

Cuantificación del sistema radicular de cultivos en sistema de riego por aspersión intensivo

Crop root quantification in intensive sprinkler irrigation system

Asunción Usón^{1,*}, Isidoro Daniel² & Farida Dechmi^{2,3}

¹ Escuela Politécnica Superior. Universidad de Zaragoza. Carretera Cuarte s/n 22071 Huesca, España

² Departamento de Sistemas Agrícolas, Forestales y Medio Ambiente (Unidad asociada a EEAD-CSIC Suelos y Riegos), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA). Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza, España

³ Instituto Agroalimentario de Aragón – IA2 (CITA-Universidad de Zaragoza), Zaragoza, España
(*E-mail: mauson@unizar.es)

<https://doi.org/10.19084/rca.28415>

RESUMEN

Este trabajo pretende cuantificar la distribución en profundidad del sistema radicular de los principales cultivos en riego por aspersión en el Valle medio del Ebro (España), para poder utilizar esta información en modelos de simulación de cultivos e hidrológicos. Se han muestreado cilindros de suelos en anthesis de los cuatro cultivos principales de la zona: cebada, maíz, alfalfa y guisante, de los que se han extraído las raíces por lavado. En ningún cultivo se observaron raíces por debajo de 40cm y hasta esa profundidad la densidad del sistema radicular disminuye en profundidad claramente para maíz y alfalfa. Casi el 80% de las raíces se encuentran en los primeros 20cm del suelo, aunque la cebada ha mostrado una distribución más homogénea en profundidad. Para todo el perfil del suelo, se han encontrado más raíces en este trabajo que en estudios previos, sobre todo para cebada y maíz debido a la intensificación del cultivo en regadío. Sin embargo, los cultivos de leguminosas en suelos de textura fina han mostrado menor cantidad de raíces. Los resultados obtenidos ayudarán a mejorar la modelización hidrológica y de los flujos de nutrientes en sistemas de riego por aspersión intensivos a escala de parcela y de cuenca.

Palabras clave: sistema radicular, modelización de cultivos, regadío, aspersión.

ABSTRACT

The main goal of this work is to quantify the depth distribution of crop root system under sprinkler irrigation in the Ebro Valley (Spain), in order to use this information in hydrological and crop simulation models. Soil cylinders have been sampled in the anthesis phase of the four main crops: barley, corn, alfalfa and peas. Crop roots have been extracted by washing. No roots were observed below 40 cm for all considered crops. Up to that depth the density of the root system clearly decreases with depth for maize and alfalfa. Almost 80% of the roots are found in the first 20 cm of the soil, although barley has shown a more homogeneous distribution in depth. Considering all soil profile, more roots density have been found in this work than in previous studies, especially for barley and corn, which is justified by the intensification of irrigated cultivation. However, legume crops on fine-textured soils have shown less roots density. The results obtained will help to improve the hydrological and nutrient load modeling in sprinkler intensive irrigation systems at both field and watershed scales.

Keywords: crop root, crop modelization, irrigation, sprinkler.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo del sistema radicular de un cultivo depende de las características intrínsecas del cultivo (género, especie, variedad) como de los condicionantes del medio: humedad del suelo a lo largo del ciclo de cultivo, textura o compactación.

Cuantificar la distribución en profundidad del sistema radicular de un cultivo interesa tanto para predecir el desarrollo de dicho cultivo como para conocer la capacidad de absorción de agua y nutrientes en el perfil del suelo. Estas dos características son esenciales para la modelización del desarrollo de los cultivos.

Los modelos de simulación de cultivos son especialmente útiles para realizar balances hídricos a nivel de cuenca ya que permiten analizar la evolución de los cultivos y de sus necesidades hídricas en grandes superficies de terreno.

En la zona regable de La Violada (Huesca) se llevan realizando balances hídricos a nivel de cuenca desde hace tiempo (Barros *et al.*, 2012; Jiménez-Aguirre & Isidoro, 2018) y, además, se han aplicado modelos hidrológicos para explicar el movimiento de agua y nutrientes en la cuenca, que necesitan modelizar el desarrollo de los cultivos (Malik *et al.*, 2020). El cambio hidrológico más importante en esta cuenca ha sido la transformación de su sistema de riego, pasando de riego en superficie a riego por aspersión con mucha mayor frecuencia.

Es esperable que esos cambios en el perfil de humedad del suelo se traduzcan en un distinto desarrollo del sistema radicular, por lo que se realiza este trabajo con el objetivo de conocer la distribución del sistema radicular de los cuatro cultivos dominantes (cebada, maíz, alfalfa y guisante) en dos suelos distintos de la zona regable de La Violada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trabajó en la zona regable de La Violada (Huesca, España) durante el año 2021, que dispone de un mapa de suelos a nivel de detalle (Jiménez-Aguirre *et al.*, 2018a) y en la que se controló el desarrollo de la fenología de los cultivos principales en parcelas para calibrar y validar un modelo de cultivo.

