

# METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN DEL ESTRÉS HÍDRICO A ESCALA DE PARCELA MEDIANTE BALANCE HÍDRICO FAO-56



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

## 1. Resumen

Se desarrolla y valida una metodología para la detección automatizada del estrés hídrico a escala de parcela mediante la integración del balance hídrico FAO-56 y datos de teledetección satelital. La metodología combina información meteorológica, propiedades hidráulicas del suelo y series temporales de vegetación para estimar la fenología del cultivo, el coeficiente de cultivo y la evolución diaria del coeficiente de estrés hídrico ( $K_s$ ). Su aplicación inicial se realiza sobre cultivos de secano en la provincia de Lérida durante la campaña 2020-2021, utilizando trigo y cebada como casos de estudio. La consistencia del modelo se evalúa mediante su relación con índices espectrales y térmicos derivados de sensores satelitales, observándose respuestas coherentes en condiciones de déficit hídrico. Posteriormente, la metodología se extiende a cultivos de regadío mediante la incorporación del término de irrigación en el balance hídrico, permitiendo estimar necesidades hídricas y generar calendarios de riego. El enfoque desarrollado constituye una base reproducible para la monitorización del estado hídrico y el apoyo a la toma de decisiones en agricultura [1].

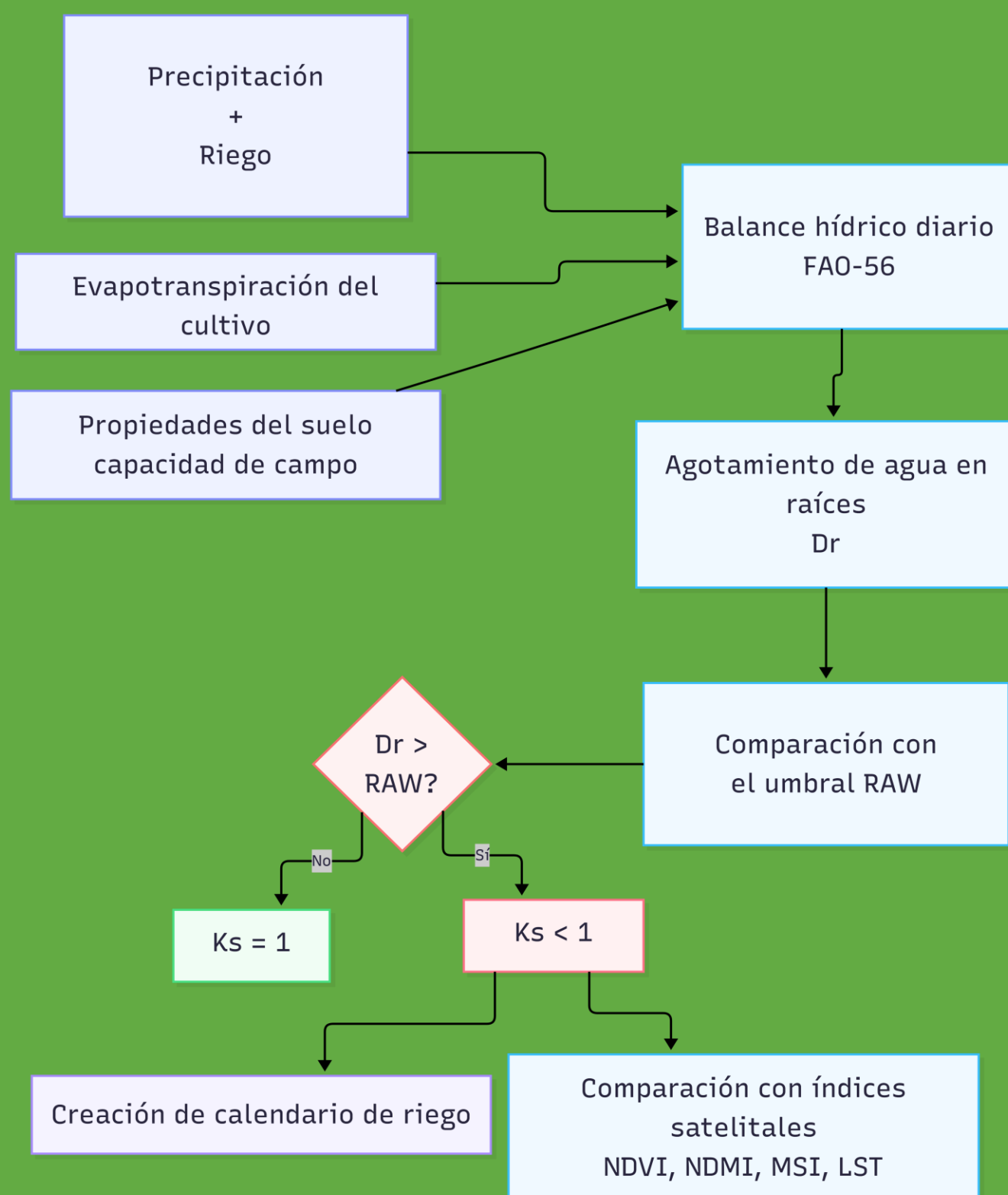
## 2. Introducción

A partir de información meteorológica, propiedades hidráulicas del suelo, parámetros del cultivo y datos fenológicos, se estima la evolución diaria del agotamiento de agua en la zona radicular y se calculan las necesidades hídricas del cultivo a lo largo de la campaña agrícola.

La aplicación principal se realiza sobre parcelas de trigo y cebada de secano en la provincia de Lleida durante la campaña 2020-2021. A partir de los resultados obtenidos se analiza la relación entre el estado hídrico estimado por el balance hídrico y distintos indicadores espectrales y térmicos derivados de imágenes satelitales. Posteriormente, la metodología se extiende a cultivos de regadío mediante la incorporación del término de irrigación, permitiendo estimar necesidades hídricas y generar calendarios de riego a escala de parcela [2, 3].

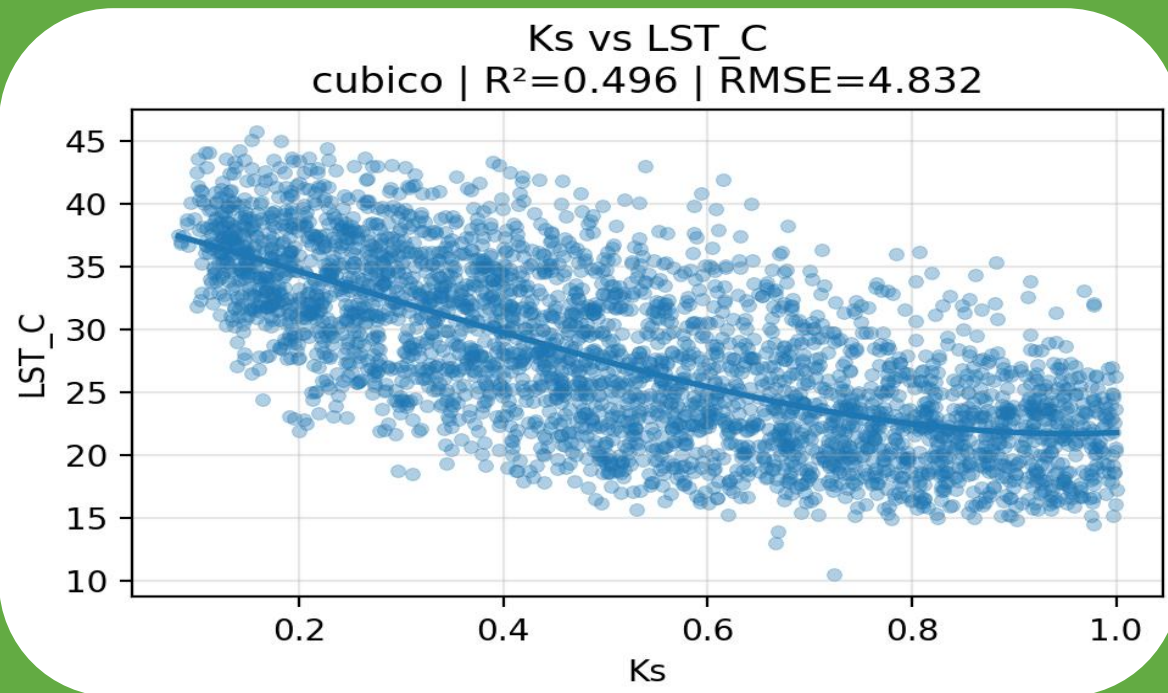
## 3. Metodología

Diagrama de flujo metodológico desarrollado en este trabajo.



