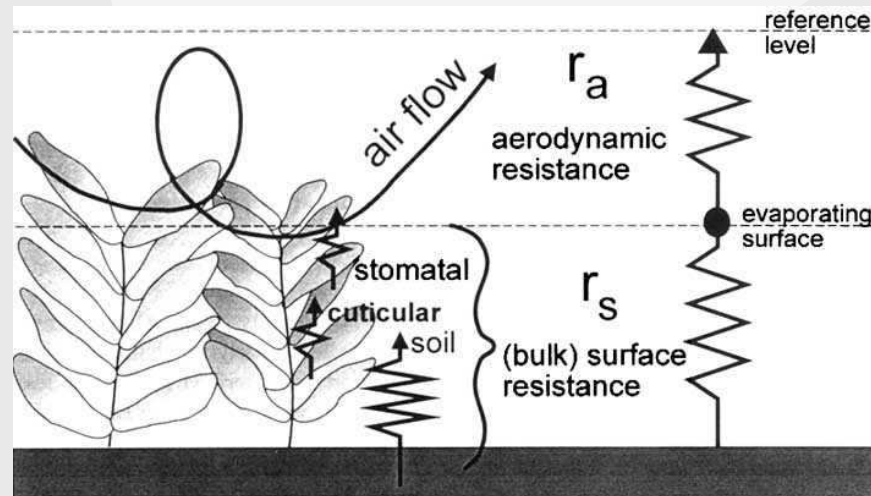


ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA. Ecuación de Penman-Monteith como método de estimación estándar de la ET_0 .



Introducción

En 1948, Penman combinó los métodos de balance de energía con el de transferencia de masas.

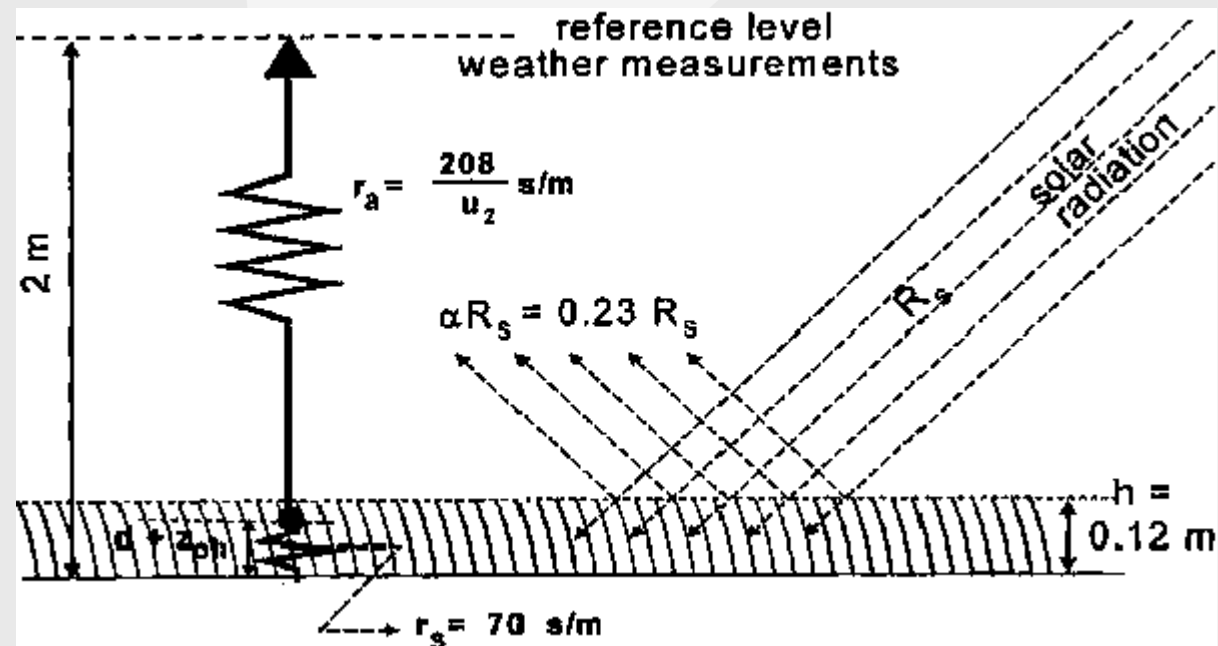


Representación simplificada de las superficies y resistencias aerodinámicas del flujo de vapor de agua

En Mayo de 1990 la FAO organizó una consulta a expertos en la que colaboraron con la Comisión Internacional de Riegos y Drenajes y con la Organización Meteorológica Mundial para revisar la metodología de la FAO para la estimación de los requerimientos de agua de los cultivos.

