



Con la contribución del instrumento financiero de la Comunidad Europea



Los índices de vegetación y su aplicación en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos y en el manejo del riego

Alberto Alfaro Echarri

INTIA

En el marco del Proyecto Life Aguas LIFE09 ENV / ES/ 0456 (Gestión sostenible del agua a nivel regional mediante Teledetección Aérea basada en Sistemas Aéreos no Tripulados (UAS)) y con la financiación del Programa Europeo Life+ y el Gobierno de Navarra, se plantea, entre otros casos de estudio, la evaluación de la utilización de imágenes de teledetección próxima, obtenidas mediante vuelos UAS para el ajuste de las dosis de riego de los cultivos, como vía de mejora en la precisión de las recomendaciones del actual Sistema de Asesoramiento al Regante (SAR) ofrecido por la empresa pública INTIA.

Para ello, en el marco de su colaboración con el proyecto Life Aguas, INTIA realiza en Navarra dos ensayos en cultivos de maíz en 2012 y 2013, respectivamente. El objetivo fundamental de estos es dar a conocer la aplicación de los datos procedentes de UAS en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos y en el manejo del riego. En este artículo se trata de dar a conocer las posibilidades que ofrece esta tecnología en la utilización del riego.

INNOVACIÓN

# Teledetección basada en Sistemas Aéreos no Tripulados



## INTRODUCCIÓN

El primer ensayo lo lleva a cabo INTIA en 2012 en un cultivo de maíz en la Cooperativa San Isidro de Larraga, donde se realizan diferentes tratamientos de riego y se procede a su evaluación con teledetección. El comienzo de los vuelos es a mediados de junio y se tienen que terminar anticipadamente en julio debido a un accidente del UAS antes de lo previsto.

El segundo ensayo es también en maíz en 2013 en Montes de Cierzo, en Tudela, con el mismo objetivo y planteamiento y donde se ha podido llevar a cabo los vuelos planificados.

Los índices seleccionados son NVDI y SAVI y para el seguimiento de los ensayos se instalan grupos de sensores de humedad de suelo.

Las metodologías de los coeficientes de cultivos ( $K_c$ ) son ampliamente utilizadas para estimar evapotranspiración actual ( $E_{Tc}$ ) en la programación del riego, y representan una buena aproximación para determinar el consumo de agua de los cultivos. Por estos motivos los sistemas de asesoramiento de riegos utilizan la metodología para proporcionar las recomendaciones de riego a nivel de campo.

Los índices de vegetación se han propuesto como una forma indirecta de medir variables biofísicas de la vegetación con base en información espectral obtenida con sensores remotos.

La teledetección proporciona la estimación del coeficiente de cultivo a través de las imágenes de satélite o de sensores montados en sistemas Aéreos no tripulados (UAS) ya que diversos trabajos han mostrado la posibilidad de estimar el coeficiente del cultivo ( $K_c$ ) a partir del índice de vegetación normalizado (NDVI).



UAS utilizado en la campaña 2012 en el proyecto LIFE AGUAS

Generalmente se ha propuesto una relación lineal entre el NDVI y el  $K_c$  del tipo:

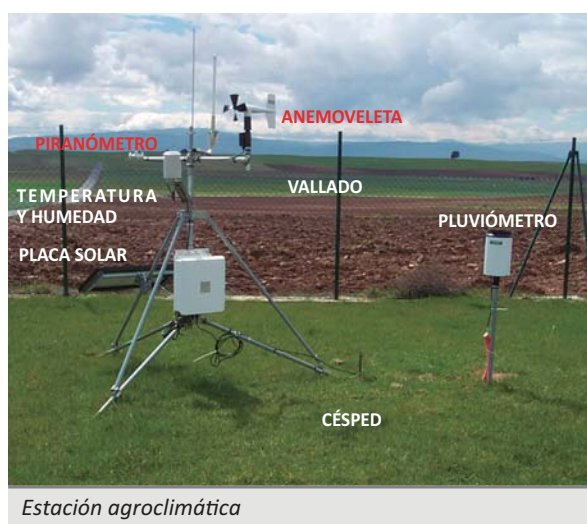
$$K_c = e + f \text{NDVI}$$

## ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DEL CULTIVO. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO

