

Riego por goteo enterrado en cultivos extensivos de fincas comerciales

Raquel Salvador^{1,2}, Nery Zapata³, Néstor Moré⁴, Javier Citoler⁴

¹ Unidad de Suelos y Riegos (asociada a EEAD-CSIC). Grupo RAMA. Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón, CITA, 50059 Zaragoza

² Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, España.

³ Departamento de Suelo y Agua. Grupo RAMA. EEAD-CSIC. Avda Montañana 1005, 50059 Zaragoza.

⁴ CINGRAL, Consultora de Ingeniería Rural y Agroalimentaria, Santa Cruz 8, 50003 Zaragoza.

Resumen

El sistema de riego por goteo enterrado se presenta como una alternativa al riego por aspersión de cultivos extensivos. Los primeros presentan potencialmente menor consumo de agua y energía, sin embargo, el diseño y manejo para cultivos extensivos es mucho más complejo. La superficie equipada con estos sistemas de riego en cultivos extensivos en Aragón es hasta al momento testimonial y sólo unas cuantas parcelas piloto impulsadas por fabricantes e iniciativas públicas están en marcha. En este trabajo se analiza una parcela piloto de la Comunidad de Regantes de Binaced en la que se encuentra instalado un sistema de riego por goteo desde hace algo más de 10 años. El seguimiento del riego y de los cultivos de la parcela se llevó a cabo durante las campañas 2019 y 2020, cultivada con doble cosecha, cebada-maíz, y maíz ciclo largo, respectivamente. El análisis de los resultados indica que el sistema de riego por goteo enterrado en cultivos extensivos individuales como la cebada o el maíz de ciclo largo da lugar a rendimientos competitivos, comparables a los que se obtienen con riego por aspersión en la zona. Sin embargo, se han visto deficiencias en la producción del maíz de ciclo corto de segunda cosecha, debido a problemas en la nascencia del cultivo. Los consumos de agua en el goteo enterrado resultan muy similares a los del riego por aspersión en la zona en el caso de la doble cosecha, aunque en el caso del maíz de ciclo largo son ligeramente inferiores (6% de media). La gran variabilidad de la parcela en cuanto a tipos de suelo, orografía del terreno, problemas de diseño, instalación y manejo del sistema de riego, junto con la disponibilidad de una única campaña de datos de cada cultivo, dificultan la inferencia de conclusiones más sólidas en este ensayo. El diseño de riego exige un conocimiento profundo del medio y del sistema. Por otro lado, el manejo y mantenimiento del sistema de riego son también aspectos críticos que exigen al regante un conocimiento exhaustivo del

mismo. En la parcela comercial analizada se han constatado problemas en el manejo del riego del sistema, lo que ha reducido algunas de las ventajas de este sistema respecto a la aspersión.

Introducción y objetivos

La agricultura de regadío en Aragón tiene una orientación mayoritaria de cultivos extensivos (86% de la superficie regable en Aragón, Zapata et al. 2020). Los planes de modernización de regadíos de principios del siglo XXI han propiciado el cambio de los sistemas de riego por superficie a riegos presurizados. Tras estos cambios, el riego de cultivos extensivos en Aragón presenta una mezcla a partes iguales de riego por superficie y riego por aspersión. Entre las ventajas del riego por aspersión frente al riego por superficie están la importante reducción del tiempo que el agricultor dedica a la actividad del riego y la posibilidad de ser más eficiente con el uso del agua y de los fertilizantes. Como contrapartida, están los elevados costes eléctricos de presurizar el agua, que frenan los procesos de modernización y en ocasiones ponen en riesgo la viabilidad de las explotaciones. Para reducir la dependencia energética del riego en parcela de los cultivos extensivos se han analizado diferentes opciones, entre ellas, el riego por aspersión a baja presión y el riego por goteo enterrado son las más estudiadas. Las necesidades de presión de un riego por goteo (100 kPa en gotero) son notablemente inferiores a las de un riego por aspersión (300 kPa en boquilla para riego por aspersión convencional). Además, en riego por goteo enterrado, las pérdidas de agua por evaporación y arrastre se reducen a cero, cuando en los sistemas de aspersión rondan el 15% del agua total aplicada.

