

COMPLETADO DE DATOS MEDIDOS POR SENSORES DE HUMEDAD DE SUELO: CASO DE ESTUDIO EN ESTACION DE MONITOREO AUTOMÁTICA (EMA) DE LA RED IHREDA

Christian A. Mancino^{a,b}, Raúl E. Rivas^{a,b}

^aInstituto de Hidrología de Llanuras “Dr Eduardo Usunoff”, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, ARGENTINA.

^bComisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, ARGENTINA.

e-mail: cmancino@ihlla.org.ar

RESUMEN

Es común que ocurra la discontinuidad de datos meteorológicos y de superficie debido, principalmente, a desperfectos técnicos de las EMAs. El objetivo de este trabajo es mostrar la capacidad de completar datos faltantes de una EMA a partir de otras EMAs. El caso de estudio comprende 3 EMAs: La Alcira (37°29'57''S-58°54'32''O, 186m.s.n.m) que monitorea las condiciones de desarrollo de un cultivo de cebada y las EMAs de la red IHREDA EM45 (37°17'12"S-58°57'30"O; 155m.s.n.m.) y EM42 (37°26'2.19"S- 59° 6'41.22"O; 290m.s.n.m.) ambas sobre pastura natural (vertiente sur del río Salado, provincia de Buenos Aires). Todas las estaciones son de balance de energía donde se mide principalmente la temperatura y humedad relativa del aire, precipitación, radiación neta, y el contenido volumétrico del agua en suelo (VWC, por sus siglas en inglés), entre otras. Para el caso de estudio se completaron datos (21 días) en el período de invierno-primavera de 2020 (127 días) del VWC. El VWC se determina a partir de la permitividad dieléctrica del medio (modelo sensor CS655). En el análisis se consideraron las precipitaciones y sus correlaciones. Los sensores fueron instalados a distintas profundidades [La Alcira:(8cm-30cm-60cm), EM45:(8cm-50cm) y EM42:(8cm-40cm)] según el desarrollo de los horizontes del suelo restringiendo el análisis matemático a la similitud de éstos. Se procedió a correlacionar los datos tomados a la misma hora en las 3 estaciones a partir de regresiones lineales. Una vez obtenidas las ecuaciones de correlación para cada profundidad se procedió al completado de datos faltantes en la EMA La Alcira. Las mejores correlaciones se dan entre VWC_8cm-(La Alcira) y VWC_8cm-(EM45) $R^2=0.94$; entre VWC_30cm-(La Alcira) y VWC_40cm-(EM42) $R^2=0.91$ y entre VWC_60cm-(La Alcira) y VWC_50cm-(EM45) $R^2=0.94$. Se concluye que, es importante tener un buen conocimiento de perfil edáfico de estas estaciones de tal manera de no caer solo en una mera correlación matemática.

Palabras Clave: Correlación, sensor CS655, Permitividad, Contenido Volumétrico, Propiedades Edáficas

INTRODUCCIÓN

La red de monitoreo IHREDA se ideó para dar una respuesta a la problemática ambiental de la provincia de Buenos Aires (www.ihreda.com.ar) en el marco de la convocatoria de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) Fondos Sectoriales (FONARSEC/2013 MAyCC). La red de monitoreo contiene 31 EMAs distribuidas en la vertiente sur del río Salado (40.000 Km²), región agro-productiva donde residen unos 500.000 habitantes (ver Fig. 1a).

La cuenca presenta características propias de llanura, con pendientes del orden del 1% donde predominan los flujos verticales respecto a los horizontales. El 85% del agua que precipita se va por los procesos de evaporación y transpiración, el 10% por infiltración y el 5% restante por escurrimiento superficial. El clima es templado cálido, con heladas en invierno y primavera. Las precipitaciones disminuyen hacia el sur-oeste de 1000 a 700 mm anuales. Estas son más intensas en primavera y otoño, pudiendo producirse déficit hídrico durante el verano.

El caso de estudio comprende 3 EMAs ubicadas en el partido de Tandil (ver Fig. 1b): Una estación móvil en la Ea. La Alcira ($37^{\circ}29'57''\text{S}-58^{\circ}54'32''\text{O}$, 186 m.s.n.m) que monitorea las condiciones de desarrollo de un cultivo de cebada y las EMAs de la red IHREDA EM45-Ea. La Lucila ($37^{\circ}17'12''\text{S}-58^{\circ}57'30''\text{O}$; 155 m.s.n.m.) y EM42-Ea ambas instaladas en pasturas naturales (ver Fig. 2).

