



AVANCES EN EL CÁLCULO DE LA DEMANDA EVAPOTRANSPIRATIVA DE LOS CULTIVOS

SEMINARIO METODOLÓGICO SOBRE LA SEGURIDAD HÍDRICA Y ALIMENTARIA

20 de octubre de 2011

Rubén Moratíel Yugueros



Ruben Moratíel Yugueros
Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia
CEIGRAM
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos
Universidad Politécnica de Madrid

Telf: +34 914524900 Ext. 1672

e-mail: ruben.moratíel@upm.es

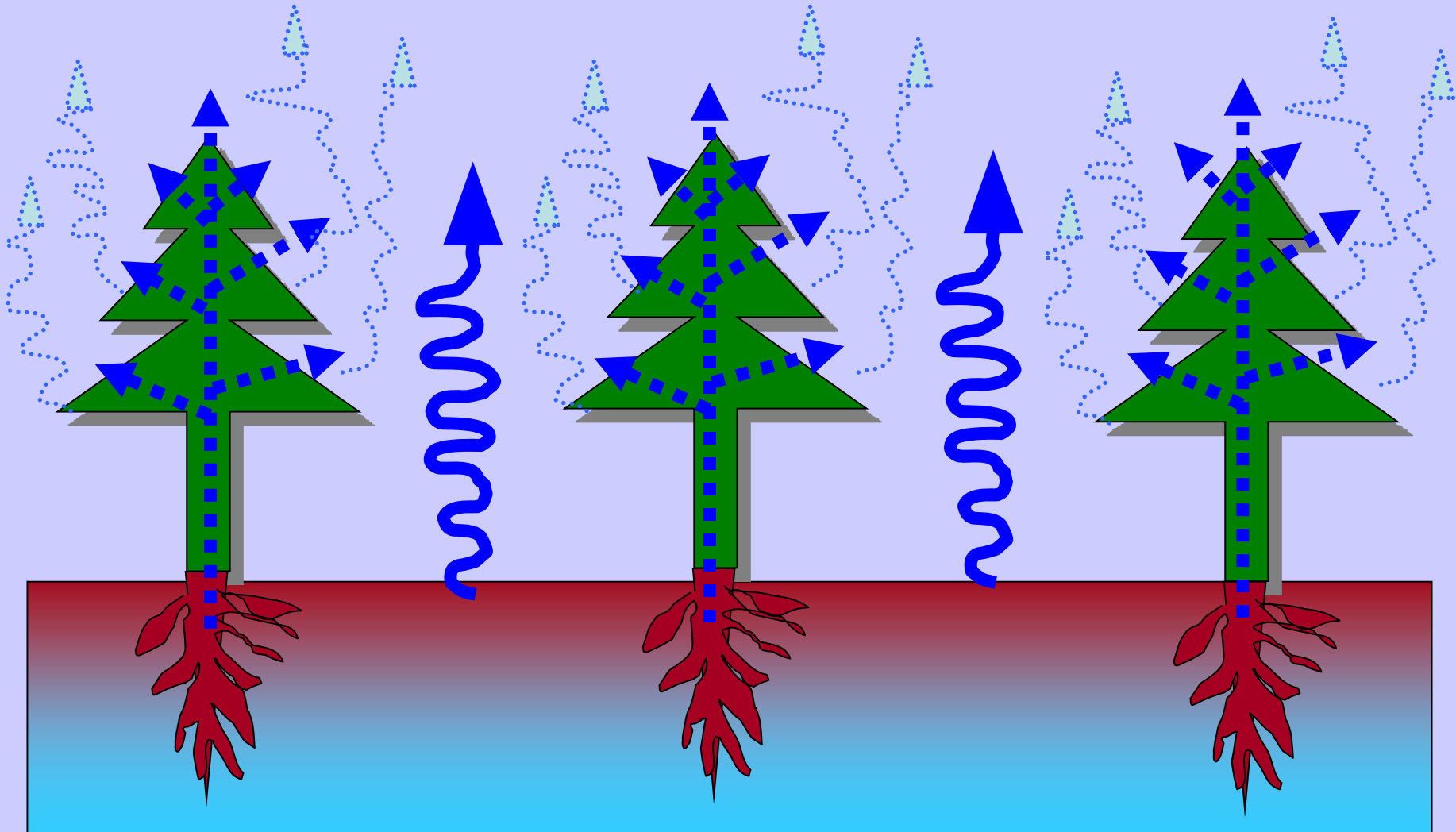
ÍNDICE

- 1. Concepto Generales**
- 2. Evapotranspiración**
- 3. Coeficientes de cultivo**
- 4. Métodos de estimación de ET**

EVAPOTRANSPIRACIÓN (I)

$$ET = E_s + E_p + E_{ps}$$

¿NECESIDAD HÍDRICA DE LOS CULTIVOS?



EVAPOTRANSPIRACIÓN (II)

¿ Cómo se estima las necesidades hídricas de un cultivo?