Sin embargo, el riego por goteo enterrado en cultivos extensivos tiene una serie de inconvenientes frente a otras formas de riego, entre ellos, el coste de instalación, el diseño en parcela y el manejo del sistema. Las explotaciones de cultivos extensivos tienen superficies medias entre 5 y 10 veces superiores a las de cultivos intensivos. Además, la densidad de tuberías y de emisores es muy superior a la de un cultivo intensivo (entre 1,5-2 veces la de un goteo de hortícolas y entre 20-30 veces la de un goteo en frutales), lo que encarece el coste de amueblamiento de las explotaciones. La caída de los precios de los materiales plásticos en los últimos años está reduciendo las diferencias de costes, mejorando la competitividad del goteo enterrado frente a la aspersión. Otro de los inconvenientes de estos sistemas es que el agua aplicada tiene que ascender por capilaridad, en algunos momentos hasta la superficie del suelo para favorecer la germinación de las semillas, y no todos los suelos responden de igual forma a este proceso. Por otro lado, las tuberías pueden ser un obstáculo para realizar determinadas labores en el suelo. Por lo tanto, la profundidad de instalación de las líneas portagoteros debe de ser una solución de compromiso entre las características del suelo y sus necesidades de laboreo (Charlesworth y Muirhead, 2003). Finalmente, el manejo de los sistemas no es un tema menor ya que los problemas de obturación de goteros en tuberías

enterradas son mucho más difíciles de detectar. El control continuo de la presión y los tratamientos periódicos, ayudarán a evitar obturaciones e intrusiones, respectivamente (Salvador y Aragüés, 2013).

En el proyecto de cooperación se ha realizado el seguimiento de una parcela comercial con riego por goteo enterrado en la que se ha cultivado el primer año una rotación cebada-maíz (ciclo corto) y en el segundo año un maíz de ciclo largo sembrado a principios de primavera. El objetivo es analizar las ventajas e inconvenientes de estos sistemas en fincas comerciales existentes.

Material y métodos

La parcela de estudio es una parcela comercial situada en la Comunidad de Regantes de Binaced. La superficie total es de 5,32 ha dividida en 6 sectores de riego con una superficie media de 0,88 ha/sector. La parcela presenta una pendiente longitudinal importante, sobre todo en el sector 1.



Figura 1. Imagen aérea de la parcela de estudio con los puntos de muestreo de suelo y el esquema de los diferentes sectores. En la imagen aérea se localizan los puntos de muestreo de suelo.

La caracterización del sistema de riego de la parcela se realizó mediante el análisis del proyecto de puesta en riego. En dicho proyecto se delimitaban los diferentes sectores de riego y se definían la disposición de goteros, el tipo y el caudal de cada uno. Para el control de los volúmenes de riego aplicados se instaló un datalogger con registro de pulsos acoplado al contador instalado en el hidrante. Se realizaron pruebas para comprobar que los caudales de diseño coincidían con los de funcionamiento. El sistema de riego es homogéneo en los sectores del 2 al 6, mientras que presenta diferencias con el diseño del sector 1. En los primeros la densidad de goteros es de 3,33 goteros/m² y son turbulentos, mientras que en el sector 1 los goteos son autocompensantes y la densidad es

inferior, 2,66 goteros/m². Estas diferencias se deben sobre todo a la mayor pendiente que se da en el sector 1.

El suelo se caracterizó mediante toma de muestras en campo con barrena. Se tomaron dos muestras de suelo por sector de riego de 0 a 30 cm de profundidad. De cada muestra se determinó la textura, la capacidad de retención de agua, el porcentaje de materia orgánica, la salinidad del extracto 1:5 y el pH.

También se hizo el seguimiento de los volúmenes de agua aplicados en cada sector de riego a lo largo de las dos campañas de cultivo. En 2019 se cultivó doble cosecha cebada-maíz y en 2020, un maíz de ciclo largo.

Se realizó el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo con los datos meteorológicos disponibles en la red SIAR para la estación situada en Alfántega. Se calcularon las necesidades hídricas netas y, aplicando una eficiencia de riego del 90%, las necesidades de riego brutas.

