



Balance de energía a escala local y regional

Instrumental y tratamiento de datos

Dr. Raúl Rivas

rrivas@rec.unicen.edu.ar

Temario

- **La Ecuación de Balance de Energía (EBE). Radiación neta (R_n), flujo de calor latente (LE), flujo de calor en el suelo (G) y flujo de calor sensible (H). Comportamiento diario de los términos de la EBE sobre una superficie vegetal en la estación Tandil. Instrumental utilizado para la medición. Descripción. Estimación del LE a escala regional usando datos captados desde satélite (S). Modelos de una capa, de dos capas y semi-empíricos. Ecuaciones de estimación de R_n , G y H desde S . Validación de datos de satélite. Ejemplo de aplicación con datos del sensor MODIS.**



Evapotranspiración

- La evaporación (E_v) representa la cantidad de agua que, en forma de calor latente (LE), se transfiere a la atmósfera proveniente del suelo y las masas de agua. En un suelo con cubierta vegetal, existe además otra aportación de agua a la atmósfera: la transpiración (T) de las plantas (Rivas, 2004). Este es el objetivo principal de los estudios hidrológicos desarrollados en el IHLLA.



ET desde el punto de vista energético

- De acuerdo con la ley de conservación de la energía los procesos de intercambio entre el sistema tierra-superficie-atmósfera pueden ser descritos por la EBE:

$$\mathbf{R_n + H + LE + G + A + A_h = dw/dt} \quad (1)$$

R_n es la radiación neta, H el flujo de calor sensible, LE el flujo de calor latente, G el flujo de calor en el suelo, A es la energía utilizada por las plantas y animales (considerado despreciable), A_h es la energía de advección horizontal en la capa y dw/dt es la variación de energía del sistema (considerado nulo en régimen permanente y prácticamente nulo en transitorio). La unidad utilizada, en la generalidad de los casos, es $W m^{-2}$. A nivel de la superficie se define que el flujo que ingresa a ésta es positivo y el flujo saliente negativo.



Balance de Energía (BE)

- La ecuación operativa, en una dimensión, que gobierna el balance de energía (BE) viene dada por la forma en que se distribuye la radiación neta (R_n) a nivel de superficie, por medio del flujo de calor en el suelo (G), el flujo de calor sensible (H) y el flujo de calor latente (LE) (Brutsaert, 1984):

