

Relación entre la temperatura radiativa de la vegetación y el contenido de agua en suelo.

Javier Houspanossian^{(a), (b)}, Juliano Schirmbeck^(a), Raúl Rivas^{(a), (b)}, Patricia Vazquez^(a)

^(a)Instituto de Hidrología de Llanuras. CC 44, B7300, Azul, Buenos Aires, Argentina

^(b) Comisión de Investigaciones Científicas de Buenos Aires, C/Gral Belgrano 525-526, 1900, La Plata, Argentina

RESUMEN

La temperatura radiométrica de una planta es resultado de un complejo equilibrio en el que están involucrados una serie de mecanismos físicos, fisiológicos y climáticos, que la modifican de diferente manera y proporción. Entre algunos, la evapo-transpiración, la radiación incidente, la cobertura de vegetación, y la humedad del suelo. Este último se presenta como un parámetro fundamental, motor y condicionante de la fuerza de los procesos involucrados en la temperatura de una planta y por lo tanto se encuentra íntimamente relacionado con ella.

Palabras Clave: Evapotranspiración, Radiación Incidente, Temperatura radiométrica.

ABSTRACT

The radiometric Temperature measured from a plant is result of a complex equilibrium between a series of mechanisms physics, physiologic and climate that alter it and modify it in different ways and intensity. Between some, there are the evapo-transpiration, the radiation incident, the fractional vegetation cover, and humidity of the soil. The water content of a soil presented like a fundamental parameter, motor and condition of the force of the process involved in the temperature of a plant and by the way is intimate related with it. The objective of this work is found that relationship.

Keywords: evapotranspiration, incident radiation, radiometric temperature.

Introducción

La temperatura del dosel de una planta es resultado de un complejo equilibrio en el que están involucrados una serie de factores físicos, fisiológicos y climáticos, que la alteran y modifican de diferente manera y proporción. Entre ellos se encuentran, la radiación incidente, el grado de cobertura de la vegetación, la evapotranspiración, el tipo de superficie (propiedades térmicas, rugosidad), las propiedades conductoras de la atmósfera, mecanismos fisiológicos de la planta y la humedad del suelo. Algunos de estos factores se revisan y describen a continuación:

Cobertura de la Vegetación. Es un parámetro de gran importancia dado que la temperatura del suelo desnudo, muchas veces resulta mayor que la de la vegetación, por tanto, coberturas medias del sistema, tenderán a perturbar la temperatura del cultivo. Además, desequilibra el balance hídrico, por la menor resistencia a la evaporación de agua desde suelo comparado con la de la vegetación.

Evapotranspiración. Puede regular la temperatura de la superficie a través del balance de energía de ésta. A menor evapotranspiración, mayor energía disponible para liberar calor sensible. La resistencia de los estomas a la transpiración es un factor clave, el cual está parcialmente controlado por la disponibilidad de agua en el suelo.

Propiedades Térmicas de la Superficie. La capacidad calorífica y conductividad (y de este modo la inercia térmica), influencia la temperatura de la planta en el caso de superficies parcialmente cubiertas de vegetación. Estas propiedades térmicas son variables y son función del tipo de suelo, y de los cambios con la humedad del suelo.

Radiación. La energía incidente disponible en la superficie, afecta la temperatura de la planta y el control radiativo de ésta implica que las áreas con un balance de radiación de onda corta bajo (por ejemplo, debido a un alto albedo)

tendrán temperaturas menores. El albedo está controlado por el tipo de suelo, humedad de la superficie y cobertura de vegetación. La radiación incidente también afecta la resistencia de los estomas a la transpiración, lo cual afecta la manera en que se particiona la radiación neta en calor sensible y latente. Por lo tanto, regula la apertura y cierre de los estomas.

Fuerza atmosférica y rugosidad de la superficie. La capacidad para conducir el calor desde la superficie hacia la atmósfera es un importante componente en el control de la temperatura de la superficie. Esto, en parte, explica como las superficies vegetadas con altas rugosidades de superficie (elevadas resistencias aerodinámicas) tienen bajas temperaturas (o al menos iguales) comparadas con el suelo desnudo. Similarmente, superficies con ilimitada cantidad de agua (por ejemplo, superficies irrigadas) pueden tener mayor temperatura de superficie que la esperada, si la conductividad del calor dentro de la atmósfera es reducida por pobre mezclado.