Se ha cuantificado el sistema radicular en 4 cultivos y en dos tipos de suelos distintos según se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 - Distribución de los muestreos de sistema radicular por cultivos y tipos de suelo (Jiménez-Aguirre *et al.*, 2018a)

Cultivo	Unidad de suelo	Unidad hidrológica
Cebada	Calcixerept típico, franco gruesa	I Glacis
	Haploxerept gypsic, limoso fina	II Fondos de valle con yeso
Maíz	Xerofluent típico, limoso fina	III Fondos de valle sin yeso
Alfalfa	Xerofluent típico, limoso fina	III Fondos de valle sin yeso
Guisante	Haploxerept gypsic, franco fina	II Fondos de valle sin yeso

El método de cuantificación del sistema radicular ha sido extracción mediante cilindro de volumen conocido (100 cm³) a distintas profundidades, hasta la observación visual de raíces. Se extrae la muestra de los cilindros y se lava sobre un tamiz de 500µm y se seca y pesa la muestra en estufa. Posteriormente, siguiendo la metodología de (Chirinda *et al.*, 2012) se calcina a 550°C.

Los resultados se expresan en peso de raíces por unidad de superficie en todo el perfil del suelo y peso de raíces por unidad de volumen en cada tramo de profundidad. Posteriormente, se realiza un ANOVA de uno o dos factores con el paquete estadístico SPSS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto a la cantidad de raíces expresada en g dm⁻³, el análisis de variación de dos factores (cultivo y profundidad) muestra diferencias significativas por la profundidad ($p=0,0006$) y por su interacción con el cultivo ($p=0,0132$). La disminución de las raíces en profundidad es gradual hasta 20 cm y significativamente inferior hasta 40 cm. Estas variaciones en profundidad son muy marcadas para el cultivo de alfalfa; para maíz y guisante la disminución es más gradual y para la cebada es más irregular (Tabla 2).

Tabla 2 - Cantidad de raíces, valores medios en tramos de 10 cm expresadas en g dm⁻³. Valores medios y desviación estandar

Cultivo	Profundidad			
	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm
Cebada	12,65 ±7,22	21,51 ±17,84	3,95 ±4,28	6,57 ±11,88
Maíz	15,45 ±1,87	6,42 ±0,45	4,35 ±0,54	0,38 ±0,05
Alfalfa	36,05 ±29,93	1,51 ±1,73	0,42 ±0,53	0,24 ±0,18
Guisante	6,25 ±5,97	1,93 ±2,12	1,49 ±2,48	1,54 ±2,86
MEDIA	15,69 a ± 15,90	11,08 ab ±14,55	2,88 b ± 3,40	3,56 b ±8,43

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes con P<0,05

También se analizó el peso de raíces en cada tramo de profundidad en relación a la cantidad total de raíces (Tabla 3). De nuevo se encuentran diferencias significativas respecto a la profundidad ($p<0,0001$) y por su interacción con el cultivo ($p=0,0428$).

Tabla 3 - Porcentaje de raíces para cada cultivo en tramos de 10 cm. Valores medios y desviación estandar

Cultivo	Profundidad			
	5 cm	15 cm	25 cm	35 cm
Cebada	28,31 ±16,17	48,14 ±39,93	8,85 ±9,59	14,70 ±26,59
Maíz	58,09 ±7,05	24,14 ±1,69	16,35 ±1,69	1,44 ±0,19
Alfalfa	94,32 ±78,32	3,94 ±4,50	1,09 ±1,34	0,64 ±0,48
Guisante	55,73 ±53,24	17,25 ±18,92	13,28 ±22,15	13,75 ±26,41
MEDIA	49,64 a ± 45,65	30,30 ab ±31,24	10,00 b ± 12,86	10,80 b ±22,13

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes con P<0,05.

Aunque la mayor parte de trabajos sobre sistemas radiculares expresan los resultados en número de raíces por unidad de superficie (Chilundo *et al.*, 2017), la distribución en profundidad sigue el mismo patrón que el encontrado en nuestro trabajo. La misma distribución ha sido encontrada por Otto *et al.* (2009), cuantificando las raíces en peso.

También se ha realizado un análisis de varianza para el contenido de raíces según la zona hidrológica (Jiménez-Aguirre *et al.*, 2018b) aunque no se han detectado diferencias significativas ($p=0,4324$). Los valores medios y las desviaciones estándar se muestran en el Tabla 4 y es destacable las altas desviaciones estándar de las medias que enmascaran las posibles diferencias. Es necesario resaltar que la unidad I Glacis es la que muestra un comportamiento hidrológico más diferenciado por su textura más gruesa y presencia de elementos gruesos, sin embargo en esta unidad solamente se ha cuantificado el sistema radicular del cultivo de cebada.

