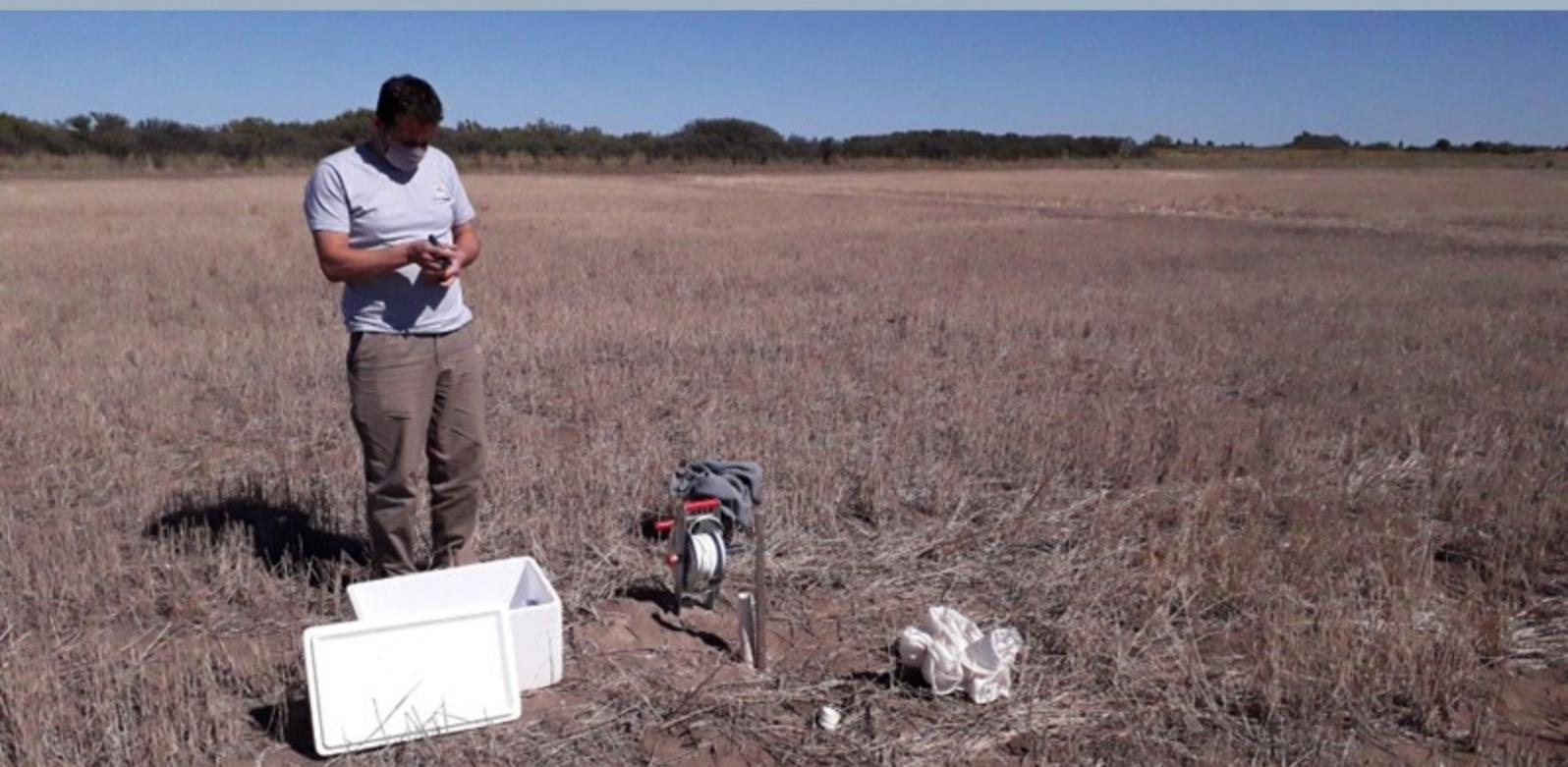


# Análisis de la dinámica en la profundidad y calidad de la napa freática a nivel de lote en el valle bonaerense del río Colorado

Zubiaga Luciano, Vanzolini Juan Ignacio, Dunel Luciana, Storniolo Romina, Ombrosi Diego y Álvarez Cristian