La evapotranspiración de un cultivo se calcula usualmente mediante el procedimiento recomendado por FAO consistente en el producto del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) por la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ),  $K_c \times E_{To}$ . Donde:

$E_{Tc}$  = Evapotranspiración del cultivo (mm d-1)  
 $K_c$  = Coeficiente del cultivo (adimensional)  
 $E_{To}$  = Evapotranspiración de referencia (mm d-1)

La  $E_{To}$  se puede calcular utilizando datos meteorológicos. El método de FAO Penman-Monteith requiere datos de radiación, temperatura del aire, humedad atmosférica y velocidad del viento. A tal efecto se utilizan las estaciones agroclimáticas dotadas de los sensores necesarios.

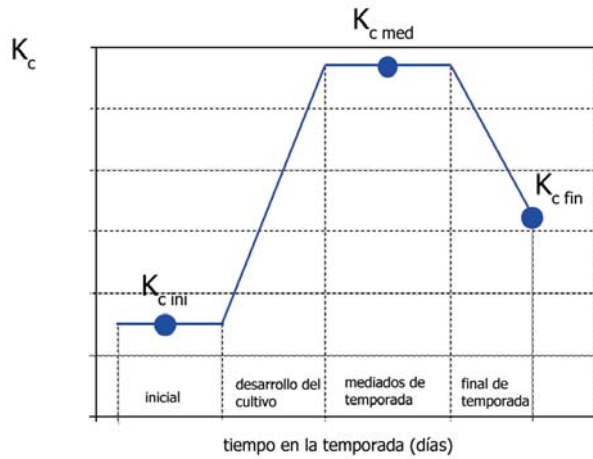


Estación agroclimática

El coeficiente del cultivo es básicamente el cociente entre la evapotranspiración del cultivo  $E_{Tc}$  y la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $E_{To}$ , representando el efecto integrado de las características principales que diferencian a un cultivo en particular del cultivo del pasto de referencia.

El coeficiente del cultivo que se utiliza en los cálculos se encuentra tabulado en función del estado de desarrollo del cultivo.

Gráfico 1. Curva de coeficiente del cultivo



## ÍNDICE DE VEGETACIÓN

Los índices de vegetación (IV) se han propuesto como una forma indirecta de medir variables biofísicas de la vegetación con base en información espectral obtenida con sensores remotos. Los IV basados en el espacio espectral R-IRC (rojo-infrarrojo cercano) tratan de calcular el estado de crecimiento de un cultivo.

El índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es uno de los índices más usados como medida de la cantidad y vigor de la vegetación presente sobre la superficie del suelo y como indicador de la dinámica de cambio en la cobertura vegetal.

El NDVI permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial así como la evolución de su estado a lo largo del tiempo.

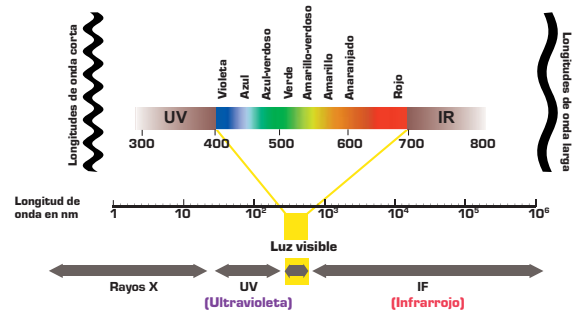
La vegetación verde con alta demanda transpirativa absorbe la mayor parte de la energía electromagnética en el rojo que le llega y refleja una gran parte de la luz en el infrarrojo cercano.

