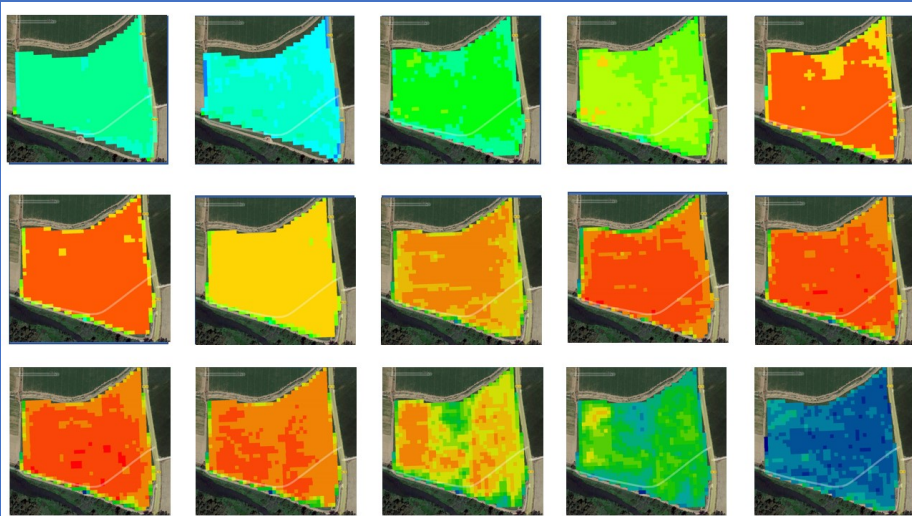


Memoria de
campo.

Maíz_2021

ENSAYO DE ASESORAMIENTO EN RIEGO POR TELEDETECCIÓN



Julián Tapia Benito
Juan Pozo Ruiz
Manuel Díaz Sajti
C.G.R. Servicio de Regadíos
Junta de Extremadura

ENSAYO DE ASESORAMIENTO EN RIEGO POR TELEDETECCIÓN EN MAÍZ.

INTRODUCCIÓN

Durante la campaña de 2021 se ha realizado una prueba para evaluar la posibilidad de realizar asesoramiento en riego automatizado, empleando información meteorológica y satelital. Se ha comprobado que la incorporación de la teledetección a este ámbito supone una mejora de precisión en los cálculos, a la vez que permite un intercambio de información con los usuarios más avanzado e intuitivo.

Se han elegido 4 agricultores con experiencia contrastada en el riego de cultivos, interesados en colaborar en la evaluación de una metodología de cálculo y formato de intercambio de información.

La zona de trabajo elegida se ha centrado en las inmediaciones de Santa Amalia y Torrefresneda. Los cultivos sobre los que se ha realizado el trabajo son tomate y maíz. Este trabajo está referido a la tarea desarrollada en una de las parcelas de maíz.

CASO 1. MAÍZ EN MEDELLÍN

METODOLOGÍA.

Se elige como idónea una parcela de maíz de 8.7 ha en el término municipal de Medellín (6-80-0-0-9-125-2), cultivada por Julián Curiel, que se muestra interesado en la colaboración.

El cultivo se siembra el 6 de abril con líneas de cultivo en dirección norte-sur. La variedad cultivada es 6980, un ciclo 700 de la casa Dekalb.

La cinta portagoteros se instala a 1.5 metros de distancia (surco sí, surco no), con una separación entre emisores de 0.30 metros y un caudal unitario de 1.15 l/h a la presión de trabajo de 0.7 bar (25.000 l/ha y hora)

El suelo es francoarenoso, con buena profundidad y permeabilidad. El nivel freático se encuentra a 1.5 m de profundidad.

El abonado de fondo se compone de 450 kg de un complejo 6-8-16. La cobertera se completa entre la semana 4 y 13 del ciclo de cultivo hasta alcanzar un total de 335 unidades de N, 60 ud de fósforo y 144 de potasio. Debido a precipitaciones copiosas durante los primeros estadios del cultivo la zona baja de la parcela se inunda temporalmente.