1. Identificación de factores que influyen

2. Determinación del método

- **Una Etapa**
- **Dos etapas (uso de ET referencias)**

EVAPOTRANSPIRACIÓN (III)

FACTORES QUE INFLUYEN:

Climáticos (Coordenadas, temperatura, humedad, radiación y viento)

Cultivo (tipo de cultivo, variedad, etapa de desarrollo, altura del cultivo, características radiculares, rugosidad del cultivo resistencia a la transpiración, superficie de área foliar y el albedo)

Manejo y condiciones ambientales (manejo del suelo, barrera corta-vientos...)

EVAPOTRANSPIRACIÓN (IV)

Determinación del método una etapa:

Radiation + Aerodynamic

$$ET_c = \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)} + \frac{\rho C_p [e_s(T) - e] / r_a}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a}\right)}$$

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z}$$

$$r_c = \frac{r_s}{0.5 \times LAI}$$

EVAPOTRANSPIRACIÓN (V)

Determinación del método dos etapas:

$$ET_c = K_{cx} ET_x$$

Radiation + Aerodynamic

$$ET_x = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + C_d u_2)}$$

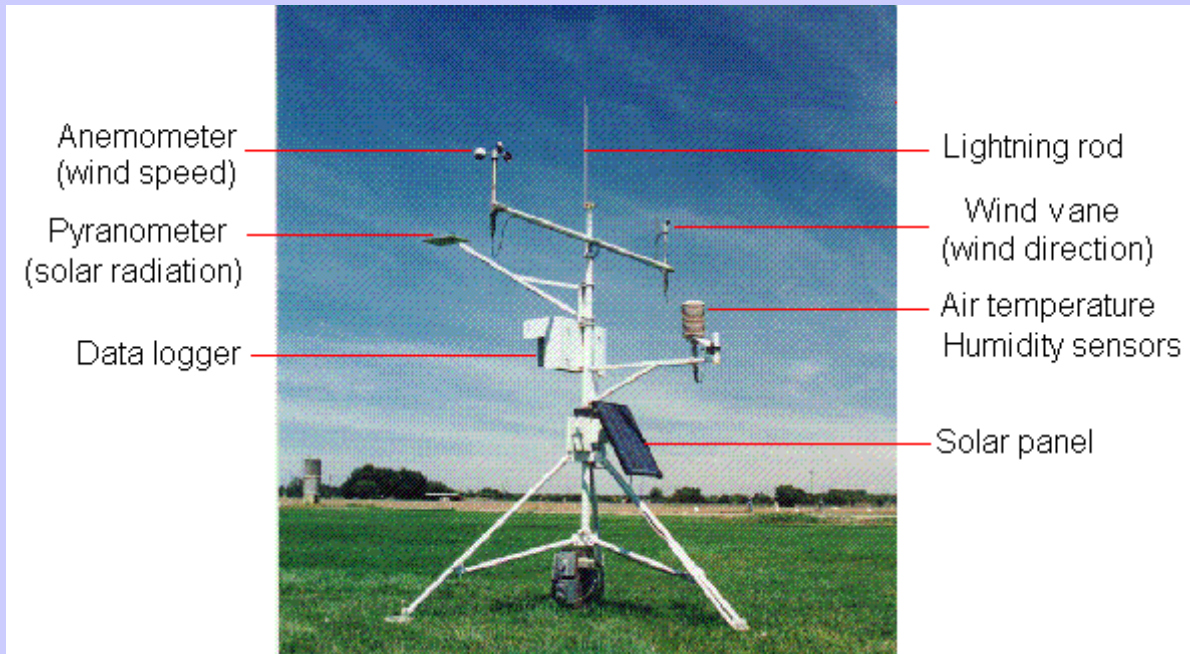
Tiempo de cálculo	x= o (grass)		x = r (alfalfa)	
	C _n	C _d	C _n	C _d
Diario	900	0.34	1600	0.38
Horario diurno	37	0.24	66	0.25
Horario nocturno	37	0.96	66	1.7

ET_o (I)