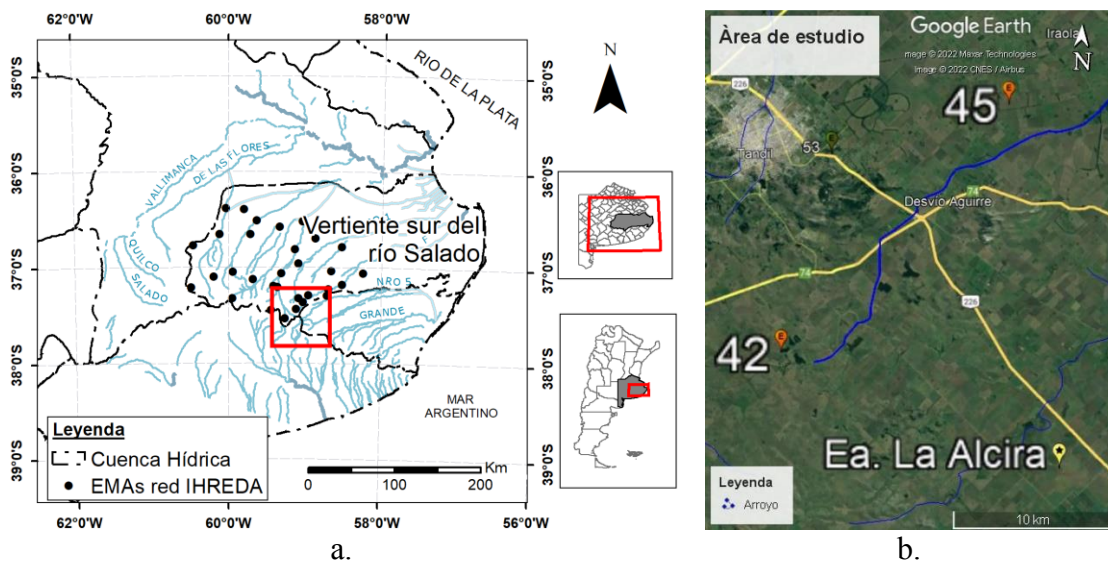


Figura 1. a. Ubicación de las EMAs. de la red IHREDA en la cuenca del Salado. b. Ubicación de las estaciones mostrando solo las que se usaron en este trabajo: EM42 y EM45 (red IHREDA) y La Alcira (estación móvil).



Figura 2. Parcela con cebada (izquierda) y entorno de las EMAs (centro y derecha).

Las estaciones son de balance de energía, en ellas se mide principalmente la radiación neta entrante y saliente de la superficie, la temperatura y humedad relativa del aire, la precipitación, el nivel freático y el contenido volumétrico del agua en suelo (VWC, por

sus siglas en inglés), entre otras variables (para mayor detalle ver en Rivas R. y Mancino C., 2020). En la Tabla I se muestra una comparación de las variables físicas que mide cada estación.

Tabla I. Variables físicas de superficie que mide cada estación (entre paréntesis la unidad y entre corchetes el código comercial de cada sensor).

| Variable física que se mide, unidades y modelo del sensor | Estación de Monitoreo Ambiental | | |
|---|---------------------------------|-----------|-----------|
| | La Alcira | El Parque | La Lucila |
| Precipitación e intensidad (mm) [PMB25] | | x | x |
| Precipitación (mm) [TE525MM] | x | | |
| Velocidad y dirección del viento (m/seg) [Windsonic4 2D] | x | x | x |
| Temperatura (°C), y Humedad relativa del aire [%] [CS215] | x | x | x |
| Presión atmosférica (hPa) [CS100] | | x | x |
| Nivel Freático (m), y temperatura del agua subterránea (°C) [CS451] | | x | x |
| Radiación Neta (W/m ²) [CNR4] | x | | x |
| Radiación Global (W/m ²) [CMP3] | | x | |
| Contenido volumétrico (m ³ /m ³), Conductividad (dS/m), Permitividad (..) y Temperatura del suelo (°C) [CS655] | x | x | x |
| Contenido volumétrico (m ³ /m ³), Conductividad (dS/m), Permitividad (..) y Temperatura del suelo (°C) [SoilVUE10] | x | | |
| Reflectancia espectral reflejada e incidente (W/m ² nm) [SRS-Nr, SRS-Ni] | x | x | x |
| Flujo de calor en el suelo (W/m ²) [HFP01] | x | x | x |
| Temperatura Radiativa de superficie (°C) [SI-111] | x | x | x |

Es común que ocurra la discontinuidad de datos debido principalmente a eventos climáticos extremos, a desperfectos técnicos de las EMAs, rotura de sensores y es por ello por lo que el objetivo de este trabajo es mostrar la capacidad de completar datos faltantes de una EMA a partir de otras EMAs periféricas.

