

EFFECTOS DE LA DANA DE SEPTIEMBRE DE 2019 SOBRE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS Y LAS AGUAS EN LA ZONA DE CARRIZALES (ELCHE-ALICANTE)

José Miguel de Paz

Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible,
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, España

depaz_jos@gva.es

<https://orcid.org/0000-0001-6734-3516>

Alberto Lamberti

Department of Civil, Chemical, Environmental and Materials Engineering (DICAM) Alma Mater
Studiorum Università di Bologna, Italia

alberto.lamberti@unibo.it

<https://orcid.org/0000-0001-6011-2707>

Fernando Visconti

Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible,
Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, España

visconti_fer@gva.es

<https://orcid.org/0000-0003-4393-0972>

RESUMEN

La red de drenajes de la Vega Baja del Segura asegura la productividad agraria de la zona gracias a que mantiene los niveles piezométricos por debajo de la zona radicular y a que sirve para lavar los excesos de sales aportados a los suelos por el riego. Para evaluar el funcionamiento de esta red de drenajes en un evento de lluvias intensas e inundación se analizaron los datos procedentes de una red inalámbrica de sensores en una parcela de la comunidad de regantes de Carrizales (Elche-Alicante) obtenidos durante el episodio de la DANA ocurrida en septiembre de 2019. En el presente trabajo se muestra la evaluación de los efectos de este episodio en la humedad del suelo, el nivel piezométrico, los niveles en los canales de drenaje de la zona, así como el nivel de salinidad del suelo y las aguas. Se demuestra que el buen mantenimiento de la red de drenajes se hace imprescindible para evacuar efectivamente hacia el mar el agua excedentaria aportada por las lluvias intensas, como las acaecidas los días 12 y 13 de septiembre de 2019 en toda la zona de la Vega Baja del Segura y el Bajo Vinalopó.

1. INTRODUCCIÓN

La Vega Baja del Segura y el Bajo Vinalopó conforman una zona del Mediterráneo español donde los niveles freáticos altos, la salinidad de los suelos, la reutilización de las aguas, las recurrentes inundaciones y la proximidad del mar han configurado su actividad agrícola durante siglos. La densa red de drenajes que cruza el Bajo Segura permite evacuar de forma eficiente las aguas sobrantes del riego, lixiviar las sales acumuladas en el suelo durante la producción agraria y, además, en épocas de lluvias intensas, avenar toda el área (Melgarejo et al 2013).

En esta zona del sur de la provincia de Alicante es donde se concentran los mayores problemas de

salinidad de la Comunidad Valenciana con más del 98% de la superficie agraria afectada por salinización del suelo (de Paz et al. 2011). Esto conlleva que la práctica totalidad de los cultivos plantados en el área (86%) presenten pérdidas de producción por salinización de, al menos, un 10% (de Paz et al. 2010). El sistema de riego más frecuente en la zona continúa siendo el tradicional a manta, el cual deriva sus aguas del río Segura y las distribuye mediante una red de acequias y evacúa los retornos de riego mediante una red inversamente complementaria de azarbes (Melgarejo et al., 2013). Las aguas de los azarbes son aplicadas de nuevo al riego por las comunidades de regantes que no tienen derecho a usar directamente el agua del Segura, llegándose a reutilizar el agua hasta cinco veces si se incluye la impulsión final hacia el Campo de Elche de tal modo que se logra una gran eficiencia de uso tomando toda el área en su conjunto. Esta reutilización del agua de riego conlleva, no obstante, un incremento de sus niveles de sales de hasta 0.5 dS/m en términos de conductividad eléctrica a 25°C (CE₂₅) por cada uso del agua. En consecuencia, la última comunidad de regantes de la Vega Baja, Carrizales, es la que dispone del agua de peor calidad y es, además, donde los problemas de inundación son más graves por encontrarse en la parte de elevación más baja y cercana al mar.

La Vega Baja del Segura y el Bajo Vinalopó presentan un clima mediterráneo semiárido, en el que las precipitaciones intensas y las consiguientes inundaciones son características. Suelen estar causadas por situaciones de depresión aislada en niveles altos (DANA) al sur de la península Ibérica, con vientos sostenidos de componente este que soplan sobre el Mediterráneo adquiriendo una gran humedad y agua precipitable. Debido a la elevada temperatura que el mar presenta a finales del verano y el otoño frente al sureste peninsular, estos episodios de lluvias intensas ocurren preferentemente de agosto a noviembre.

Los días 12 y 13 de septiembre de 2019 se produjo un evento de lluvias intensas en la zona de la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó por causa de una DANA muy profunda sobre el mar de Alborán (Martín, 2019). Este episodio produjo una inundación que afectó de forma dramática a una gran extensión de campos de cultivo localizados en la zona de la comunidad de regantes de Carrizales. Las lluvias que cayeron en Carrizales entre ambos días alcanzaron un acumulado total de 272 mm según registros propios con un pico de intensidad de 80 mm/h ocurrido el día 12 en torno al mediodía (Fig. 1).