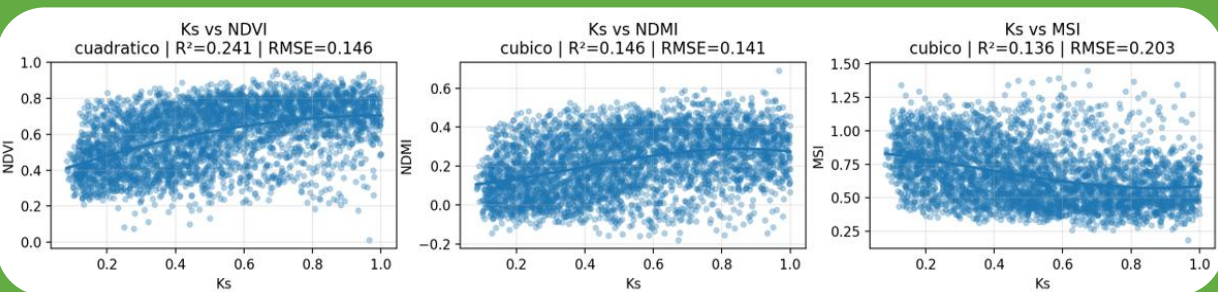
## 4. Resultados

Modelo ajustado entre  $K_s$  y LST durante días con estrés hídrico en las parcelas de trigo.



Resumen de relaciones y mejores modelos ajustados entre  $K_s$  e índices espectrales de las parcelas de trigo

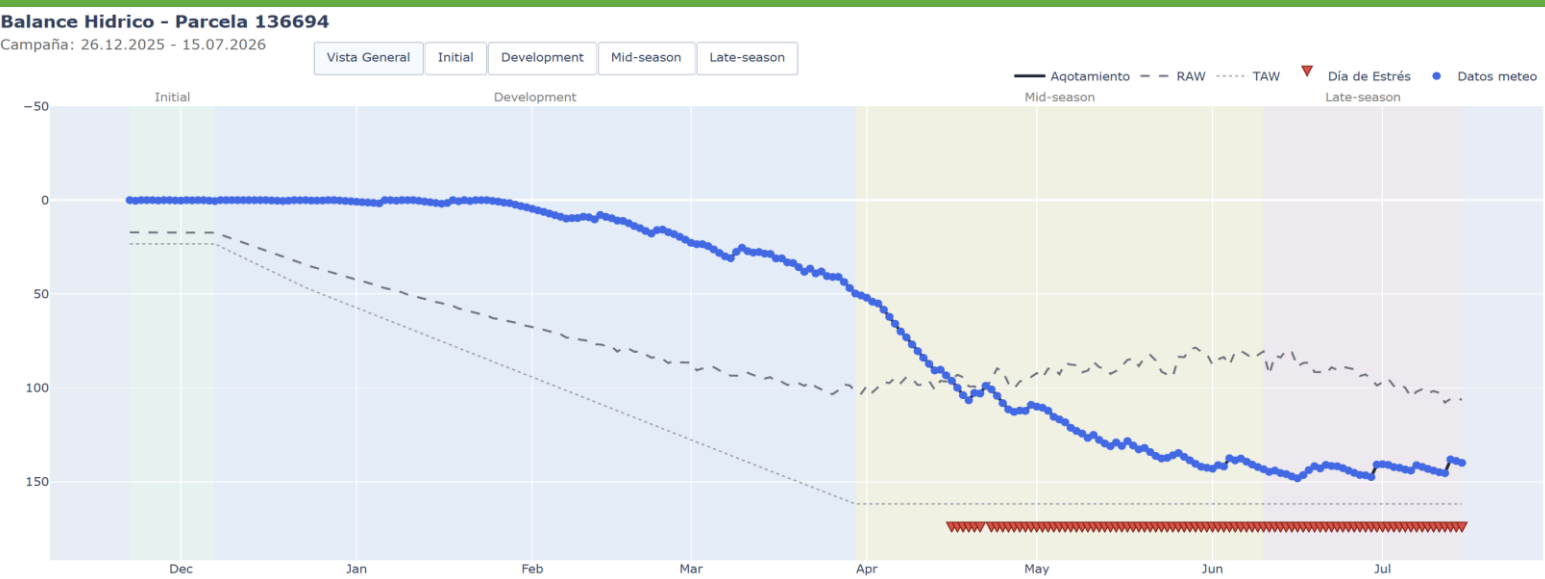
| Variable | N    | obs.       | Pearson | p-value | Spearman | p-value |
|----------|------|------------|---------|---------|----------|---------|
|          |      | con estrés | r       | (P-n)   | $\rho$   | (S-n)   |
| NDVI     | 3756 |            | 0.477   | <0.001  | 0.495    | <0.001  |
| NDMI     | 3756 |            | 0.370   | <0.001  | 0.381    | <0.001  |
| MSI      | 3756 |            | -0.358  | <0.001  | -0.379   | <0.001  |
| LST      | 3323 |            | -0.692  | <0.001  | -0.702   | <0.001  |



