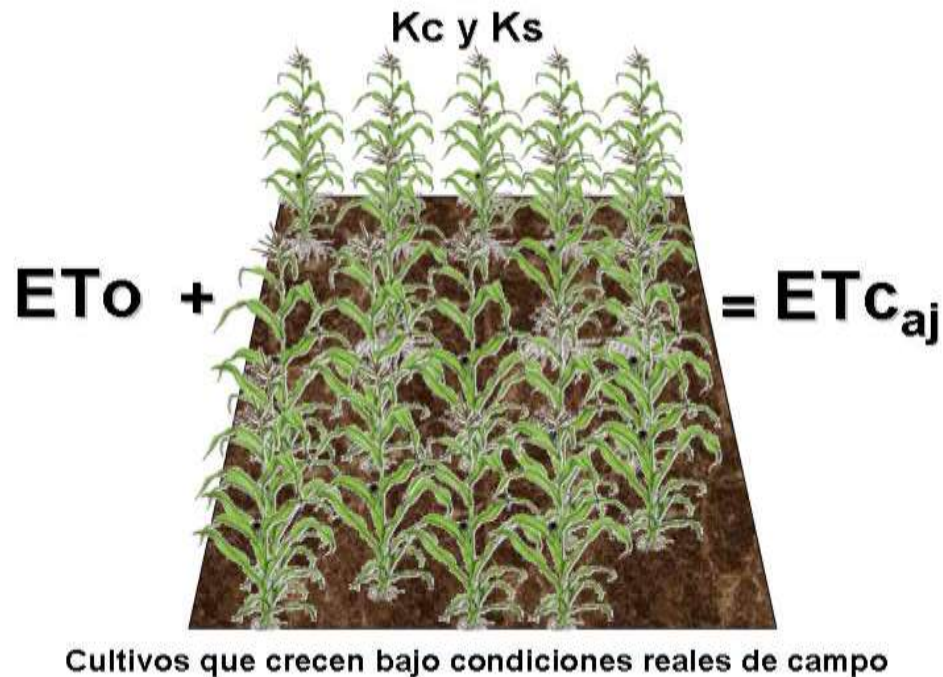
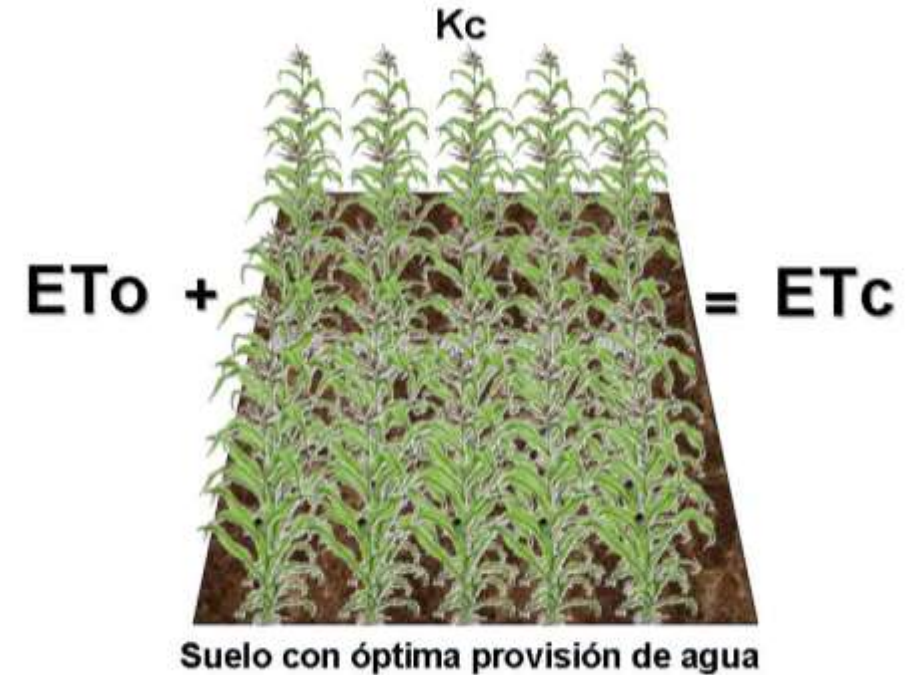
Coeficiente de estrés

K_s

Representa la **reducción** en la transpiración inducida por **estrés hídrico** o por **salinidad** existente en la solución del suelo.