Sin embargo, dado que Carrizales es zona natural de desagüe tanto del Segura como del Vinalopó una avenida debida al desbordamiento del río Segura y otra procedente del Campo de Elche alcanzaron la zona de Carrizales tres días después de los registros intensos de lluvia manteniéndola inundada durante más de una semana.

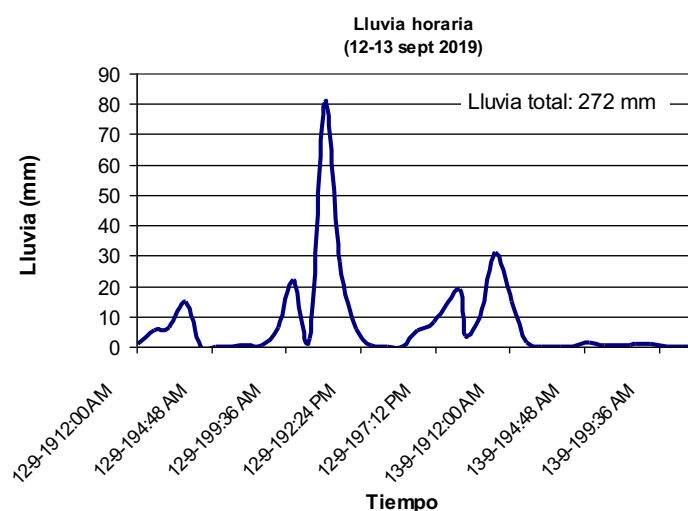


Figura 1. Registro horario de las lluvias caídas entre el 12 y el 13 septiembre de 2019 en la comunidad de regantes de Carrizales.

2. OBJETIVOS

Hasta ahora se desconocía la eficiencia de lavado de los drenajes instalados en la Vega Baja del Segura, así como el efecto que tienen los eventos de inundación en los niveles de humedad y salinidad de los campos de cultivo de la zona. El objetivo principal de este trabajo es disponer de un mejor conocimiento sobre el comportamiento de los suelos y drenajes de la zona de Carrizales frente a un periodo de lluvias intensas e inundación como el causado por la DANA del 12 y 13 septiembre de 2019.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. El proyecto SMART AGROWETLANDS II

El proyecto SMART AGROWETLANDS II - Smart Water and Soil Salinity Management in Agrowetlands, financiado por la convocatoria europea LIFE, tiene como objetivo contrarrestar la degradación del suelo y la alteración de los ecosistemas naturales de los humedales a través de una gestión específica y eficiente de los recursos hídricos. El proyecto prevé la implementación de un sistema inteligente de gestión del riego en dos agrohumedales mediterráneos el cual, mediante el monitoreo de los variables meteorológicas, así como otras del suelo, el agua subterránea y el agua de riego, proporcionará datos a un modelo que simulará la humedad y salinidad del suelo, y a partir de estas simulaciones formulará recomendaciones de riego para apoyar la toma de decisiones de los agricultores.

Este proyecto, liderado por la Universidad de Bolonia y en el que colabora la empresa de tecnología WiNET y el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) ha establecido una red de sensores en una zona de regadío del delta del río Ravena (Emilia-Romagna, Italia) y en la zona de la comunidad de regantes de Carrizales (Elche-Alicante, España). El establecimiento de estas dos redes inalámbricas ha permitido monitorizar las principales variables referentes a la meteorología, así como la salinidad y el nivel de agua de los canales de riego y drenaje, el manto freático y la humedad y salinidad del suelo a diferentes profundidades en dos agrohumedales alejados pero que comparten una problemática similar.

3.2. La parcela experimental de Carrizales

La zona de la comunidad de regantes de Carrizales donde se encuentra la parcela experimental (Fig. 2) se caracteriza por presentar un nivel freático muy superficial (80 cm en la misma parcela), salinidad del suelo elevada ($CE_{es} > 4$ dS/m) y aguas de drenaje con salinidad también muy alta ($CE_{25} \sim 7$ dS/m).



Figura 2. Localización de la parcela demostración en la comunidad de regantes de Carrizales (Elche-Alicante, España)

El campo experimental está cultivado de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y se riega por inundación con unos 720-960 L m⁻² por año a partir de dosis de 80 L m⁻² cada 20 días durante la época de mayor demanda del cultivo y cada 30 días durante el invierno. La parcela cuenta con tubos de drenaje que la atraviesan a 90 cm de profundidad, los cuales desaguan en una zanja abierta en uno de los laterales. Este sistema de drenaje asegura que el nivel freático se mantenga por debajo de los 80 cm en condiciones normales de riego, lluvia y evapotranspiración.