El índice NDVI contrasta la gran diferencia que existe entre la banda roja y la banda del infrarrojo cercano y se expresa como un valor numérico mediante la siguiente combinación algebraica:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

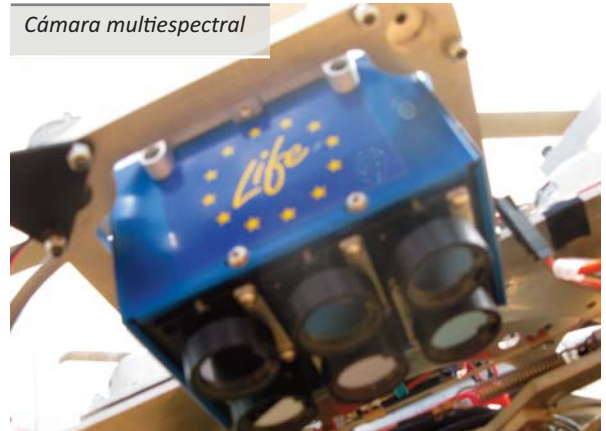
donde NIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano (0,75-1,5  $\mu$ m) y R es la reflectividad en el Rojo (0,6-0,7  $\mu$ m).

Gráfico 2. Longitudes de onda de la luz



En general, valores de NDVI oscilan en un rango de -1.0 a 1.0, donde los valores negativos se asocian a nubes y agua, los valores positivos cercanos a cero indican suelo desnudo, valores que oscilan entre 0.1 y 0.5 indican vegetación escasa y los valores en el rango 0.6-0.7 o superiores indican vegetación muy verde y densa.

Cámara multispectral



Diversos trabajos han mostrado la posibilidad de estimar el coeficiente del cultivo (Kc) a partir del índice de vegetación normalizado (NDVI).

Generalmente se ha propuesto una relación lineal entre el NDVI y el Kc del tipo:

$$Kc = e + fNDVI$$

En los cálculos del proyecto LIFE AGUAS se utilizó la relación:

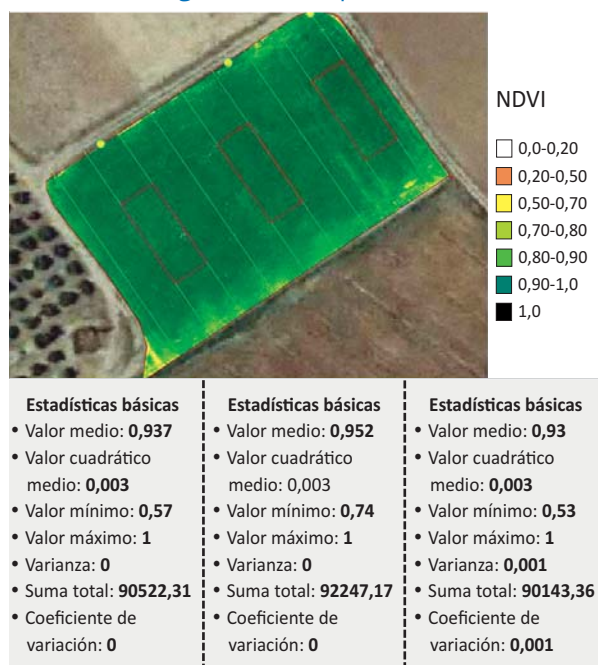
$$Kc = 1,25 * DVI + 0,2$$

Esta relación se propuso en el artículo "Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite." A. Cuesta et al. ITEA (2005).

## IMÁGENES OBTENIDAS Y KC ESTIMADO EN FUNCIÓN DEL NDVI

A modo de ejemplo se puede observar el Gráfico 3 que corresponde a la imagen de un cultivo de maíz del 30/7/2013 en la cual se han seleccionado tres áreas a efectos estadísticos que aparecen marcadas en rojo para el cálculo del NDVI.

Gráfico 3. Imagen obtenida por sensores remotos



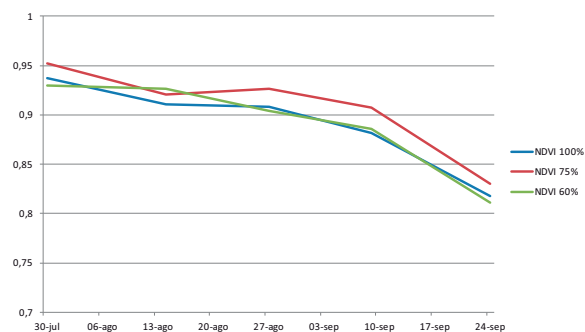
A lo largo de la campaña se realizaron varios vuelos cuyos resultados se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados de los vuelos

