

MIDIENDO LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE RIEGO POR ASPERSIÓN *mediante imágenes tomadas con dron*

Medir la calidad con la que aplicamos el agua de riego nos ayuda a saber si estamos haciendo un buen uso de los recursos, tanto del agua como de la energía e incluso de los fertilizantes si hacemos fertirriego. Para establecer la calidad del riego se evalúan varios indicadores, pero uno de los más utilizados es la uniformidad del riego, que se mide a través del coeficiente de uniformidad (CU).

N. ZAPATA¹, A. NEJI¹, E. MEDINA¹, P. PANIAGUA¹, B. LATORRE¹, A. SERRETA², E. PLAYÁN¹

¹Departamento de Suelo y Agua, grupo RAMA. Estación Experimental de Aula Dei

²Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, Grupo Geoforest. Escuela Politécnica Superior de Huesca

El CU se expresa en porcentaje y mide la homogeneidad con la que se reparte el agua. Así, un riego con una uniformidad del 100% indica que a todos los puntos del campo les llega la misma cantidad de agua. Este valor del 100% es teórico, ya que normalmente los valores de uniformidad son inferiores. Se ha establecido un umbral de 80% de coeficiente de uniformidad por debajo del cual el riego por aspersión es deficiente, valores entre 80-85% indican riegos con una uniformidad adecuada y valores superiores a 85% indican riegos muy uniformes.

La medida de la uniformidad del riego por aspersión

Las mediciones en campo de la uniformidad del riego se realizan utilizando pluviómetros (generalmente una malla de 5 x 5) distribuidos uniformemente dentro de un marco de aspersión (la zona comprendida

Este trabajo
explora utilizar
imágenes
tomadas con
dron para
caracterizar la
uniformidad
del riego por
aspersión en
cobertura total

entre cuatro aspersores). Evaluar un sector completo de cobertura total requeriría la instalación de un número muy elevado de pluviómetros (típica-

mente entre 750 y 1.500), lo que hace técnicamente inviable. Medir la uniformidad de un campo entero con hasta 12 sectores de riego sería aún más inalcanzable. El procedimiento más común es evaluar uno o dos marcos de aspersores para extrapolar la uniformidad medida a un sector o al campo completo. Esta simplificación no considera las diferencias causadas por: a) la variabilidad espacial de la presión en las boquillas, determinada por diferencias en la elevación de los aspersores y la hidráulica de la red; b) la variabilidad temporal de las condiciones meteorológicas, que afectan de manera diferente a los sectores; c) la exposición diferencial al viento en distintas partes del campo; y d) el efecto de los aspersores sectoriales en los límites de la parcela, que generalmente disminuyen la uniformidad. El desarrollo de metodologías para caracterizar la uniformidad del riego en áreas extensas, como sectores completos o campos enteros, ha sido

objeto de numerosos esfuerzos de investigación. La simulación numérica es una de las metodologías que han permitido integrar los factores de variabilidad antes mencionados, pero a costa de mucho trabajo de campo y de ordenador para obtener datos. Por otro lado, las tecnologías de observación de la tierra, que han progresado intensamente en las últimas décadas, ofrecen nuevas oportunidades para la agricultura de precisión y el análisis a gran escala espacial. Las imágenes tomadas con cámaras sobre dron proporcionan datos con una resolución espacial muy interesante para el análisis en detalle de superficies extensas de riego.

En el contexto del riego por aspersión, este trabajo explora las posibilidades de utilizar imágenes tomadas con dron, con dos tipos de cámaras una del espectro visible y otra térmica, para caracterizar la uniformidad del riego por aspersión en cobertura total.

Ensayos de campo para medir la uniformidad del riego con metodologías diversas

Se realizaron ensayos de riego por aspersión en una parcela de la finca experimental de la Estación Experimental de Aula Dei. La parcela constaba de 15 marcos de aspersión, con tres configuraciones distintas (ver el esquema de la parcela en la **Figura 1a**). Las mallas pluviométricas se instalaron en cuatro de los marcos de la parcela, tal y como se indica en la **Figura 1 a y b**.