Introducción

El panel de expertos recomendó la adopción del método de combinación de Penman-Monteith como el nuevo método estándar para la estimación de la evapotranspiración de referencia de un cultivo hipotético, bien regado, con una altura de 0.12 m, que proporciona una resistencia al aire de 70 s/m y con un albedo de 0.23

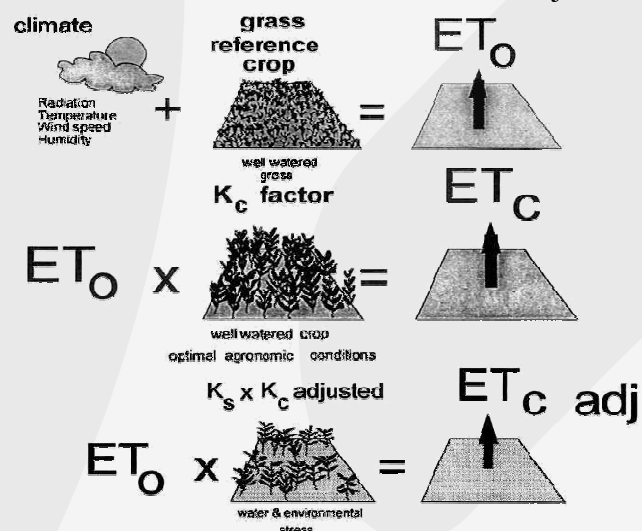


Características del cultivo de referencia hipotético

Introducción

Cuando se estima la ET_C bajo condiciones de cultivo optimas, solo es necesario incluir el coeficiente de cultivo K_C para la estimación de las necesidades de riego de un cultivo en concreto.

Pero para estimar las necesidades de riego ET_C en condiciones adversas, motivadas por: la salinidad del suelo o del agua de riego, aplicación pobre o limitada de fertilizantes, infra-dotación de agua, etc, es necesario incluir un coeficiente al de cultivo para obtener el $ET_{C\ adj}$.



Evaporación bajo cultivo estándar (ET_C) y condiciones adversas ($ET_{C\ ADJ}$)

Metodología seguida por el SIAM-IMIDA para la estimación de la ET_0

1

Cálculo de la Presión atmosférica (P) KPa

$$P = 101.3 * \left(\frac{293 - 0.0065 * z}{293} \right)^{5.26}$$

Donde:

z altitud de la estación en metros

2

Pendiente de la curva de Presión de Vapor (Δ) KPa/°C

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0.6708 * e^{\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3} \right)} \right]}{(T + 237.3)^2}$$

Donde:

T Temperatura del aire (°C)

e base del logaritmo neperiano (e=2.71828182)

Metodología seguida por el SIAM-IMIDA para la estimación de la ET_0

3

Constante Psicrométrica (γ) KPa/°C

$$\gamma = 0.665 * 10^{-3} * P$$

Donde:

P Presión atmosférica (KPa)

4

Presión de vapor a saturación (e_s) KPa

$$e_s = \frac{e_0(T_{m\acute{a}x}) + e_0(T_{m\acute{i}n})}{2}$$

Donde:

e_0 Presión de vapor de saturación a la temperatura del aire máxima y mínima (KPa) (1)

$$e_0(T_{m\acute{a}x}) = 0.610 * e^{\left(\frac{17.27 * T_{m\acute{a}x}}{T_{m\acute{a}x} + 237.3}\right)} \Leftrightarrow e_0(T_{m\acute{i}n}) = 0.610 * e^{\left(\frac{17.27 * T_{m\acute{i}n}}{T_{m\acute{i}n} + 237.3}\right)}$$

(1) El uso de temperatura media del aire en lugar de la máxima y mínima diaria, da lugar a valores inferiores en las estimaciones de la media de saturación de presión de vapor y el resultado será una subestimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia. Por lo tanto, la media de saturación de presión de vapor debe ser calculado como la media entre la presión de vapor de saturación, tanto en el diario máximo y mínimo la temperatura del aire. (FAO Irrigation and drainage, paper 56. pág 52).

Metodología seguida por el SIAM-IMIDA para la estimación de la ET_0

5

Presión de vapor actual (e_a)

$$e_a = \frac{e_0(T_{\min}) * \frac{HR_{\max}}{100} + e_0(T_{\max}) * \frac{HR_{\min}}{100}}{2}$$

Donde:

$e_0(T_{\min})$	Presión de vapor de saturación a temperatura mínima (Kpa)
HR_{\max}	Humedad relativa máxima (%)
$e_0(T_{\max})$	Presión de vapor de saturación a temperatura máxima (Kpa)
HR_{\min}	Humedad relativa mínima (%)

6

Déficit de presión de vapor (DPV) KPa

$$DPV = e_s - e_a$$

Donde:

e_s	Presión de vapor a saturación (Kpa)
e_a	Presión de vapor actual (Kpa)

Metodología seguida por el SIAM-IMIDA para la estimación de la ET_0

7

Latitud en radianes φ (rad)

$$\varphi = \frac{\pi * \left(lat_g + \left(\frac{lat_m}{60} \right) \right)}{180}$$