Mecanismos Fisiológicos Internos de la planta. Hay aspectos fundamentales de la fisiología del metabolismo y del desarrollo de las plantas bajo diferentes condiciones que regulan la temperatura de la misma.

Humedad del suelo. Es un factor fundamental, estará determinado por la tasa de precipitaciones, la conductividad hidráulica, la evapotranspiración y la escorrentía.

Los diferentes factores revisados hasta aquí, interactúan mutuamente de diferentes maneras, dando como resultado la temperatura radiativa medida de un dosel de una planta. De todos estos, la humedad del suelo es el parámetro fundamental, motor y condicionante de la fuerza de los procesos revisados hasta aquí, y por tanto íntimamente relacionado con la temperatura de una planta. El objetivo de este trabajo es encontrar esa relación.

Metodología

La experiencia se realizó en campos sembrados con Maíz, Trigo y Girasol, en los establecimientos "La Bernarda", "Tata Dios" y "La Marcelina" respectivamente. Ubicados al noreste de la ciudad de Tandil, provincia de Buenos Aires; Argentina. Los predios se ubican en una zona llana de suelos argiudoles. El período de muestreo abarcó dos campañas. La campaña I diciembre de 2005 y enero y febrero de 2006 para el monitoreo del cultivo de maíz. La campaña II, se realizó en el período noviembre y diciembre

2006 y enero y febrero de 2007 y se monitorearon un cultivo de girasol y uno de trigo.

La campaña de medición del maíz comenzó a mediados de diciembre, con una altura de maíz de alrededor de 1 metro y con un buen desarrollo del dosel. El monitoreo del cultivo del trigo comenzó en noviembre y también se encontró con un cultivo con alta densidad foliar y una altura de alrededor de 90 cm. El cultivo monitoreado de girasol se comenzó a medir desde sus primeros estadios, y hasta la senescencia de la planta.

Instrumental Utilizado

La temperatura radiativa (T_c) se midió utilizando un radiómetro (conocido habitualmente con el nombre de sensor infrarrojo térmico-IRT) y la humedad del suelo (H_s) con un sensor de humedad. El radiómetro registra la temperatura emisiva de las superficies (T_c) en un ancho de banda de 8-14 μ m y el sensor de humedad mide ésta a partir de la permitividad dieléctrica de la composición suelo-agua-aire. Además, utilizando un cuerpo negro de referencia se construyeron curvas de calibración y se corrigieron los valores obtenidos en las mediciones de T_c . En la Tabla 1 se muestran los detalles del radiómetro, del sensor de humedad y del cuerpo negro. En la Figura 1 se muestra el instrumental utilizado en terreno durante la experiencia.

Metodología de Medición

Durante la experiencia se midió periódicamente en transectos la temperatura radiativa y la humedad volumétrica sobre el cultivo ($T_c(k)$ y $H_s(\%)$), siempre lejos de los extremos del predio sembrado, para evitar efectos de contorno. Los transectos se realizaron en horarios de máxima radiación solar, durante días con cobertura nubosa menor a 3/8. Los días elegidos para medir siempre fueron, al menos, 48 horas después de un evento de precipitación, para permitir que el sistema suelo-planta se equilibre. No se realizaron salidas a campo en días con viento fuerte.

Tabla 1. Equipos Utilizados

Equipo	Marca	Rango	Error
Radiómetro IRT	ST Pro, Raytec	0 - 50°C	$\pm 0,82^\circ\text{C}$
Sensor humedad	Hydrosense Campbell.	0 % - 100 %	$\pm 3,0\%$
Fuente Calibrado	Everest	0 - 60°C	$\pm 0,1^\circ\text{C}$



Fig. 1. Equipos utilizados para el desarrollo de la experiencia.

La Tc se registró a 30 cm por encima de la cubierta vegetal, en dirección hacia abajo, asegurando que el área observada correspondiese únicamente a vegetación y la Hs se midió siempre insertando el sensor de humedad en el suelo, a unos 10 cm del tallo de la planta, usando electrodos de 12 cm de longitud (Figura 2).

Los datos de Tc y Hs, obtenidos para los tres cultivos, se volcaron en gráficos de dispersión x-y. Luego se ajustó una función matemática para cada uno de los gráficos de dispersión de puntos Tc vs Hs.