MÉTODOS O DESARROLLO EXPERIMENTAL

El CS655 es un sensor multiparamétrico que mide el contenido volumétrico de agua, la conductividad eléctrica, la permitividad dieléctrica y la temperatura, en los suelos o en otros medios porosos. Para los fines prácticos de este trabajo solo se correlacionó el contenido volumétrico de agua (entre 0,10 a 0,40 m³/m³) variable de relevancia al momento de estimar la evapotranspiración real del sistema suelo planta.

El contenido volumétrico de agua se deriva de la sensibilidad del sensor a la permitividad dieléctrica del medio que rodea las varillas de acero inoxidable. El CS655 está configurado como un reflectómetro de contenido de agua, con dos varillas paralelas formando una línea de transmisión abierta. Un circuito oscilador diferencial está conectado a las varillas, con un cambio de estado del oscilador activado por el retorno de

una señal reflejada desde una de las varillas. El tiempo de viaje bidireccional de las ondas electromagnéticas que son inducidas por el oscilador en la varilla varía con el cambio de la permitividad dieléctrica. El agua es el principal contribuyente a la permitividad dieléctrica del suelo o medios porosos, por lo que el tiempo de viaje de la onda reflejada aumenta al aumentar el contenido de agua y disminuye al disminuir el contenido, de ahí el nombre de reflectómetro de contenido de agua. El tiempo de viaje promedio de la onda reflejada multiplicado por un factor de escala de 128 se denomina promedio del período. El promedio del período se informa en microsegundos y se considera que es la producción bruta de un reflectómetro de contenido de agua (Campbell Sc. Inc., 2021). Estos parámetros son medidos a lo largo de la longitud de sus varillas, que en el caso de este modelo es de 12 cm de longitud. Las varillas del sensor se pueden insertar verticalmente en la superficie del suelo o enterrarse en cualquier orientación de la superficie (Rivas y Mancino, 2020). El volumen sensible depende de los medios circundantes. En el suelo, el volumen sensible se extiende aproximadamente 8 cm desde las varillas a lo largo de su longitud y 4,5 cm más allá del extremo de las varillas (Campbell Sc. Inc., 2021).

Se realizaron 2 calicatas para la instalación de la torre de comunicación de la red IHREDA y se aprovechó a realizar una descripción del suelo. Los suelos de la EM42 y la EM45 en sus primeros 30 y 40 cm respectivamente son limo arcilloso que luego pasan a arcillo limoso. En la Fig. 3 puede verse las calicatas realizadas y las variaciones edáficas del suelo.