Donde:

Lat_g Latitud en grados sesaxegimales

Lat_m Latitud en minutos

8

Declinación solar δ (rad)

$$\delta = 0.409 * \text{sen} \left(\frac{2\pi}{365} * J - 1.39 \right)$$

Donde:

J Número de día según el año Juliano

9

Distancia relativa de la tierra al sol d_r . Radianes

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * J\right)$$

Donde:

J Número de día según el almanaque Juliano

10

Ángulo horario en el crepusculo ω_s . Radianes

$$\omega_s = \arccos(-\tan \varphi * \tan \delta) = \frac{\pi}{2} - \arctan\left[\frac{-\tan \varphi * \tan \delta}{\sqrt{1 - ((\tan \varphi)^2 * (\tan \delta)^2)}}\right]$$

Donde:

φ Latitud en radianes

δ Declinación solar en radianes

11

Radiación extraterrestre R_a MJ/m² día

$$Ra = \frac{24 * 60}{\pi} * G_{sc} * d_r [\omega_s * \text{sen} \varphi * \text{sen} \delta + \cos \varphi * \cos \delta * \text{sen} \omega_s]$$

Donde:

- G_{sc} Constante solar = 0.0820 MJ/m² min
- d_r Distancia relativa de la tierra al sol
- φ Latitud en radianes
- δ Declinación solar en radianes
- ω_s Angulo horario en el crepúsculo en radianes

12

Número máximo de horas de sol N. Horas

$$N = \frac{24}{\pi} * \omega_s$$

Donde:

- ω_s Angulo horario en el crepúsculo en radianes

13

Radiación solar con cielo despejado R_{s0} MJ/m² día

$$R_{s0} = (a_s + b_s) * R_a = (0.75 + 2 * 10^{-5} * z) * R_a$$

Donde:

- $(a_s + b_s)$ Fracción de radiación extraterrestre que llega a la tierra en días despejados.
 z elevación sobre el nivel del mar en metros
 R_a Radiación extraterrestre MJ/m² día

14

Radiación neta de onda corta R_{ns} MJ/m² día

$$R_{ns} = (1 - \alpha) * R_s = 0.77 * R_s$$

Donde:

- α Albedo o coeficiente de reflexión de la cubierta vegetal, que es igual a 0.23 en el caso de la cubierta hipotética empleada en el cálculo de la ET_0 .
 R_s Radiación solar global incidente, este valor, en el caso del SIAM, se obtiene directamente de la estaciones agrometeorológicas. MJ/m² día.

15

Radiación neta de onda larga MJ/m^2 día

$$R_{nl} = \left[\frac{(0.0026 * t_{máx}^2 + 0.3912 * t_{máx} + 27.336) + (0.0026 * t_{mín}^2 + 0.3912 * t_{mín} + 27.336)}{2} \right] * (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) * \left(1.35 * \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \right)$$

Donde:

- $t_{máx}$ Temperatura máxima °C
- $t_{mín}$ Temperatura mínima °C
- e_a Presión de vapor actual MJ/m^2 día
- R_s Radiación solar global incidente MJ/m^2 día
- R_{so} Radiación solar con cielo despejado MJ/m^2 día

16

Radiación neta de onda corta R_{ns} MJ/m^2 día

$$R_{ns} = (1 - \alpha) * R_s = 0.77 * R_s$$

Donde:

- α Albedo o coeficiente de reflexión de la cubierta vegetal, que es igual a 0.23 en el caso de la cubierta hipotética empleada en el cálculo de la ET_0 .
- R_s Radiación solar global incidente, este valor, en el caso del SIAM, se obtiene directamente de la estaciones agrometeorológicas. MJ/m^2 día.

17

Radiación neta MJ/m^2 día

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Donde:

- R_{ns} Radiación neta de onda corta MJ/m^2 día
- R_{nl} Radiación neta de onda larga MJ/m^2 día

18

Flujo de calor del suelo G MJ/m^2 día horas

La magnitud del flujo de calor desde el suelo hasta la superficie de la cubierta vegetal de referencia, para períodos de día a diez días, es relativamente pequeño, por lo que puede ser ignorada. (FAO Irrigation and drainage, paper 56, pág 70).

19

Ecuación de Penman-Monteith mm/día

$$ET_0 = \frac{(0.408 * \Delta * R_n) + \left[\gamma * \frac{900}{t + 273} * U_2 * (e_s - e_a) \right]}{\Delta + [\gamma * (1 + 0.34 * U_2)]}$$

Donde:

ET_0	Evapotranspiración de referencia. mm/día.
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor. KPa/°C
R_n	Radiación neta en la superficie de cultivo. (MJ/m ² día.
γ	Constante psicométrica. KPa/°C.
t	Temperatura media diaria. °C.
U_2	Velocidad del viento medido a 2 metros de altura. m/seg.
$e_s - e_a$	Déficit de presión de vapor. KPa.