Un trabajo previo de Jarén-Morillo y colaboradores (2021) indicaba que las imágenes tomadas con dron hasta 30 minutos después de comenzar un riego por aspersión eran capaces de reproducir la uniformidad del riego, y que las imágenes tomadas con posterioridad a esos 30 minutos ya no mostraban variabilidad. Tomando como premisa este trabajo, realizamos unas pruebas preliminares. Así, después de 5 minutos de comenzar el riego se tomaron imágenes del visibles y térmicas con el dron.

La **Figura 2** presenta las imágenes del visible (fila superior) y del térmico

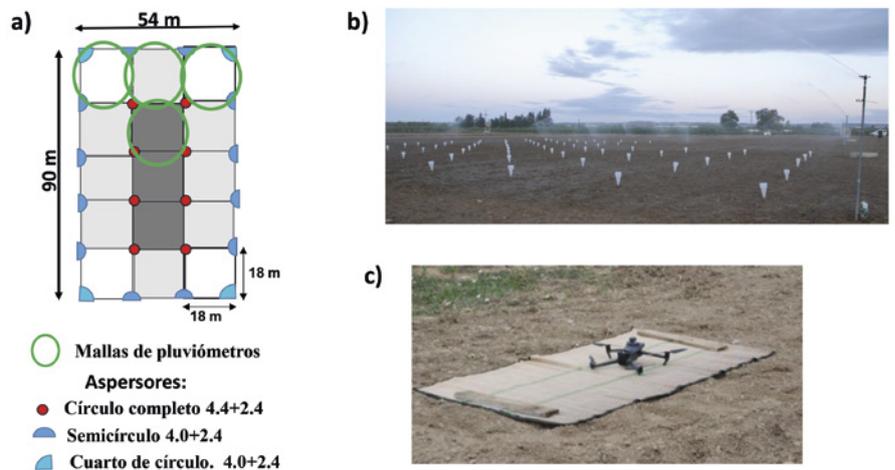


FIGURA 1

Esquema de la parcela de ensayos de riego con los quince marcos y los tres tipos de configuraciones; (a). Mallas pluviométricas instaladas en cuatro de los marcos (b). Dron con cámara visible y térmica utilizado en los ensayos (c).

(fila inferior) justo antes de regar (columna izquierda) y tras 5 minutos de comenzar el riego (columna derecha). En nuestras condiciones, tras solo 5 minutos de comenzar el riego, la imagen térmica ya no presenta variabilidad, es decir la temperatura del suelo medida con la cámara del dron

era homogénea. La imagen visible mostraba más variabilidad, aunque 5 minutos resultaba poco representativo del tiempo de un riego. Estos resultados preliminares indicaban que iba a resultar muy difícil captar la uniformidad durante el proceso del riego, ya que era necesario poco