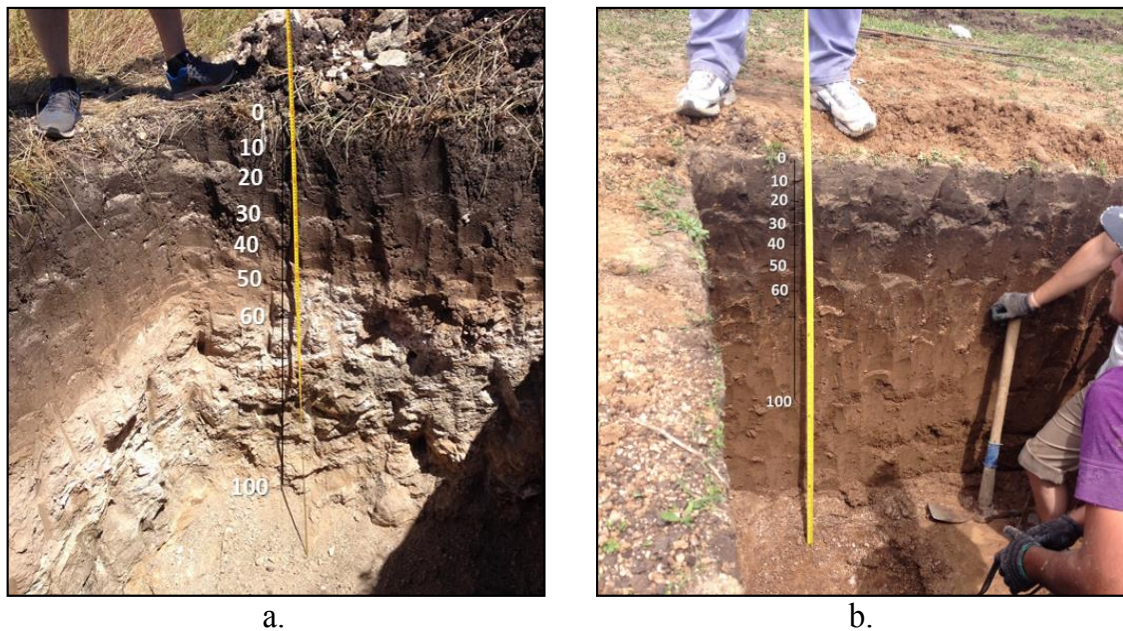


Figura 3. Perfil de suelo en: a. Ea. El Parque (EM42) y b. Ea. La Lucila (EM45).

En La Alcira en cambio, se realizó un muestreo del suelo cada 10 cm con barreno, en el artículo de Olivera *et al.*, 2021 puede verse los alcances de este muestreo. Luego se analizaron las muestras en laboratorio usando la adaptación del método de Bouyoucos (L Grion-G Piñeiro - Baldasini).

Los resultados de los análisis se encuentran en la Tabla II.

Tabla II. Análisis textural del suelo en La Alcira.

| Muestra | % Arcilla | % Limo | % Arena | TEXTURA |
|---------|-----------|--------|---------|-----------------------|
| 0-10 | 25 | 52 | 22 | Franco Limoso |
| 10-16 | 42 | 40 | 17 | Arcillo limoso |
| 20-30 | 27 | 52 | 20 | Franco Limoso |
| 30-40 | 45 | 32 | 22 | Arcilloso |
| 40-50 | 40 | 42 | 18 | Franco Arcillo limoso |
| 50-60 | 40 | 42 | 18 | Franco Arcillo limoso |

Los sensores fueron instalados a distintas profundidades y orientaciones. En el caso de La Alcira se instalaron de forma horizontal a 8, 30 y 60 cm de profundidad, mientras que los sensores de la red IHREDA se insertaron de forma vertical: a 8 y 50 cm en la EM45; y a 8 y 40 cm en la EM42 (ver Fig. 4). Estos últimos sensores fueron instalados hace 4 años por lo tanto el perfil de suelo se encuentra similar a las condiciones naturales, sin flujos preferenciales.