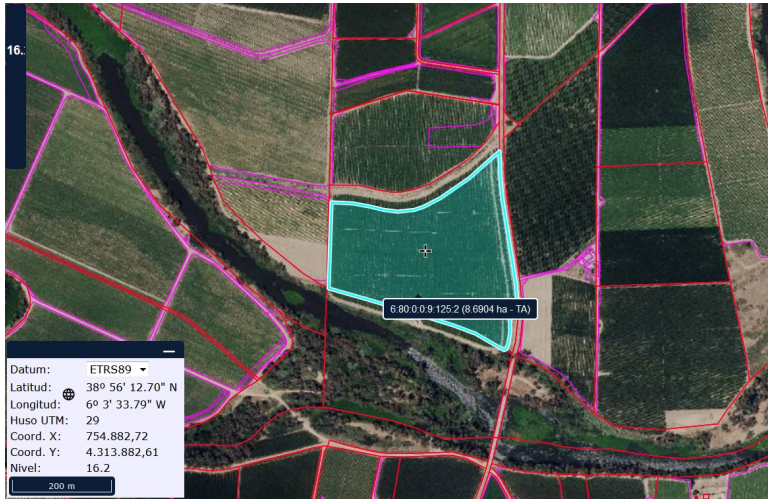


Figura 1. Localización del recinto de estudio.

El cálculo de las necesidades hídricas se establece siguiendo la mecánica metodológica de los manuales 56 de la FAO y ASCE, estableciendo una ET_0 , K_c , ETC, necesidades netas y necesidades brutas, transformadas estas últimas en tiempo de riego.

Para la determinación del coeficiente de cultivo, K_c , se ha procedido al cálculo de la componente transpirativa, K_{cb} , y de la componente evaporativa, K_e , por separado. K_{cb} se ha derivado del índice de vegetación NDVI a partir de la secuencia de imágenes de Sentinel2 (escena T30STJ), a través de una función lineal:

$$K_{cb_{IV}} = K_{cb_{max}} \left(\frac{IV - IV_{min}}{IV_{max} - IV_{min}} \right)$$

donde $K_{cb_{max}}$ representa el valor máximo propuesto en el manual 56 de la FAO (1.15), IV_{min} e IV_{max} se corresponden con el valor del índice del suelo desnudo y el de una cobertura vegetativa total; en este trabajo estos valores se han asimilado a 0.17 y 0.95, respectivamente.

El valor de coeficiente de cultivo basal obtenido se ha corregido teniendo en cuenta la altura del cultivo, velocidad del viento y humedad relativa.

$$K_{cb_{corr_{IV}}} = K_{cb_{IV}} + \left[(0.04(vv - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)) \right] \left(\frac{h}{3} \right)^{0.3}$$

El coeficiente evaporativo (K_e) se ha modelizado a partir de la función de Wright (1981), asumiendo un porcentaje de suelo mojado del 40%. La función hubo de ser modificada a mitad de campaña.

$$K_e = (K_1 - K_{cb}) * \left(1 - \left(\frac{t}{t_d}\right)^{0.5}\right) * f_w$$

$$K_1 = \max(K_{cb} + 0.05; 1.2 + [(0.04 * (v_v - 2) - 0.004 * (HR_{min} - 45)]) * \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3})$$

donde

t	días transcurridos desde el riego
td	días de secado de la superficie del suelo
fw	fracción de suelo mojada
vv	velocidad media del viento
HRmin	humedad relativa mínima diaria
h	altura del cultivo

El coeficiente de cultivo global es el sumatorio de las componentes transpirativa y evaporativa:

$$Kc_{IV} = Kcb_{corrIV} + Ke$$

La meteorología se ha obtenido de la estación más cercana a la parcela, perteneciente a REDAREX, situada en el término municipal de Santa Amalia. Las variables utilizadas son la temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y precipitación, de las que se derivaron la evapotranspiración de referencia por el método de Penman Monteith, ETo, y la precipitación efectiva, Peff (USDA).

La evapotranspiración del cultivo, ETC, se calculó como el producto de KcIV y ETo. Las necesidades netas se obtuvieron como diferencia de ETC y Peff. Al realizar el balance de agua en el suelo teniendo en cuenta la precipitación efectiva y no la precipitación directa, se ha obviado el cálculo de Ke para un suelo mojado al 100% en los días en que ha existido precipitación y posteriores.

Se ha calculado la integral térmica desde la fecha de siembra con el objeto de determinar el momento de plena floración y madurez fisiológica. Se ha elegido para ello el método de Toronto y uno simplificado (GGDT y GGDs):

$$GDD_T = 0.5 (1.85 (T_{max} - 10) - 0.04 * (T_{max} - 10)^2 + (T_{min} - 4.4))$$

$$GDD_s = \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) - T_{base}$$

Con $T_{base}=6\text{ }^{\circ}\text{C}$

La descarga de los goteros se evaluó por parte del agricultor para la presión de trabajo. Una vez iniciado el riego se ha instalado un contador en una línea portagoteros para evaluar el agua aportada y compararlo con el cálculo de necesidades hídricas del cultivo. El contador se midió en períodos de 3-4 días hasta mitad del ciclo y posteriormente se redujo a una semanal. La eficiencia del sistema de riego y práctica de éste se ha estimado en un 85% para el cálculo de necesidades brutas o de riego.