E_{To} y E_{Tc} Son potenciales



E_{Tc} y $E_{Tc_{aj}}$
Son iguales a C.C. y
Cobertura vegetal
completa

Evapotranspiración Potencial (ETP)

Es la cantidad de agua que evaporaría un suelo y transpirarían las plantas si los suelos estuvieran en su contenido óptimo de humedad y con cobertura vegetal completa.

Evapotranspiración Real o Actual (ETR)

Es la evapotranspiración que se produce en condiciones reales teniendo en cuenta que la cobertura vegetal no es siempre completa, y los variables niveles de humedad en el suelo.

$$ETR \leq ETP$$

Factores que inciden en la evapotranspiración

Factor Meteorológico:

● Temp	> ET
● HR	< ET
● Vel. Viento	> ET
● Rad	> ET
● Presión	< ET
● HA	> ET

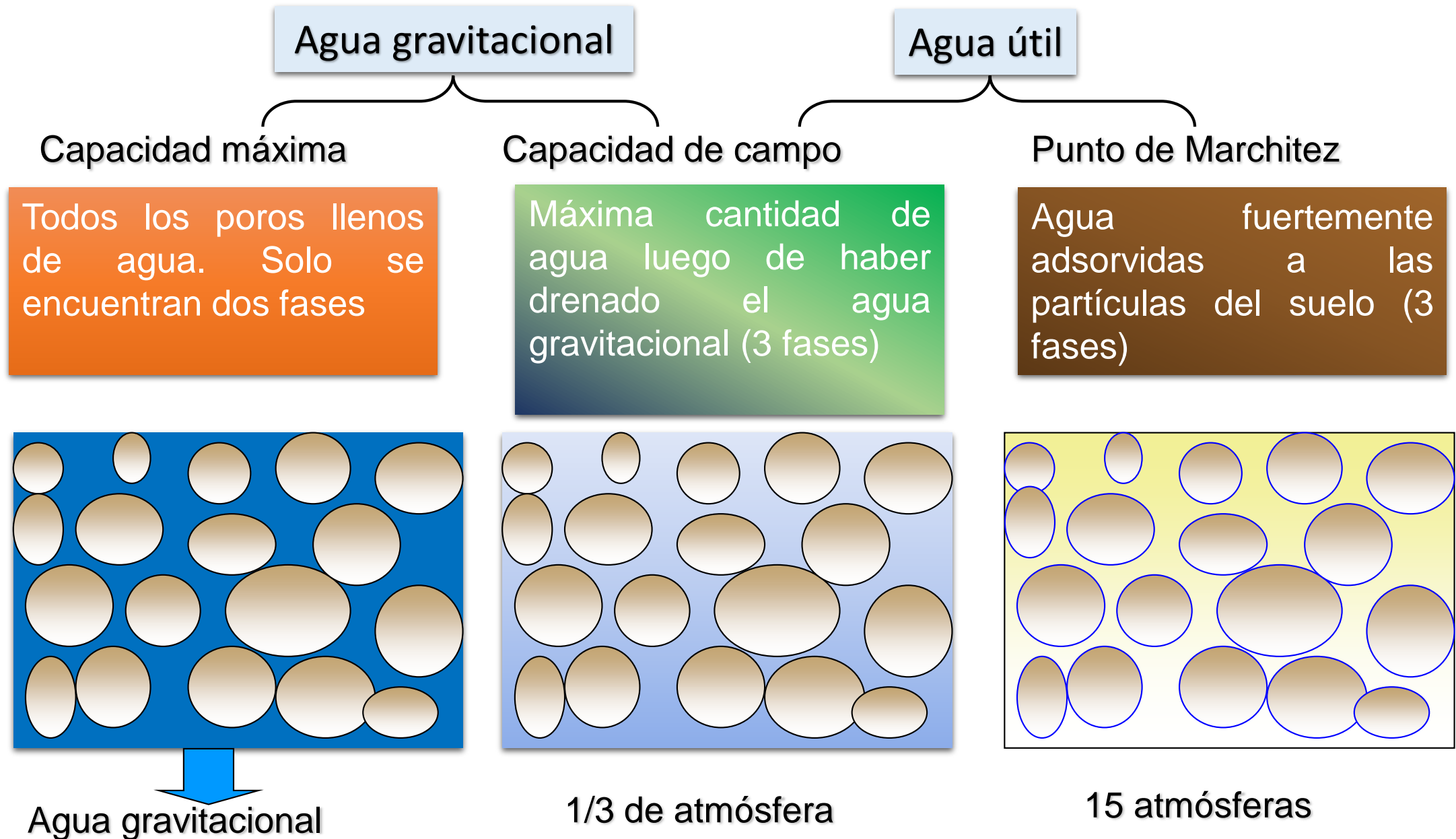
Factor Suelo

Tipo de suelo
Textura
Estructura
Humedad del suelo

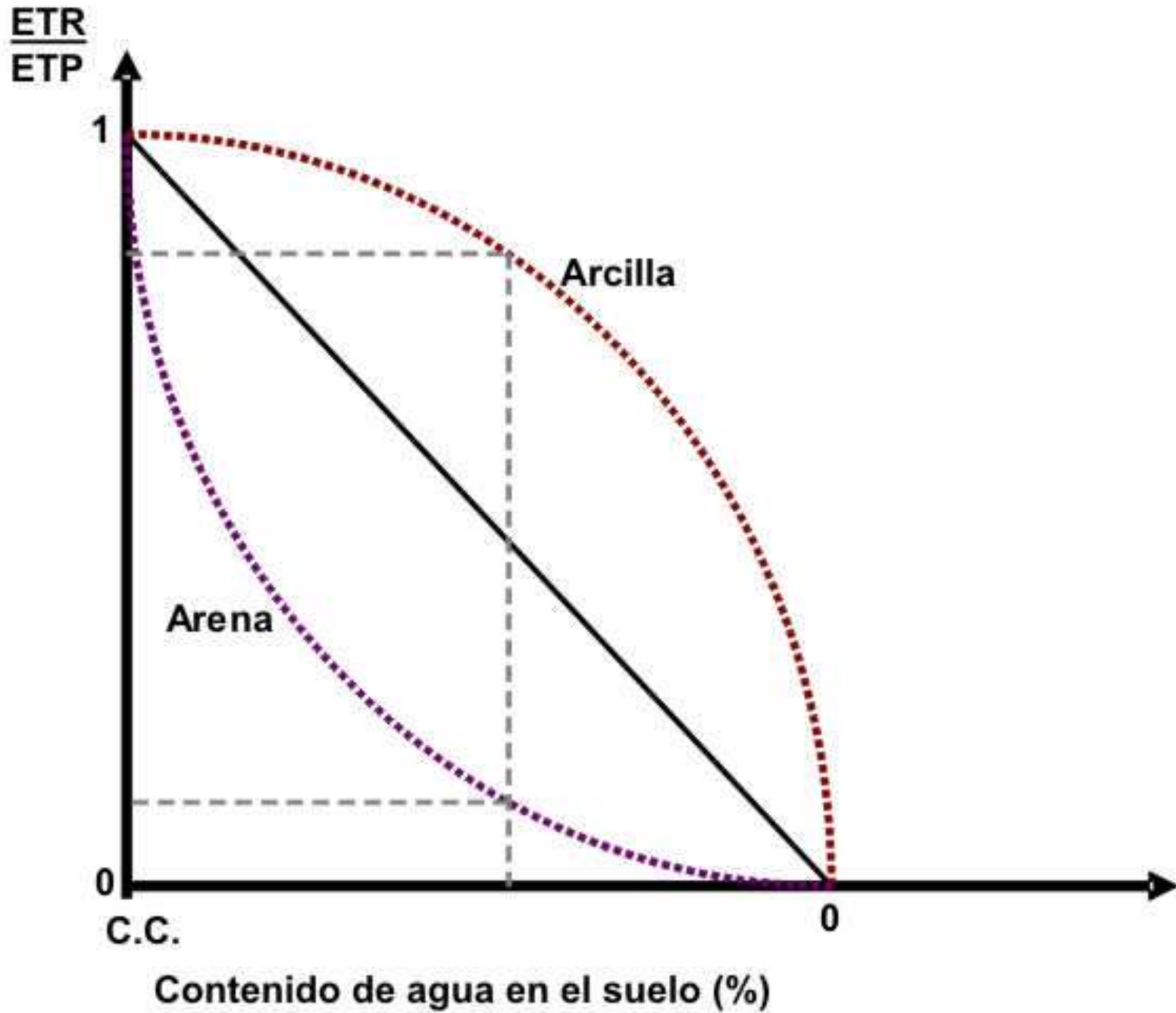
**Constantes
hídrológicas**

Constantes Hidrológicas

Definen el grado de movilidad de agua en el suelo



Factor Suelo



Factores que inciden en la evapotranspiración