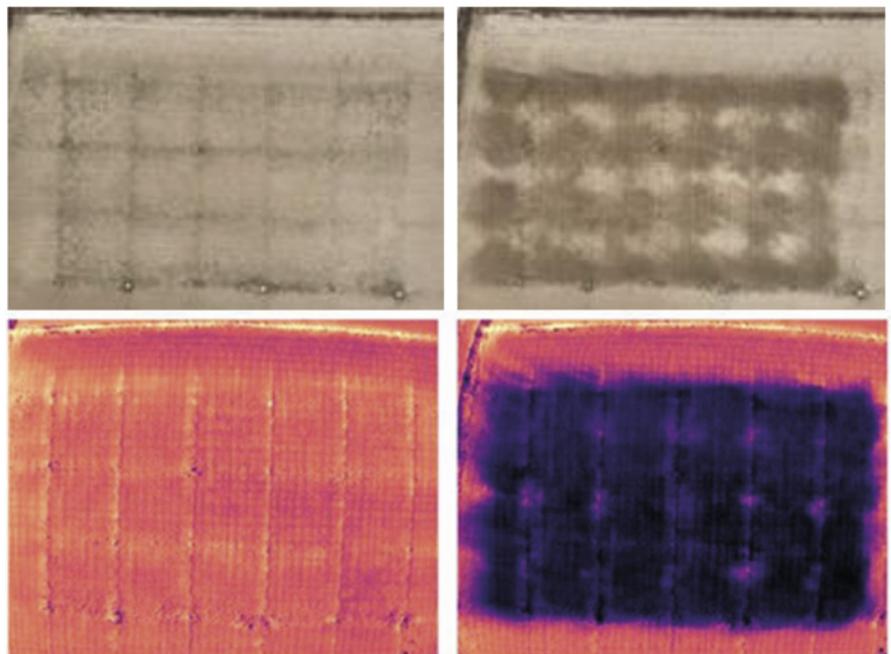


FIGURA 2

Ensayos preliminares en la parcela experimental. Imágenes del visible (fila superior) y del térmico (fila inferior) antes del riego (columna izquierda) y tras 5 minutos de riego (columna derecha).

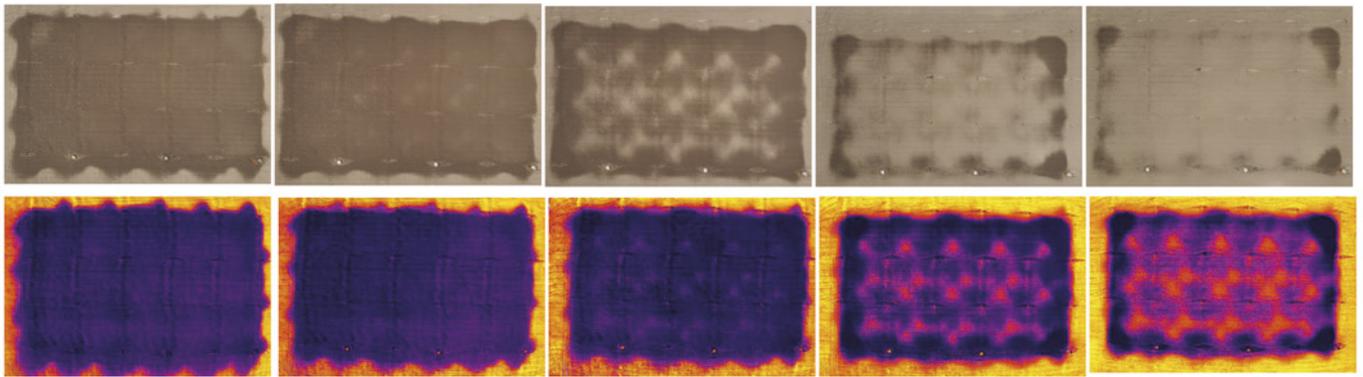


FIGURA 3 Imágenes del visible (fila superior) e imágenes térmicas (fila inferior) del ensayo de riego realizado el 20 de julio de 2024. La secuencia de las imágenes corresponde a 0, 1, 2, 3 y 4 horas tras finalizar el riego.

tiempo de riego para que las imágenes fueran homogéneas. Esto nos llevó a reorientar los ensayos, considerando que el proceso de secado representaría mejor la uniformidad de riego, ya que las áreas que más cantidad de agua reciben tardan más en secarse y viceversa.

Así, se realizó el seguimiento de las imágenes tomadas con dron tras tres riegos por aspersión. Las fechas de los riegos aplicados fueron el 17 y el 20 de julio y el 22 de septiembre de 2024. Todos los riegos fueron de 1 hora de duración y se realizaron sobre suelo desnudo. Las condiciones meteorológicas de los riegos fueron,

en cuanto a temperatura, similares los días 17 y 20 de julio (temperatura media de 21,4°C) y más frescas el 22 de septiembre (12°C). El riego del 20 de julio se aplicó con una velocidad media del viento de 2,1 m/s, mientras que en las otras dos fechas el viento fue inferior a 0,8 m/s.