El suelo de la parcela tiene una textura arcillo-limosa, con un nivel de materia orgánica alta (> 2%), contenido de carbonato cálcico equivalente (CCE) elevado (> 40%), y una densidad aparente moderada (< 1.4 gcm⁻³) (Tabla 1). La conductividad eléctrica a 25 °C del agua de riego es muy variable con una media de 4 dS m⁻¹, y un rango que va de 1 a 8 dS m⁻¹ (Fig. 3).

Prof. (cm)	Arc. (%)	Lim. (%)	Are. (%)	Clase textural (USDA)	Materia orgánica (%)	CCE (%)	pH	DA (g/cm ³)
0-10	50.7	42.8	6.5	Limo-arc	3.03	48.3	8.05	1.16
10-30	55.3	40.7	4.0	Limo-arc	2.22	47.5	8.02	1.29
30-60	54.5	41.0	4.5	Limo-arc	1.84	52.8	7.64	1.37
60-90	52.7	42.8	4.5	Limo-arc	1.08	59.5	7.82	--

Tabla 1. Principales características del suelo* del campo de demostración en Carrizales. *Arc.: arcilla, Are.: arena; CCE: carbonato cálcico equivalente; DA: densidad aparente; Lim.: Lim.

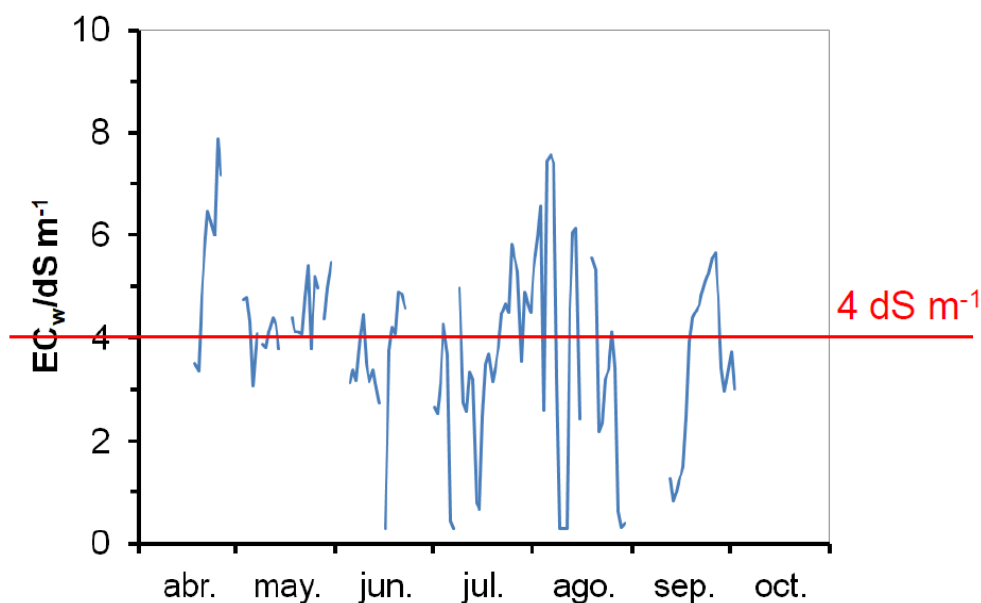


Figura 3. Conductividad eléctrica a 25 °C del agua de riego de Carrizales.

3.3. La red inalámbrica de sensores

La configuración de la red de sensores inalámbricos instalada en la parcela consta de un nodo de recepción de datos mediante Wi-Fi, registro (*data-logger*) y transmisión vía 4G a un servidor remoto, una estación meteorológica completa (Davis Instruments Corp., Hayward, California, EE.UU.) y los siguientes sensores (Fig. 4):

- Tres sensores GS3 de METER Group, Inc. (Pullman, Washington, EE.UU.) para medir la CE, la temperatura y la humedad del suelo en 2 puntos de la parcela a 50 cm de profundidad, y otro instalado en otra parcela no cultivada y sin riego.
- Una sonda TriSCAN de Sentek Pty Ltd. (Stepney, South Australia, Australia) con la que se monitorizó la humedad del suelo cada 10 cm hasta una profundidad de 60 cm, y cada 20 cm hasta 80 cm.
- Tres sensores CTD para el control de la temperatura, salinidad y la altura del agua del canal de riego, del canal de drenaje y del piezómetro instalado en la parcela.

A partir de esta configuración se pueden monitorizar las variables más relevantes para evaluar la eficiencia del riego y el lavado de sales. El sistema fue capaz de registrar las lluvias y el resto de variables hidrológicas y de salinidad de la parcela experimental de forma horaria durante los días en los que la DANA de septiembre afectó a la zona. A partir de la información generada por esta red inalámbrica de sensores se han podido seguir los efectos de la inundación que afectó a la parcela en septiembre de 2019.