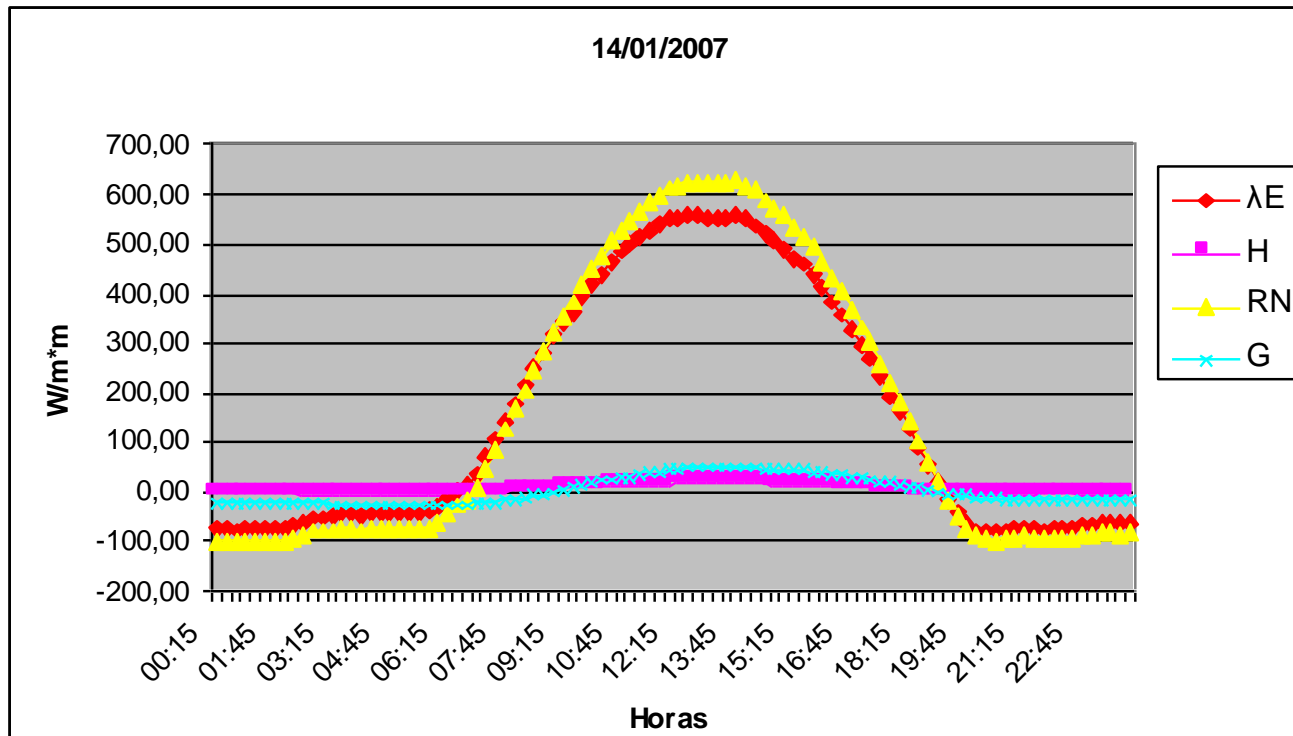
$$R_n + G + H + LE = 0 \quad (2)$$

Los términos de la ecuación de BE vienen dados en unidades de flujo por unidad de superficie ($W \text{ m}^{-2}$)



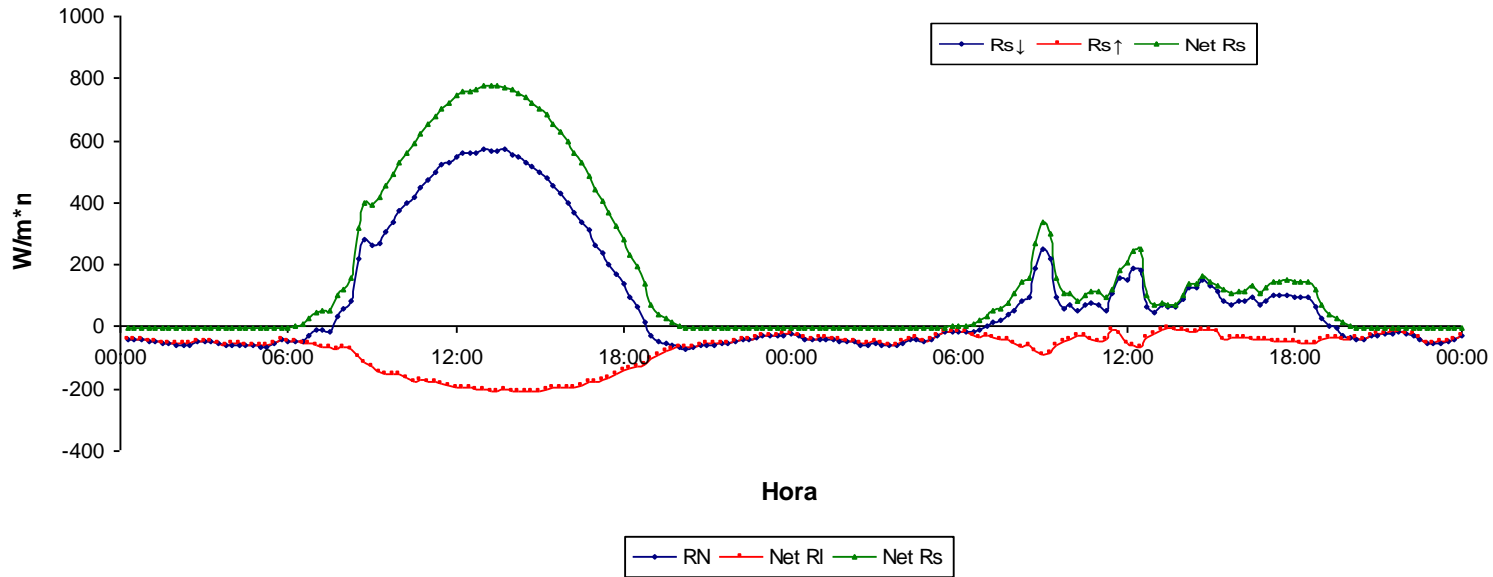
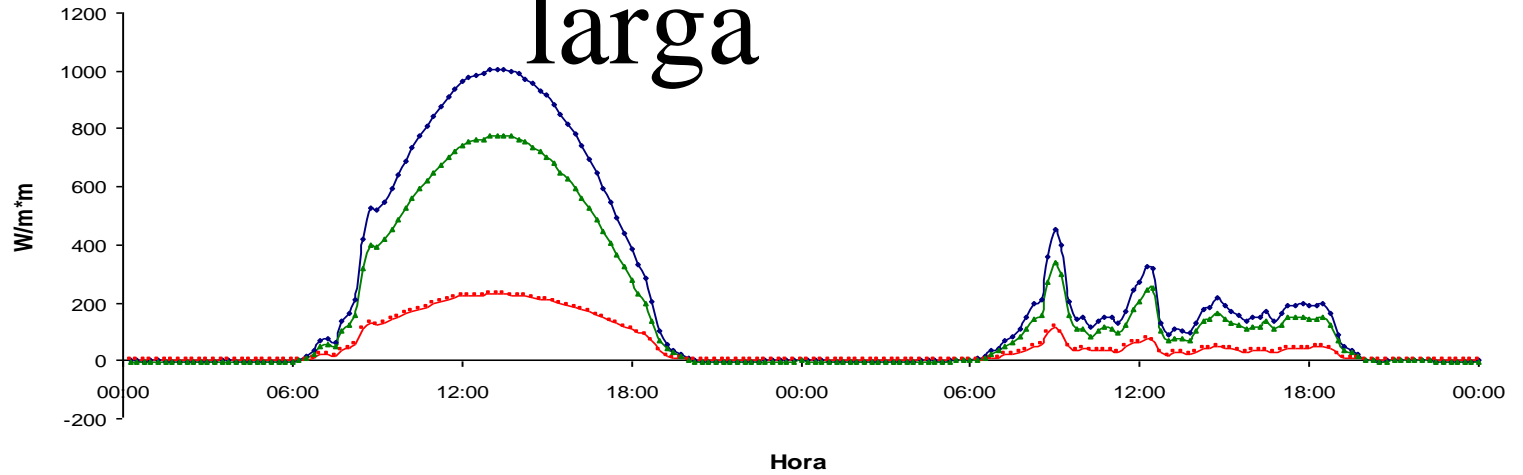
Radiación neta