El agua de riego procede de un pozo, desde el que se realiza la impulsión para riego, filtrado y fertirrigación. Al inicio de la campaña de riego se realiza la medición de conductividad, pH y nitratos en el pozo de la parcela (pH=6.57, 0.619 microS/cm, 0.33 psu), No se detectan nitratos ni nitritos.

El formato de intercambio de datos con el agricultor por parte del Servicio de Regadíos ha sido la transferencia de un archivo kml visualizable en la app Google Earth. El archivo muestra una categorización del índice NDVI en 18 categorías, lo que permite comprobar la variabilidad del desarrollo del cultivo de un vistazo. Clicando sobre los diferentes puntos (píxeles) de la parcela se pueden consultar las variables ETC (evapotranspiración del cultivo), Kc (coeficiente de cultivo) y tiempo de riego en fracción de hora. La información se ha suministrado cada cinco días, siempre que ha existido imagen satelital libre de nubes, y las variables asociadas al riego han comprendido el promedio de los tres días anteriores.

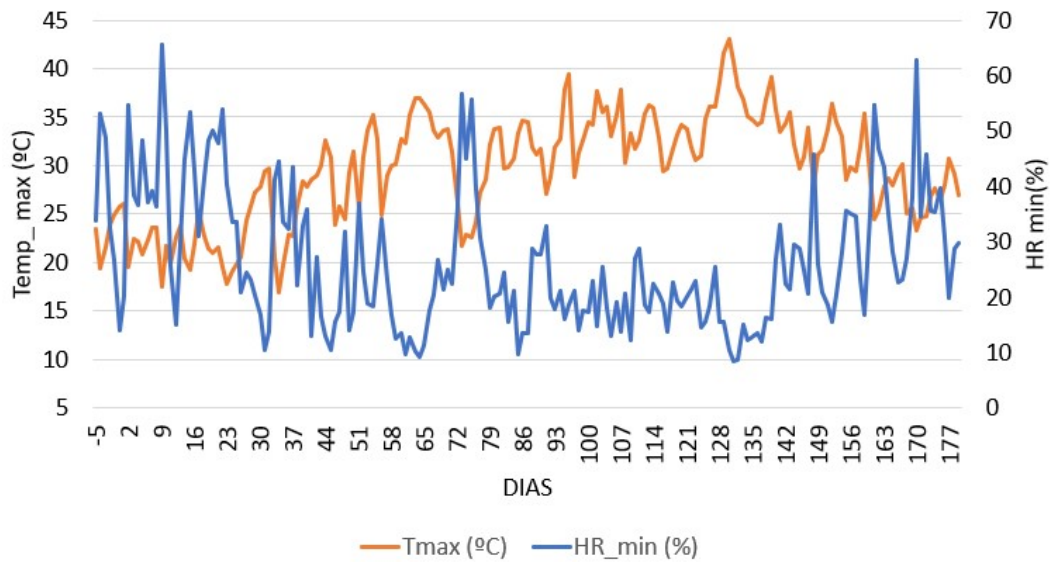
El intercambio de información con el agricultor se ha establecido principalmente vía telefónica o por whatsapp, discutiendo la bondad del ajuste de los cálculos a la realidad-terreno. Las aportaciones de riego se realizaron por el agricultor en base a su experiencia.

El cálculo de necesidades hídricas integrado para todo el ciclo de cultivo en rango diario se ha calculado paralelamente con la aplicación REDAREX_plus siguiendo dos métodos, el método personalizado, en el que el coeficiente de cultivo se incorpora también a partir de la información satelital y uno modelizado en el que se predice la evolución vegetativa del cultivo desde el inicio.