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

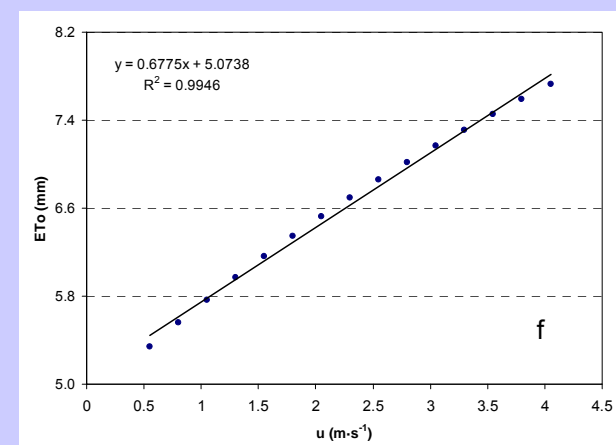
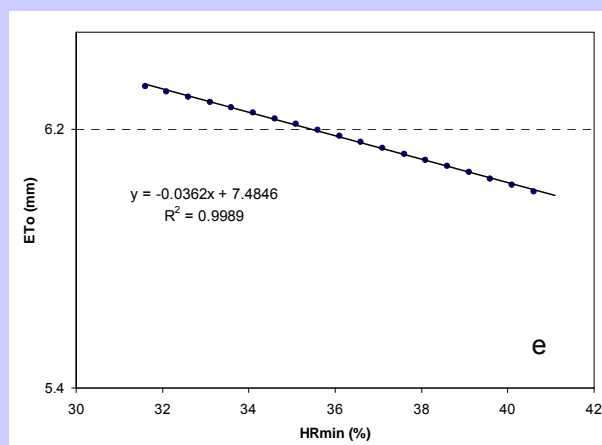
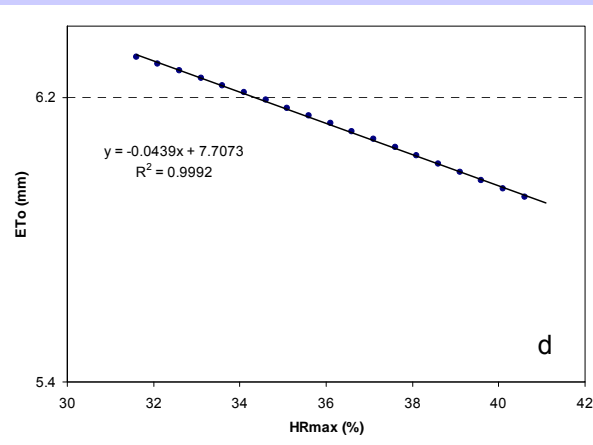
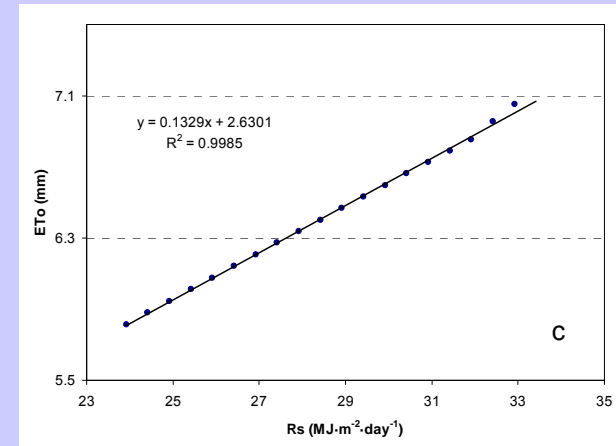
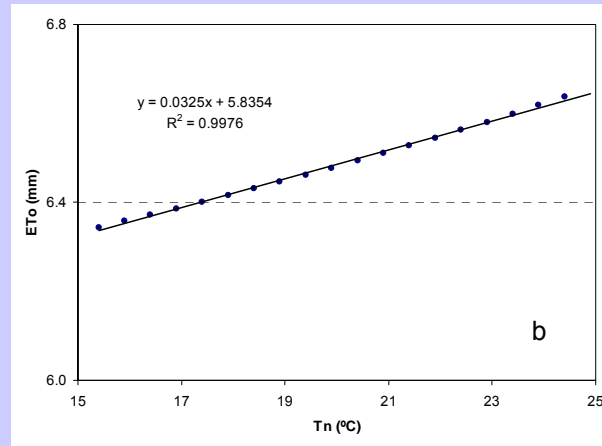
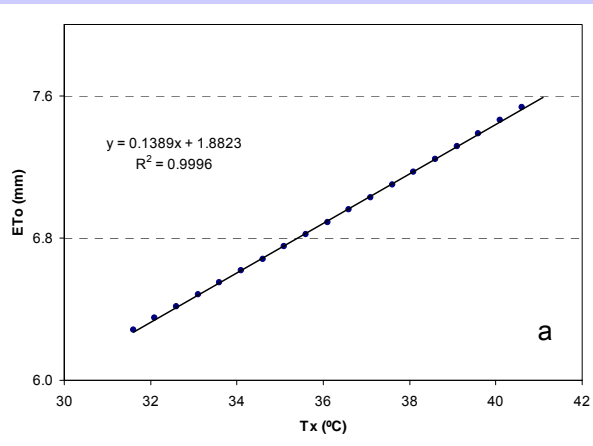
ET_o is reference evapotranspiration (mm day^{-1}), R_n is net radiation at the surface ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), G is ground heat flux density ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), T is mean daily air temperature at 2 m height ($^{\circ}\text{C}$), u_2 is wind speed at 2 m height (m s^{-1}), e_s is the saturation vapour pressure (kPa), e_a is the actual vapour pressure (kPa), Δ is the slope of the saturation vapour pressure curve ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) and γ is psychrometric constant ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

ET_o (II)



Fuente: Snyder (2011) <http://biomet.ucdavis.edu/index.php>

ET_o (III)



Relationship between ET_o and the different climate variables. Considering constant: $T_x = 32$ °C; $T_m = 15$ °C; $R_s = 28$ MJ·m⁻²·día⁻¹; $u = 1.8$ ms⁻¹; $HR_{max} = 90$ %; $HR_{min} = 30$ %. The variable represented in the x axes is increased.
 Moratíel et al. (2010) *Climate Research* 44: 27-40