- La radiación neta en la superficie se puede distribuir de la siguiente manera:



La ecuación de cálculo es: $Rn = Rs_{\downarrow} - Rs_{\uparrow} + Rl_{\downarrow} - Rl_{\uparrow}$ (3)

Radiación neta de onda corta y larga



Flujo de calor en el suelo

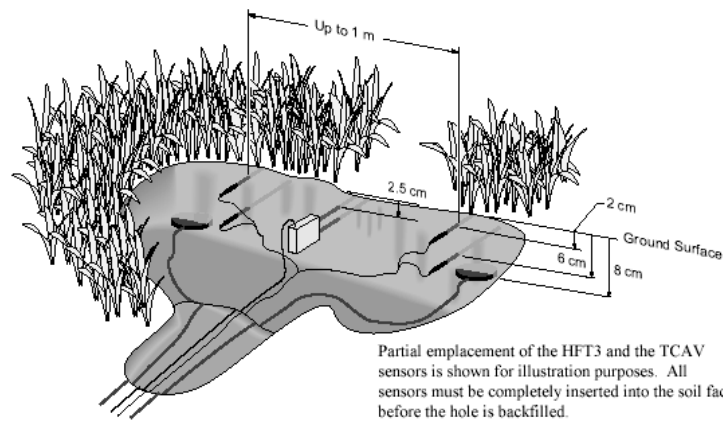
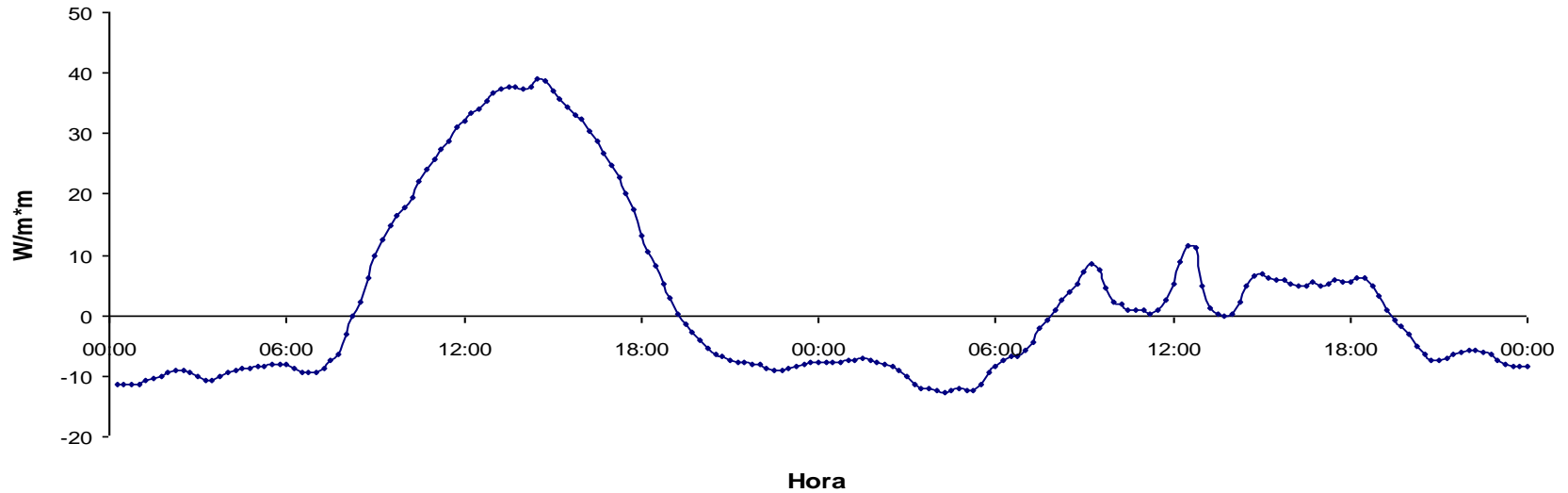
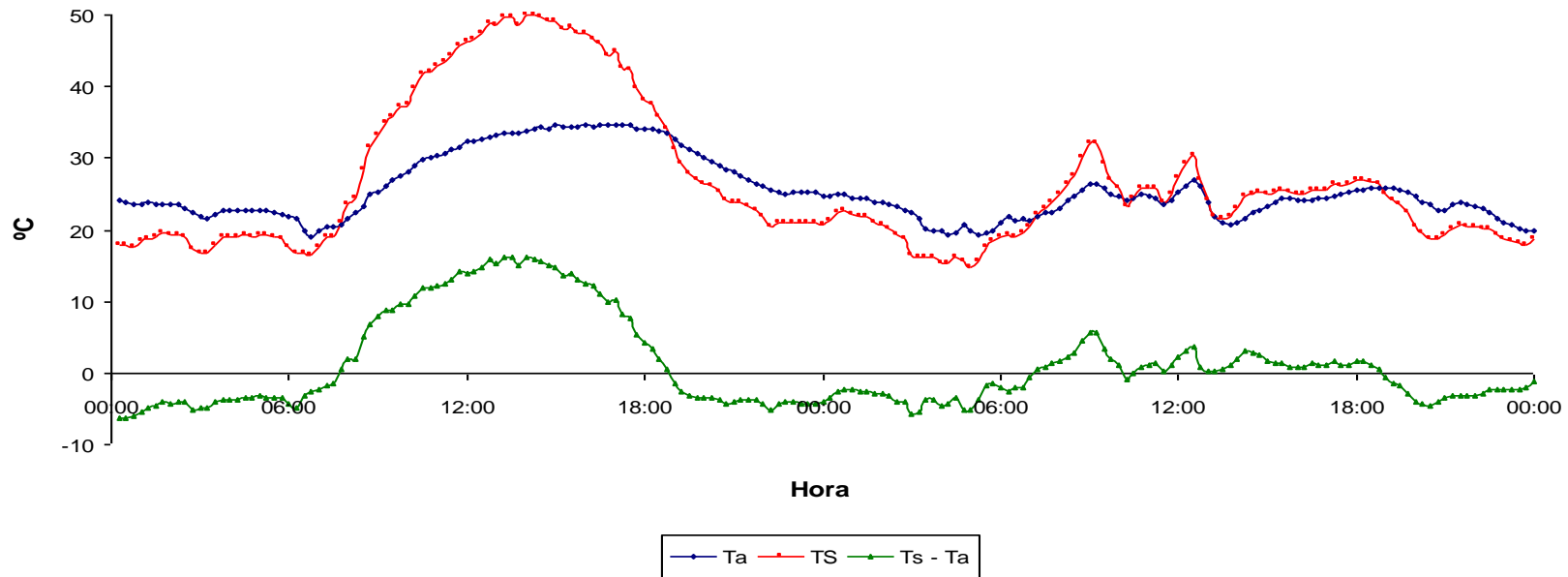
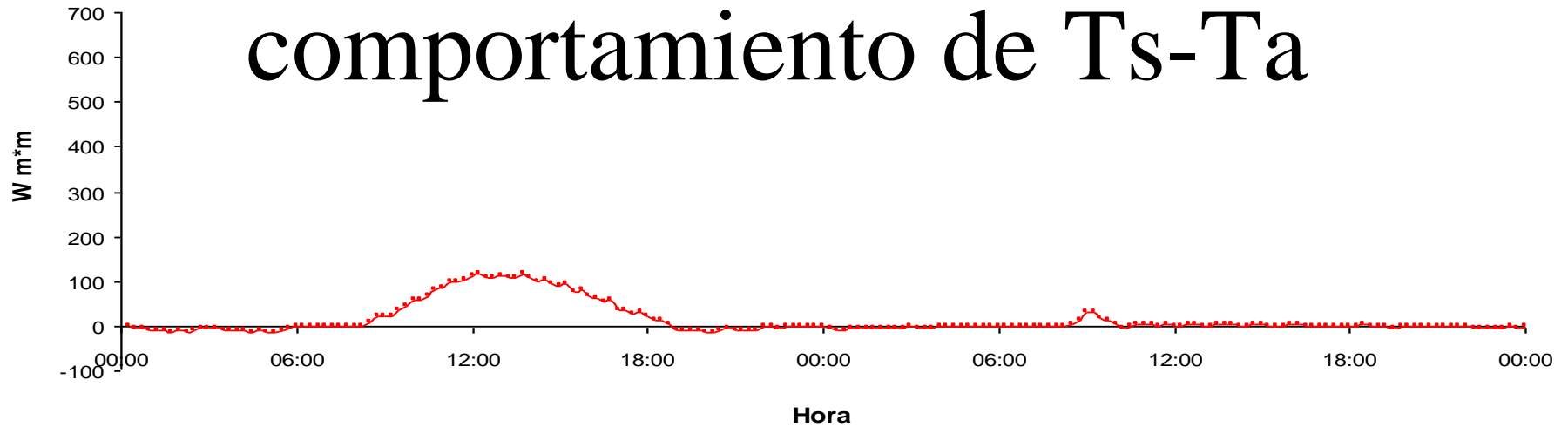


Figura tomada del manual del sensor HFT3 (Campbell).