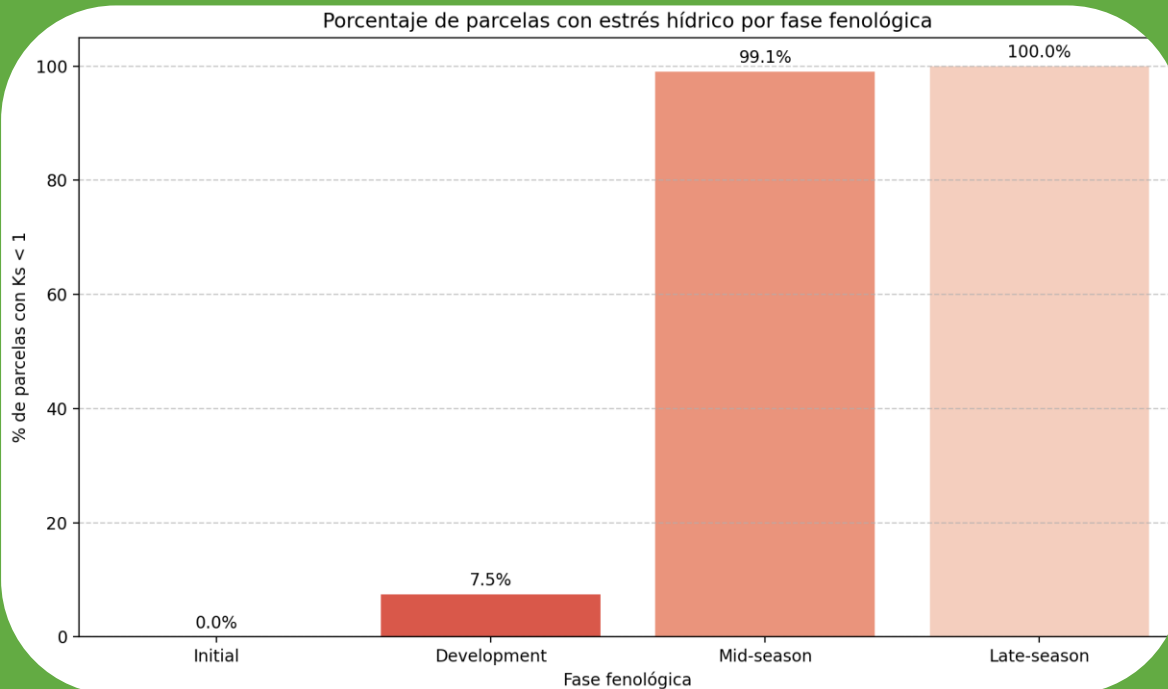
Evolución del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre los índices espectrales y el coeficiente de estrés hídrico ( $K_s$ ) para distintas ventanas temporales de acumulación en las parcelas de trigo.

| Variable | $K_s$ diario | $K_s$ media 7 días | $K_s$ media 14 días | $K_s$ media 21 días |
|----------|--------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| NDVI     | 0.241        | 0.340              | 0.450               | 0.516               |
| NDMI     | 0.146        | 0.220              | 0.325               | 0.403               |
| MSI      | 0.136        | 0.212              | 0.326               | 0.412               |