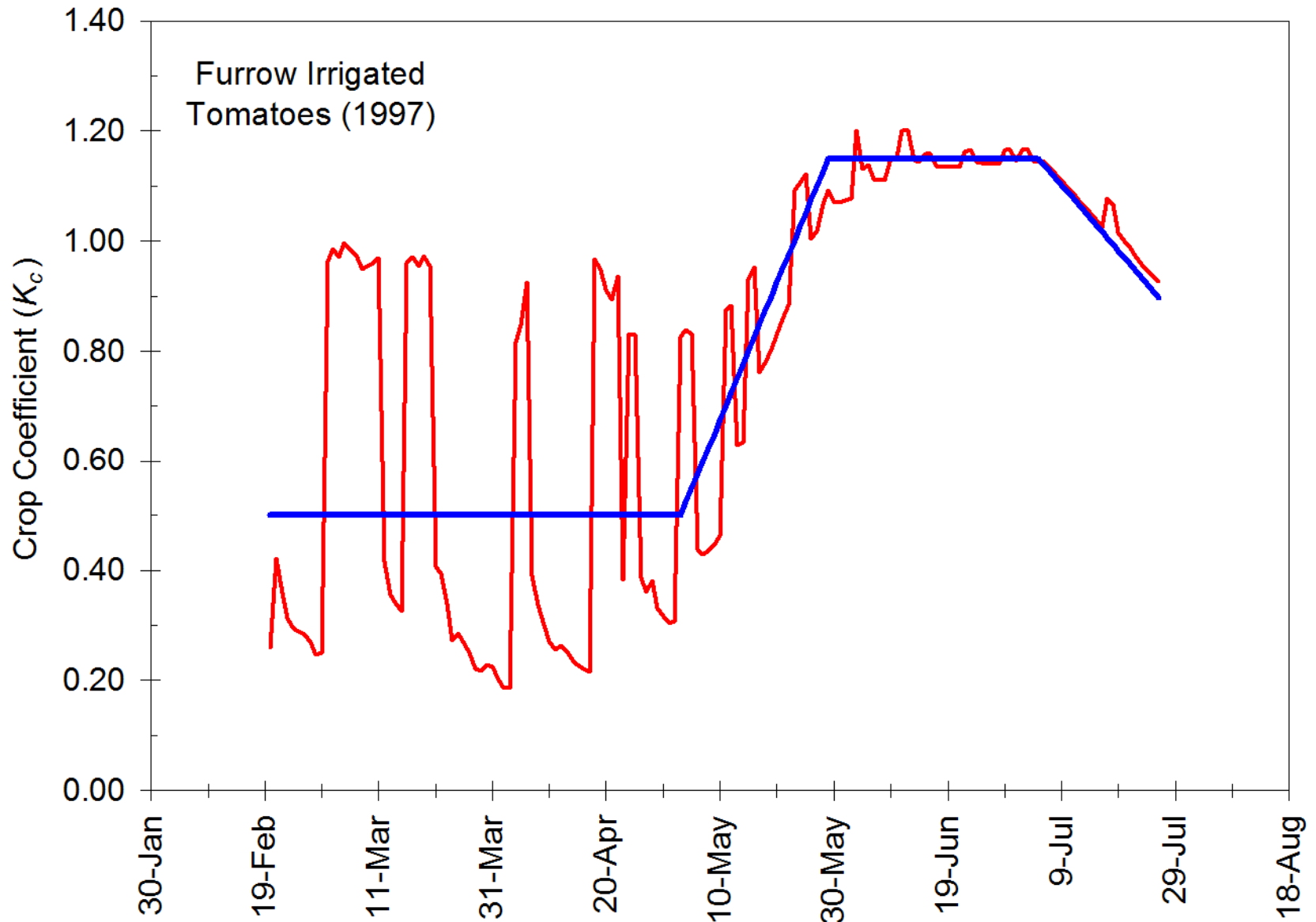
COEFICIENTE DE CULTIVO (I)

¿ Cómo obtengo el K_c ?