Flujo de calor sensible y comportamiento de Ts-Ta



BE día-noche y en una superficie húmeda y una seca

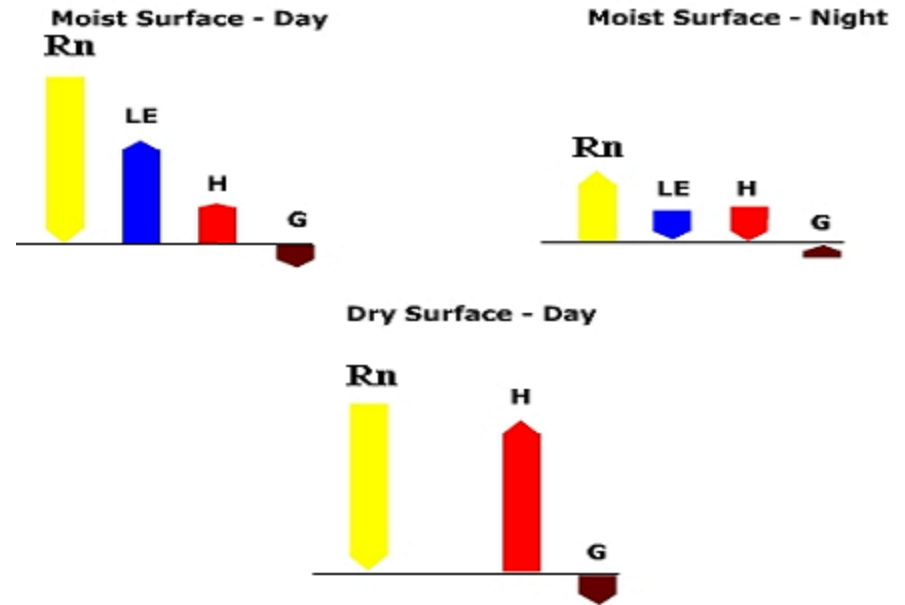
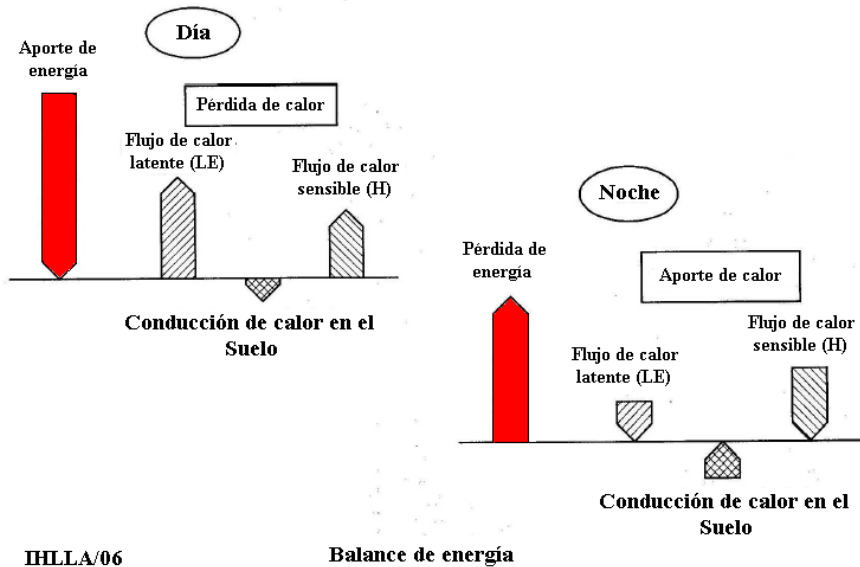
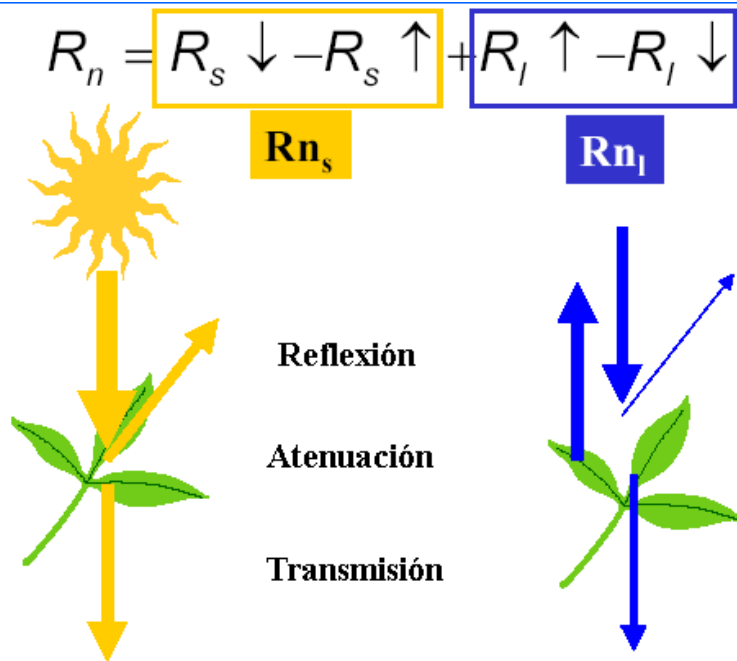