ISSN 0328-3399 Informe técnico N° 91



ISSN 0328-3399 Informe técnico N°91  
Mayo 2024 – INTA Hilario Ascasubi

# Análisis de la dinámica en la profundidad y calidad de la napa freática a nivel de lote en el valle bonaerense del río Colorado

Estación Experimental  
Agropecuaria  
Hilario Ascasubi

Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria  
Argentina



## **Análisis de la dinámica en la profundidad y calidad de la napa freática a nivel de lote en el valle bonaerense del río Colorado.**

Zubiaga, L., Vanzolini, J., Dunel, L., Storniolo, R., Ombrosi, D. y Álvarez, C.  
INTA Hilario Ascasubi.  
ISSN 0328-3399 Informe técnico N°91.

### **Resumen**

La existencia de un nivel freático poco profundo puede ser una fuente disponible de agua subterránea para los cultivos en el Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Su contribución estaría condicionada no solo por la profundidad y la calidad de esta, sino también por el cultivo (raíces y tolerancia a encharcamiento - salinidad). El objetivo de este trabajo fue evaluar las fluctuaciones en la profundidad y las características químicas de la napa freática, y estimar su aporte sobre el rendimiento de los principales cultivos en el VBRC. El estudio se llevó a cabo en un lote (aproximadamente 3 ha) de la EEA INTA Hilario Ascasubi. Entre enero de 2021 y abril de 2022 se realizaron evaluaciones periódicas del nivel freático y calidad del agua en cuatro freatómetros equidistantes (50 m) y distribuidos en línea recta atravesando el centro del lote. El nivel freático se determinó mediante la distancia entre el nivel superior de la zona saturada hasta la superficie del suelo. Además, se analizó en el agua libre del freatómetro: sólidos disueltos totales (SDT), pH, conductividad eléctrica (CE), concentración de calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos ( $\text{meq L}^{-1}$ ) y se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS) y carbonatos residuales (CRS), además de las relaciones de los principales aniones y cationes. Asimismo, se asoció el nivel y calidad del agua de la napa con características de los principales cultivos (raíces, tolerancia a encharcamiento - salinidad y rendimiento) realizados en el VBRC. Se observaron fluctuaciones espaciales y temporales en el nivel freático. En promedio se encontró a una profundidad de 1,55 m (1,00 - 1,91 m), con diferencias de hasta 0,40 m entre freatómetros (desvío de 0,17 m) en la misma fecha de medición. El descenso se asoció a la veda o período en el que se excluye el riego en el VBRC y el ascenso al

ciclo de riego o período en el que se aplica este complemento. La relación entre el nivel freático y el desarrollo radicular teórico de los principales cultivos en el VBRC permitió especular con que los cultivos hortícolas solo alcanzarían la zona no saturada, y los cereales y las pasturas perennes podrían llegar a la zona semi-saturada y saturada del perfil hídrico del suelo. Si bien ello podría determinar un aporte de agua, la misma podría limitar el perfil del suelo de acuerdo con las condiciones de anaerobiosis que se producen en la zona saturada. Al analizar el comportamiento de la calidad asociada a parámetros como CE y pH, no se observaron fluctuaciones significativas ( $p=0,36$ ) temporales (durante los ciclos de evaluación), aunque sí espaciales (posiblemente asociados con la distancia/pendiente al canal de drenaje. El pH se ubicó entre 7,5 y 7,8, dentro del rango normal (6,5 – 8,4) establecido bajo las directrices para interpretar la calidad del agua para riego. La composición iónica demuestra que en promedio los cationes mayoritarios corresponden al calcio (51,3 %) y sodio (34,9 %), mientras que los sulfatos (43,2 %) y cloruros (37,1 %) prevalecen dentro de los aniones. De acuerdo con la salinidad, los valores de CE se situaron entre 1,84 y 5,20 dS  $m^{-1}$  y los SDT entre 1340 y 4477 mg  $L^{-1}$ , lo que determinó un grado de restricción desde ligero a moderado hasta severo en la disponibilidad de agua para los cultivos. Asimismo, al relacionar estos parámetros con los niveles de tolerancia teóricos de los principales cultivos en el VBRC, no se presentarían pérdidas en el rendimiento de aquellos cultivos tolerantes (cebada y agropiro) o medianamente tolerantes (trigo, sorgo y festuca), sin embargo, ascenderían hasta un 40 % en aquellos cultivos moderadamente sensibles (avena, girasol, maíz y alfalfa). De acuerdo con estos resultados, se destaca la importancia de evaluar la posible incidencia de la napa freática a partir de su profundidad y calidad, seleccionando aquellos cultivos que mejor se adapten a sus características.

