

TERMOMETRÍA INFRARROJA PARA MONITOREAR ESTRÉS HÍDRICO EN MAÍZ BAJO RIEGO DEFICITARIO EN CLIMA TEMPLADO

Andrés Di Lorenzi¹, Raquel Hayashi², Lucía Puppo²

RESUMEN: El riego deficitario, apoyado por tecnologías como la termometría infrarroja para monitoreo continuo y no destructivo, optimiza el uso del agua en maíz. De esta manera, es posible reducir el consumo de agua sin comprometer el rendimiento, disminuir costos operativos y promover una agricultura más sostenible y rentable. Esta investigación es crucial en el contexto global de la escasez de agua y el cambio climático, ofreciendo soluciones innovadoras para la gestión del agua en cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar la respuesta térmica y fisiológica del maíz bajo distintos niveles de riego deficitario, analizando la relación entre la temperatura foliar, el estado hídrico del suelo y la fisiología del cultivo. Para ello, se llevó a cabo un ensayo de riego deficitario controlado en maíz en el Centro Regional Sur, Facultad de Agronomía, con los siguientes tratamientos: 1) Riego 100% de la ETc durante todo el ciclo; 2) 50% de la ETc en etapa vegetativa y 100% desde floración hasta culminado el llenado de grano; 3) 80% de la ETc hasta culminado el llenado de grano; 4) Secano, solo agua de lluvia. El diseño experimental fue en bloques al azar con 4 repeticiones, utilizando riego localizado con una lámina de 16 mm brutos. Las mediciones de conductancia estomática, potencial xilemático e índices térmicos permitieron diferenciar entre los tratamientos. Se encontró una relación cuadrática significativa entre la conductancia estomática y el contenido de agua del suelo ($R^2 = 0,7$). Desde una perspectiva operativa, los índices térmicos DANS y DACT parecen ser una opción práctica, ya que requieren menos variables para su cálculo. Aunque se requieren más años de evaluación, el uso de estos índices en condiciones de clima templado muestra un gran potencial para mejorar la gestión del riego, especialmente en combinación con drones con cámara térmica.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays*, teledetección, programación del riego, gestión del riego agrícola, uso eficiente del agua

¹Ingeniero Agrónomo, Magíster en Ciencias Agrarias, Doctorando en Ciencias Agrarias, Unidad de Hidrología, Riego y Drenaje, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
adilorenzi@fagro.edu.uy

²Doctora en Ciencias Agrarias, Unidad de Hidrología, Riego y Drenaje, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

INFRARED THERMOMETRY FOR MONITORING WATER STRESS IN MAIZE UNDER DEFICIT IRRIGATION IN A TEMPERATE CLIMATE

Andrés Di Lorenzi¹, Raquel Hayashi², Lucía Puppo²

ABSTRACT: Deficit irrigation, supported by technologies such as infrared thermometry for continuous and non-destructive monitoring, optimizes water use in maize, saving water without compromising yield, reducing operational costs, and promoting more sustainable and profitable agriculture. This research is crucial in the global context of water scarcity and climate change, providing innovative solutions for crop water management. The objective of this study was to evaluate the thermal and physiological response of maize under different levels of deficit irrigation, analyzing the relationship between leaf temperature, soil water status, and crop physiology. A controlled deficit irrigation experiment was conducted at the Centro Regional Sur, Faculty of Agronomy, with the following treatments: (1) 100% E_{Tc} irrigation throughout the crop cycle; (2) 50% E_{Tc} during the vegetative stage and 100% flowering to grain filling; (3) 80% E_{Tc} until grain filling; (4) rainfed conditions, receiving only rainfall. The experimental design was a randomized block design with four replications, using localized irrigation with a gross application depth of 16 mm. Measurements of stomatal conductance, xylem potential, and thermal indices allowed differentiation between. A significant quadratic relationship was found between stomatal conductance and soil water content ($R^2 = 0.7$). From an operational perspective, the thermal indices D_{ANS} and D_{ACT} appear to be a more practical option, as they require fewer variables for their calculation. Although further years of evaluation are needed, the use of these indices in temperate climates shows great potential for improving irrigation management, particularly when combined with thermal cameras mounted on UAV platforms.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays*, remote sensing, irrigation scheduling, agricultural water management, water use efficiency