Figura tomada de Rouse 1979

Figura adaptada de Vidal 1996 (GDTA France).

Estimación de Rn



Los términos de la ecuación de Rn se pueden obtener a partir de medidas realizadas con sensores en estaciones Ad Hoc (sensor instalado en Tandil)



Siendo Rs la radiación solar (entrante ↓ y saliente ↑) y Rl la radiación de onda larga (entrante ↓ y saliente ↑).

Estimación de G



$$C_s = \rho_b (C_d + \theta_m C_w) = \rho_b C_d + \theta_v \rho_w C_w \quad (4)$$

$$\theta_m = \frac{\rho_w}{\rho_b} \theta_v \quad (5)$$

where C_s is the heat capacity of moist soil, ρ_b is bulk density, ρ_w is the density of water, C_d is the heat capacity of a dry mineral soil, θ_m is soil water content on a mass basis, θ_v is soil water content on a volume basis, and C_w is the heat capacity of water.

$$S = \frac{\Delta T_s C_s d}{t} \quad (6)$$

(modelo instalado en la estación IHLLA-Tandil)

El G es medido por un sensor (el de la foto es el modelo HFT3) a 7 cm de profundidad. Existen diferentes modelos. El modo de operación del sensor HFT3 se sustenta en ecuaciones 4, 5 y 6.

Sensor de flujo de calor sensible



Medidor de velocidad de viento en 3D relacionado con el transporte turbulento de calor y humedad en la atmósfera

Estimación de H en ausencia de sensor sonico

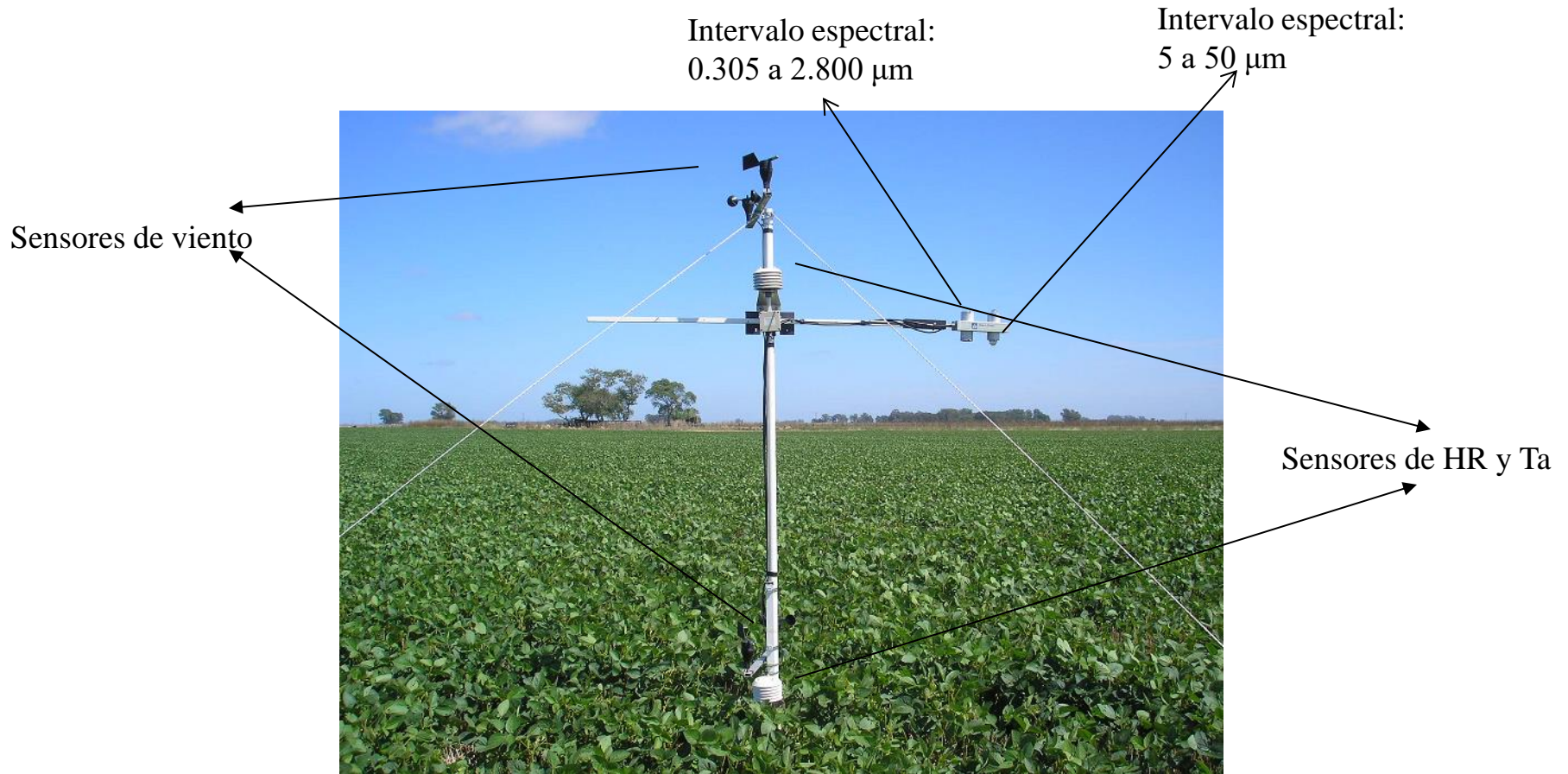
$$H = \rho c_p \frac{T_o - T_a}{r_a} \quad (7)$$