**Palabras clave:** nivel freático, caracterización química, relación cultivo - napa, Hilario Ascasubi.

## **Introducción**

En los perfiles de suelo de áreas con influencia de la napa freática, se distinguen tres zonas hídricas bien diferenciadas desde la superficie: una “no saturada”, que es la más extensa e importante desde el punto de vista del desarrollo radicular; una “semi-saturada”, ubicada sobre el plano freático y cuyo espesor depende de la capilaridad textural, siendo la columna de ascenso capilar menor a medida que la textura es más arenosa. Finalmente, una zona “saturada”, que se corresponde con la napa freática propiamente dicha (Sánchez, 2013). El nivel freático es el techo de la zona saturada en un perfil de suelo (Jobbágy y Noretto, 2015).

Las geofomas del paisaje, la posición topográfica dentro del mismo y las propiedades físicas de los suelos (por ejemplo, la textura) establecen las características del ambiente influenciado por la napa y la contribución de esta a la productividad de los cultivos. En este sentido, el beneficio de la presencia de la napa estará condicionado tanto por su oscilación en profundidad como por las características fisicoquímicas del agua disponible. Cuando se encuentra en cercanías de la superficie del suelo (menor a 3 m) favorece el intercambio de agua y nutrientes con el suelo y la vegetación, y puede ser una fuente subterránea de agua para los cultivos. A la vez, si se superan ciertos umbrales en parámetros específicos pueden aparecer problemas de salinización y anegamiento, provocando la merma en los rendimientos y pérdidas de cultivos.

En un lote cultivado, la disponibilidad del agua de la napa dependerá de la ubicación y dimensión de la zona capilar, que se define como el volumen del suelo por donde asciende el agua (ascenso capilar). La capilaridad resulta de la textura del suelo, siendo mayor en texturas finas, aunque la tasa de ascenso puede ser variable. Numerosos trabajos demuestran que cuando la napa freática se encuentra entre 0,50 y 2,50 m de profundidad, sus aportes pueden alcanzar el 100 % de los requerimientos para períodos considerados críticos (Mejia et al., 2000; Dardanelli & Collino, 2002; Kahlow et al., 2005; Mueller et al., 2005; Saks, 2014), proporcionando en la estabilidad productiva de los cultivos en ciclos con escasos aportes de las precipitaciones. Si bien

estos autores han observado importantes aumentos en el rendimiento de los cultivos asociados al nivel freático, no hacen referencia al impacto de la calidad del agua freática sobre los mismos.