Factor Meteorológico:

• Temp	> ET
• HR	< ET
• Vel. Viento	> ET
• Rad	> ET
• Presión	< ET
• HA	> ET

Factor Suelo

Tipo de suelo
Textura
Estructura
Humedad del suelo

Constantes
hídrológicas

Factor Planta

- Especie
- Estructura
- Estado de evolución (fenología)

La evapotranspiración **potencial** depende de:

Del Factor **meteorológico**

Del Factor **Suelo**

Del Factor **planta**

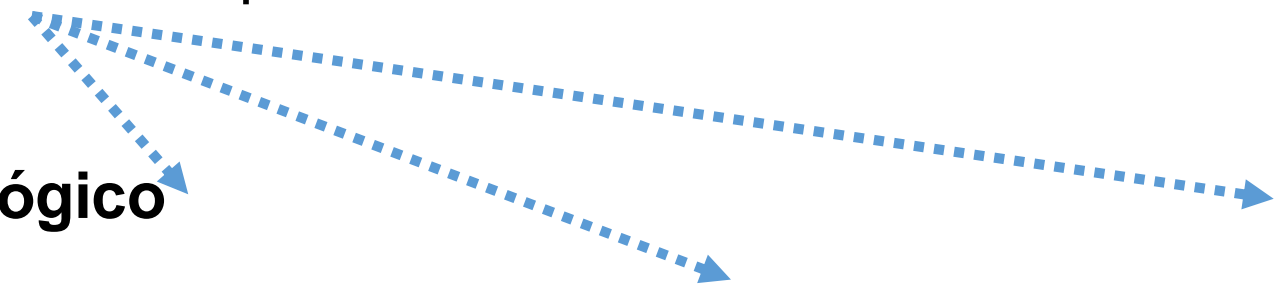
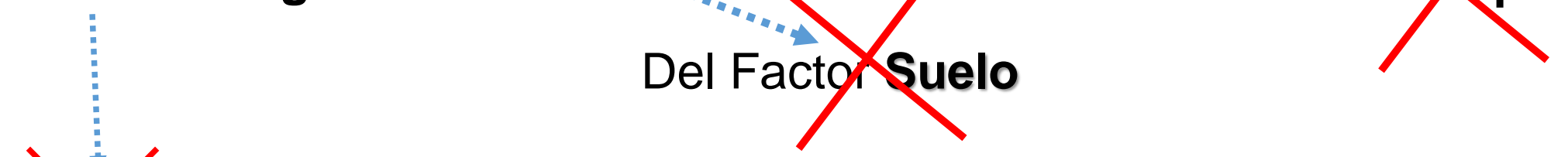
Precipitación