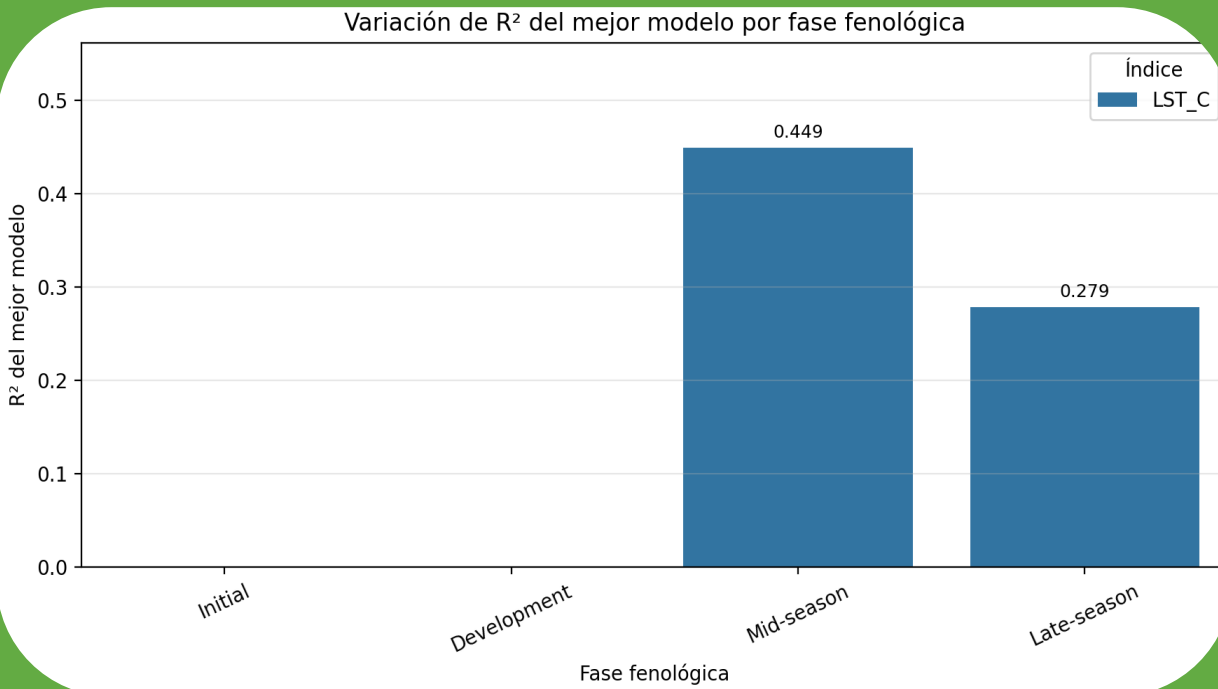
Balance hídrico para parcela 136694 sin aplicar riego.



Porcentaje de las parcelas de trigo con estrés hídrico por fases.



Variación de  $R^2$  del mejor modelo por fase fenológica en las parcelas de trigo.



Calendario de riego provisional para parcela 136694.



## Referencias

## 5. Conclusiones

[1] ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. y SMITH, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

[2] GAO, B.C. (1996). "NDWI: A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space" en Remote Sensing of Environment, 58(3), 257-266.

[3] KUSTAS, W. y ANDERSON, M. (2009). "Advances in thermal infrared remote sensing for land surface modeling" en Agricultural and Forest Meteorology, 149(12), 2071-2081.

[4] REED, B.C., BROWN, J.F., VANDERZEE, D., LOVELAND, T.R., MERCHANT, J.W. y OHLEN, D.O. (1994). "Measuring phenological variability from satellite imagery" en Journal of Vegetation Science, 5(5), 703-714.

El enfoque propuesto estima de forma específica para cada parcela la fenología del cultivo, la profundidad efectiva de las raíces, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y la evolución temporal de los coeficientes de cultivo y de estrés hídrico. La validación mediante teledetección confirmó la coherencia física de los resultados obtenidos por el balance hídrico FAO-56. El coeficiente de estrés hídrico  $K_s$  disminuye y el cultivo experimenta mayores limitaciones de agua, los valores de NDVI y NDMI tienden a reducirse, reflejando una pérdida de vigor y contenido hídrico de la vegetación. Por el contrario, MSI y LST aumentan bajo condiciones de mayor estrés. Entre todos los indicadores analizados, LST presentó la mayor capacidad. Asimismo, se observó un incremento progresivo de la capacidad explicativa de los índices espectrales cuando el estado hídrico se analizó mediante periodos acumulados de estrés de 7, 14 y 21 días. La incorporación del término de irrigación dentro del balance hídrico permitió simular la evolución diaria de las reservas de agua en el suelo creando calendarios de riego para evitar situaciones de estrés [4].