donde ρ es la densidad del aire, c_p es el calor específico del aire húmedo a una presión constante y r_a la resistencia aerodinámica. T_o y T_a son la temperatura de la vegetación en el plano de flujo cero y del aire.



$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{om}}\right) \cdot \ln\left(\frac{z_h - d}{z_{oh}}\right)}{k^2 \cdot U_z} \quad (8)$$

Ejemplo de instalación de los sensores descriptos

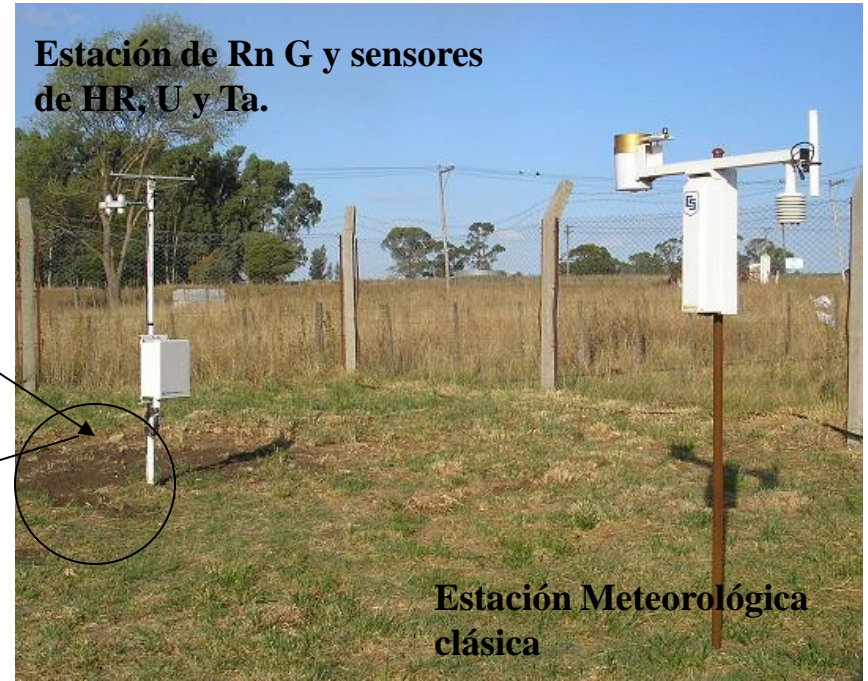


Instalado en un predio con cultivo de soja de segunda campaña 2006/07. Mayores detalles consultar el trabajo (Schirmbeck y Rivas, 2007 Libro de Teledetección “libre acceso en www.aet.org.ar” pp 317-322).