La evapotranspiración **real** depende de:

Del Factor **meteorológico**

Del Factor **Suelo**

Del Factor **planta**



MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

Altamente
Empíricos

Método de Thornthwaite, 1948, 1955

***Método de Blaney – Criddle,
1950, 1970, FAO (1998)***

Empíricos
Teóricos

Método de Makkink, 1957

Método de Radiación, FAO, 1977

Método de Tanque de evaporación

Métodos de estimación de la Evapotranspiración

Teórico
Empíricos

Método de Penman (1948, 1952)

Relación de Bowen

Teóricos

Ecuación de Penman – Monteith (1964)

Correlación de turbulencia

Métodos para la estimación de la ETP

Método de Thornthwaite

• Método empírico

Encontró una relación entre la temperatura media y la EP para 4 áreas de EEUU

$$EP_j = c_j 16 (10 t_j / I)^a$$

Coeficiente de ajuste
considera el número de días
y la heliofanía astronómica
media del mes

Depende de la
temperatura media

Método de Penman según Frere (1972)

Radiación neta

Término advectivo

$$EP = \frac{\frac{P_o \Delta}{P \gamma} [Qn] + Ea}{\frac{P_o \Delta}{P \gamma} + 1}$$

Depende de la relación entre la presión atmosférica a nivel del mar y de la estación

Radiación neta

$$Q_n = [0,75Ra(0,18 + 0,55\frac{h}{H}) - \sigma T^4 K(0,56 - 0,079\sqrt{ed})(0,10 + 0,90\frac{h}{H})]$$

Radiación
astronómica

Heliofanía
relativa

Temperatura

Tensión de
vapor

Término advectivo

$$E_a = 0,26(es - e)(1,00 + 0,15U)$$

Tensión de vapor actual
y de saturación

Velocidad media del viento
a 2 m de altura (km/h).

Método de Penman – Monteith FAO (1998)

Modelo físico - matemático de evapotranspiración de referencia (Eto) mediante la combinación de un término de radiativo y de uno aerodinámico.

$$E_{To} = \frac{0,48\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Balance de Radiación

Déficit de saturación

Velocidad del viento

Término radiativo:

$$R_n = [(1 - \alpha) * R_A (a + b \frac{H_e}{H_A}) * \sigma \Gamma^4 (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) (1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35)]$$