El seguimiento del estado de desarrollo del cultivo se realizó mediante el análisis de imágenes de satélite en fechas próximas a las diferentes fases de desarrollo de los cultivos. En concreto se utilizó el índice NDVI (Índice de Diferencia de Vegetación Normalizado), que mide la diferencia normalizada entre las reflectancias del rojo y del infrarrojo cercano, proporcionando una medida sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la cobertura vegetal y vigor en toda la superficie de la parcela. Los valores del NDVI varían de -1 a 1. Las plantas siempre tendrán valores positivos entre 0.2 y 1, con valores por encima de 0.5 cuando el dosel está sano y entre 0.2 a 0.5 cuando la vegetación es dispersa o tiene algún problema.

Por último, se determinó el rendimiento en grano de los cultivos con cosechadora comercial en la que se cuantificó la cosecha de cada uno de los sectores de forma individual.

Resultados y discusión

Dentro de la parcela comercial estudiada podemos encontrar tres tipos texturales de suelo: Franco arenoso (sectores 2 y 3), franco arcillo arenoso (sector 1) y franco arcilloso (sectores 4, 5 y 6). Estos tipos se relacionan con sus capacidades de retención de agua, inferiores para los más arenosos (30-35 mm), intermedia para los arcillo-arenosos (35-45mm) y más elevada para los suelos más arcillosos (45-55 mm). En cuanto a la salinidad, los valores del extracto 1:5 indican que no hay problemas graves de salinidad en ninguna de las muestras, si bien el menor valor se da en el sector 3 (con una salinidad muy ligera) frente al que presenta mayores valores de salinidad que es el sector 5 (con una salinidad ligera). En cuanto a los valores del pH los suelos son alcalino, siendo los valores en algunos puntos muy elevados (mayor de 8,5 en los sectores 2 y 5), tanto como para poder limitar la absorción de nitrógeno y otros nutrientes. Los

valores de materia orgánica se encuentran dentro de la normalidad para cultivos extensivos.

Los análisis del agua presentan valores de salinidad de 0.48 (dS m⁻¹), lo que indica que no presenta problemas para su utilización para riego. El pH del agua presenta valores normales, aunque en el límite superior de dicha normalidad. Los contenidos de cloro y nitrato en las aguas tampoco son relevantes.

El análisis del sistema de riego indicó que los caudales de los distintos sectores tienen unas pluviometrías medias muy similares, 4,8 mm h⁻¹ en el sector 1 y 5 mm h⁻¹ en los cinco sectores restantes. En el primer sector los goteros son autocompensantes frente a los goteros del resto de sectores que son turbulentos. La densidad y caudal de los goteros también son ligeramente diferentes entre el sector 1 y el resto de sectores, siendo ligeramente inferiores en el 1.