Tras finalizar el riego, se realizaba un vuelo para tomar imágenes del térmico y del visible. Este proceso de toma de imágenes se repitió con una periodicidad de entre 0,5-1 hora y hasta entre 5-7 horas tras finalizar el riego. La toma de imágenes con dron finalizaba cuando la imagen del visible ya no mostraba variabilidad.

Así, se realizaron 8, 10 y 7 vuelos para los riegos del 17 julio, 20 de julio y 22 de septiembre, respectivamente. La **Figura 3** presenta 5 de las 10 imágenes tomadas en el ensayo del riego realizado el 20 de julio. Las figuras superiores corresponden a las imágenes del visible y las inferiores a las imágenes térmicas. Las figuras representan la secuencia temporal de las imágenes: 0, 1, 2, 3 y 4 horas tras el riego, respectivamente. Lo primero que se aprecia es que tras el riego (primera imagen de la secuencia) la parcela se ve muy homogénea, tanto en la imagen del visible como en la de temperaturas y que, a medida que

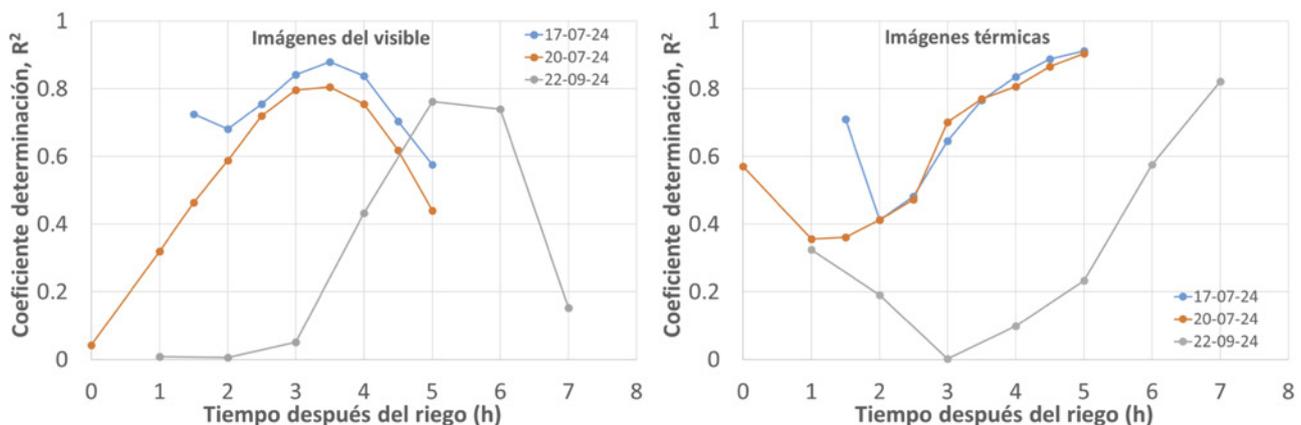


FIGURA 4 Evolución temporal de los coeficientes de determinación entre la pluviometría y la luminancia (figura izquierda) y la pluviometría y la temperatura (figura derecha) de las imágenes tomadas con dron en los tres riegos, 17 y 20 de julio y 22 de septiembre.

avanzamos en el tiempo, las imágenes empiezan a mostrar variabilidad. Esta variabilidad aparece antes en las imágenes del visible que en las imágenes térmicas y también desaparece antes. Con estos resultados podemos afirmar que el proceso de secado del suelo es muy adecuado para captar la variabilidad del riego.

¿Pueden las imágenes tomadas con dron predecir la distribución de agua del riego por aspersión?