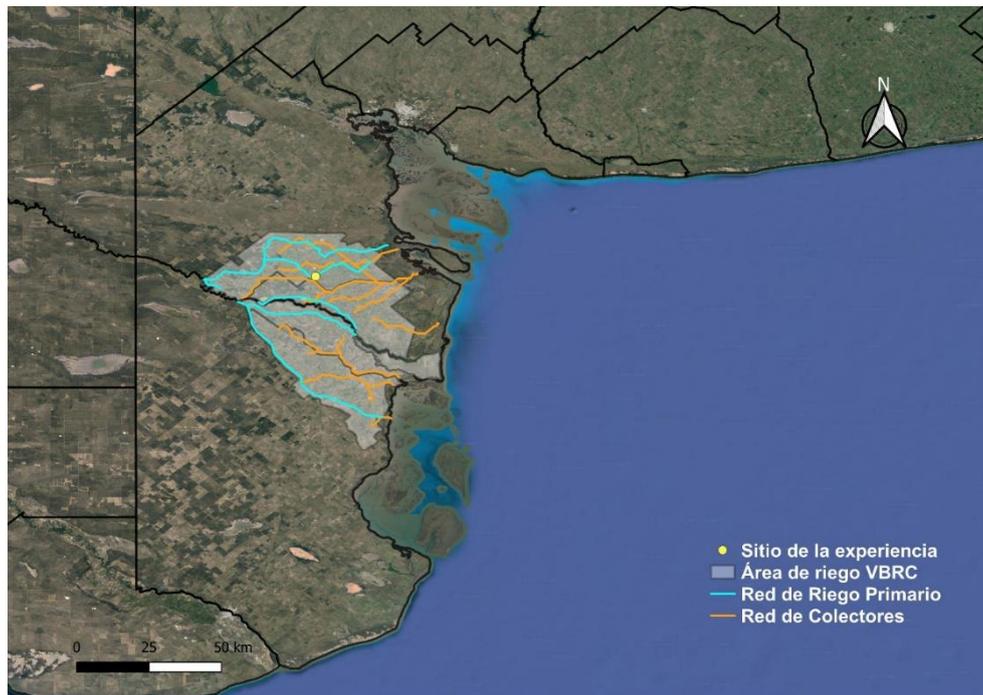
Las elevaciones estacionales y ocasionales de los niveles freáticos pueden estar asociados a una mayor recarga de los acuíferos, tanto por aportes de agua durante la época de riego como por las precipitaciones. En estos ascensos, la napa se constituye en una fuente adicional de agua para los cultivos cuando las raíces son capaces de llegar hasta el frente capilar. El aprovechamiento por parte de las plantas dependerá de la profundidad de las raíces del cultivo o especie implantada (Dardanelli y Bachmeier, 1993). No obstante, la presencia de una napa cercana a la superficie puede condicionar la profundidad efectiva del perfil, ya que su nivel determina el límite por debajo del cual se presentan condiciones de anoxia o anaerobiosis del suelo. La ausencia de oxígeno en la zona saturada restringe el desarrollo radicular (Ponnamperuma, 1984) y, en consecuencia, puede tener efectos negativos considerables en el crecimiento y el rendimiento de los cultivos (Leyshon & Sheard, 1974; Davies & Hillman, 1988; Sharma & Swarup, 1988). La evaluación de la calidad del agua es una herramienta fundamental para la determinación de su potencial de utilización, así como para el establecimiento de eventuales restricciones en el uso, no solo por el impacto en el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos sino también en las propiedades de los suelos (Díaz y Tiberi, 2017). La calidad define qué cultivos podrán utilizar el agua aportada por las napas, debido a que no todos se comportan de igual manera ante una misma salinidad (Justo, 2008). Los parámetros que permiten describirla para uso agrícola son diversos, entre los más importantes se encuentran aquellos que permiten establecer el tipo y concentración de sales presentes, así como la concentración relativa de algunos iones (García, 2012). En general, el ingreso de sales al perfil de suelo suele presentar dos orígenes bien definidos: producto del riego con aguas con altos contenidos de iones disueltos (por infiltración) o aguas provenientes de un acuífero hipersalino (por capilaridad; Scherger et al., 2019). Por lo tanto, la calidad del agua se define por su

composición y los efectos que puede causar cada uno de sus componentes, solo o en conjunto, permitiendo así establecer posibilidades de uso.

La caracterización de la dinámica de la napa para el uso del suelo bajo las condiciones predominantes de la zona resulta importante para su aprovechamiento como fuente de agua, dependiendo el cultivo establecido, y para evitar daños por anegamiento y salinización (Angeli et al., 2006).

### **La situación en el VBRC**

El valle bonaerense del río Colorado (VBRC) ocupa un territorio de unas 535.000 ha emplazado sobre los partidos de Villarino y Patagones (Figura 1). Este valle cuenta con el aporte de agua de riego del río Colorado, que llega a los establecimientos agropecuarios a través de una red de canales y es aplicada principalmente por riego por gravedad. Este recurso hídrico incrementó el potencial productivo de la zona, llegando a cubrir un área de 140.000 ha. Sin embargo, en la actualidad, la superficie regada en el VBRC disminuyó aproximadamente a la mitad (78.000 ha; Lucanera et al., 2022) debido a la escasez hídrica generada por la variabilidad climática y la disminución de la acumulación de nieve en la Cordillera de los Andes registrada en los últimos años (Aumassanne et al., 2022). Las restantes 457.000 ha se encuentran en condiciones de secano, cuyo principal aporte hídrico proviene de las precipitaciones. Sin embargo, una proporción importante de esta superficie, esta influenciada por la red de riego, registrándose la presencia de una napa freática relativamente cercana a la superficie.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del sitio donde se realizó la experiencia dentro del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC).