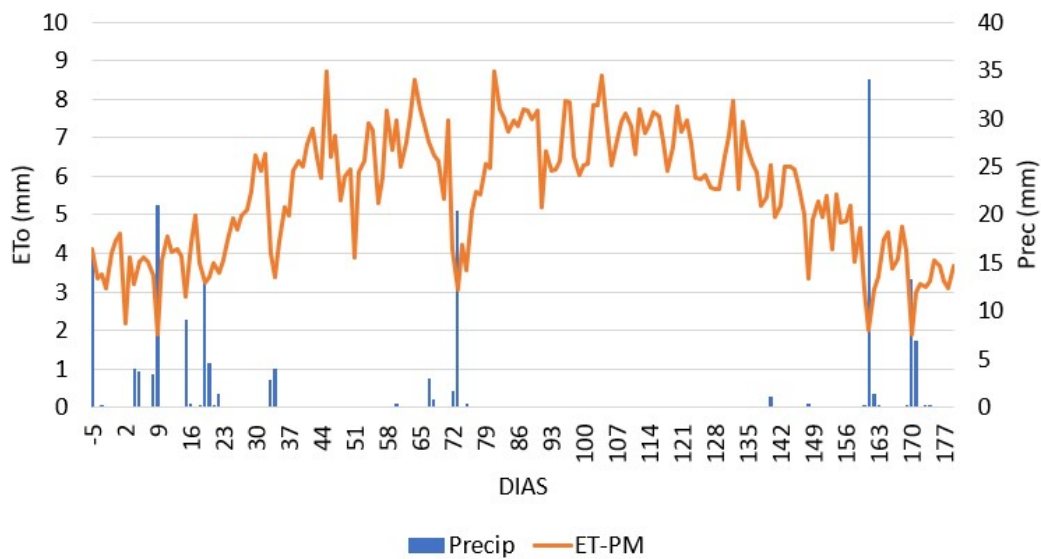
RESULTADOS

En términos globales la campaña de 2021 es meteorológicamente similar a la campaña promedio del decenio. La evapotranspiración de referencia entre el 1 abril y 1 de octubre es ligeramente superior a la media del decenio entre las fechas anteriores, 1000 mm frente a 977 mm, respectivamente (Gráficas 1 y 2)

La precipitación en este período asciende a 95.6 mm, principalmente en primavera, con dos eventos copiosos hacia mediados de junio y de septiembre. La precipitación efectiva durante el período se estima que asciende a 43 mm. (Gráfica 2). Destaca un evento de temperaturas máximas extremas centrada entre el 12 y 15 de agosto.



Gráfica 1. Evolución de temperatura máxima y humedad relativa mínima.



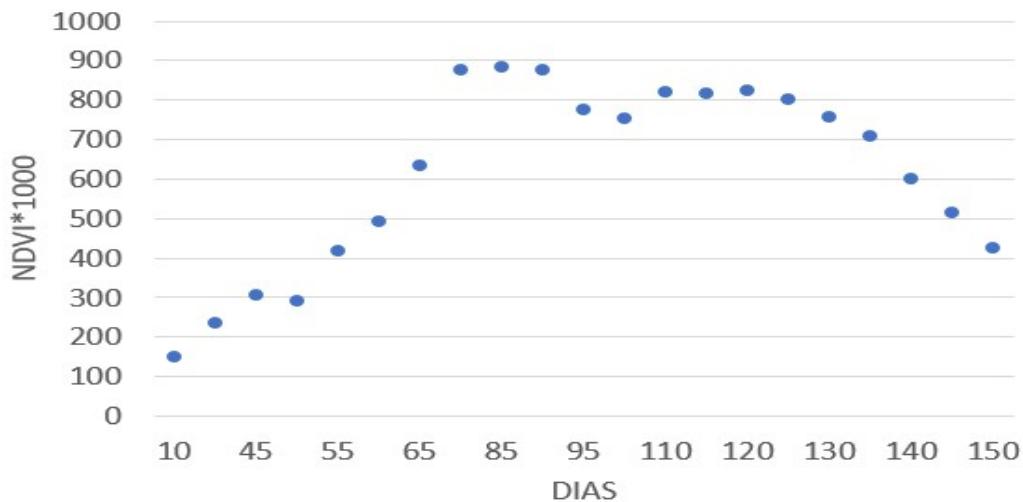
Gráfica 2. Evolución de ETo y precipitación.

La evolución del índice NDVI sigue la curva normal en un cultivo de maíz: un crecimiento rápido, seguido de una meseta extendida hasta madurez fisiológica y de un descenso paulatino hasta el fin del ciclo (gráfica 3).

Destaca una interrupción en la evolución del NDVI en plena fase de desarrollo, coincidente con un pase de cultivador, previo a la extensión de la tubería portagoteros (día 50 desde la siembra, aproximadamente). Es de reseñar también un descenso en plena meseta de la curva, entre el 10/07/2021 y 15/07/2021. No existe en esas fechas una reducción de radiación incidente por nubes que pueda ser la causa de alteraciones en la reflectividad de la superficie y se traslade al cálculo de índices de vegetación. El

evento coincide fisiológicamente con plena floración y con un cambio en el equilibrio de la fertirrigación. Se ha observado en otros cultivos de la zona aunque con menor intensidad, por lo que se considera que puede deberse a una combinación de causas. (Gráfica3).