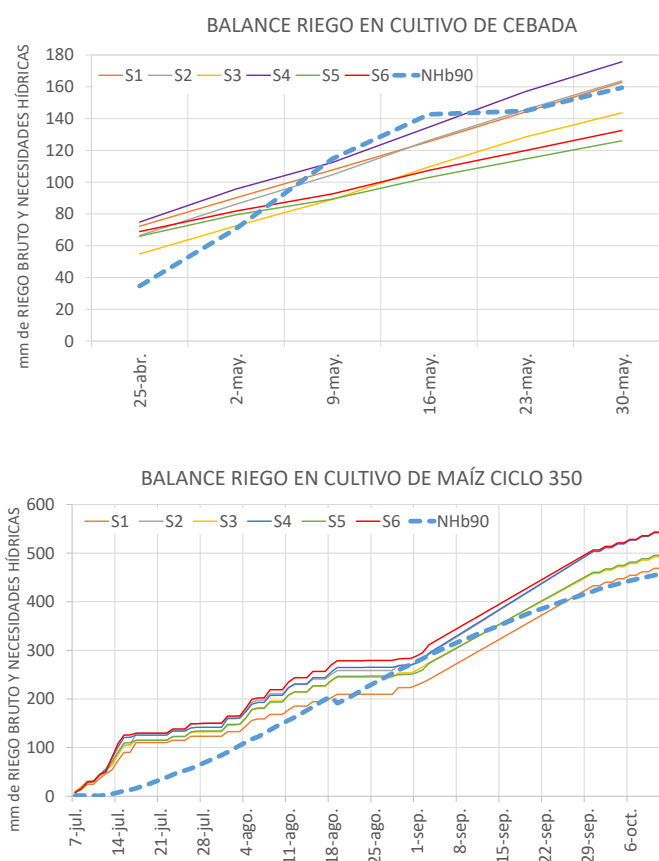


Figura 2. Evolución temporal de las necesidades hídricas brutas y el riego aplicado por cada sector al doble cultivo cebada-maíz de la campaña 2019. Cada figura muestra un cultivo, la cebada (arriba) y el maíz de ciclo corto (debajo).

La aplicación del riego era prácticamente diaria a lo largo de las campañas de cultivo analizadas. Los caudales aplicados a lo largo del ciclo fueron muy similares a los de diseño, e incluso ligeramente superiores, lo que descarta problemas de obturación en la red de riego.

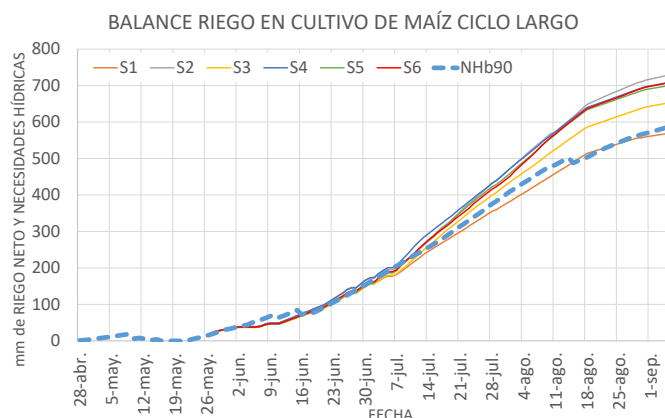


Figura 3. Evolución temporal de las necesidades hídricas brutas y el riego aplicado por cada sector al cultivo de maíz de ciclo largo desde el 1 de julio de 2020.

La Figura 2 presenta la evolución diaria de las necesidades brutas de riego de la doble cosecha cebada-maíz (cebada, Fig 2 arriba y maíz, Figura 2 abajo) frente al riego aplicado en cada uno de ellos. En 2019, en el maíz de ciclo corto que sigue a la cebada se observa un aporte de riego excesivo durante las primeras fases de desarrollo del maíz. Sin embargo, a medida que avanza la campaña del cultivo las aplicaciones se van ajustando a las necesidades.

La Figura 3 presenta el mismo análisis para el maíz de ciclo largo que se sembró en la parcela en 2020. A pesar de que la siembra se realizó a mediados de abril, no se disponen de datos de los volúmenes de agua aplicados en las primeras fases del cultivo, ya que un fallo en el datalogger impidió la recopilación de datos anteriores al 1 de julio. En los primeros días de julio se aprecia un buen ajuste entre las necesidades del cultivo y las aplicaciones en todos los sectores. Pero a medida que avanza el ciclo los aportes de riego en todos los sectores, excepto en el sector 1, son superiores a las necesidades del cultivo. Estas diferencias nos indican que el agricultor no tiene un buen control sobre los volúmenes aplicados, ya que se le facilitaban semanalmente las necesidades de riego (iguales para todos los sectores), pero las aplicaciones no siguen las recomendaciones. Estas diferencias alcanzan hasta los 200 mm entre las necesidades y los aportes en el sector 2, 4, 6 y 5.

Los consumos de agua para la doble cosecha en 2019 varían entre los 5.781 m³/ha del sector 5 hasta los 6.790 del sector 2, con un valor promedio de 6.283 m³/ha. Estos valores resultan similares a los consumos de la doble cosecha cebada-maíz en riego por aspersión en la zona (6.351 m³/ha en 2019). Estas pequeñas diferencias se deben a que en riego por goteo enterrado los riegos de nascencia producen pérdidas muy importantes por percolación profunda si no se maneja bien el riego por pulsos y la textura del suelo no permite una ascensión capilar del agua medianamente rápida.

