

MONITOREO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN PARCELAS DE SOJA CON REGISTROS TÉRMICOS DE SUPERFICIE Y DATOS DE NDVI

de la Casa*, A.¹; Ovando, G.¹; Díaz, G.¹; Díaz, P.¹; Soler, F.²; Miranda, C.³

¹Agrometeorología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA-UNC), Córdoba (CP 5000), Argentina

²Agrotecnia de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA-UNC), Córdoba (CP 5000), Argentina

³Establecimiento Las Delicias, Córdoba, Argentina

Contacto: delacasa@agro.unc.edu.ar

Palabras Clave: WDI; agua del suelo; cobertura del cultivo, espacio trapezoidal

INTRODUCCIÓN

La termometría infrarroja (TIR) es una técnica para medir la temperatura superficial (T_s) de un objeto en base a la energía emitida. La detección térmica en el rango espectral del infrarrojo de onda larga (7,5–14 μm) es particularmente útil para el estudio de las relaciones planta-agua y las respuestas al estrés por sequía debido a la disminución de la conductividad estomática (Tanriverdi *et al.*, 2017). En relación al monitoreo de cultivos, la TIR es utilizada para detectar estrés hídrico, evaluar la influencia de la falta de agua en la disminución del rendimiento y administrar con mayor eficiencia el agua de riego. Martynenko *et al.* (2016) emplearon imágenes de la temperatura foliar como un indicador del cierre estomático en respuesta al déficit de agua del suelo en soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Por su parte, Pipatsitee *et al.* (2018) evaluaron mediante imágenes térmicas la relación entre el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) y los cambios fisiológicos de la yuca (*Manihot esculenta*). A fin de detectar condiciones de estrés hídrico, la TIR se presenta en una fuente de información subrogante de la humedad del suelo y su aplicación conjunta se justifica para analizar fortalezas y debilidades de la técnica remota.

A partir de la diferencia entre la temperatura superficial del follaje (T_f) y del aire (T_a), el CWSI ha sido ampliamente utilizado para evaluar el estrés hídrico y la necesidad de riego en numerosos cultivos. La principal limitación de este método resulta de medir T_f cuando la cobertura de cultivo es incompleta, lo que invariablemente ocurre al comienzo del ciclo. Combinando índices de vegetación espectral (IV) y mediciones de T_s , el concepto del espacio trapezoidal IV- T_s se propuso para aplicar la teoría CWSI a terrenos con vegetación parcial y sin registros de T_f (Moran *et al.*, 1994). Este concepto permite evaluar la influencia de la vegetación (representada por un índice de vegetación o la cobertura) sobre T_s y la disponibilidad de agua, de modo que mientras T_s en un suelo desnudo y seco alcanza un valor máximo por la ausencia de evaporación, en condición de saturado el valor de T_s es mínimo al no tener limitaciones para evaporar. En base a esta teoría se desarrolló el índice de deficiencia de agua (WDI) para evaluar la tasa de evapotranspiración de sitios con vegetación tanto completa como parcial (Moran *et al.*, 1994; Colaizzi *et al.*, 2003).

El objetivo de este trabajo es aplicar el concepto del espacio IV- T_s para analizar la información obtenida en un ensayo de soja bajo riego y explicar eventuales diferencias de la cobertura del cultivo entre tratamientos que consistieron en distintos agregados de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó sobre un cultivo de soja de la variedad Don Mario 40R16, que se sembró el 19/11/2019 y alcanzó madurez fisiológica el 18/03/2020. De manera preliminar el análisis se extiende solo hasta la etapa reproductiva R6. La información se obtuvo en un lote ubicado al sur de la ciudad de Córdoba (31°33' lat. Sur, 64°05' long. Oeste, 400 m snm) donde la soja se sembró sobre rastrojo de maíz con una densidad de 27 pl m^{-2} y en hileras a 0,35 m. El suelo del predio es un Haplustol éntico, serie Manfredi, con un perfil de tres horizontes de textura franco-limosa. Los análisis previos a la siembra revelaron ausencia de restricciones de fertilidad química. En el interior del lote se establecieron de manera contigua 4 parcelas de ensayo de 4 m^2 , que recibieron los siguientes tratamientos: 100 mm de agua y una cantidad de urea equivalente a 100 kg ha^{-1} (RRF); 100 mm de agua (RR); 50 mm de agua (R) y un testigo sin intervención (S). Asimismo, en una quinta parcela en secano también de 4 m^2 se procedió a quitar las plantas de soja para medir T_s y tener un valor de referencia en ausencia de transpiración (SD). El agregado de agua se realizó en 5 oportunidades con cantidades iguales (20 mm para RRF y RR y 10 mm para R) y la fertilización fue implementada en plena floración (R2).