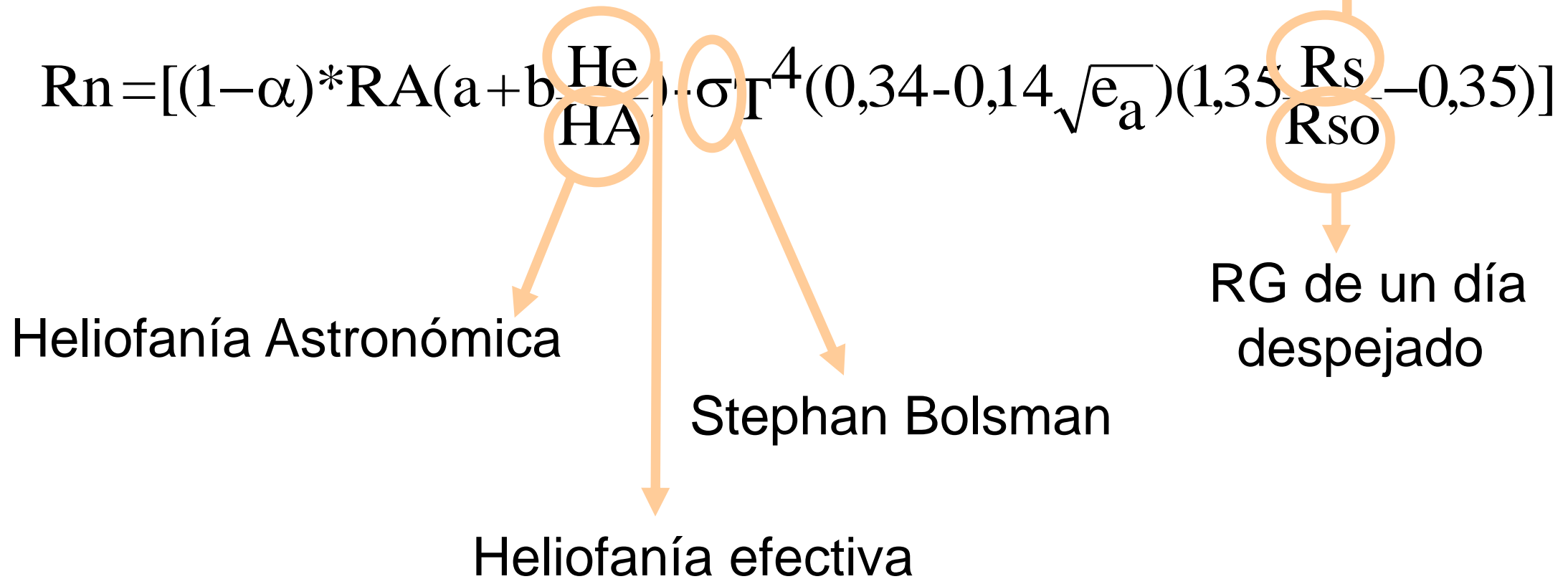
Heliofanía Astronómica

Stephan Bolsman

Heliofanía efectiva

RG del día

RG de un día
despejado



Metodología de Blanney y Criddle

$$UC = K_c * f$$

UC: cantidad de agua consumida por las plantas

Donde:

UC = uso consuntivo (mm/día)

Kc = coeficiente de cultivo

f = factor de uso consuntivo

$$f = p * (0,46 * t + 8,13)$$

Donde:

p = porcentaje de horas de luz, respecto al total anual

T = temperatura media mensual

Método de Hargreaves y Samani

$$ET_o = 0,0023 * RA * (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} (T + 17,78)$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración de referencia diaria (mm/día)

T = temperatura media diaria del aire (°C)

RA = radiación astronómica, convertida en mm/día

(T_{max}-T_{min}) = Diferencia entre temperatura máxima y mínima diaria del aire (°C)

	THORNTHWAITE	PENMAN
Estima	EP en mm diaria o mensual	EP en mm diaria o mensual
Datos	Temperatura media diaria o mensual y latitud	Temp. media, e, e _s , RN diaria, Vel. Viento, (diarias o mensuales)
Ventajas	Utiliza poca información y es sencilla de calcular	Tiene fundamentos físico-matemat. (término advectivo y radiativo)
Desventajas	Es empírica. No se puede utilizar con Temp = ó < 0°C	Requiere mucha información meteorológica