En cuanto al riego aplicado al maíz de ciclo largo en 2020, los valores por sectores han oscilado desde los 5.493 m³/ha del sector 1 hasta los 7.102 m³/ha del sector 2, con un promedio de 6.585 m³/ha, valor inferior a las cifras referidas para el riego por aspersión en la zona para este cultivo (7.000 m³/ha, en 2020). Hay que destacar nuevamente que el sector con menores consumos (sector 1) es el que más se ha ajustado a las necesidades hídricas calculadas y el que mayores producciones ha obtenido, por lo que se concluye que en este sistema y cultivo hubiera sido posible un mejor ajuste del riego sin perder productividad.

La representación de los valores de NDVI en la parcela piloto a lo largo del año 2019 con el doble cultivo cebada-maíz se presenta en la Figura 4. Durante el ciclo de cultivo de la cebada (las tres primeras imágenes) puede verse que la cobertura es más homogénea que durante el ciclo de cultivo del maíz (12 imágenes restantes). Los mayores valores de NDVI se dan en los sectores 2, 3 y en la parte superior del sector 1, durante el cultivo de cebada. Durante el ciclo del cultivo de maíz, la nascencia es muy irregular en términos generales (ver imágenes del 14/08 y 24/08), sin embargo, se alcanza la cobertura casi total de la parcela a pleno desarrollo del cultivo (imagen del 24/09). En conjunto, no se detectan diferencias claras entre sectores, sino que se encuentran mayores diferencias dentro de cada sector, con zonas de desarrollo adecuado y otras con problemas de desarrollo. La variabilidad dentro de los sectores es superior a la observada entre sectores.

En cuanto a la campaña 2020 en la que se cultivó el maíz de ciclo largo, la Figura 5 presenta los valores de NDVI a lo largo de su desarrollo (13 fechas). La nascencia del maíz de ciclo largo fue mejor que la del maíz de ciclo corto, encontrándose algunos problemas de nascencia solo en los sectores 5, 6 y en la cabecera del sector 2. En la fase de pleno desarrollo del cultivo (mes de julio) puede verse como la cobertura del suelo es prácticamente total.