Según Sánchez et al. (1998b) el déficit hídrico anual en Hilario Ascasubi es de 322 mm (serie 1971 - 1980), fundamentalmente entre los meses de septiembre - abril. Ferrelli et al. (2012) determinaron un déficit de 271 mm (serie 1968 - 2009), durante el mismo periodo. A la vez, la mayor demanda hídrica por parte de los principales cultivos se produce en los meses de diciembre y enero (Sánchez, 2013; Carbó, 2014), cuya evapotranspiración potencial se estima en 178 y 181 mm (Penman) y un déficit de 132 y 137 mm mensuales, respectivamente (promedio histórico 1991 - 2022, G. Zura, comunicación personal, 3 de marzo de 2023). Esta demanda podría verse atendida en parte por los aportes de la napa.

Si bien existen conocimientos sobre los niveles freáticos en el VBRC, no hay suficiente información ni estudios sobre su dinámica de ascenso y descenso y su contribución durante el ciclo de los cultivos. Sánchez (2013) menciona para el VBRC un plano freático a 1,40 m de profundidad, en el que los cereales y la alfalfa compensan la demanda evapotranspirativa con abastecimiento proveniente del plano freático, contrariamente a los cultivos

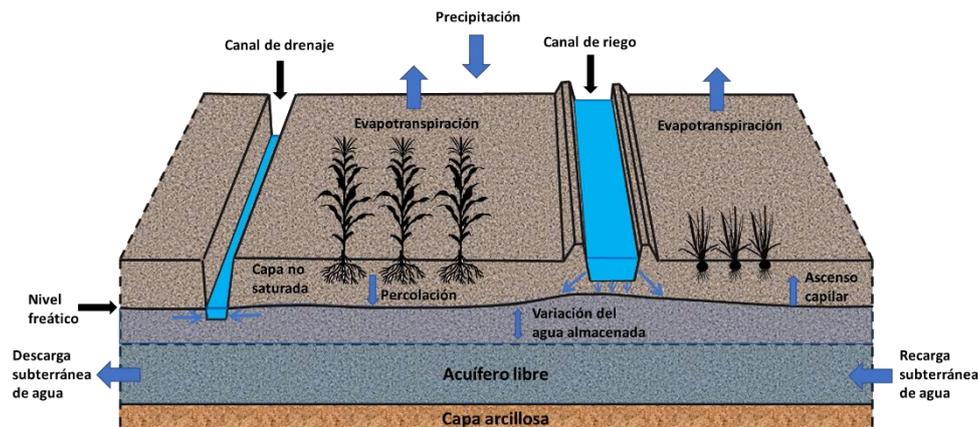
hortícolas que requieren una alta frecuencia de riego para finalizar su ciclo productivo. Asimismo, son limitadas aquellas investigaciones que evalúan la calidad del agua subterránea.

El área de estudio se caracteriza por tener un relieve relativamente llano, de reducida pendiente, con suelos de textura variable, entre franco arenoso a franco arcilloso (Bonorino y Paoloni, 1984). El ambiente morfológico corresponde al de una llanura aluvional, formada por procesos de acumulación por la acción de antiguos brazos del río Colorado, que se extiende entre la terraza de este río, a unos 25 msnm, hasta la terraza baja marina, a unos 5 msnm.

Bonorino y Paoloni (1984) describieron el acuífero presente en esta área de estudio como una capa acuífera libre con base poco permeable, caracterizada por entradas y salidas y una cantidad de agua almacenada variables en el tiempo (Figura 2). Este nivel freático está sometido a bruscas variaciones diarias, estacionales y anuales en respuesta a:

- Los cambios meteorológicos, sean de aporte por lluvias como de pérdida por evapotranspiración.
- El manejo o utilización del riego, recarga por exceso y pérdida de agua en canales.
- La descarga en drenes para el saneamiento del suelo.
- La recarga y descarga lateral subterránea.

Tanto la evapotranspiración como la filtración por pérdida en canales son las variables más importantes que contribuyen a la modificación del almacenaje del acuífero, la cual se encuentra favorecida por la escasa pendiente del paisaje, las condiciones hidro litológicas del reservorio y el escaso desarrollo de la zona de aireación.