La cobertura del cultivo (CC) se obtuvo a partir de fotografías adquiridas 3 m sobre el cultivo con una cámara Canon PowerShot SD780 IS, modificada para producir imágenes de NDVI (de la Casa *et al.*, 2016). Cada imagen se recortó respecto a los bordes de la parcela y la determinación de CC se realizó diferenciando el suelo de la vegetación verde asumiendo un umbral de NDVI (U) que se estableció en 0,05. A partir de la imagen binaria producida ($U < 0,05$ para suelo), se calculó el porcentaje entre la cantidad de píxeles con vegetación con respecto al total. Los valores térmicos se obtuvieron con el sensor MLX9061 que, además de medir la temperatura del aire (T_a), tiene un termómetro infrarrojo para medir la temperatura sin tener contacto con el objeto (T_s y T_f). A tal efecto, utiliza una termopila y un filtro que deja pasar la radiación infrarroja (entre 5,5 y 14 μm) emitida por el

objeto y está calibrado de fábrica para un rango de temperatura de -70 a $+380$ °C (Cerminato *et al.*, 2018). Las lecturas se efectuaron entre las 12 y 14 hs, con el sensor dispuesto de manera perpendicular y a 1,5 m de altura sobre la parcela. Los valores presentados corresponden a un promedio de 4 lecturas. Los datos de lluvia utilizados provienen de un pluviómetro ubicado en la proximidad del ensayo. La evaluación estadística entre tratamientos, tanto de CC como de Tf-Ta, se realizó a partir de la prueba de medias apareadas (por fecha) para $n=9$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el perfil bien provisto de humedad a la siembra y el abundante aporte pluviométrico de diciembre, el desarrollo de CC resultó muy uniforme y alcanzó valores de cobertura completa durante un periodo prolongado del ciclo que incluye buena parte de la etapa reproductiva entre R2 y R6. De esta forma, la semejanza entre las curvas de CC pone de manifiesto que el agua agregada a las parcelas no alcanza a expresar un incremento del crecimiento, al menos en términos de la cobertura. La relación entre las condiciones hídricas y la expansión de CC se evaluó de manera integral aplicando el concepto del espacio IV-Ts, con los valores de CC en ordenada y de Tf-Ta en abscisa (para SD se expresa (Ts-Ta), como muestra la Figura 1.

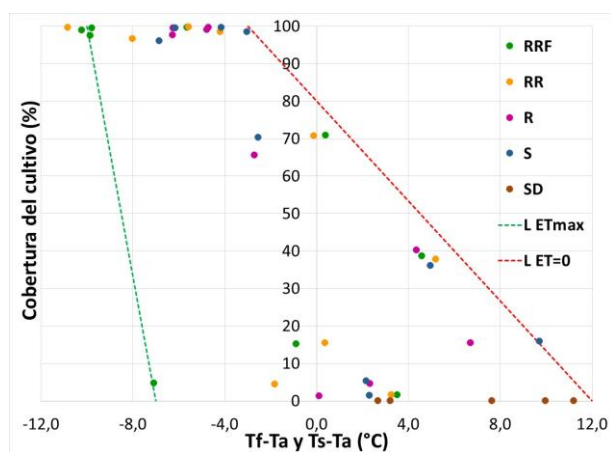


Figura 1. Espacio trapezoidal definido por la relación entre Tf-Ta (Ts-Ta) y la cobertura del cultivo de soja. RRF, RR, R y S son los tratamientos; SD son los valores de la parcela sin plantas; L ETmax es la línea del suelo húmedo que expresa la evapotranspiración máxima y L ET=0 es la línea del suelo completamente seco que expresa la tasa de evapotranspiración nula.