Fecha	NDVI Sector 1	NDVI Sector 2	NDVI Sector 3
30 julio	0,937	0,952	0,930
14 agosto	0,911	0,921	0,926
27 agosto	0,908	0,926	0,904
9 septiembre	0,882	0,907	0,886
24 septiembre	0,818	0,830	0,811

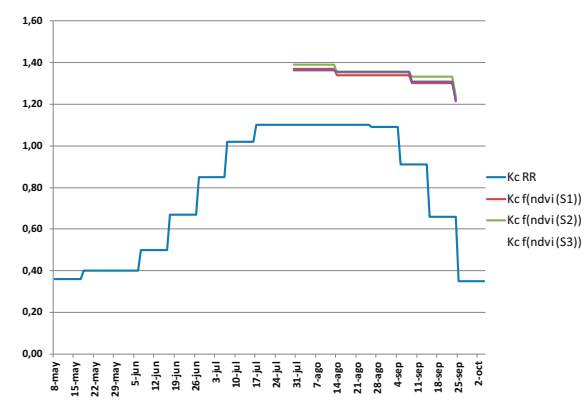
En el Gráfico 4 se puede observar que el índice varía a medida que el cultivo pasa de la etapa de desarrollo a la etapa de finales.

Gráfico 4. Evolución del NDVI



En el Gráfico 5 comparamos los Kc resultantes derivados del NDVI con los Kc tabulados que se utilizan habitualmente en el cálculo de recomendaciones de riego (Kc RR).

Gráfico 5. Comparativa KC f(NDVI) Y KC TABULADO (RR)



Se observa que el Kc estimado en función del NDVI es superior al tabulado para las recomendaciones de riego lo cual indica que el algoritmo de cálculo debería ser revisado y ajustado a las condiciones locales en las que se pretenda utilizar.

## APLICACIÓN DEL NDVI EN EL MANEJO DEL RIEGO Y LIMITACIONES DE USO

La utilización de imágenes NDVI permite analizar espacialmente la distribución de valores del Kc dentro de la parcela para describir la homogeneidad espacial del cultivo y detectar así anomalías en el crecimiento, lo que hace posible el análisis intraparcelar, acercándonos al concepto de agricultura de precisión.

### Determinación de defectos en la instalación de riego

En la siguiente imagen obtenida en 2012 en una finca de riego por aspersión se puede apreciar que el índice NDVI marca

perfectamente las zonas en las que el cultivo está mucho peor que en el resto (zonas marcadas en rojo) que a su vez coinciden con las zonas en las que faltan aspersores y por tanto reciben menor cantidad de agua.

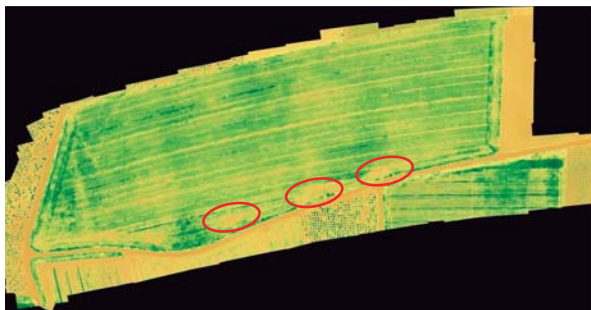
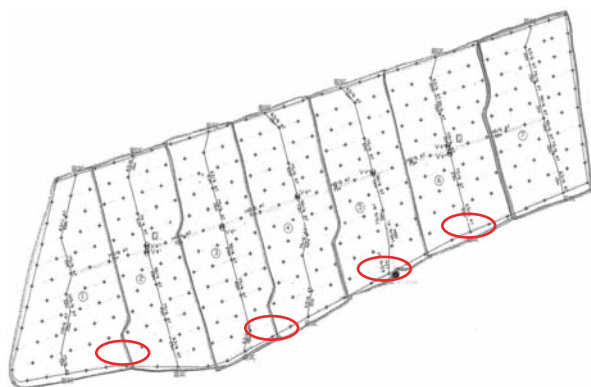


Imagen NDVI en la que se observan zonas concretas con el cultivo deficiente



Plano de la instalación de riego en la que se comprueba que las zonas con bajo valor NDVI (círculos rojos) corresponden a zonas mal regadas por falta de aspersores