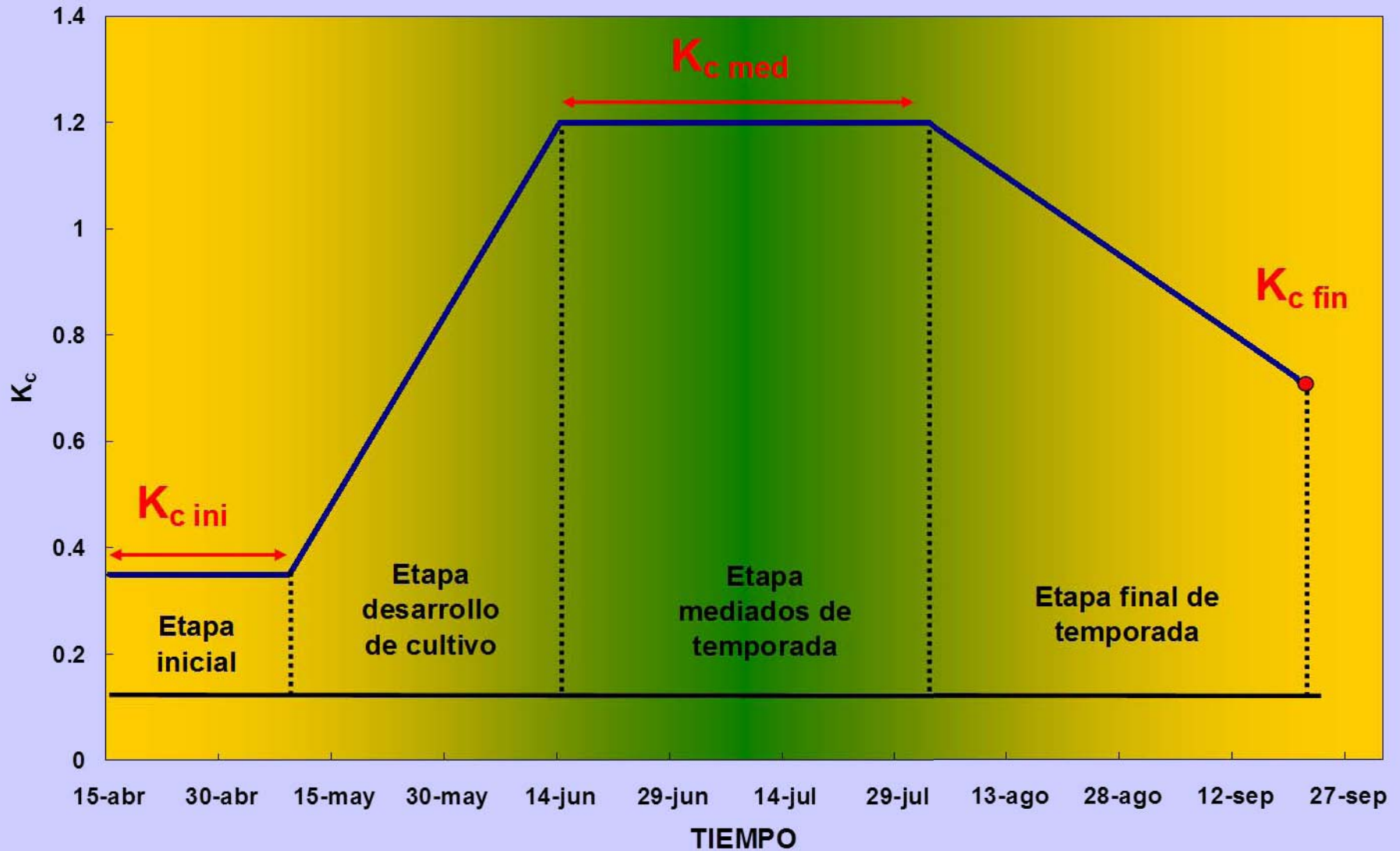
1. Cuantificar la evapotranspiración del cultivo
2. Estimar la ET_o

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

COEFICIENTE DE CULTIVO (II)



COEFICIENTE DE CULTIVO (III)



COEFICIENTE DE CULTIVO (IV)

CULTIVO	K_c ini	K_c med	K_c fin	Altura Máxima de cultivo (m)
a. Hortalizas pequeñas	0.70	1.05	0.95	
Brócoli		1.05	0.95	0.3
Col de Bruselas		1.05	0.95	0.4
Repollo		1.05	0.95	0.4
Zanahoria		1.05	0.95	0.3
Coliflor		1.05	0.95	0.4
Apio		1.05	1.00	0.6
Ajo		1.00	0.70	0.3
Lechuga		1.00	0.95	0.3
Cebolla	Seca	1.05	0.75	0.4
	Verde	1.00	1.00	0.3
	Semilla	1.05	0.80	0.5
Espinaca		1.00	0.95	0.3
Rábano		0.90	0.85	0.3



Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

COEFICIENTE DE CULTIVO (V)

$$K_c = K_c(\text{cuadro}) + \left[0.04(u_2 - 2) - 0.004(HR_{\min} - 45) \right] \left(\frac{h}{3} \right)^{0.3}$$