INTRODUCCIÓN

En Uruguay, el maíz mayormente cultivado en secano, sufre variaciones significativas en rendimiento y alto riesgo de pérdida total por sequías recurrentes (MGAP-DIEA, 2024). El riego suplementario es una estrategia clave para mejorar la productividad y estabilizar los rendimientos. Es clave desarrollar técnicas más eficientes de programación del riego para mejorar la producción y ahorrar agua. Métodos tradicionales como la porometría, el flujo de savia y el potencial hídrico son invasivos y poco representativos. En contraste, la temperatura del cultivo, medida con radiómetros infrarrojos, permite monitorear el estrés hídrico de manera continua y remota. Aunque en Uruguay su uso es incipiente (Otero y García, 2024), a nivel global (Jackson et al., 1981; Irmak et al., 2000; Taghvaeian et al., 2014; DeJonge et al., 2015; Zhang et al., 2023) se investiga su aplicación en riego desde hace años.

Para estimar el estrés hídrico, Jackson et al. (1981) e Idso (1982) propusieron el índice de estrés hídrico de cultivos (CWSI), basado en la temperatura de un dosel no transpirante (T_{np}) y otro bien regado (T_p): $CWSI = (T_{hoja} - T_p) / (T_{np} - T_p)$. En Colorado, Taghvaeian et al. (2014) evaluaron el CWSI y el DANS (diferencia de temperatura entre un cultivo estresado y no estresado) en girasol, concluyendo que el DANS, aunque más simple, es útil para monitorear el estrés y programar riegos. Resultados similares en maíz fueron reportados por DeJonge et al. (2015). Una variante es el índice DACT (grados por encima de la temperatura umbral), que cuantifica la diferencia de temperatura respecto a un umbral crítico, generalmente 28 °C en maíz (Burke, 1996) y que se calcula: $DACT = \max [0, T_{cultivo} - 28^{\circ}C]$.

Si bien estos índices han sido ampliamente evaluados en regiones áridas y semiáridas, su aplicación en climas templados sigue siendo limitada. Por ello, este estudio evalúa la respuesta térmica y fisiológica del maíz bajo distintos niveles de riego deficitario, analizando la relación entre la temperatura foliar, el estado hídrico del suelo y la fisiología del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en el Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía, ubicado en Progreso, Canelones, Uruguay (34°37' S y 56°13' O). De acuerdo con la clasificación de Köppen y Geiger, el clima corresponde a un templado

mesotérmico (Cfa), caracterizado por la ausencia de estación seca y veranos calurosos. La precipitación anual promedio es de 1200 mm, con una alta variabilidad interanual e irregularidad estacional. Durante el período estival, la temperatura media oscila entre 18 y 23 °C, con una radiación diaria de 200-250 Wm⁻² y una humedad relativa del 72 %. El suelo en el área experimental fue un Brunosol Eútrico típico Lac., clasificado como Argiudol típico (USDA). Las propiedades hídricas del suelo se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características físicas e hídricas de suelo.

Profundidad (cm)	Capacidad de campo (vol%)	Punto de marchitez permanente (vol%)	Densidad aparente (gr cm ⁻³)	Agua disponible (mm horizonte ⁻¹)
0-19	44,9	27,4	1,15	33
20-36	45,6	27,7	1,2	28,6
37-80	43,2	25,9	1,2	74,1

Se establecieron cuatro tratamientos de riego: el primero consistió en la aplicación del 100 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante todo el ciclo; el segundo incluyó un riego al 50 % de la ETc durante la etapa vegetativa (hasta Vt inclusive), incrementándose al 100 % desde la floración (R1) hasta el llenado de grano (R4 inclusive); el tercero se basó en un riego al 80 % de la ETc a lo largo de todo el ciclo, finalizando en el llenado de grano (R4); finalmente, el tratamiento de secano no recibió aplicación de riego, dependiendo únicamente del agua de lluvia. El diseño experimental utilizado fue en bloques completos al azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Las parcelas fueron de 12 x 6 m, con 12 filas separadas por 0,50 m. El experimento se desarrolló durante la campaña 2024-2025.