Teniendo en cuenta el estado fisiológico del cultivo esta anomalía ha sido normalizada a efectos de cálculo de coeficientes de cultivo y necesidades hídricas.

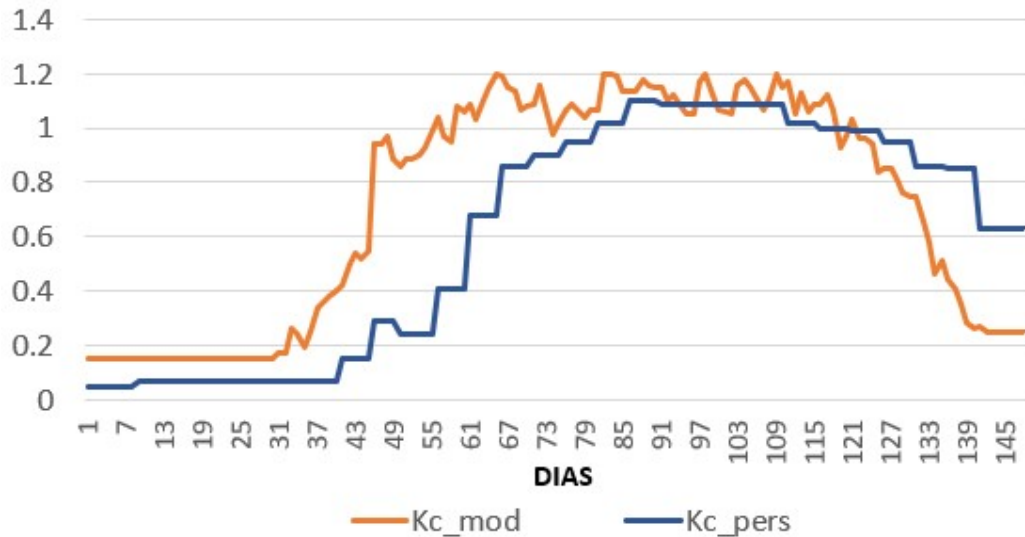


Gráfica 3: Evolución del índice NDVI a lo largo del ciclo de cultivo

La evolución del coeficiente de cultivo diario para una programación con Kc personalizada basado en la información satelital y una modelizada en la que el desarrollo del cultivo se predice, difieren notablemente. La modelización teórica asume una cobertura vegetativa total y una duración de fases prefijada que no siempre coincide con la realidad terreno, debido a la evolución de la meteorología, sobre todo en primavera, y a la estrategia de riego y de fertilización aplicadas.

Hay que notar que la evolución de Kc en el método modelizado se determina mediante interpolación y corrección atmosférica diarias, mientras en el método personalizado se calcula cada 5 días, cuando se dispone de información satelital, de ahí la observación de picos con oscilación diaria en el primer método de cálculo y el patrón en escalera del segundo. (Gráfica 4).

La modelización de la tasa evaporativa a partir de la función de Wright (1981) hubo de modificarse a partir de la fase de meseta al observar un comportamiento errático. Durante la fase inicial y de desarrollo del cultivo, cuando éste no cubre la superficie del suelo y la zona humedecida por el riego recibe radiación directa, el peso de la evaporación desde el suelo es elevado. Sin embargo, a partir de cobertura total es la tasa transpirativa la que cobra relevancia frente a la evaporación en un suelo sombreado, lo que tiene efecto hasta el final del ciclo del cultivo.



Gráfica 4: Evolución del coeficiente de cultivo, Kc, en programación modelizada y personalizada

Por tanto, en la función de Wright se sustituyó la variable Kcb por Kcb_max, asumiendo que una vez llegado al máximo vegetativo el sombreado directo del suelo y aumento del albedo, por una parte, y el incremento de la resistencia aerodinámica, por otra, reducen la energía directa disponible para que la evaporación del suelo sea elevada. Así, la función aplicada a partir de mediados de ciclo para el cálculo de la evaporación fue la siguiente:

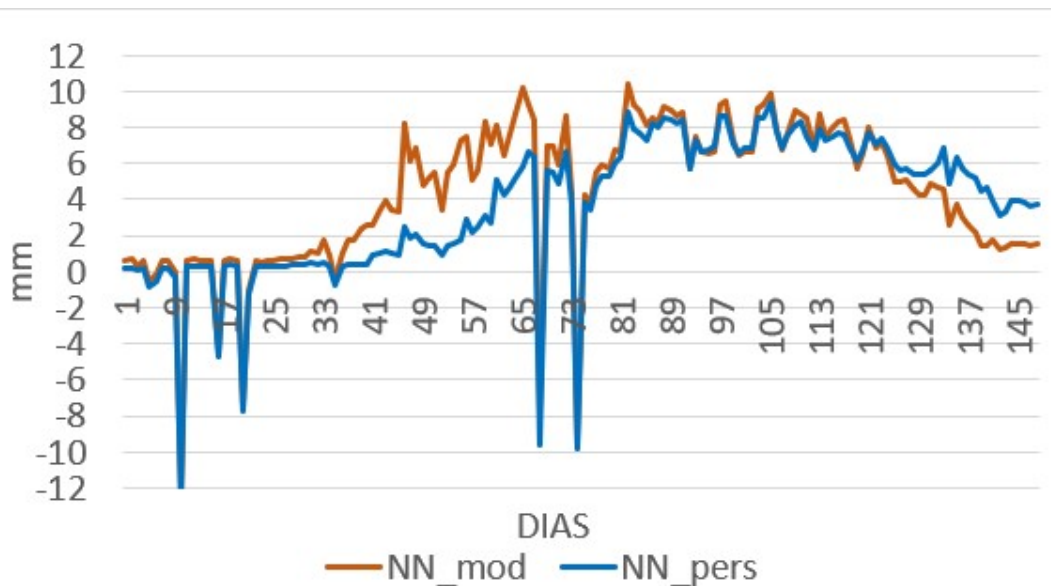
$$K_e = (K_1 - K_{cbmax}) \left(1 - \left(\frac{t}{td} \right)^{0.5} \right) f_w$$

No se ha representado en la gráfica 4 la incidencia de la precipitación sobre la componente evaporativa, Ke, ya que el balance de agua en el suelo se computa con la variable Peff y no precipitación directa. No obstante, el efecto sobre las necesidades hídricas del cultivo sí que está contemplado a través del balance de agua en el suelo, y se representa en gráficas posteriores.

Las necesidades netas del cultivo en ambos métodos, modelizado y personalizado asistido por teledetección, siguen la tendencia mostrada anteriormente en la evolución de los coeficientes de cultivo, a excepción de los momentos en que se produce precipitación. Las discrepancias nuevamente se observan en la fase de desarrollo y en la fase final (Gráfica 5)

Las discrepancias entre ambos métodos son lógicas y tienen su origen en que la modelización prevé un desarrollo del cultivo basado en patrones semirígidos mientras que el método personalizado está basado en la observación sobre el terreno.

Las necesidades netas obtenidas del método modelizado ascienden a 629 mm, mientras el personalizado las cifra en 539 mm.



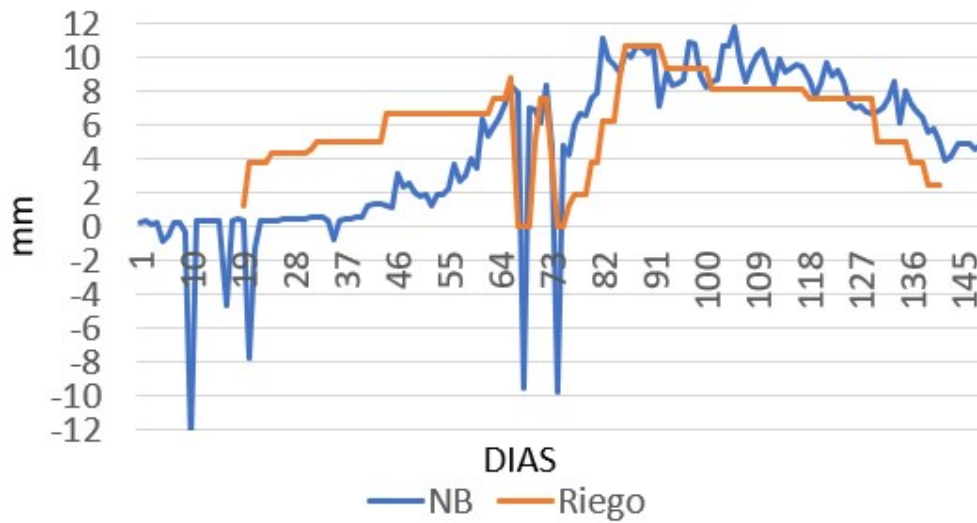
Gráfica 5. Evolución de necesidades hídricas netas (NN).