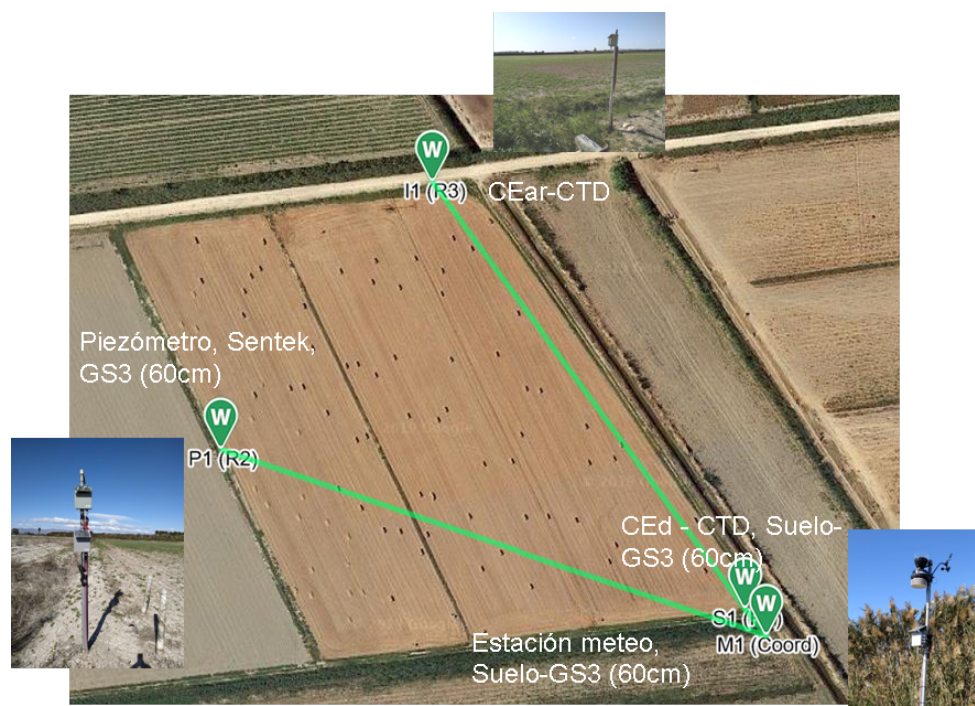


Figura 4. Red inalámbrica de sensores instalados en el campo de demostración de Carrizales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efectos de la DANA en la humedad del suelo

Tal y como se observa en la figura 5, en condiciones normales de riego, lluvia y evapotranspiración la humedad del suelo se mantiene elevada en prácticamente todo el perfil del suelo durante la mayor parte de la primavera y el verano. Por lo tanto, el manejo del riego seguido por el agricultor está siendo adecuado para cultivos con sistemas de enraizamiento profundo como la alfalfa. Esta elevada humedad del suelo asegura la cantidad correcta de agua disponible para la planta en el perfil del suelo hasta una profundidad de 50 cm, además de proporcionar pequeñas pérdidas de agua por drenaje profundo tal y como se puede observar de acuerdo con los pequeños picos de humedad a 80 cm (Fig. 5).

Las pérdidas de agua por drenaje profundo son necesarias para lixiviar el exceso de sales aportadas con el riego, y así mantener el contenido de sales del suelo en la profundidad de enraizamiento dentro de los límites de tolerancia del cultivo. Sin embargo, para cultivos con una profundidad radicular más superficial, como el melón y el brócoli, la dosis de riego debe ser inferior a 80 L m^{-2} , además de aplicarse con mayor frecuencia. En estos últimos casos, se recomienda un sistema de riego más eficiente como el goteo (Visconti et al., 2019, 2020). Aunque la alta salinidad del agua de riego y del suelo aconseja que el sistema de riego por inundación lixivie las sales, el riego por goteo podría instalarse solo para estos cultivos que generalmente están en rotación con otros con sistemas de enraizamiento más profundos e irrigados por inundación como la alfalfa.