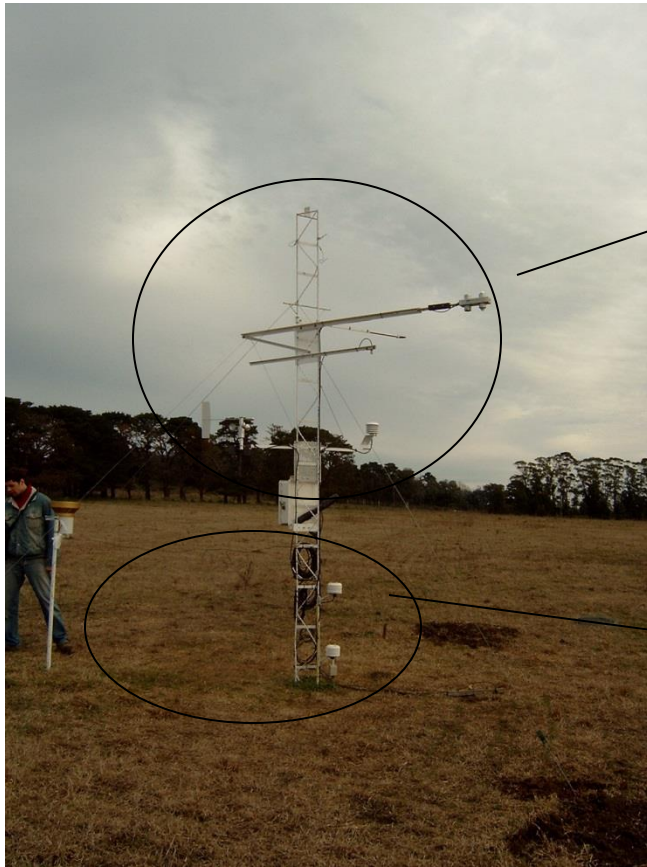
Sensor de G en un sector con suelo



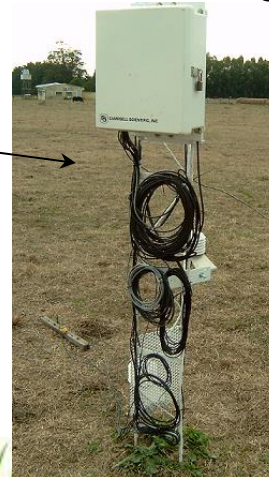
Testeo en un sector con suelo desnudo



Monitoreo de LE sobre un campo con siembra directa

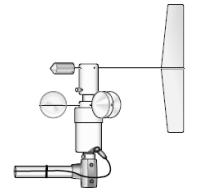


Configuración PICTO 22825 UNCPBA



Sensores con ubicados para hacer la aplicación de la EBE en soja

**CSI Met One
034B Windset**



**CSI CS215-
L16**

**Temperature
and i**

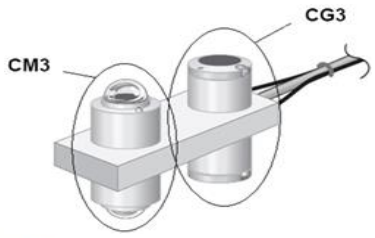


**AII-CSI IRR-P
1505 Precision
Infrared**

Temperature Sensor



**CSI CNR1 Net Radiometer
0,305-2,800 μm y 5-50 μm**



**CSI NR-LITE
Net Radiometer
0,2-100 μm**



$$Rn = Rs_{\downarrow} - Rs_{\uparrow} + Rl_{\downarrow} - Rl_{\uparrow}$$



Sensores soja (continuación)



*CSI HFT3
Soil Heat
Flux Plate*



*DDI EC H2O
Soil Moisture
Sensor-EC-
10/20 cm*

*Sensores de
temperatura
enterrados*



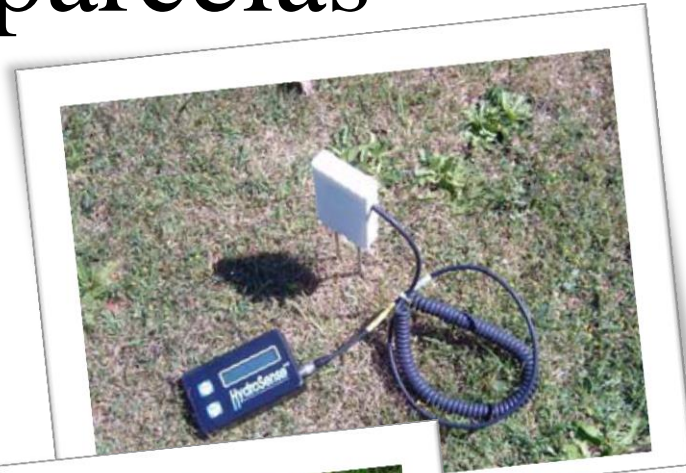
*CSI Model 107
Temperature
Probe*



*CSI Model 10X
datalogger; panel solar de
20 W; batería de 12 V*

Sensores de mano para medidas en parcelas

Humedad del suelo



*Sensores de
Temperatura
radiativa*



Sensores de terreno para complementar y controlar las medidas

Calibrado de sensores

La consistencia de los datos es fundamental. Por lo tanto es recomendable calibrar los sensores de terreno con la periodicidad que cada uno requiere.



Tanque de evaporación utilizado para evaluar la evaporación desde cuerpos de agua.

Se calibran en gabinete siguiendo las especificaciones del fabricante.