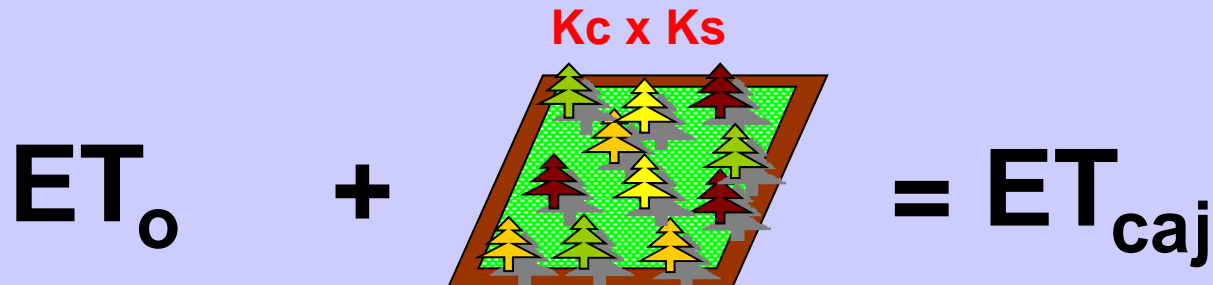
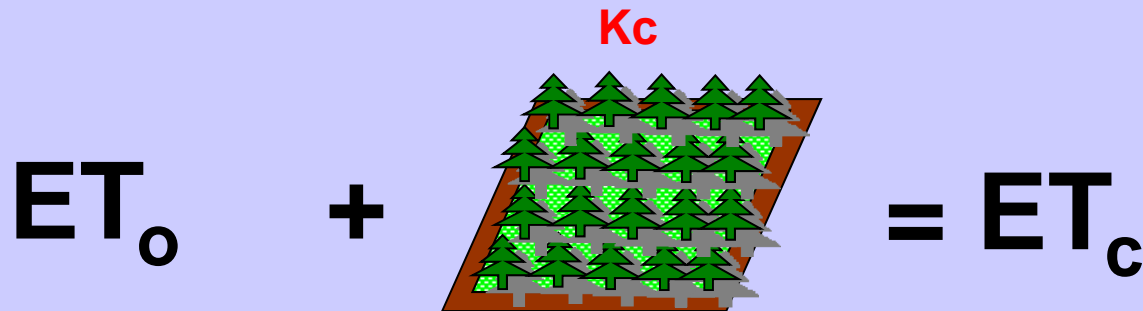
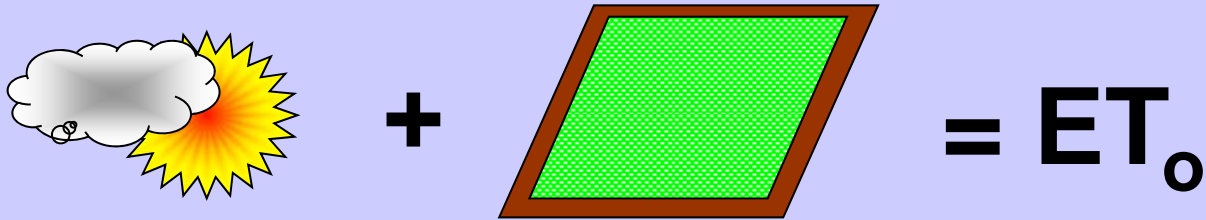
¿ Un mismo cultivo tiene el mismo K_c para California y España?



COEFICIENTE DE CULTIVO (III)

$$ET_c = K_c \cdot ET_o$$

$$K_c < 1.3$$



MEDIDA DE LA ET

1. Medidas Directas

Lisímetros de Pesada

Lisímetros de Drenaje

2. Medidas indirectas

Cambios de humedad del suelo

Relación de Bowen

Covarianza de Torbellinos (*Eddy covariance*)

Scintillometro

Flujo de savia

Teledetección

LISÍMETROS



HUMEDAD DEL SUELO

**Cambios de humedad del suelo entre dos
muestras + lluvia – percolación -escorrentía**

- **Sonda de neutrones**
- **TDR (Reflectometría en dominio de tiempo)**
- **FDR (Reflectometría en dominio de frecuencia)**

Relación de Bowen (I)

Esta Basado en la Ec. del Balance de Energía

$$R_n - G - LE - H = 0$$

R_n = Radiación Neta

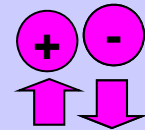
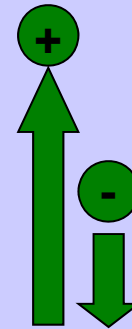
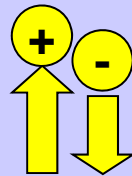
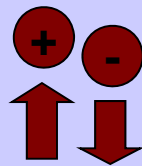
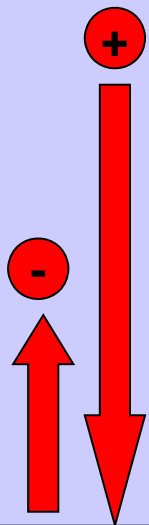
G = Flujo de calor del suelo