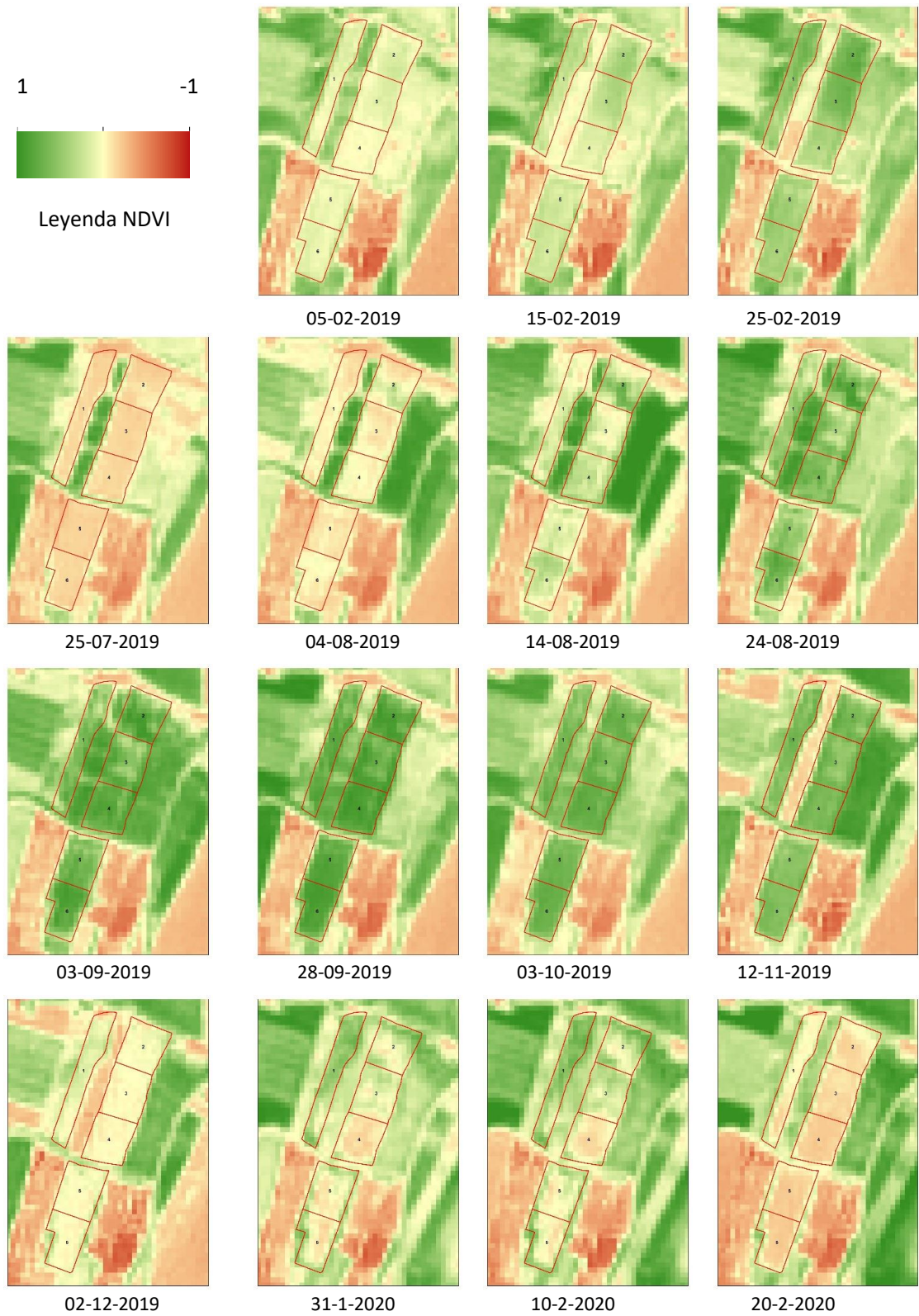
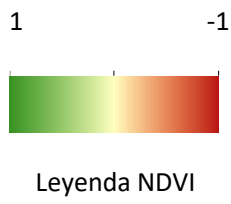


Figura 4. Valores de NDVI a lo largo del ciclo de cultivo (15 fechas) de la doble cosecha cebada-maíz en 2019.