Se sembró el híbrido de alto potencial DK7210bt3P de Bayer mediante siembra directa, con una densidad objetivo de 100.000 plantas ha⁻¹. Para el control de malezas, se realizaron aplicaciones de herbicidas pre y postsiembra. En función de un análisis de suelo previo, se aplicó fertilización en la siembra y refertilizaciones en V6 y V10 para evitar restricciones nutricionales. El riego se realizó con goteros de 4 L h⁻¹ separados por 1,0 m, aplicando láminas brutas de 16 mm (Morales et al., 2022). El momento de riego se determinará mediante un balance hídrico diario (BHS), según FAO 56 (Allen et al., 1998). Se utilizaron datos climáticos de la estación meteorológica HOBO RX3000 (Onset Computer Corporation, Massachusetts, EE.UU.) instalada en el sitio experimental. La humedad del suelo se midió de 2 a 3 veces por semana con una sonda

de capacitancia portátil (FDR, Delta T Devices, PR2), calibrada previamente, con el objetivo de ajustar el BHS si era necesario.

Se instalaron radiómetros térmicos infrarrojos (IRT, modelo SI-421, Apogee Instruments, Inc., Logan, Utah, EE.UU.) en una parcela por tratamiento, para registrar la temperatura del dosel con dataloggers ZL6 Meter (EE.UU.). Para garantizar una adecuada captura del dosel, los sensores se montaron en postes telescópicos a 0,6 m sobre el dosel y en un ángulo de 65° hacia el oeste. No se instalaron sensores IRT en el tratamiento 50%/100%. Se calcularon cuatro indicadores térmicos: 1) índice de estrés hídrico (CWSI) (Jackson et al., 1981; Idso, 1982); 2) diferencia entre la temperatura del dosel y la temperatura del aire ($T_c - T_a$) (DeJonge et al., 2015; Jones, H.G., 2018); 3) grados sobre canopia sin estrés (DANS) (Taghvaeian et al., 2014); y 4) grados sobre el umbral de canopia de 28°C (DACT) (DeJonge et al., 2015). Para los cálculos se utilizaron valores de temperatura media del dosel en días con radiación solar superior a 700 W m^{-2} similar a lo propuesto por DeJonge et al. (2015), eliminando interferencias de la nubosidad. Se utilizó una cámara térmica HT-19 (HTI-Xintai, China) de alta resolución y precisión para medir la temperatura en cada parcela al mediodía. Se capturaron dos imágenes por parcela a 0,6 m sobre la canopia y en ángulo oblicuo (45°), en días despejados (radiación $> 700 \text{ W m}^2$) entre las 12:00 y 15:00 h (Irmak et al., 2000; Taghvaeian et al., 2012, 2014). Las imágenes se procesaron con IRImageTools. Se seleccionaron 20 hojas por imagen evitando la inclusión de otros órganos o suelo, se calculó la media y desvío por parcela.

Se midió el potencial xilemático con una cámara de presión (Scholander) y la conductancia estomática con un porómetro foliar portátil (SC-1, METER Group, Inc., Pullman, WA, EE.UU.), en hojas completamente desarrolladas a media altura, en 2-3 hojas por parcela, entre las 12:30 y las 14:30 h, periodo de mayor demanda hídrica.