LE = Flujo de calor latente

H = Flujo de calor sensible

Flujo

Cuánto de algo se mueve a través de un área por unidad de tiempo (CO_2 , H_2O , CH_4 , naranjas)



$$R_n = G + H + LE + Misc$$

$$ET = \frac{R_n - G}{1 + \beta}$$

$$\beta = \frac{H}{ET}$$

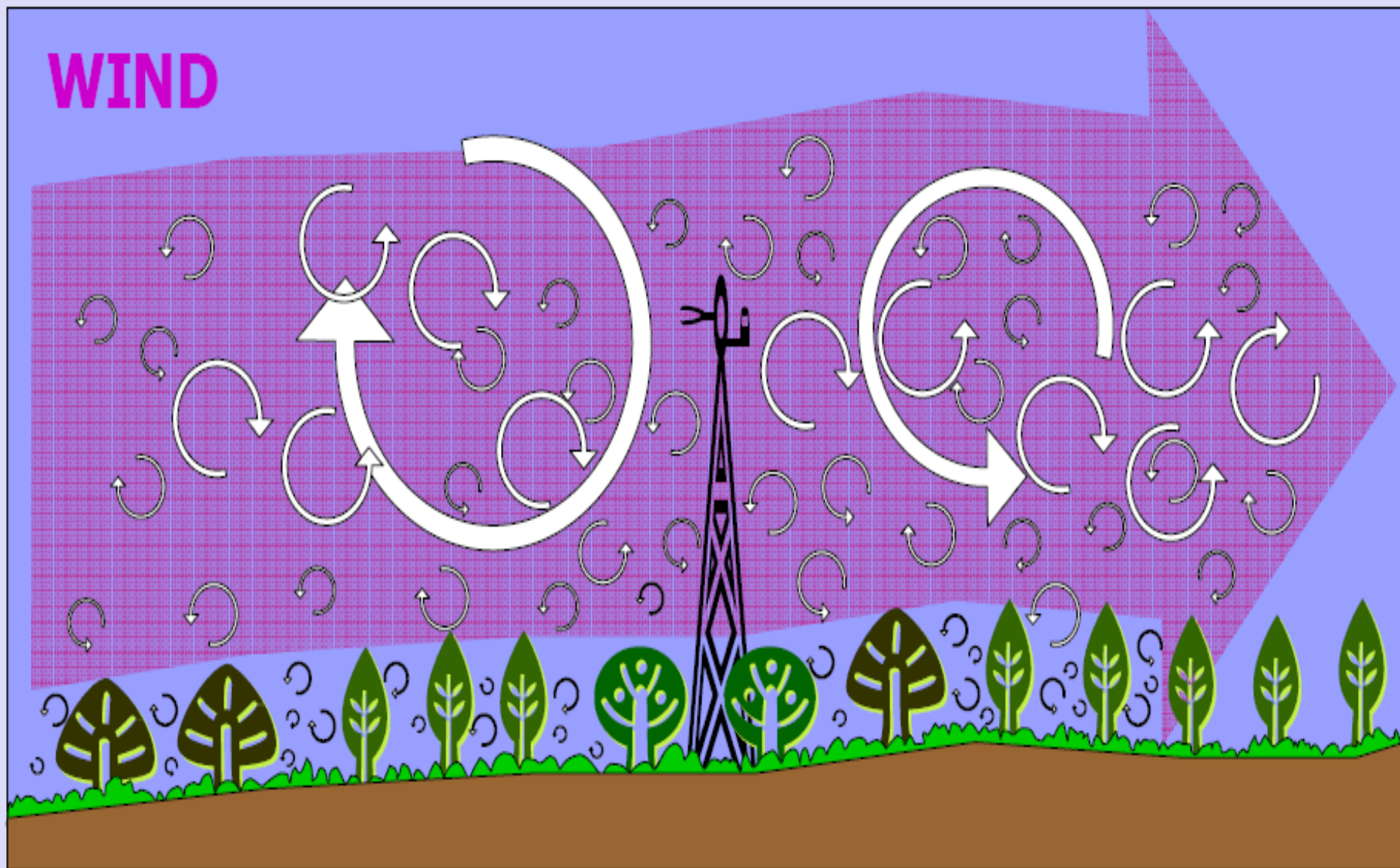
Eddy covariance (I)