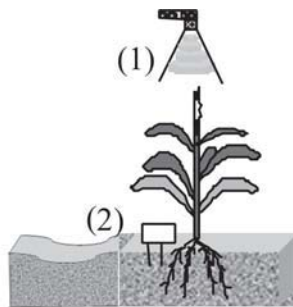


Fig. 2. Esquema de metodología de medición sobre el cultivo de (1) Tc y (2) Hs.

Resultados

Situación Meteorológica

Para la interpretación de los resultados obtenidos, es importante conocer la situación climática de los dos periodos considerados. Los mismos se resumen en la Figura 3 en la cual se nota que hubo mayores precipitaciones en la campaña I que en la II.

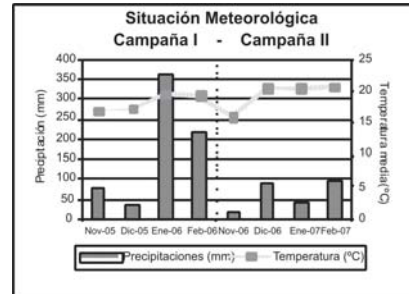


Fig. 3. Situación Meteorológica en las dos campañas.

Resultados de las medidas

La Figura 4 muestra la dispersión de los puntos Tc-Hs medidos para los diferentes cultivos en las dos campañas.

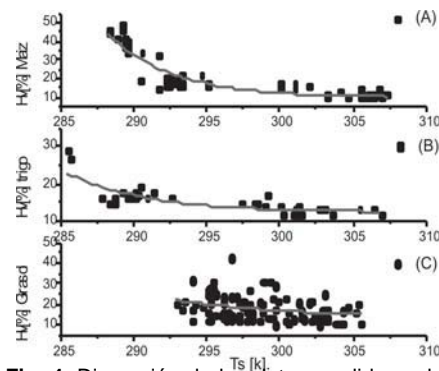


Fig. 4. Dispersión de los datos medidos sobre (A) Maíz; (B) Trigo y (C) Girasol.

Las tres curvas muestran un aumento de la temperatura de la planta a medida que disminuye la humedad del suelo. Aunque presentan diferencias en cuanto a la forma y distribución de la nube de puntos. Para cada distribución se buscó la función matemática que mejor ajuste, y se muestran las ecuaciones y sus parámetros a continuación.

La función matemática que mejor ajusta a la distribución del Maíz es de forma logarítmica y tiene la siguiente expresión:

$$Hs[\%] = -a * \ln\left(\frac{Tc[k] + c}{b}\right) \quad (2)$$

siendo $a = 9.91475 \pm 1.11258$ (%); $b = 38.77137 \pm 2.63534$ (K); $c = -287.88987 \pm 0.21119$ (K) y Tc la temperatura medida de la planta.

Para la distribución del trigo, se ajustó una función exponencial decreciente:

$$Hs(\%) = a + be^{-\left(\frac{Tc|k|}{t}\right)} \quad (3)$$

siendo los parámetros de ajuste,
 $a=12,40733 \pm 0,77594$; $b= 5,4745E24 \pm 9,0062E25$; $t=5,22762 \pm 1,571$; $R^2= 0,66033$.

Para el girasol, la función elegida fue lineal,

$$Hs[\%] = a + bT_c(k) \quad (4)$$

siendo los parámetros de la recta,
 $a= 184,70 \pm 54,78363$; $b= -0,5578 \pm 0,18339$; $R=-0,30378$.

Análisis de resultados

Del análisis de la Figura 3, puede verse que en la campaña I hubo mayores precipitaciones que en la campaña II. Esto da como resultado un amplio rango de Hs (Figura 4 A) medida en el suelo en la campaña I, lo cual, vuelve al caso de gran interés práctico.

En la campaña II, las precipitaciones fueron menores y como resultado, no hubo gran disponibilidad de agua en el suelo y un importante déficit hídrico. De este modo no se midieron grandes valores de humedad de suelo, (Figura 4 B y C) y a los fines de los objetivos del presente trabajo, los casos explican parte de la respuesta de la temperatura de la vegetación a la humedad. Sirven, en cambio, para conocer más acerca de la manera en que responden los cultivos estudiados.