Se realizó una regresión cuadrática entre la conductancia estomática y el porcentaje de agua disponible a 0,40 m, donde se observó la mayor concentración de raíces absorbentes. Para el potencial xilemático y la conductancia estomática, se aplicó ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0,05$). Los análisis se realizaron en R (R Core Team, 2024).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media del aire y la ETo total de la temporada 2024-2025 presentaron mínimas diferencias en comparación con los datos meteorológicos promedio de largo plazo (1995-2025) (datos no presentados, INIA GRASS, 2025). Sin embargo, las precipitaciones en enero y febrero fueron un 50 % inferiores al promedio histórico, mientras que en noviembre y diciembre se mantuvieron dentro de los valores habituales.

La Figura 1 muestra la evolución del agotamiento de la humedad del suelo a 0,60 m de profundidad en secano y 0,40 m en los tratamientos con riego, indicando los momentos de aplicación de agua y los eventos de precipitación.

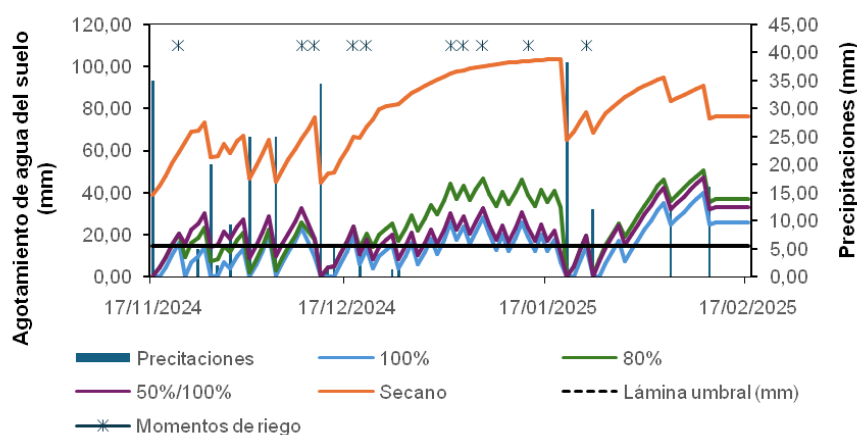


Figura 1. Evolución del agotamiento de la humedad del suelo a 0,60 m de profundidad (secano) y 0,40 m de profundidad (T-100% y T-80% y T-50%/100%), riego aplicado y precipitaciones durante el periodo de la temporada 2024-2025.

Durante diciembre, las diferencias entre los tratamientos bajo riego fueron mínimas, mientras que en secano, el contenido de agua en el suelo ya era inferior antes de las precipitaciones, cuya magnitud fue insuficiente para revertir esta condición. En enero, con el cese de las lluvias, el contenido hídrico del suelo en secano disminuyó significativamente, alcanzando niveles muy inferiores a los de los tratamientos con riego. Entre los tratamientos bajo riego, el 100 % ETc (curva azul) y el 50 %/100 % ETc (curva violeta) mostraron un comportamiento similar a lo largo del ciclo del cultivo. Esto se debe a que, en diciembre, cuando el tratamiento 50 %/100 % ETc recibió menos agua de riego, las precipitaciones compensaron la diferencia, evitando variaciones en el contenido de humedad del suelo. En enero, cuando el cultivo alcanzó el estado fenológico R1 (floración), el tratamiento 50 %/100 % ETc incrementó su riego al 100 % ETc, igualando la lámina aplicada en el tratamiento 100 % ETc. Por otro lado, el

tratamiento 80 % ETc presentó un menor contenido de agua en el suelo en comparación con los demás tratamientos de riego y el secano. Finalmente, a partir del 25 de enero, el riego cesó en todos los tratamientos.