Tabla 4 - Cantidad de raíces, valores medios en tramos de 10 cm expresadas en g dm⁻³ por zonas hidrológicas

Zona hidrológica	Raíces (g dm ⁻³)	Desv. estándar
I Glacis	11,81	15,39
II Fondos de valle con yeso	7,25	8,82
III Fondos de valle sin yeso	10,95	17,75

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes con P<0,05.

Finalmente se ha cuantificado la cantidad de raíces en todo el perfil del suelo y se ha expresado en g m⁻² en el Cuadro 5. Para el cultivo de cebada se ha diferenciado las muestras de la zona hidrológica I (Glacis) y la II (Fondos de Valle con yeso). El análisis de varianza ha mostrado diferencias significativas ($p<0,0001$) por el tipo de cultivo.

Tabla 5 - Cantidad de raíces, valores medios en el conjunto del perfil expresadas en g m⁻²

Cultivo	Raíces (g/m ²)	Desv. estándar
Cebada (zona hidrológica 1)	2330,84 a	495,66
Cebada (zona hidrológica 2)	1973,51 a	310,01
Maíz	1344,09 b	97,50
Alfalfa	643,21 c	406,42
Guisante	616,29 c	157,71

Medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes con P<0,05.

Los cultivos de cereales han mostrado sistemas radiculares muy densos en los primeros 40 cm, mientras que las especies leguminosas han dado valores menores. En el trabajo de recopilación realizado

por Hu *et al.* (2018) también revelan una mayor cantidad de raíces en los cultivos de cereales.

CONCLUSIONES

Aunque no se encontró efecto de la unidad hidrológica en el desarrollo del sistema radicular, únicamente la cebada tiene una cantidad considerable de raíces a partir de 30 cm.

En cultivos regados por aspersión no se ha detectado visualmente presencia de raíces por debajo de 40 cm.

Los cultivos de cereales en regadío por aspersión producen elevadas cantidades de raíces en los primeros centímetros del suelo debido a la aplicación de dosis de riego pequeñas con una frecuencia alta.

Las leguminosas en suelos de textura fina y bajo riego por aspersión de alta frecuencia, desarrollan su sistema radicular principalmente en los primeros 20 cm de suelo.

El método de muestreo de raíces con cilindros y lavado posterior tiene limitaciones tanto para el propio muestreo como para el lavado en texturas finas. Se recomienda utilizar métodos alternativos para la cuantificación del sistema radicular.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte del proyecto de I+D+i RTI2018-100987-R-I00 (Estudio de las vías de movimiento de nutrientes en sistemas de regadío para su sostenibilidad medioambiental) financiado por AEI (10.13039/501100011033) y “FEDER Una manera de hacer Europa”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, R.; Isidoro, D. & Aragüés, R. (2012) - Irrigation management, nitrogen fertilization and nitrogen losses in the return flows of La Violada irrigation district (Spain). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 155, p. 161-171. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.004>
- Chilundo, M.; Joel, A.; Wesström, I.; Brito, R. & Messin, I. (2017) - Response of maize root growth to irrigation and nitrogen management strategies in semi-arid loamy sandy soil. *Field Crops Research*, vol. 200, p. 143-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.005>
- Chirinda, N.; Olesen, J.E. & Porter, J.R. (2012) - Root carbon input in organic and inorganic fertilizer-based systems. *Plant and Soil*, vol. 359, p. 321-333. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1208-5>
- Hu, T.; Sørensen, P.; Wahlström, E.M.; Chirinda, N.; Sharifa, B.; Lia, X. & Olesen, J.E. (2018) - Root biomass in cereals, catch crops and weeds can be reliably estimated without considering aboveground biomass. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 251, p. 141-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.09.024>
- Jiménez-Aguirre, M.T. & Isidoro, D. (2018) - Hydrosaline Balance and Nitrogen Loads from an irrigation district before and after modernization. *Agricultural Water Management*, vol. 208, p. 163-175. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.008>
- Jiménez-Aguirre, M.T.; Isidoro, D. & Usón, A. (2018a) - Soil variability in La Violada Irrigation District (Spain): II Characterizing hydrologic and salinity features. *Geoderma*, vol. 311, p. 67-77. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.024>
- Jiménez-Aguirre, M.T.; Isidoro, D. & Usón, A. (2018b) - Soil variability in La Violada Irrigation District (Spain): I Delineating soil units for irrigation. *Geoderma*, vol. 311, p. 78-90. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.025>
- Malik, W.; Jiménez-Aguirre, M.T. & Dechmi, F. (2020) - Coupled DSSAT-SWAT models to reduce off-site N pollution in Mediterranean irrigated watershed. *Science of The Total Environment*, vol. 745, art. 141000. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141000>
- Otto, A.R.; Ocheuze-Trivelin, P.C.; Junqueira-Franco, H.C.; Faroni, C.E. & Vitti, A.C. (2009) - Root system distribution of sugar cane as related to nitrogen fertilization, evaluated by two methods: monolith and probes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 33, n. 3, p. 601-611. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000300013>