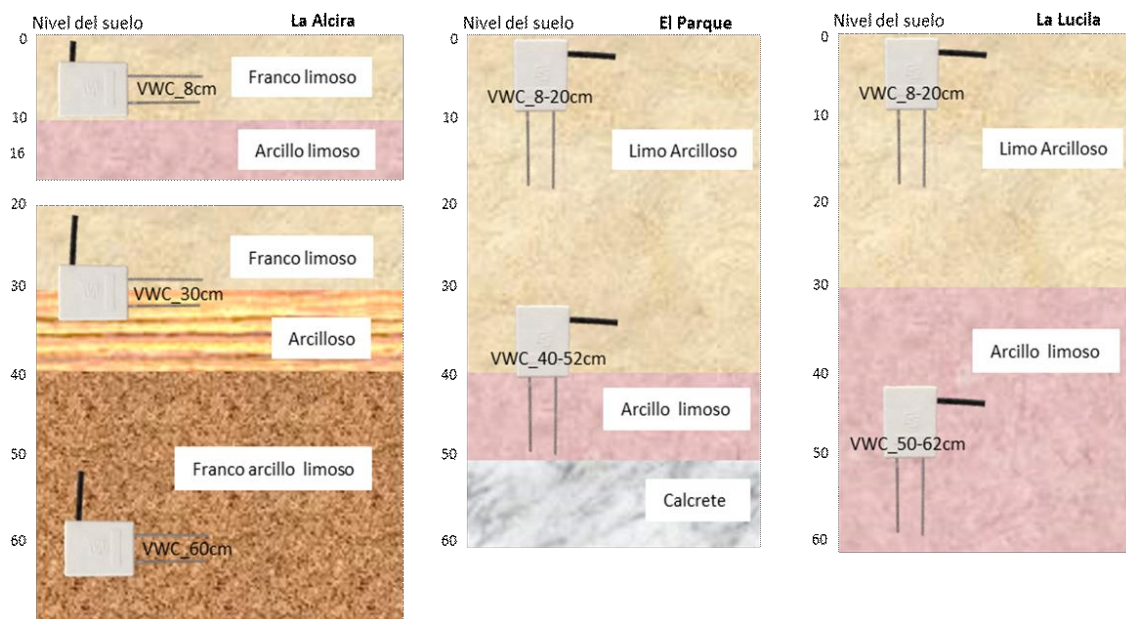


Figura 4. Comparación de los perfiles de suelo y ubicación de los sensores en las EMAs.

Para el completado de los datos se hicieron comparaciones entre datos medidos en las estaciones buscando el mejor ajuste y considerando en todos los casos la similitud de los horizontes de suelo de las estaciones.

Teniendo en cuenta estas características se procedió a correlacionar los datos de las diferentes estaciones a partir de regresiones lineales (en el eje x la estación usada de referencia para el ajuste y en el eje y la estación que se completa el dato). Se seleccionaron valores del contenido volumétrico de suelo medidos a la misma hora (8:50 AM) de las 3 estaciones, distribuidos en todo el periodo de registro de la EMA La Alcira. Dentro de

ese rango se seleccionaron los valores extremos para cada sensor para abarcar una mayor dispersión de los datos y un número reducido de valores intermedios (ver Tabla III).

Tabla III. Valores extremos de contenido volumétrico en suelo.

| Estación | La Alcira | | | (EM42) El Parque | | (EM45) La Lucila | |
|--|-----------|------|------|---------------------|------|---------------------|------|
| | 8 | 30 | 60 | 8 | 40 | 8 | 50 |
| Profundidad (cm) | 8 | 30 | 60 | 8 | 40 | 8 | 50 |
| VWC Mínimo (m ³ /m ³) | 0,08 | 0,20 | 0,19 | 0,19 | 0,27 | 0,26 | 0,15 |
| VWC Máximo (m ³ /m ³) | 0,19 | 0,36 | 0,35 | 0,36 | 0,42 | 0,40 | 0,38 |

Para el caso de estudio se completaron datos del VWC de 21 días de un total de 127 días en el período de invierno-primavera de año 2020. Complementariamente se consideraron las precipitaciones y sus correlaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 5 se pueden observar las dispersiones logradas entre las estaciones y los mejores ajustes con sus ecuaciones.