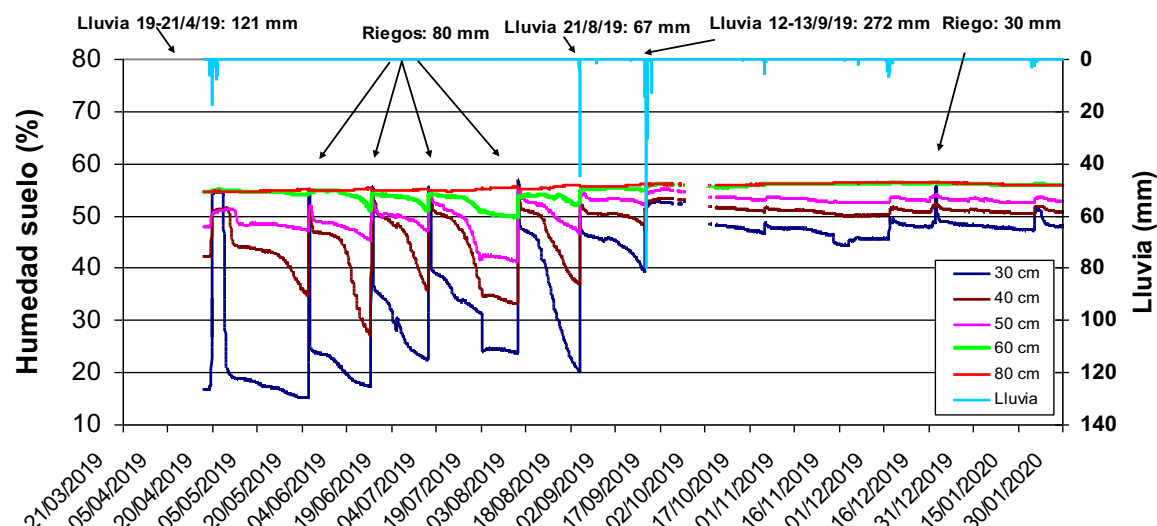


Figura 5. Humedad del suelo a diferentes profundidades de la parcela experimental de alfalfa en carrizales.

Previamente a la DANA, el día 21/8/2019 se produjo en la zona una lluvia de 67 mm que incremento la humedad del perfil del suelo a valores cercanos a la saturación (Fig. 5). Este hecho facilitó que durante el episodio de la DANA ocurrido 22 días después se alcanzase la saturación del suelo rápidamente. La elevada humedad del suelo junto con el nivel freático superficial, que se encontraba a 80 cm de profundidad, facilitó que se alcanzase la saturación de todo el suelo con los primeros 30 mm de lluvia caídos en el inicio de la DANA. La saturación de todo el perfil del suelo (unos 328 mm) provocó la asfixia radicular y la consecuente pérdida del cultivo (Fig. 6). La posterior avenida procedente del desbordamiento del río Segura y la escorrentía del Campo de Elche, junto con la ausencia de transpiración del cultivo, y la gran capacidad de retención del suelo facilitaron que los niveles de humedad se mantuvieran cercanos a la saturación (> 318 mm) durante más de un mes incluso a 30 cm de profundidad.



Figura 6. Estado de la parcela de Carrizales en noviembre de 2019 con toda la alfalfa perdida después de las lluvias e inundación de septiembre

4.2. Efectos de la DANA en la salinidad del suelo

En condiciones normales de cultivo y observando los registros de la conductividad eléctrica en extracto de saturación (CE_{es}) estimados a partir de las lecturas de los sensores GS3 ubicados a 50 cm de profundidad, la salinidad del suelo fue ascendiendo paulatinamente desde los 4 dS m^{-1} en abril hasta los 5 dS m^{-1} y más en agosto (Fig. 7). En cualquier caso, las sales se fueron efectivamente lixiviando del suelo durante estos meses críticos de la temporada de riegos como pone de manifiesto el paulatino ascenso de la CE_{25} del agua del manto freático desde 5 hasta casi 7 dS m^{-1} y el ascenso y descenso del nivel piezométrico siguiendo los riegos (Fig. 9). En las capas superficiales de 0-20 y 20-40 cm la CE_{es} bajó a valores entre 2 y 3.5 dS m^{-1} gracias al efecto de lavado del suelo producido durante la DANA (Fig. 8). Estos valores están cercanos al límite de tolerancia de cultivos como la alfalfa (3.37 dS m^{-1}).

En el campo en el cual no se ha mantenido el cultivo y por lo tanto no se producen lavados de sales por el riego, se observa un nivel más elevado de salinidad según muestran los valores del sensor GS3 localizado cercano a la parcela ensayo. En esta parcela no cultivada los valores de CE_{es} se mantienen muy constantes en torno a los 6 - 7 dS m^{-1} (Fig. 7). Este nivel de salinidad afectaría de forma importante incluso a la mayoría de los cultivos tolerantes existentes en la zona. Según esto, el mantenimiento del riego y de los drenajes en la zona de Carrizales mantendría los niveles de salinidad en valores inferiores en hasta 2 dS/m e incluso más en primavera, por lo que el sistema de riego y drenajes en la zona efectivamente contribuye a mantener la salinidad controlada en valores agronómicamente aceptables.