Formas de medición de la evapotranspiración

Evapotranspirómetros

El suelo se mantiene a capacidad de campo y con cobertura vegetal total

miden EP



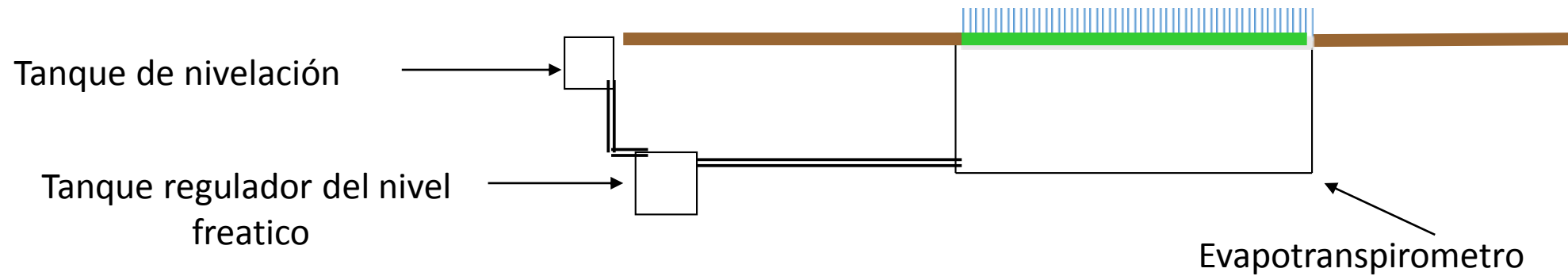
Lisímetros

Consideran cobertura vegetal y humedad de suelo variable

miden ER

Formas de medición de la evapotranspiración

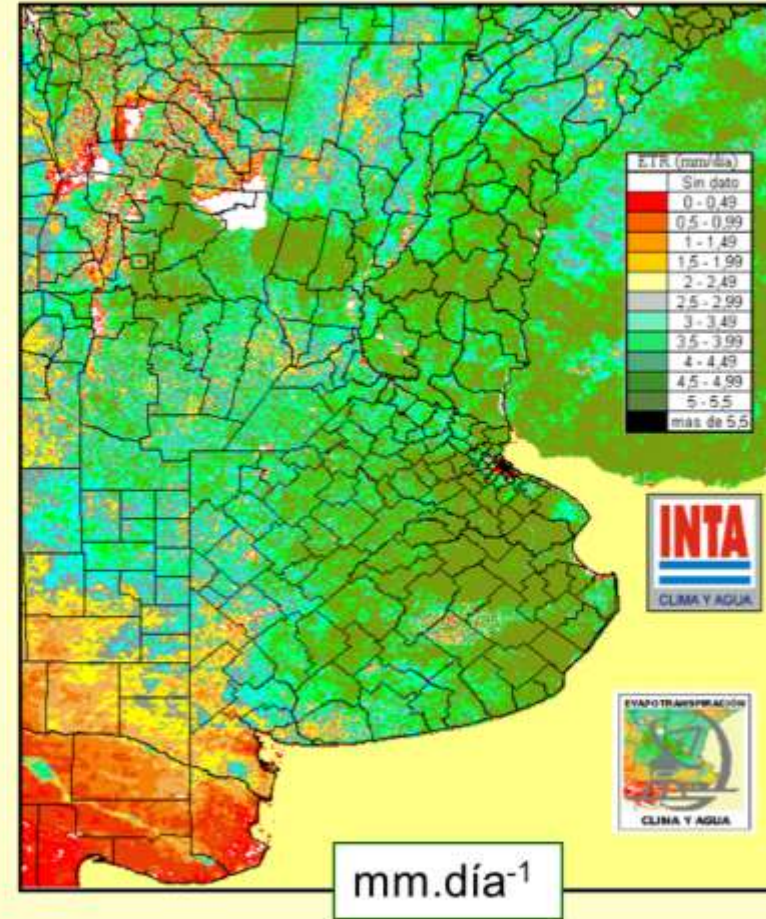
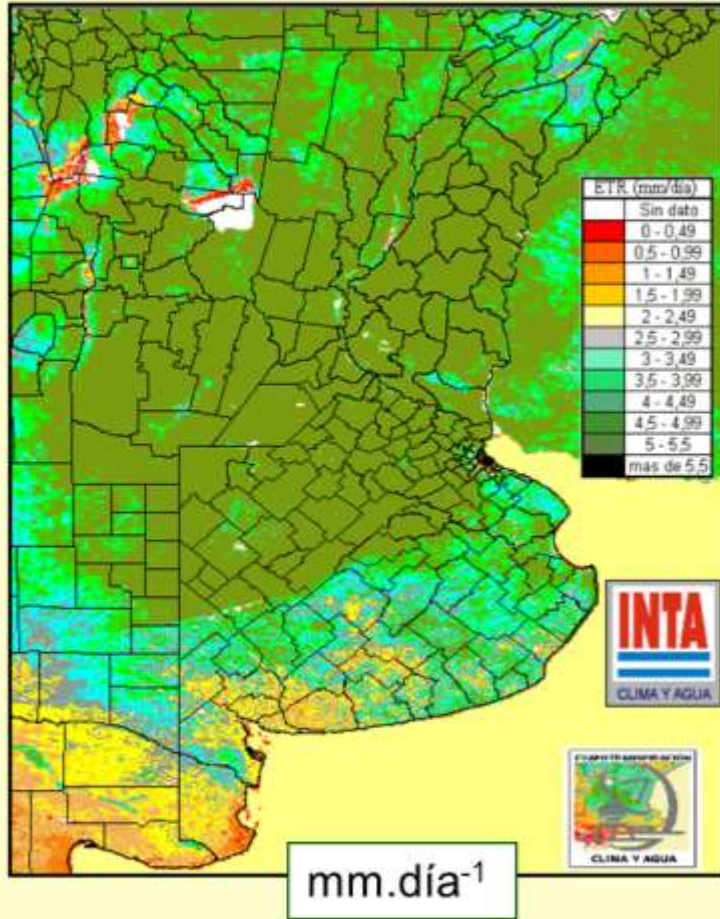
Evapotranspirómetros