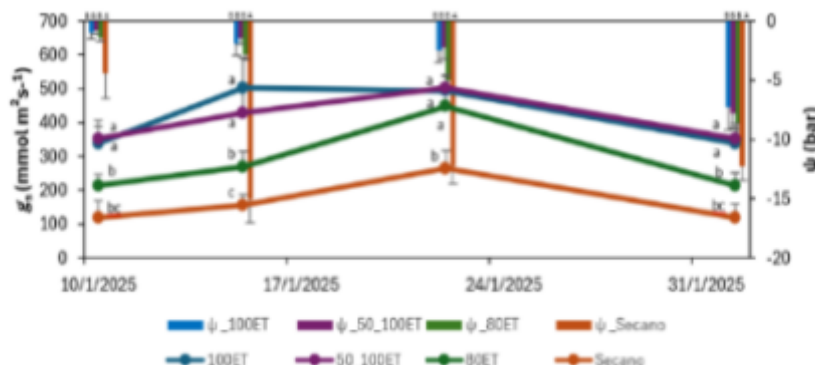


Figura 2. Conductancia estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y potencial xilemático (ψ , bar) en diferentes momentos del ciclo del cultivo. Las mediciones fueron hechas durante el mismo momento entre las 12:30 y 14:30 h. Letras diferentes indican diferencias significativas en la misma fecha de evaluación ($p < 0,05$). Se utilizaron letras mayúsculas para la variable ψ y minúsculas para la variable g_s .

Aunque la g_s mostró variabilidad entre plantas, se observó una clara distinción entre los tratamientos bajo riego y el secano (Figura 2). De manera similar a lo que se encontró en los resultados del contenido de agua del suelo (Figuras 1 y 3), los tratamientos con riego al 100% de la ETc y al 50%/100% de la ETc no mostraron diferencias significativas entre sí. Este comportamiento indica que ambas estrategias de riego proporcionaron condiciones suficientemente similares para el desarrollo de las plantas en cuanto a la disponibilidad hídrica, al menos durante este periodo de evaluación. Un punto destacado fue la presencia de valores excepcionalmente altos de conductancia estomática en los tratamientos bajo riego en las fechas del 17/01 y 24/01. Estos picos pueden atribuirse a los elevados contenidos de agua en el suelo derivados del riego previo a las mediciones, lo que probablemente favoreció la apertura estomática en esas fechas (Toro et al., 2019).

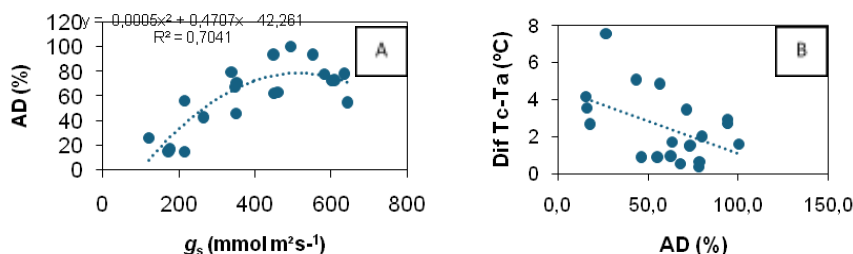


Figura 3. (a) Relación entre la conductancia estomática (g_s) y el porcentaje de agua disponible en el suelo a 0,40 m (AD %); (b) evolución de la diferencia de temperatura entre la canopia y el aire (Dif Tc-Ta) en relación con el porcentaje de agua disponible en el suelo a 0,40 m (AD %). Nota: Los datos de temperatura se obtuvieron con cámara HTI.

No se observaron diferencias notables en el potencial xilemático (ψ) entre los tres tratamientos bajo riego. Esto sugiere que, a pesar de las distintas estrategias de riego, los contenidos de agua del suelo no fueron lo suficientemente variables como para generar un estrés hídrico considerable. Sin embargo, el secano mostró valores de ψ inferiores a -12 bar, indicando un estrés hídrico en la planta debido al déficit de agua en el suelo.