Durante el inicio de las lluvias de la DANA se produjo un lavado de sales del suelo regado desde horizontes superficiales a más profundos debido a la baja salinidad del aporte de las aguas de lluvia ($CE = 1$ dSm $^{-1}$ según el registro del sensor de salinidad ubicado en el canal de riego), observándose una reducción de casi 1 dS m^{-1} de la CE_{es} del suelo a 50 cm de profundidad durante los días posteriores a las lluvias intensas (Fig. 7). Posteriormente se produce un aporte de agua debido a la avenida del río que arrastró las sales de los campos de la zona incrementándose la salinidad hasta una $CE = 6$ dSm $^{-1}$, lo cual hizo recuperar rápidamente los niveles de salinidad del suelo que se habían observado desde mediados de agosto hasta la DANA y que eran de 5 dS m^{-1} . En contraste con el suelo regado, en el suelo no regado las lluvias en vez de reducir la salinidad del suelo la incrementaron debido, o bien al lavado de las sales de los horizontes superficiales, o bien al ascenso de sales desde el manto freático salino (Fig. 7). Estas sales fueron posteriormente poco a poco lavadas a las capas más profundas del suelo al retirarse las aguas de inundación, pero manteniéndose siempre en niveles superiores al campo regado en casi 1 dS m^{-1} de CE_{es} durante prácticamente el resto del otoño.

Así, la lluvia de la DANA tuvo un efecto de lavado de sales en el suelo regado y de incremento de sales en el suelo no regado, y en los horizontes superiores. Las lluvias intensas contribuyeron a lixiviar las sales del suelo no regado, pero apenas afectó al suelo regado por lo aportes de sales de la avenida del río. Con la avenida posterior del río cargado de sales y por aportes de sales de la capa freática se incrementaron los niveles de salinidad del suelo hasta recuperar sus valores de equilibrio con las aguas subterráneas de la zona.

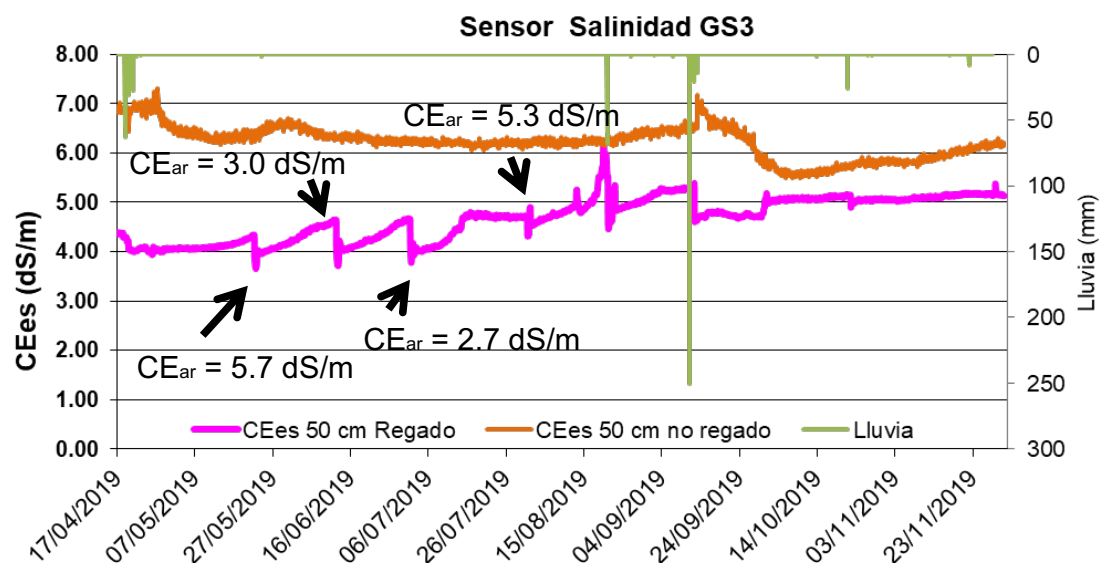


Figura 7. Niveles de salinidad a 50 cm de profundidad del suelo regado y no regado.

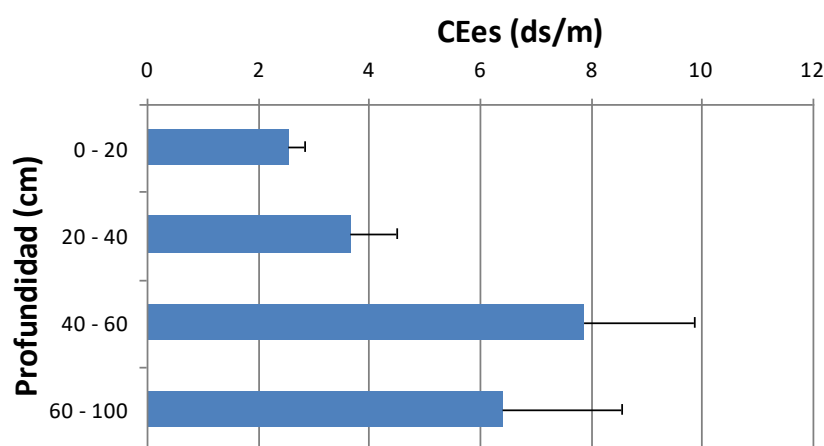


Figura 8. Conductividad eléctrica en el extracto de saturación del perfil del suelo en el campo regado después de la DANA.