El paso de unas necesidades netas a unas necesidades brutas, o de riego, se realiza asumiendo que los sistemas de riego y la práctica de éste no consiguen eficiencias totales. En sistemas de riego por gravedad pueden estimarse en un 60%, mientras en sistemas de riego localizado pueden alcanzarse índices de eficiencia del 85% o superiores. Esto depende de múltiples factores como la textura del suelo, la pendiente del terreno y la instalación previa. En nuestro caso hemos previsto una eficiencia del 85%, por lo que en el caso modelizado las necesidades de riego sumarían 797 mm frente a los 686 mm cuando el método está asistido por teledetección.

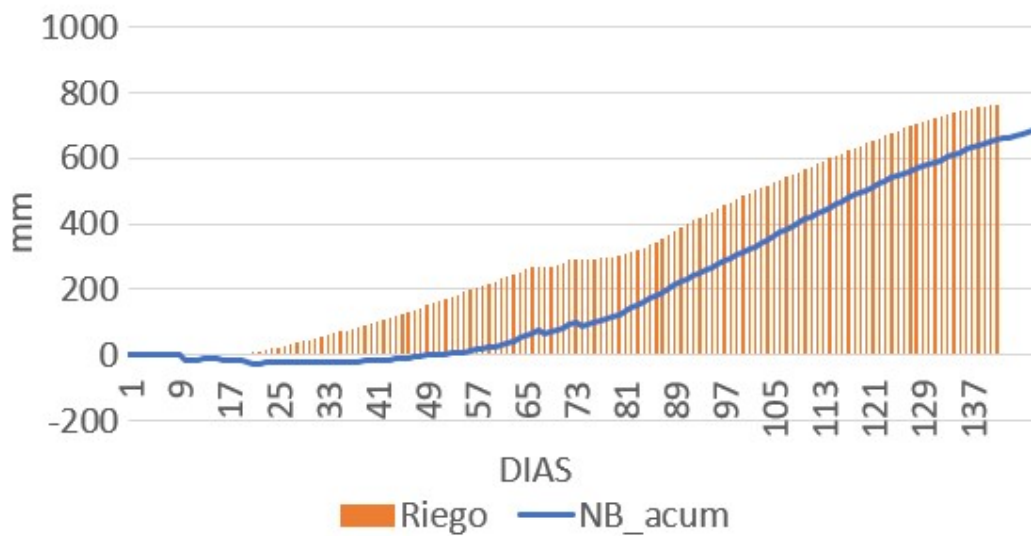
Las aportaciones reales sobre el cultivo llegan hasta los 7590 m³/ha muy superiores a las necesidades calculadas. La evolución de necesidades brutas y riego aportado a lo largo del ciclo revela cierta concordancia durante la fase media del cultivo, mientras en el período inicial y de desarrollo y en el final, se producen discrepancias notables (Gráfica 6).

El desfase entre las estimaciones de necesidades brutas y el riego aportado total tiene su origen en los momentos iniciales de la práctica del riego, donde se observan unos aportes muy superiores a las necesidades, que pueden tener como objeto la recarga del perfil o la necesidad de forzar el desarrollo del cultivo (Gráfica 7).

Por otra parte, en la fase final el equilibrio se invierte y las aportaciones son inferiores a las que se pueden derivar del estado vegetativo del cultivo. En este caso es acertada la estrategia por parte del agricultor de reducir riego cuando se intuye la madurez fisiológica del grano.



Gráfica 6. Necesidades brutas y riego aplicado



Gráfica 7. Necesidades de riego acumuladas y aportes reales.

La fecha floración se produjo entre el 1 y 5 de julio con un valor GDD_T y GDD_S de 1060 y 1080 respectivamente, mientras el estado de madurez se determinó el 26 de agosto, con valores de 1980 y 2130.



Figura 2. Cultivo en plena floración (05/07/2021)

El rendimiento del cultivo ha sido de 16.950 kg/ha.

El intercambio de información con Curiel se realizó a través de la aplicación whatsapp. El envío de las recomendaciones de riego se llevó a cabo cada 5 días siempre que hubo imagen satelital (Figuras 3 y 4), a través de un archivo kml categorizado en un rampa de color con NDVI creciente desde el azul al rojo.