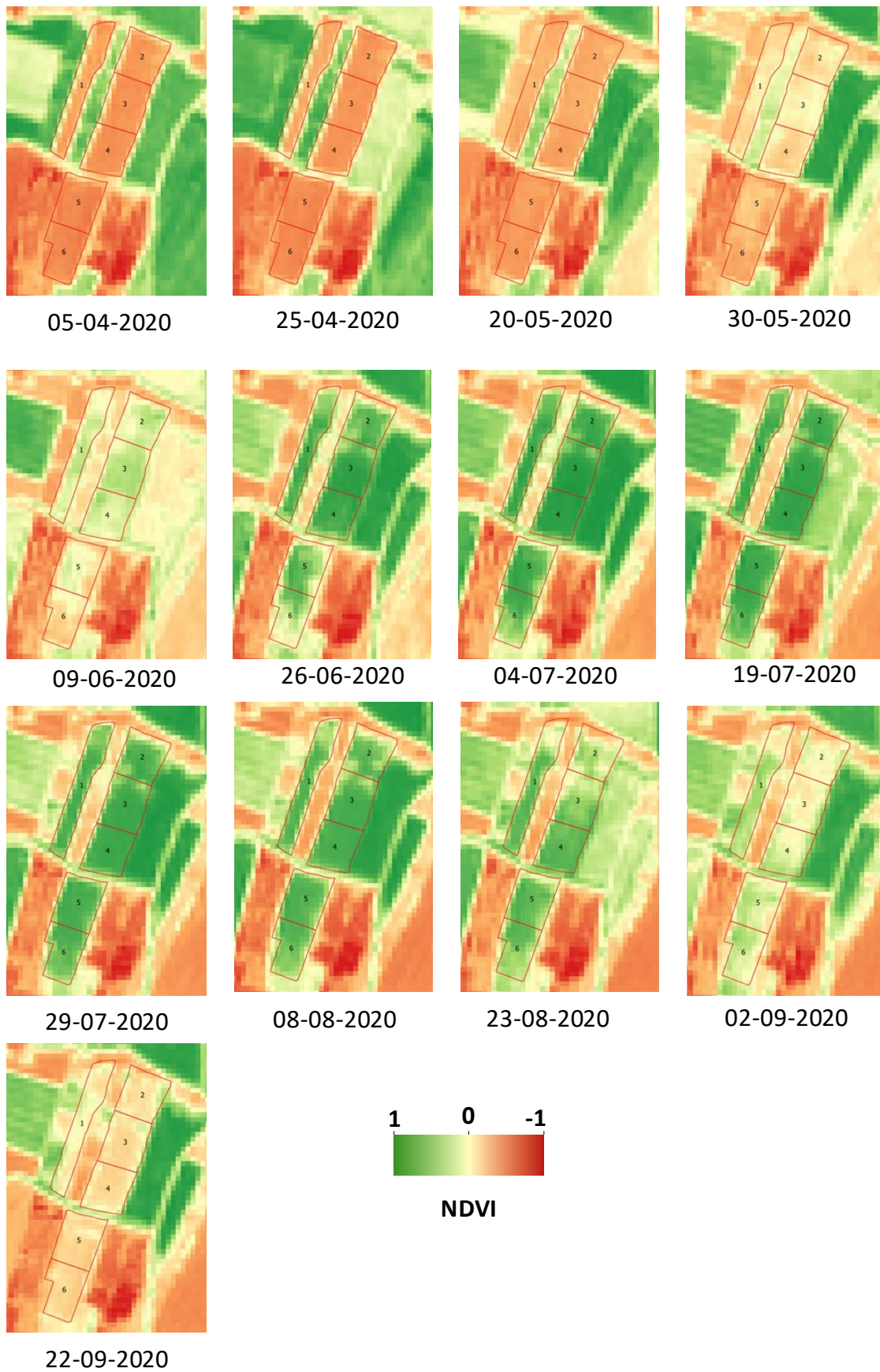


Figura 5. Valores de NDVI a lo largo del ciclo de cultivo (13 fechas) del maíz de ciclo largo en 2020.

La Tabla 1 presenta el rendimiento en grano de cada uno de los cultivos por sectores. En general, la producción de cebada en este tipo de sistema es elevada, con valores medios superiores a 8.000 kg/ha y con valores extremos de 6.000 kg/ha en el sector 2 y de 10.000 kg/ha en el sector 4. La única razón que puede explicar estas diferencias es que el sector 2 presenta los valores de pH del suelo más elevados (10,9) mientras que el sector 4 presenta el menor valor de pH de los analizados (8,0). Las diferencias en la producción del maíz de ciclo corto que sigue a la cebada no son muy relevantes, además no se dispone de datos para diferenciar los sectores 2, 3 y 4 que se cosecharon de forma conjunta. El sector 6 destaca por su menor producción de maíz, tanto de ciclo corto como de ciclo largo, aunque las diferencias con el resto de sectores no son muy relevantes. Por otro lado, el sector 1 destaca por la producción de maíz de ciclo largo que supera ampliamente al resto de sectores en dicho cultivo.

El sector 1, presenta rendimientos competitivos en los tres cultivos de las dos campañas. Este sector presenta la mayor producción de maíz de ciclo largo (12.312 kg/ha), mientras que en los otros cultivos, aunque no presenta los mejores rendimientos, los valores son adecuados comparados con la media. Este sector tiene un diseño de la instalación de riego diferente del resto de sectores, con goteros autocompensantes y una mayor distancia entre goteros (0,5 m frente a 0,4 m del resto).

En general no se ha encontrado relación entre los valores máximos de NDVI y el rendimiento de los sectores. Tampoco se ha encontrado relación entre el rendimiento y las características del suelo analizadas.