### Detección de falta de uniformidad en el cultivo

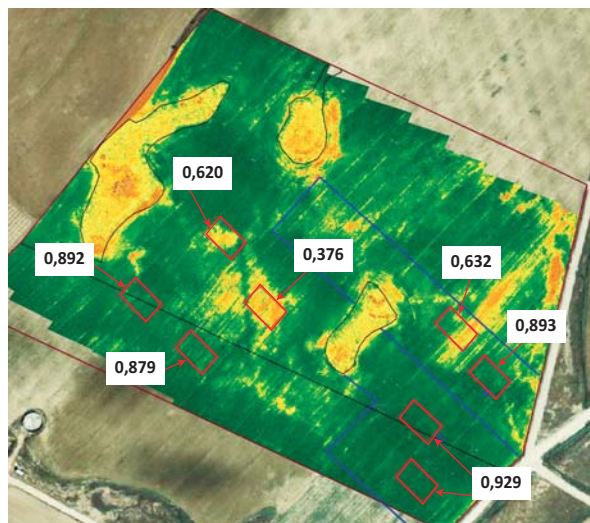
Podemos encontrarnos con parcelas en las que el cultivo esté muy heterogéneo y el índice NDVI nos mostraría perfectamente un mapa del estado del cultivo como puede apreciarse en la siguiente imagen del 31/7/2013 en una parcela de Artajona.



Cultivo de maíz en una parcela de Artajona (19-7-2013)

Y en la siguiente imagen se han calculado los promedios de NDVI en cada zona marcada en rojo. En la misma se observan zonas en las que el cultivo de maíz cubre la totalidad de la superficie y los promedios del índice NDVI están en el entorno de 0,9 y existen otras zonas en las que el cultivo muestra problemas de crecimiento en las cuales los promedios están entre 0,3 y 0,7.

En este caso los problemas del mal estado del cultivo en ciertas zonas son debido a problemas de exceso de agua por escorrentías y mal drenaje en unos casos y compactación del suelo en otros.



Fotografía de una de las zonas con bajo valor NDVI debido a falta de aspersores





Aspecto del cultivo por un mal drenaje



Problemas de cultivo compactación terreno



## EN RESUMEN

Esta herramienta se muestra sumamente útil para detectar con gran detalle y en tiempo real, cualquier anomalía en el desarrollo vegetativo del cultivo.

La heterogeneidad de los datos de una parcela hace que resulte difícil el análisis y la definición de una estrategia concreta respecto al riego

El índice por sí solo no es suficiente para tomar decisiones respecto al riego ya que las anomalías deben ser interpretadas bajo un prisma agronómico multidisciplinar, ya que un mismo valor anormalmente bajo del NDVI puede deberse a déficit de agua de riego por fallos del sistema, a encharcamiento del suelo, o a excesiva compactación del mismo.

En otros casos estos problemas de vigor podrían deberse a factores ajenos al riego como pueden ser problemas sanitarios o de fertilización. Por tanto las acciones a realizar una vez conocido el dato NDVI se deberían decidir contrastando otros datos disponibles de la finca o con visitas a campo.

A destacar la gran ventaja que supone detectar los posibles problemas casi en el mismo momento en que ocurren, de forma que probablemente estemos todavía a tiempo de actuar para corregirlos.

Como la información está georreferenciada, es posible determinar las coordenadas de un sitio y dirigirse a él para identificar las causas de la diferencia de vigor, y poder así decidir las normas de manejo a aplicar.

# APLIQUE EL NITROGENO NECESARIO

con los Sensores de Cultivo OptRx®

- Aplique el nitrógeno necesario en función del estado del cultivo
- Incremente el rendimiento en aquellas zonas donde el cultivo requiera más nitrógeno
- Ahorre nitrógeno donde el cultivo no lo necesite



Contacte con el distribuidor Ag Leader de su zona!

[www.agleader.com](http://www.agleader.com)



[www.aams-iberica.com](http://www.aams-iberica.com)

**Ag Leader**  
Technology

**aams**  
ibérica  
Advanced Agricultural Measurement Systems

AAMS Ibérica, S.L.  
Madrid

TL: 91 862 8162

Email: [info@aams-iberica.com](mailto:info@aams-iberica.com)