En la Figura 3a se observó una relación cuadrática significativa ($R^2=0.7041$), indicando que la g_s aumenta con el contenido de agua en el suelo hasta un umbral, a partir del cual tiende a estabilizarse o disminuir. Este comportamiento sugiere un posible efecto de regulación estomática frente a condiciones de menor disponibilidad hídrica (Henry et al., 2019). Al analizar la Dif Tc-Ta medida con la cámara HTI, que ofrece alta precisión en la determinación de la temperatura foliar, se observa una relación inversa con el porcentaje de agua disponible en el suelo (Figura 3b). Cuando el contenido de agua en el suelo desciende por debajo del 50 %, la diferencia Tc-Ta aumenta, alcanzando valores cercanos a 5, con un máximo de 7 (Figura 3b). Cabe señalar que en esta temporada se registraron pocos datos con niveles de agua en el suelo inferiores al 50 %, lo que podría haber limitado la manifestación más clara de esta relación. DeJonge et al. (2015) encontraron relaciones entre los térmicos CWSI, DANS, y DACT con el contenido de agua en el suelo con un R^2 que vario entre 0,138 y 0,319.

Los índices térmicos reflejaron el régimen hídrico de los tratamientos (Figura 4a-d). Para su cálculo, se utilizaron valores promedio de temperatura del aire y del cultivo entre las 14:00 y 15:00 h, periodo en el que se evidenciaron mayores diferencias térmicas. En climas áridos y semiáridos, el período óptimo es entre las 12:00 y las 13:00 h, cuando el CWSI alcanza su valor máximo. (Irmak et al., 2000; Taghvaeian et al., 2012). El CWSI y la Dif Tc - Ta discriminaron claramente entre los tratamientos. En los tratamientos bajo riego, la transpiración mantuvo el dosel más fresco que el aire circundante, alcanzando hasta 4°C de diferencia en el tratamiento 100% ETc. En contraste, en secano, donde la transpiración se reduce por la limitación hídrica, la temperatura del dosel fue superior a la del aire, con valores positivos de Dif Tc - Ta de hasta 5°C (Figura 4a). Se observaron valores levemente negativos de CWSI en el tratamiento 100% ETc, lo que sugiere la necesidad de continuar con más años de evaluación para mejorar su ajuste. Sin embargo, DeJonge et al. (2015) demostraron que variaciones repentinas en la velocidad del viento pueden generar valores negativos de CWSI sin cambios en el contenido de agua del suelo. En este sentido, los índices DANS

y DACT no reflejan dicha caída, lo que indica una menor sensibilidad a fluctuaciones del viento.