AIR FLOW IN ECOSYSTEM

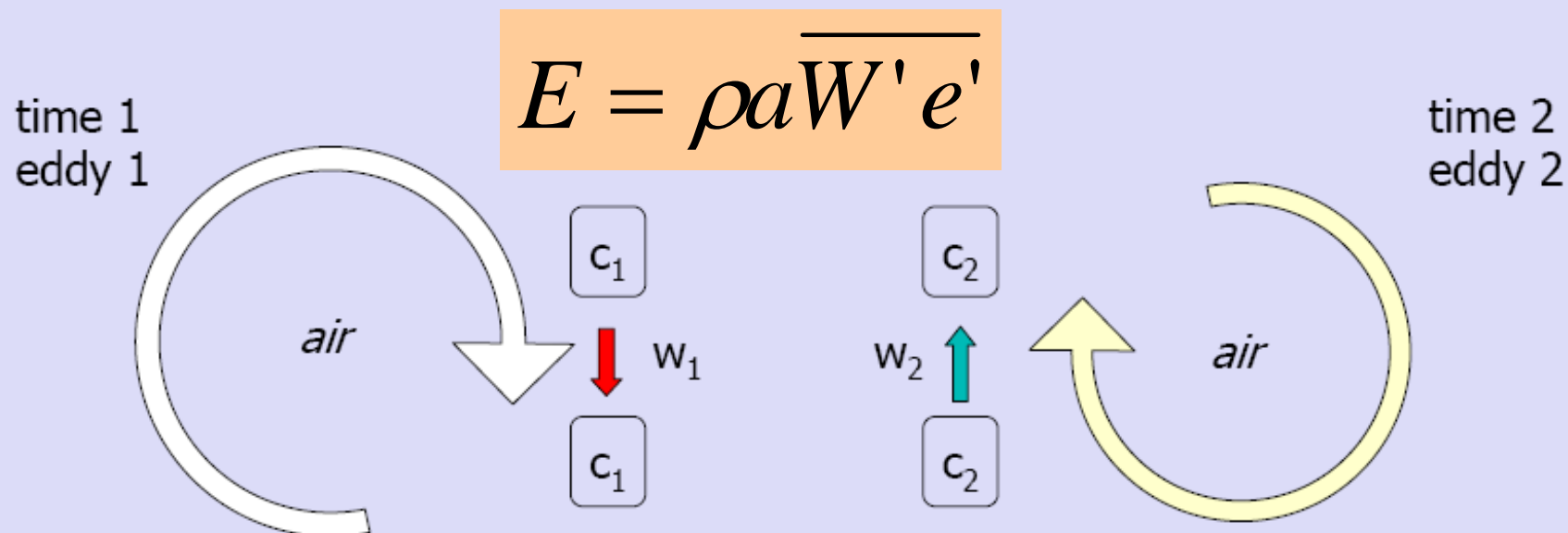
WIND



Fuente: Burba & Anderson (2009)



EDDIES AT ONE POINT



At one point on the tower:

Eddy 1 moves parcel of air c_1 down with the speed w_1
then Eddy 2 moves parcel c_2 up with the speed w_2

Each parcel has concentration, temperature, humidity
if we know these and the speed – we would know flux



SCINTILLOMETRO

Mide las pequeñas fluctuaciones del índice de refracción del aire causada por las variaciones de temperatura, humedad y presión. Mide H se necesitan radiómetros y platos para cálculos de G.



$$R_n - G - LE - H = 0$$

FLUJO DE SAVIA

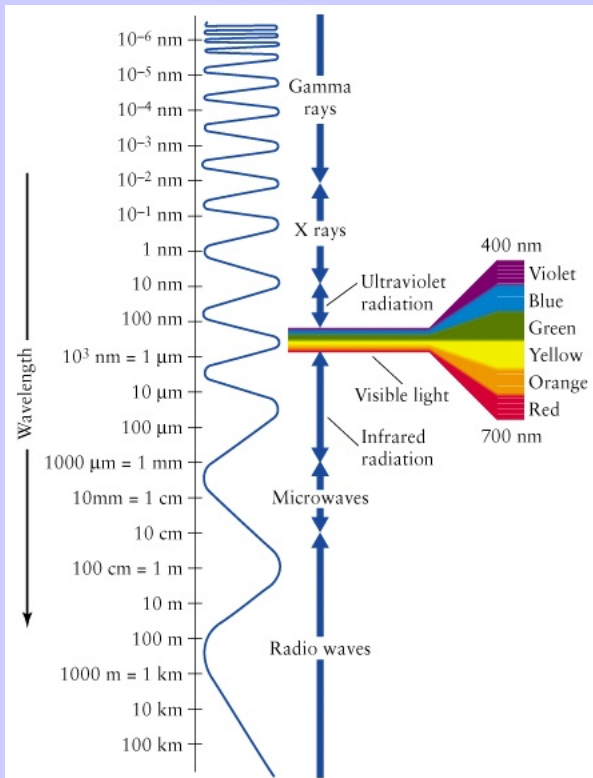
Mide realmente la transpiración de las planta. Flujo de savia marcado con pulso de calor



TELEDETECCIÓN

Estimación de ET y E usando el balance de Energía. Grandes áreas

Estimación de ET usando índices de vegetación (NDVI).



$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

NIR= reflectividad Infrarrojo cercano (0.7-1.3nm)

R= reflectividad rojo (0.6-0.7nm)

$$K_{cb} = a * NDVI + b$$

ERROR DE MÉTODOS

MÉTODO	Error (%)	Error por experto (%)	Error por novato (%)	Error por equipo (%)
Lisímetro	5-15	5	20-40	5-40
Humedad en el suelo	10-30	10	20-70	10-40
Relación de Bowen	10-20	10	20-50	5-40
Covarianza de torbellinos	15-30	10-15	30-50	10-40
Teledetección (balance de energía)	10-20	5-15	30-40	5-10
Teledetección (índices de vegetación)	15-40	10-30	20-40	5-10
Flujo de savia	15-50	10-40	40-200	20-100
Scintillometro	10-35	10-15	20-50	5-30





AVANCES EN EL CÁLCULO DE LA DEMANDA EVAPOTRANSPIRATIVA DE LOS CULTIVOS

SEMINARIO METODOLÓGICO SOBRE LA SEGURIDAD HÍDRICA Y ALIMENTARIA

20 de octubre de 2011

Rubén Moratíel Yugueros