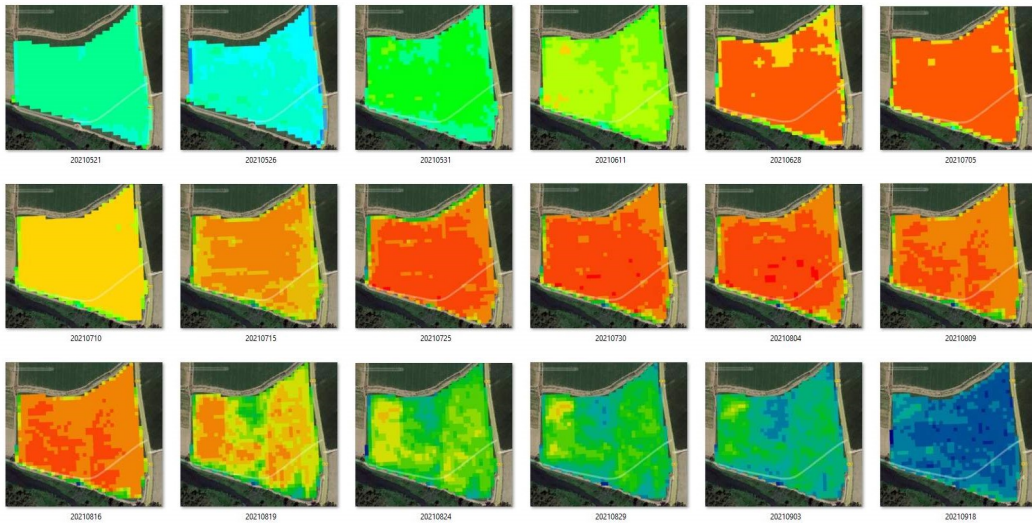


Figura 3. Imágenes categorizadas de NDVI durante el ciclo de cultivo.



Figura 4. Imagen del 16/08/2021 con valores de Kc, Etc y tiempo de riego.

La heterogeneidad de la masa vegetativa se ha evaluado a través del cociente de variación del índice NDVI entre el 25 de junio y 9 de agosto. Con un valor promedio de NDVI de 0.82, el cociente de variación ha sido del 2.2%.

CONCLUSIONES

El asesoramiento del riego utilizando información satelital y meteorológica es actualmente una práctica totalmente operativa si se cumplen ciertos requisitos. El aporte de información adicional sobre el terreno, como el tipo de suelo, sistema de riego, presiones de trabajo, fecha de siembra o estado fenológico es necesario para que éste sea efectivo y práctico para el agricultor.

Para una modelización acertada de la componente evaporativa, K_e , se requiere contar con información sobre al menos el porcentaje de suelo mojado con el riego, la altura del cultivo, fracción de cobertura, así como información meteorológica.

La determinación de las necesidades de riego en los momentos iniciales del cultivo depende del estado de humedad del suelo, aspecto que es complejo de evaluar mediante teledetección de forma operativa en tiempo real, pero que se debe tener en cuenta para asesorar de forma correcta.

La detección de la madurez fisiológica del grano es imprescindible para determinar reducciones de riego sin merma en el rendimiento. Esta madurez podría determinarse, más que a partir de la evolución de índices de vegetación, en base a la integral térmica del cultivo.

Algunas prácticas culturales, como un pase de cultivador o un cambio puntual en la fertirrigación pueden modificar los índices de vegetación. La interpretación literal de las imágenes satelitales puede llevar a errores de cálculo.

Es preciso un flujo continuo de información entre las recomendaciones de riego y los aportes reales para que el balance de agua sea correcto.

El paso de unas necesidades netas a necesidades brutas pasa por una estimación de la eficiencia del sistema y práctica de riego, que es complejo evaluar a priori.

La remisión de información a través del canal disponible, whatsapp, y de la aplicación Google Earth, a pesar de funcionar correctamente deben reorientarse. Se considera que en el primer caso el medio es algo invasivo y sería preferible que la consulta de información se realizase a demanda por parte del agricultor. El uso de Google Earth supuso la alternativa a la falta de disponibilidad de una app con visor SIG por parte de la Junta de Extremadura. Ambos aspectos deberían reconsiderarse.

Seguramente la rampa de color elegida, a pesar de que visualmente permite discriminar diferencias de vegetación, deba ser reemplazada por ser poco intuitiva.

Agradecimientos: A Julián Curiel por su estrecha colaboración y a Francisco Javier Nieto.

Julián Tapia Benito ITA
CGR. Servicio de Regadíos
Junta de Extremadura