El monitoreo del cultivo de girasol mostró un angosto rango de valores de Tc, comparado con el resto de las cubiertas vegetales, esto puede entenderse considerando la forma del dosel del girasol, y al gran porcentaje de suelo desnudo expuesto, el cual, contribuye a lograr valores de Tc mayores, sobre todo en los estadios primarios de desarrollo de la planta. Un modelo simplificado de esta situación se puede ver en la Figura 5. Se puede notar en ella, la alta contribución del suelo (Ts) a la temperatura radiativa del sistema planta-suelo en los primeros estadios del cultivo, la cual se ve reducida a medida que crece la vegetación.

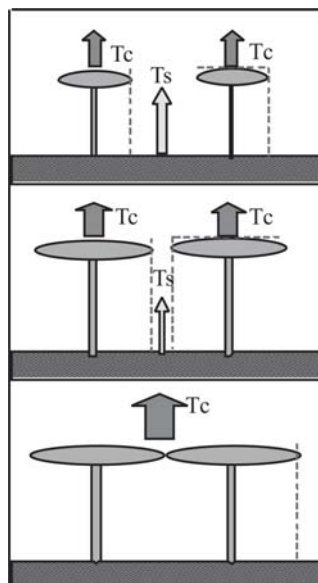


Fig. 5. Modelo simplificado del crecimiento de una planta de girasol, desde los primeros estadios (arriba), hasta cobertura vegetal total (abajo).

El monitoreo del cultivo de trigo, mostró una amplia distribución de los valores de temperatura, lo cual se explica considerando que el monitoreo comenzó con una fracción de cubierta vegetal alta. Aunque claramente los valores de humedad obtenidos son bajos, por lo explicado anteriormente.

Para el caso del maíz, el significado físico de la función logarítmica ajustada, indica que para temperaturas de la cubierta superiores a 307.5 K (34.5 °C) el cultivo de maíz se encuentra con importantes limitaciones de disponibilidad de agua para transpirar; mientras que para temperaturas de cultivo de 287.5 K (14.5 °C) el maíz se encuentra sin limitaciones de agua en el suelo y por lo tanto sin limitaciones para transpirar.

Conclusiones

Existe una relación entre la Humedad Volumétrica (Hs%) y la Temperatura radiativa de la cubierta vegetal (Tc). Esta relación, para todas las cubiertas vegetales estudiadas, se mostró inversamente proporcional, es decir, a medida que aumenta Tc disminuye Hs.

Con las dos campañas de muestreo realizadas, se ha observado que no existe una única

relación matemática que involucre a todas las cubiertas vegetales y que facilite el cálculo de la humedad volumétrica utilizando solamente la temperatura radiativa.

Los resultados obtenidos, muestran que la respuesta de la temperatura de la planta son reflejo del contenido de agua en suelo y altamente dependientes del grado de cobertura de la vegetación en superficie.

A mayor porcentaje de vegetación es más fácil medir su temperatura (sin perturbaciones) y por tanto hay más relación con las condiciones hídricas del sistema.

Para porcentajes de vegetación altos, resultará de aplicación una función de este tipo, que permita conocer la Hs de un cultivo a partir de la Tc medida con un sensor Infrarrojo térmico a bordo de un satélite y evaluar las necesidades de agua de los cultivos en diferentes áreas en las que se realiza riego complementario.

Agradecimientos

Los autores del presente trabajo desean expresar el agradecimiento a: la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires por la beca otorgada a J. Houspanosian y a la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina (PICTO 22825)

por los fondos otorgados para el desarrollo de las medidas de terreno.

Referencias

- Goward S., Yongkang X., Czajkowski K., Evaluating land surface conditions from remotely sensed temperature/vegetation index measurements. An exploration with the simple biosphere model, *Sensing of Environment*, 79: (2002) 225 - 242.
- Physical Hydrology, S. Lawrence Dingman, Second Edition.
- Rivas, R. & Caselles, V. 2004, A simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing-based surface temperature and local meteorological data. *Remote Sensing of Environment*, 93: 68- 76.
- Sandholt, I., Rasmusen, K., Andersen, J. 2002. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status, *Remote Sensing of Environment*, 79: 213 - 224.
- Shuttleworth, W.J., Gurney, R.J. 1990. The theoretical relationships between foliage temperature and canopy resistance in sparse crops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 116: 497-519.