Para comprobar si la variabilidad que se ve en las imágenes responde a la variabilidad del riego, se compararon los valores de pluviometría medidos (mallas pluviométricas, Figura 1b) con los valores numéricos extraídos de las imágenes en los mismos puntos. En el caso de las imágenes térmicas, se extrajeron los valores de temperatura del suelo y en las imágenes del visible se extrajeron los valores de la luminancia (que es una combinación de la reflectancia en el rojo, el verde y el azul, valores que registran las cámaras RGB). La comparación se hizo para cada una de las imágenes y se midió a través del coeficiente de determinación (también llamado R^2). El valor de R^2 nos indica en qué medida se parecen los dos conjuntos de datos que comparamos y su valor varía entre 0 (ninguna relación) y 1 (relación perfecta).

La **Figura 4** presenta la evolución en el tiempo de los coeficientes de determinación para los tres ensayos de riego, 17 y 20 de julio y 22 de septiembre de 2024. La figura izquierda para la imagen del visible (luminancia) y la de la derecha para la imagen térmica. Los valores del coeficiente aumentan a medida que pasa el tiempo hasta llegar a un máximo, que se alcanza entre 3,5 y 5 horas tras el riego para el visible y entre las 5 y 7 horas tras el riego en el térmico. Estos resultados confirman lo que veíamos en las imágenes de la **Figura 3**: la cámara visible detecta la variabilidad antes que la térmica. Los valores del coeficiente alcanzan valores máximos de entre 0,76 y 0,87 para el visible, y entre 0,82 y 0,91 para el térmico. Estos valores resultan muy elevados y confirman que las relaciones son consistentes y que se pueden obtener estimaciones de la distribución del agua de riego con las imágenes de dron.

También se deduce de la **Figura 4** que los riegos de julio, el 17 y 20, que se realizaron en condiciones de temperatura ambiental similar, alcanzan el valor máximo de R^2 (para ambas variables) al mismo tiempo y antes que el ensayo del 22 de septiembre, en el que los valores de temperatura media del aire eran notablemente inferiores. Además de alcanzarse en momentos diferentes, los modelos de regresión que relacionan las variables, tam-

CERESTIA

Pushing Agriculture Forward

Una solución única, integral e innovadora

Cerestia es la nueva marca nacida en la península ibérica con vocación global, que une la visión estratégica y la experiencia de nuestras compañías líderes para transformar el futuro de la agricultura. Pensada para responder a tus necesidades de hoy y de mañana, y para optimizar la eficiencia de tu negocio