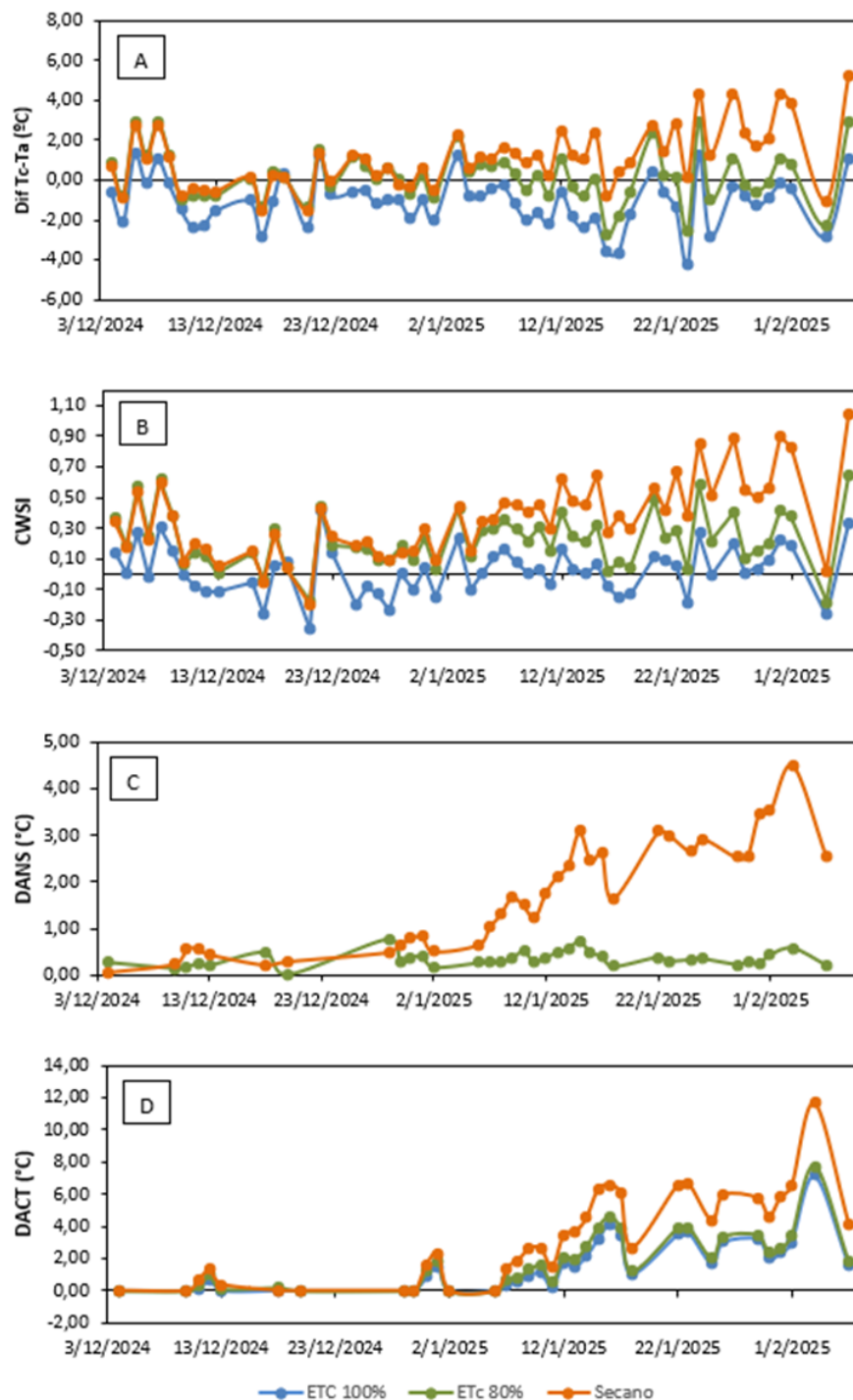


Figura 4. Evolución de: (a) la diferencia de temperatura entre la canopia y el aire (Dif Tc-Ta), (b) el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI), (c) los grados por encima de un cultivo sin estrés hídrico (DANS), (d) los grados por encima de un umbral (28°C) (DACT), durante el ciclo 2024-2025.

Otro desafío del CWSI es que, en días extremadamente calurosos, incluso un cultivo bien irrigado puede cerrar sus estomas, elevando el índice y sugiriendo una necesidad de riego que podría no ser real. En contraste, DANS no presenta esta limitación. Además, algunos autores destacan las dificultades prácticas del uso del CWSI debido a su complejidad (Kacira et al., 2002), sugiriendo que los índices DANS, DACT y $Dif T_c - T_a$ pueden ser opciones más prácticas para productores y técnicos. Finalmente, en nuestro estudio, el índice DANS permitió diferenciar levemente entre los tratamientos bajo riego, mientras que el DACT no mostró esta capacidad (Figura 3c y d). No obstante, ambos índices fueron eficaces para distinguir entre los tratamientos bajo riego y el secano, lo que indica su potencial en condiciones de clima templado.

CONCLUSIONES

Los índices térmicos permitieron diferenciar con claridad entre el cultivo bajo riego y en secano. Sin embargo, DANS y DACT presentaron limitaciones para discriminar entre tratamientos irrigados, lo que sugiere la necesidad de incluir un tratamiento con estrés hídrico moderado. Esto permitiría comprender mejor el comportamiento de los índices térmicos en clima templado, considerando que, desde una perspectiva operativa, estos índices podrían representar una opción más práctica.