01 al 07 de febrero 2008

ETR

21 al 27 de Marzo 2008



Fuente: INTA Castelar – Análisis de imágenes satelitales.

Métodos de estimación de Eto (Allen, 2000)

Método de cálculo	Escala temporal	Tipo de referencia
ASCE Penman-Monteith con resistencias según Allen <i>et al.</i> (1989) (ec. 54)	M, D ó H	ET ₀ ET _r
ASCE Penman-Monteith con resistencias superficiales introducidas por el usuario	M, D ó H	ET ₀ ET _r
Estándar ASCE 2000 procedente de ASCE Penman-Monteith	M, D ó H	ET ₀ ET _r
Kimberly Penman 1982 (Wright, 1982; 1987; 1996)	M, D ó H ET ₀	ET _r
FAO-56 Penman-Monteith (1998) (ec. 38 y ec. 53)	M, D ó H	ET ₀
1972 Kimberly Penman (función de viento fija)	M, D ó H	ET _r
Penman 1948 ó 1963 (Penman, 1948; 1963)	M, D ó H	ET ₀
FAO-24 Penman corregido (Doorenbos y Pruitt, 1975; 1977)	M ó D	ET ₀
FAO-PPP-17 Penman (Freres y Popov, 1979)	M ó D	ET ₀
CIMIS Penman con FAO-56 con escala temporal horaria. R_n y $G = 0$	H	ET ₀
Método de radiación FAO-24 (Doorenbos y Pruitt, 1975; 1977)	M ó D	ET ₀
FAO-24 Blaney-Cridle (Doorenbos y Pruitt, 1975; 1977)	M ó D	ET ₀
Método del evaporímetro de cubeta FAO-24 (Doorenbos y Pruitt, 1975; 1977)	M ó D	ET ₀
Método de la temperatura Hargreaves 1985 (Hargreaves y Samani, 1985) (ec. 55)	M ó D	ET ₀
Método de radiación y temperatura Priestley-Taylor (1972)	M ó D	ET ₀
Método de la radiación y temperatura Makkink (1957)	M ó D	ET ₀
Método de la radiación y la temperatura Turc (1961)	M ó D	ET ₀