Agronomic Knowledge & Business Excellence



Expertos en sanidad
vegetal, líderes mundiales
en sales de cobre

TerraNostra

Un modelo propio
de transformación
y modernización
de fincas

VEGGA

Plataforma pionera
de digitalización
del campo

Regaber

Líder en riego de
precisión en la
península ibérica

MatHolding

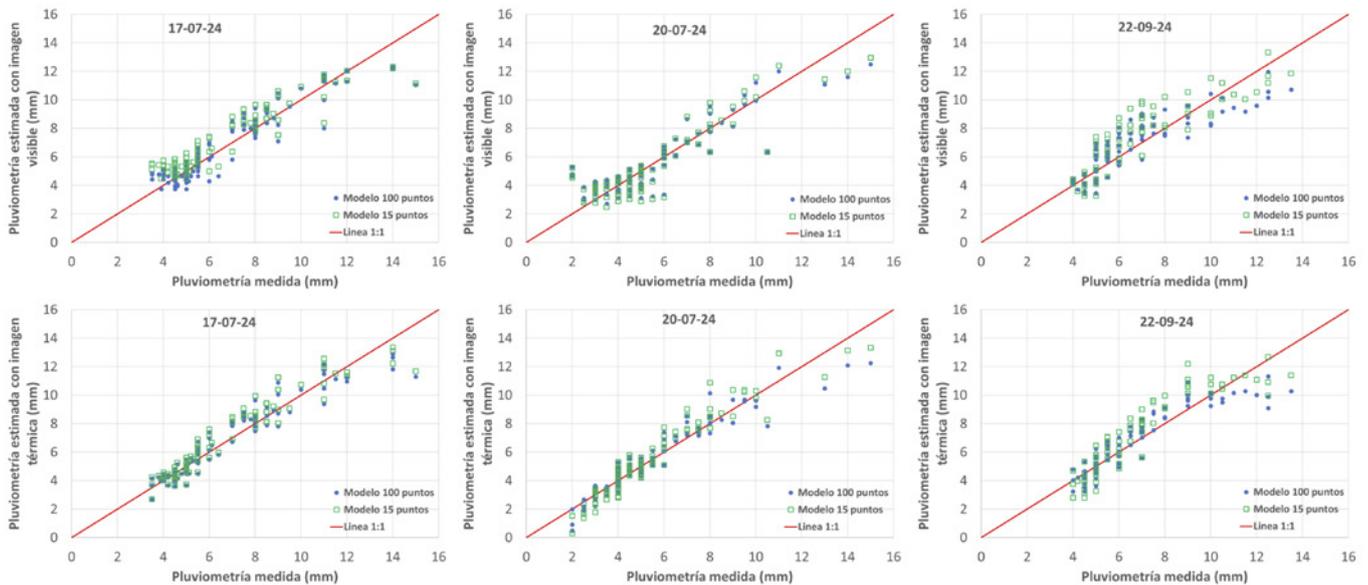


FIGURA 5
Relación entre la pluviometría medida y la estimada con dos modelos, uno de 100 puntos y otro de 15 puntos de medida, basados en la luminancia (fila superior) y en la temperatura (fila inferior), para las tres fechas de riego 17 y 20 de julio y 22 de septiembre. Se presenta en rojo la línea 1:1.

bién difieren entre fechas, es decir, son dependientes de las condiciones meteorológicas durante y, sobre todo, tras el riego. Esta especificidad significa que para estimar la distribución del agua de riego con imágenes del dron tenemos que tener el modelo de relación de las variables en las condiciones del riego. En este trabajo, para obtener los modelos de relación entre las variables hemos utilizado 100 puntos de medida pluviométrica, lo que resulta inviable para determinaciones en campos comerciales. La pregunta a responder es qué cantidad de medidas de campo con pluviómetros son necesarias para establecer relaciones adecuadas.

Metodología para estimar la distribución de agua de riego con imágenes

La **Figura 5** presenta para cada uno de los tres riegos analizados, las relaciones entre la pluviometría medida y la luminancia (fila superior) y entre la pluviometría y la temperatura (fila inferior). Cada gráfica muestra dos

series de datos, una obtenida con el modelo basado en los 100 puntos pluviométricos (puntos azules) y la otra obtenida con el modelo basado en solo 15 puntos pluviométricos (cuadrados verdes). Ambos modelos dan lugar a estimaciones muy cercanas a la línea 1:1, lo que indica que son modelos que estiman muy bien el reparto de la pluviometría. Además, las diferencias

entre ambos modelos son pequeñas, por lo que se puede concluir que se puede establecer el modelo de relación específico de cada riego con sólo 15 puntos de medida con pluviómetros.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com

A MODO DE CONCLUSIÓN

La caracterización de la distribución de agua en el riego por aspersión es una medida de calidad del riego necesaria que nos ayuda a optimizar el uso de los recursos agua y energía.

Su medida mediante métodos tradicionales, mallas pluviométricas, es trabajosa, limitada en cuanto a cobertura espacial y no es capaz de captar la variabilidad real de una parcela.

El uso de imágenes captadas por drones, tanto en el espectro visible como en el térmico, es una metodología innovadora para caracterizar la distribución del agua de riego, ofreciendo resultados muy prometedores. Para su implementación, además de las imágenes, es necesario medir la pluviometría en varios puntos durante el riego. Se recomienda colocar entre 10 y 15 pluviómetros para captar la variabilidad del sistema. Estas medidas permiten establecer la relación entre pluviometría y luminancia o temperatura en las condiciones específicas del riego.