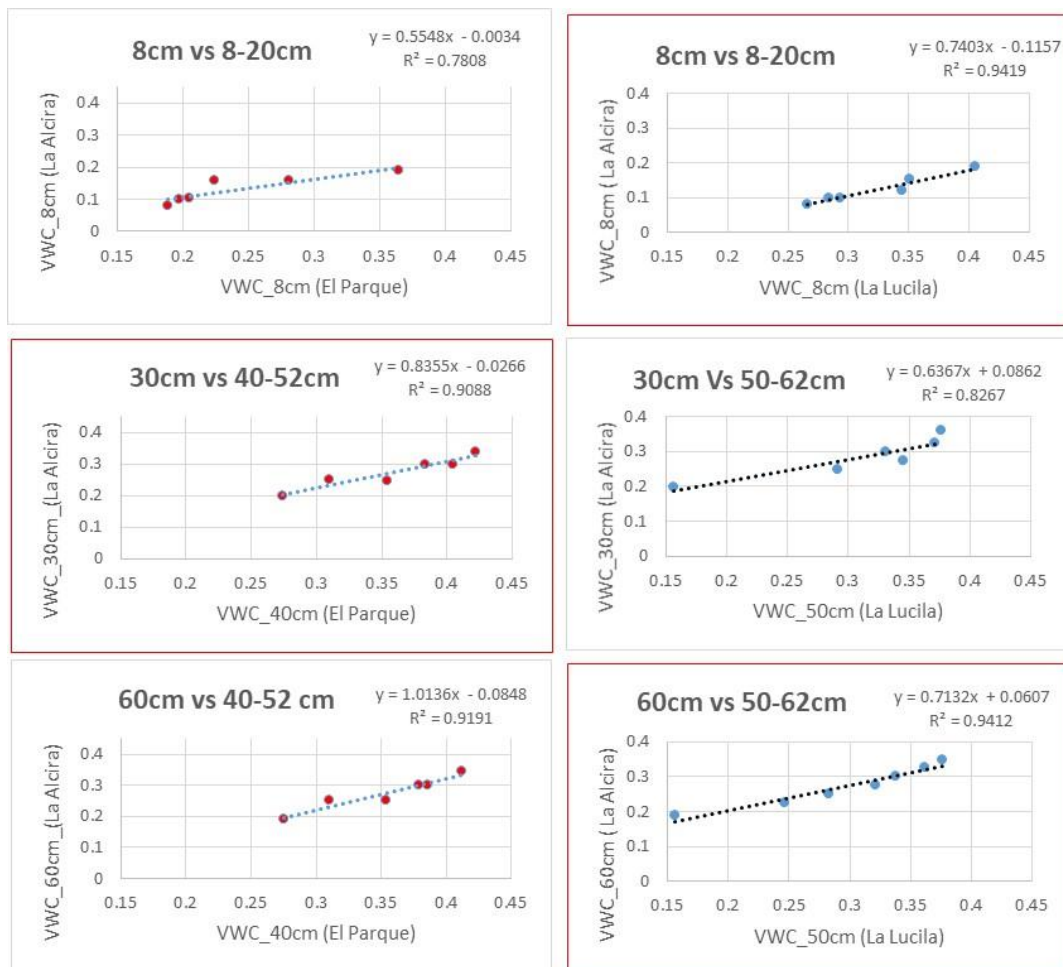


Figura 5. Gráficos de correlación entre el contenido volumétrico de agua en suelo (VWC) de La Alcira con El Parque y con La Lucila. Los gráficos con recuadro rojo indican la mejor correlación.

Las mejores respuestas se observan entre VWC_8cm-(La Alcira) y VWC_8cm-(EM45) $R^2=0.94$; entre VWC_30cm-(La Alcira) y VWC_40cm-(EM42) $R^2=0.91$ y entre VWC_60cm-(La Alcira) y VWC_50cm-(EM45) $R^2=0.94$, (ver Tabla IV).

Tabla IV. Valores del coeficiente de determinación (R^2) y las ecuaciones usadas para la correlación.

| La Alcira | El Parque | | La Lucila | |
|-----------|-----------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | VWC_8cm | VWC_40cm | VWC_8cm | VWC_50cm |
| VWC_8cm | 0.78 | | 0.94 $y = 0.7403x - 0.1157$ | |
| VWC_30cm | | 0.91 $y = 0.8355x - 0.0266$ | | 0.83 |
| VWC_60cm | | 0.92 | | 0.94 $y = 0.7132x + 0.0607$ |

Una vez identificadas las mejores correlaciones, se aplicaron las ecuaciones de regresión para obtener los valores faltantes de humedad en el perfil de suelo de la EMA La Alcira. En la Fig. 6 se muestran los gráficos de los datos completados en el cual se observa que han tenido un ensamble aceptable para los 21 días faltantes.