4.3. Efectos de la DANA en el nivel freático de la parcela y su salinidad

A partir de las lecturas del sensor CTD instalado en un piezómetro a 1,5 m de profundidad se logró monitorizar la altura piezométrica y la salinidad del agua subterránea del campo (Fig. 9). Según esta monitorización se observó que en condiciones normales las dosis de riego de 80 Lm^{-2} aplicadas por el agricultor no elevan el nivel freático por encima de los 70 cm, y que estas subidas son temporales. Esto indica que el sistema de drenajes de la parcela opera correctamente en condiciones normales de riego, lluvia y evapotranspiración en el cultivo de la alfalfa. Solo en caso de lluvias intensas en la zona los niveles freáticos se elevan alcanzando la zona radicular y afectándola por hipoxia y recarga de sales en las capas superficiales del suelo.

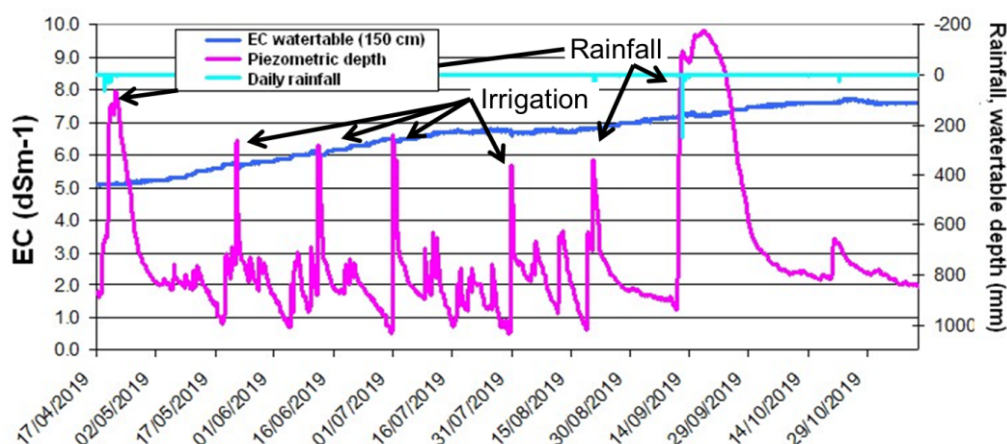


Figura 9. Nivel piezométrico, conductividad eléctrica del agua subterránea y régimen de lluvias durante la campaña de riegos de la alfalfa del año 2019.

Durante el periodo de DANA el nivel piezométrico se elevó hasta la superficie con las primeras lluvias, debido a que el suelo, que se encontraba con una elevada humedad, alcanzó rápidamente la saturación, lo que aceleró la aparición de una lámina de agua a nivel superficial (Fig. 10). Pasada la lluvia intensa del día 12 septiembre (250 mm) y, aunque se produjeron unas lluvias más moderadas (25 mm), se observó un inicio del descenso del nivel freático debido a que los drenajes operaron correctamente y comenzaron a evacuar el exceso de agua. Esta evacuación se frenó debido a la posterior avenida del agua desbordada del río Segura y las escorrentías del Campo de Elche que inundaron la zona e incrementaron el nivel freático de nuevo por encima de la superficie del suelo. Esta avenida superó la capacidad de evacuación del sistema de drenaje de la zona favoreciendo que el suelo se mantuviera con una lámina de agua constante durante 11 días, dando lugar a una situación de asfixia radicular muy prolongada que produjo la pérdida total del cultivo, tardando 30 días en recuperarse los niveles normales en la zona.

Según esto, los drenajes en la misma zona pueden evacuar el agua de las lluvias intensas, pero no son capaces de responder de igual manera frente a un desbordamiento del río como el que ocurrió. Esto señala la importancia de mantener el cauce del río limpio y en buenas condiciones para evitar en lo posible su desbordamiento, así como mantener también en buenas condiciones la red de drenajes para que sean capaces de avenar las aguas hacia el mar de manera directamente evitando en lo posible que desborden a su vez en zonas como la de Carrizales.