Tabla 1. Rendimientos por sector de los cultivos de las campañas 2019 y 2020.

SECTOR	2019		2020
	CEBADA (Kg ha ⁻¹)	MAÍZ CICLO CORTO (Kg ha ⁻¹)	MAÍZ CICLO LARGO (Kg ha ⁻¹)
1	8.072	4.847	12.312
2	6.000	5.580	10.774
3	8.721		10.617
4	10.023		10.587
5	8.831	4.833	10.753
6	8.605	4.127	10.443

Conclusiones

La parcela comercial en la que se desarrolló el proyecto presenta una gran variabilidad en cuanto a tipos de suelo, orografía del terreno, diseño del sistema de riego y posibles problemas en el manejo del mismo. Esta variabilidad junto con la disponibilidad de una única campaña de datos de cada cultivo dificulta la inferencia de conclusiones sólidas.

Una de las primeras conclusiones del trabajo es que el sistema de riego por goteo enterrado en cultivos extensivos es viable para cultivos individuales como la cebada o el maíz de ciclo largo ya que da lugar a rendimientos que son competitivos con los que se obtienen con otros sistemas de riego en la zona. Sin embargo, se han visto deficiencias en la producción de maíz de ciclo corto de segunda cosecha. La disponibilidad de un solo año de datos no es suficiente para sacar conclusiones sólidas de la viabilidad del sistema en dobles cosechas cebada-maíz. Los problemas en las nascencia del maíz de segunda cosecha en la campaña 2019 pueden ser debidos a que no se realizó un manejo adecuado del riego en esta fase tan sensible del cultivo o a que el diseño del sistema no lo permitió. Al no producirse este problema en 2020, y atendiendo a limitaciones de riego aplicadas en la fase de nascencia del maíz de segunda cosecha, parece que el problema, más que en diseño, reside en el manejo.

Los consumos de agua en goteo enterrado resultan en el caso de la doble cosecha muy similares a los que se dan en riego por aspersión en la zona. Sin embargo, en el caso del maíz de ciclo largo los consumos han sido inferiores (6% de media). Se han constatado deficiencias en el calendario de riego del maíz de ciclo largo en 2020, lo que ha reducido las potenciales ventajas en ahorro de agua del sistema de riego testado en este trabajo.

Vistos los resultados obtenidos en este ensayo podemos decir que el riego por goteo enterrado parece adecuado para el desarrollo de cultivos extensivos, pero teniendo en cuenta los siguientes conceptos:

1. El riego debe estar correctamente diseñado e instalado, adaptándose al tipo de suelo. La profundidad de las tuberías no debe comprometer la nascencia pero, a su vez, debe permitir la práctica de las labores de cultivo necesarias. Además, el diseño debe favorecer un correcto mantenimiento, limpieza y control del funcionamiento del riego.
2. El manejo y mantenimiento del sistema de riego son aspectos críticos que exigen al regante un conocimiento exhaustivo del mismo. Ejemplo de ello es el riego durante la nascencia, ya que el correcto manejo en estos momentos críticos es de vital importancia para el éxito del sistema.

Referencias

CHARLESWORTH, Philip B.; MUIRHEAD, Warren A. Crop establishment using subsurface drip irrigation: a comparison of point and area sources. *Irrigation Science*, 2003, vol. 22, no 3-4, p. 171-176.

SALVADOR, Raquel; ARAGÜÉS, R. Estado de la cuestión del riego por goteo enterrado: Diseño, manejo, mantenimiento y control de la salinidad del suelo. *ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar*, 2013, vol. 109, p. 395-407.

ZAPATA, N.; PLAYÁN, E.; CASTILLO, R.; GIMENO, Y.; OLIVÁN, I.; JIMÉNEZ, A.; CARBONELL, X.; FABREGAS, M.; LÓPEZ-PARDO, J.R.; VICENTE, L.M.; MILLÁN, J.; SOLANO, D. AND LORENZO, M.A. 2020. A Methodology to Classify Irrigated Areas: Application to the central Ebro River Basin in Aragón (Spain). *Agric. Wat. Manage* 241:106365..