Aunque las mediciones son escasas y los bordes húmedo (ETmax) y seco (ET=0) se trazaron de manera arbitraria, el espacio trapezoidal que propone la teoría de Moran *et al.* (1994) es manifiesto. Los valores positivos de Ts-Ta en la parcela con suelo desnudo (rastrojo) expresan la ausencia del efecto refrigerante de la transpiración y el fuerte calentamiento por la radiación solar directa. Hasta la etapa V5 y con CC inferior a 40% los valores de Tf-Ta en su mayoría son positivos, contingencia que se explica más por la influencia predominante de Ts sobre Tf que por la falta de agua. El contenido de agua del suelo en esta primera etapa del ciclo es suficiente para sostener la demanda atmosférica del cultivo, de modo que a campo tampoco se observaron signos de marchitamiento. Cuando la soja alcanza el 70 % de CC los valores Tf-Ta comienzan a presentarse negativos, condición que se mantiene durante todo el periodo de CC máxima. La diferencia de medias de Tf-Ta entre RRF y el resto de los tratamientos, presenta significación estadística ($P<0,10$) sólo con los valores de la parcela en secano. Si bien la diferencia entre tratamientos de Tf-Ta no modifica sustancialmente el crecimiento vegetativo de acuerdo a CC, la influencia de los distintos aportes de agua podría manifestarse en la etapa reproductiva modificando los componentes del rendimiento de la soja.

CONCLUSIONES

El monitoreo de parcelas de soja a partir de la técnica TIR produjo, en términos preliminares aún, resultados compatibles con la información bibliográfica para evaluar el estado de estrés hídrico. Si bien la ausencia de diferencias de CC entre tratamientos puede ser avalada parcialmente por el método del espacio IV-Ts, queda pendiente verificar si las diferencias entre tratamientos en los valores Tf-Ta presentan alguna repercusión a nivel productivo.

REFERENCIAS

- Cerminato, J.A.A.; Clemente, J.P.; Díaz, G.; Llop, A.; Ovando, G.G.; Rigalt, S.; Rodríguez Pesce, E.J-P.; Torterolo, M.K. (ex aequo) 2018. Prototipo de instrumental automático de bajo costo para medir variables agrometeorológicas vinculadas al estrés hídrico en cultivos. Revista NEXO agropecuario Vol. 6 N° 1-2 enero-diciembre de 2018.
- Colaizzi, P.D.; Barnes, E.M.; Clarke, T.R.; Choi, C.Y.; Waller, P.M.; Haberland, J.; Kostrzewski, M. 2003. Water stress detection under high frequency sprinkler irrigation with Water Deficit Index. J. Irrig. Drain Eng. 129(1): 36-43
- de la Casa, A.; Ovando, G.; Bressanini, L.; Martínez, J.; Miranda, C.; Díaz, G. 2016. Evaluación de un lote de maíz bajo riego y siembra variable con el modelo AquaCrop en Córdoba, Argentina. RADA VII:1-13
- Martynenko, A.; Shotton, K.; Astatkie, T.; Petrash, G.; Fowler, C.; Neily, W.; Critchley, A.T. 2016. Thermal imaging of soybean response to drought stress: the effect of *Ascophyllum nodosum* seaweed extract. SpringerPlus, 5, 1393
- Moran, M.S.; Clarke, T.R.; Inoue, Y.; Vidal, A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. Remote Sens. Environ. 49:246-263.
- Pipatsitee, P.; Eiumnoh, A.; Praseartkul, P.; Taota, K.; Kongpugdee, S.; Sakulleerungroj, K.; Cha-um, S. 2018. Application of infrared thermography to assess cassava physiology under water deficit condition. Plant Production Science 21(4):398-406.
- Tanriverdi, C.; Atilgan, A.; Degirmenci, H.; Akyuz, A. 2017. Comparison of crop water stress index (CWSI) and water deficit index (WDI) by using remote sensing (RS). Polish Academic Science 3: 879-894.