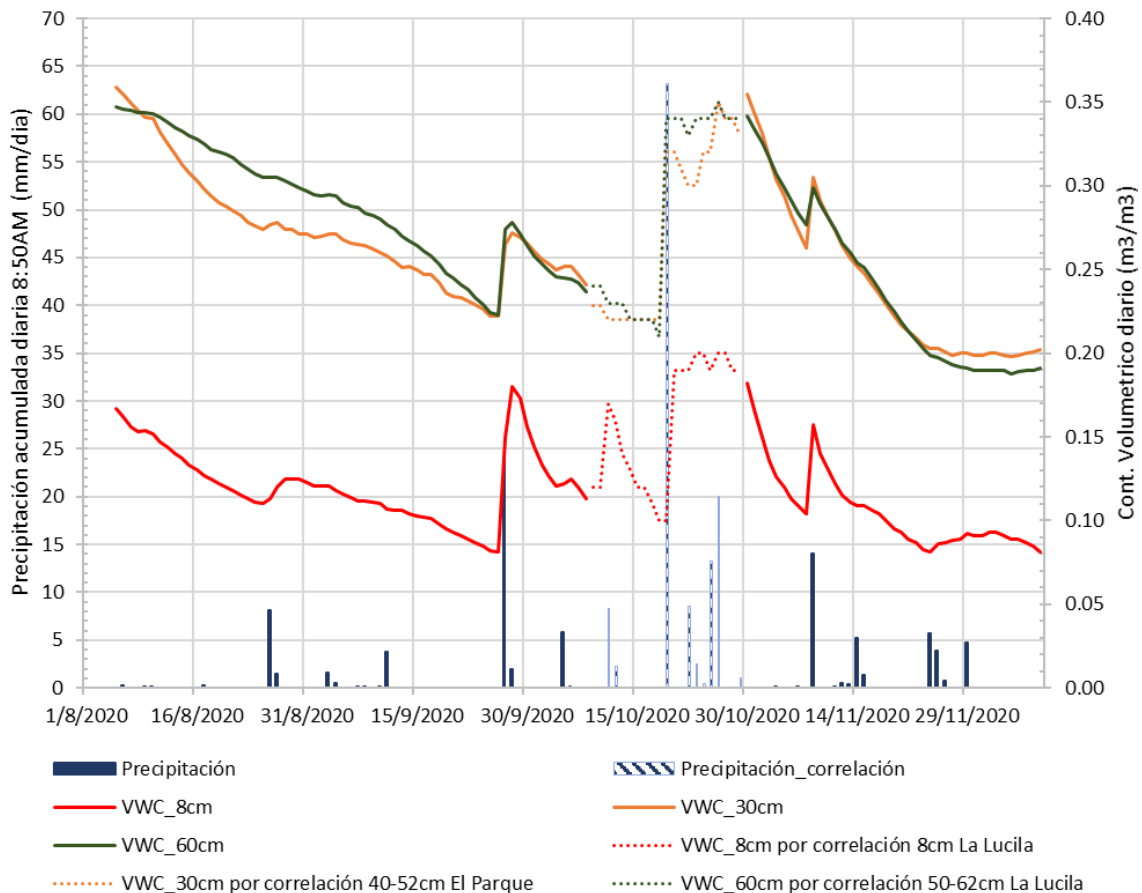


Figura 6. Comportamiento del contenido volumétrico de agua en suelo (línea llena) y precipitación (diagrama de barras lleno) de la EMA La Alcira incluyendo el relleno de los datos faltantes con datos de las EMAs de la red IHREDA (línea punteada y diagrama en barra rayado).

CONCLUSIONES

En el trabajo se completan datos faltantes, de humedad de suelo estimada a partir de la permitividad dieléctrica, de una estación que monitorea un cultivo de cebada a partir de regresiones sencillas logradas de estaciones cercanas. Los ajustes logrados presentan un coeficiente de determinación alto ($> 0,91$) que es consecuencia de la similitud de textura entre los horizontes de suelo correlacionados. Disponer de la información textural en donde se ubican los sensores de permitividad es fundamental al momento del completado de datos. También es importante tener en cuenta la variabilidad estacional en la zona de estudio, ya que en el invierno las precipitaciones son de carácter regional y no como ocurre en verano. Por lo tanto, las humedades se pueden trabajar por comparación sencilla, sin embargo, en verano se debería de tener precaución al momento de hacer comparaciones directas ya que no existe la seguridad de que las precipitaciones ocurran en todos los sitios de la misma forma.

Esta técnica se puede replicar a otras áreas donde se disponga de la información suficiente y los parámetros obtenidos pueden utilizarse para el completado de datos en suelos con horizontes similares a los descriptos en este trabajo.

REFERENCIAS

- Campbell Sc. Inc. Instruction Manual. CS655/650 Water Content Reflectometers. Revision 11/2021. <https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/cs650.pdf>. (2021).
- Olivera Rodriguez, P., Holzman, M. E., Mujica, C. R., Rivas, R. E., & Aldaya, M. M. Different Approaches to Assessing Pollution Load: The Case of Nitrogen-Related Grey Water Footprint of Barley and Soybean in Argentina. *Water*, 13(24), 3558 (2021).
- Rivas R. y Mancino C. MANUAL PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE MONITOREO DE ALERTA DE INUNDACIONES Y SEQUÍAS, 108 páginas. 1ra Edición especial, La Plata, Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires, Argentina. ISBN: 978-987-98816-5-1. <https://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/10710>. (2020).