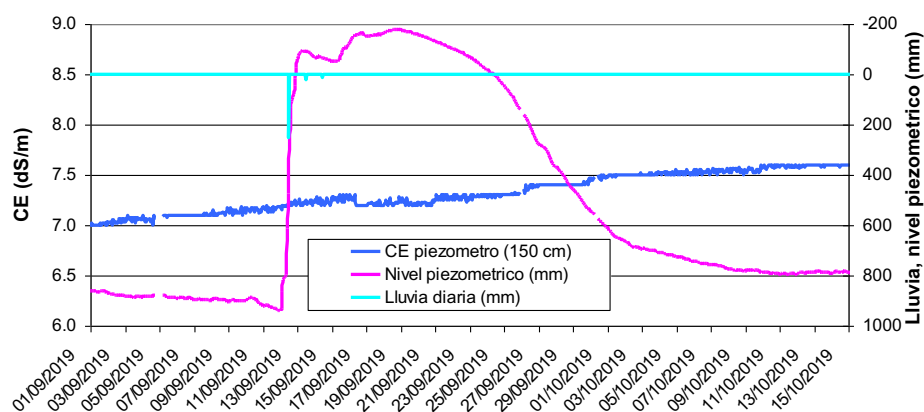


Figura 10. Detalle de la evolución del nivel freático, de su salinidad y el régimen de lluvias en la parcela de Carrizales durante el episodio de la DANA de septiembre de 2019 y las semanas posteriores.

Con respecto a la salinidad del nivel freático, la enorme inercia del contenido en sales de la capa freática a 1,5 metros de profundidad parece ser la causa de que el efecto de lavado de las lluvias de la DANA sobre la parcela no durase. La salinidad del suelo regado y no regado tendieron a igualarse durante el tiempo que duró la inundación rompiéndose dicha tendencia una vez se retiraron las aguas. A la profundidad de 1,5 m solo se ha observado una leve reducción de la salinidad a esa profundidad según los datos recogidos. En última instancia el equilibrio de sales que existe en el campo no fue significativamente alterado durante el episodio de la DANA, debido principalmente a la elevada salinidad del agua freática ($5 - 8 \text{ dS m}^{-1}$).

5. CONCLUSIONES

La instalación de una red inalámbrica de monitoreo nos ha permitido conocer el comportamiento de hidrológico y salino de la parcela. Gracias a esta información podemos decir que el mantenimiento del sistema de drenaje de la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó es crucial para evitar los daños en la agricultura producidos por las inundaciones provocadas por periodos de lluvias intensas, así como la salinización de las tierras de cultivo. Estos drenajes pudieron evitar los daños producidos por la inundación producida por la DANA del 12-13 septiembre de 2019 si no se hubiera producido el desbordamiento del río Segura y la posterior inundación de la zona. La salinidad de la zona no se vio muy afectada debido a la enorme inercia de la salinidad de las aguas freáticas de la zona. Solo en la zona radicular del suelo se produjo un lavado de sales desde horizontes superficiales ($< 40 \text{ cm}$) hacia los subterráneos ($> 40 \text{ cm}$). Gracias a la red inalámbrica de sensores se pudo determinar que una lámina de agua se mantuvo durante 11 días a nivel de la superficie lo que provocó la asfixia total de los cultivos de la zona y que los niveles freáticos tardaron 30 días en volver a sus valores normales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Programa LIFE 2014-2020, Proyecto LIFE AGROWETLANDS II - Smart water and soil salinity management in agro-wetlands / Gestión inteligente de la salinidad del agua y el suelo en los humedales agrícolas - LIFE15 ENV/IT/000423 coordinado por Alma Mater Studiorum Università di Bologna.

REFERENCIAS

- De Paz, J. M., Visconti, F. & Rubio, J. L. (2011). Spatial evaluation of soil salinity using the WET sensor in the irrigated area of the Segura river lowland. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174, 103-112.
- Martín, F. (2019). Los “secretos” de la catastrófica dana de septiembre de 2019. Parte I. <https://www.tiempo.com/ram/los-secretos-de-la-catastrofica-dana-de-septiembre-de-2019-parte-i.html>
- Melgarejo, J., Trapote, A. y Roca, J. F. (2013). La infraestructura hidráulica y la gestión del agua en los regadíos tradicionales en la Vega Baja del Segura (Alicante). *Revista Pilquén*, 13, 1-20.
- Visconti, F., Romero, P., Salvador, A., Navarro, P. y de Paz, J. M. (2019). Effects of three irrigation systems on ‘Piel de Sapo’ melon yield and quality under salinity conditions. *Agricultural Water Management*, 226, 105829. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105829>
- Visconti, F., Romero, P., Salvador, A., Navarro, P. y de Paz, J. M. (2020). Producción y calidad del melón piel de sapo regado por goteo superficial y subsuperficial en condiciones de salinidad. *Agrícola Vergel: Fruticultura, Horticultura, Floricultura*, 423, 33-39.