En este trabajo, el uso de índices de estrés hídrico mostró un gran potencial en condiciones de clima templado en el sur de Uruguay. Sin embargo, para afinar su precisión, especialmente en la línea base sin estrés hídrico del CWSI, se recomienda evaluarlos durante varias temporadas, ya que las precipitaciones anuales y las condiciones de DPV y radiación limitan la cantidad de mediciones disponibles. Además, la integración de cámaras térmicas en drones o sensores infrarrojos en pivotes centrales podría mejorar la estimación espacial de estos índices, optimizando la programación y gestión del riego.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Álvaro Otero por su apoyo y orientación, cuyos consejos fueron clave para el desarrollo de este trabajo.

REFEERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**. N° 56. Rome, FAO. 300 pp.
- BURKE, J. J. 1996. Personal communication to S. R. Evett from the USDA-ARS. **Crop Stress Research Laboratory**, Lubbock, TX.
- DEJONGE, K. C.; TAGHVAEI, S.; TROUT, T. J.; COMAS, L. H. 2015. Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. **Agricultural Water Management**, 156, 51-62.
- HSIAO, T. C. 1973. Plant responses to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, 24(1), 519-570.
- IDSO, S. B. 1982. Now Water Stressed Baselines: A key to measuring and interpreting plant water stress. **Agricultural Meteorology**, 27, 59-70.
- IRMAK, S.; HAMAN, D. Z.; BASTUG, R. 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. **Agronomy Journal**, 92(6), 1221-1227.
- JACKSON, R. D.; IDSO, S.; REGINATO, R.; PINTER, P. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, 17. DOI: 10.1029/WR017i004p01133.
- JONES, H. G. 2018. Thermal imaging and infrared sensing in plant ecophysiology. **Advances in Plant Ecophysiology Techniques**, 135-151.
- KACIRA, M.; LING, P. P.; SHORT, T. H. 2002. Establishing crop water stress index (CWSI) threshold values for early, non-contact detection of plant water stress. **Transactions of the ASAE**, 45(3), 775–780.
- KRAMER, P. J.; TEJADA, L. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas: una síntesis moderna. México: **CRAT**. 538 p.
- MGAP-DIEA** (MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA Y PESCA-DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ESTADÍSTICAS)

AGROPECUARIAS). 2024. Encuesta Agrícola “Invierno 2024”. Montevideo, Uruguay. 4 p.

MORALES, P. M.; BLANCO, A. B.; PRECHAC, F. G.; GALLARETA, C. G.; BENITO, J. M. T. 2022. Avaliação do desenho e funcionamento dos pivôs centrais instalados no Uruguai. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, 5(1), 279-294.

OTERO, A.; GARCÍA, C. 2024. **Simposio sobre riego: Sensoramiento remoto y manejo eficiente del agua en los sistemas productivos agrícolas**. 6 y 7 de marzo de 2024. INIA La Estanzuela. Colonia, Uruguay.

R CORE TEAM. 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. S.; FERERES, E.; RAES, D. 2012. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. **Estudio FAO: Riego y Drenaje**, 66. 510 p.

TAGHVAEIAN, S.; CHÁVEZ, J. L.; HANSEN, N. C. 2012. Infrared thermometry to estimate crop water stress index and water use of irrigated maize in Northeastern Colorado. **Remote Sensing**, 4(11), 3619-3637.

TAGHVAEIAN, S.; COMAS, L. H.; DEJONGE, K. C.; TROUT, T. J. 2014. Conventional and simplified canopy temperature indices predict water stress in sunflower. **Agricultural Water Management**, 144, 69–80.

TORO, G.; FLEXAS, J.; ESCALONA, J. M. 2019. Contrasting leaf porometer and infra-red gas analyser methodologies: An old paradigm about the stomatal conductance measurement. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, 31, 483–492. <https://doi.org/10.1007/s40626-019-00161-x>

ZHANG, L.; ZHANG, H.; ZHU, Q.; NIU, Y. 2023. Further investigating the performance of crop water stress index for maize from baseline fluctuation, effects of environmental factors, and variation of critical value. **Agricultural Water Management**, 285, 108349.

HENRY, C.; et al. 2019. The role of stomatal conductance in regulating plant water status under drought. **Plant Physiology**, 180(2), 1106-1120.