**Figura 2.** Esquema conceptual de la napa freática en el área de riego del Valle Bonaerense del Río Colorado (VBRC). Adaptado de Bonorino y Paoloni (1984).

De acuerdo con lo expuesto, resulta clave conocer la variabilidad espacial y temporal del nivel freático, para cuantificar y anticipar sus efectos sobre los sistemas productivos de la región. Con el objetivo de evaluar las fluctuaciones en la profundidad de la napa freática en el suelo y caracterizar la calidad del agua disponible para los cultivos, y su relación con la productividad, se realizó una experiencia en un lote de producción en el área de riego del VBRC.

### Descripción de la experiencia

En un lote de 3 ha de la Unidad de Producción de la EEA INTA Hilario Ascasubi (Figura 3; 39°24'38" S; 62°38'28" O) entre enero de 2021 y abril de 2022 se realizaron evaluaciones de la profundidad y de la calidad del agua de la napa.



**Figura 3.** Ubicación del lote en estudio y distribución de los freáticos.

El área presenta un clima semiárido mesotermal (Sánchez et al., 1998b). La temperatura media anual es 14,8 °C, con registros extremos de 1,6 °C de media mínima para julio y 30,0 °C de media máxima para enero. La mayor ocurrencia de precipitaciones se produce entre los meses de febrero - marzo y septiembre - octubre, mientras que los menores registros pluviométricos ocurren en junio - julio (promedio histórico 1966 - 2021; G. Zura, comunicación personal, 3 de marzo de 2023). La precipitación acumulada anual promedia los 495 mm. La evapotranspiración potencial, según el método Penman, es de 1135 mm anuales para Hilario Ascasubi (entre 33 y 180 mm en junio y enero, respectivamente).

De acuerdo con el reconocimiento de los suelos del VBRC realizado por Cappannini y Lores (1966), el perfil típico representativo del lote corresponde con la serie San Adolfo cuyos horizontes se presentan como A1 (0 - 12 cm), AC (12 - 28 cm), C1 (28 - 50 cm), C2ca (50 - 98 cm), IIC3 (98 - 130 cm) y IIC4 (130 a más cm), clasificados como Haplustoles énticos, con textura arenosa franca desde la superficie (Figura 4), desarrollados sobre materiales aluvionales que componen el ambiente de las terrazas

intermedias en la zona de transición hacia la terraza baja marina, cubriendo un área importante al sur de la localidad de Mayor Buratovich y alcanzando parte de Hilario Ascasubi, Buenos Aires.

En un muestreo de capa arable se determinaron contenidos de materia orgánica de 1,25 %, concentraciones de fósforo de 15 ppm, pH de 7,4 y de textura arenosa franca (82 % arena, 13 % limo y 5 % arcilla).



**Figura 4.** Perfil del suelo del lote de la Unidad de Producción de la EEA INTA Hilario Ascasubi.

El lote evaluado se ubicó lindante con lotes agrícolas, un sector de monte de “chañar” y el canal ramal sur del canal principal de riego Buratovich (Figura 3). Los lotes agrícolas presentaron riegos complementarios por gravedad en la época de verano durante el periodo de estudio (enero, febrero y diciembre de 2021, y enero y febrero de 2022). La veda del riego, en el que se reduce el caudal a un mínimo de  $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , tuvo extensión desde el 8 de abril al 25 de

septiembre durante el 2021 (COIRCO, 2022). Durante el periodo previo (2017 - 2020) a la medición, fue ocupado por cultivos de invierno (trigo, centeno y avena) en labranza cero y sin la aplicación de riego complementario. A partir de enero de 2021, durante todo el periodo de estudio, se mantuvo con rastrojo en superficie libre de malezas (barbecho químico).

En enero de 2021 se colocaron 4 freaímetros: F1 (-39.4162; -62.6402), F2 (-39.4105; -62.6406), F3 (-39.4108; -62.6411) y F4 (-39.4109; -62.6417); equidistantes por 50 m lineales, ubicados en dirección NE a SO en paralelo al canal principal de riego Buratovich (ramal sur, Figura 3). Para su instalación, se perforó el suelo con un barreno helicoidal, hasta una profundidad máxima de 2,00 m (Figura 5).

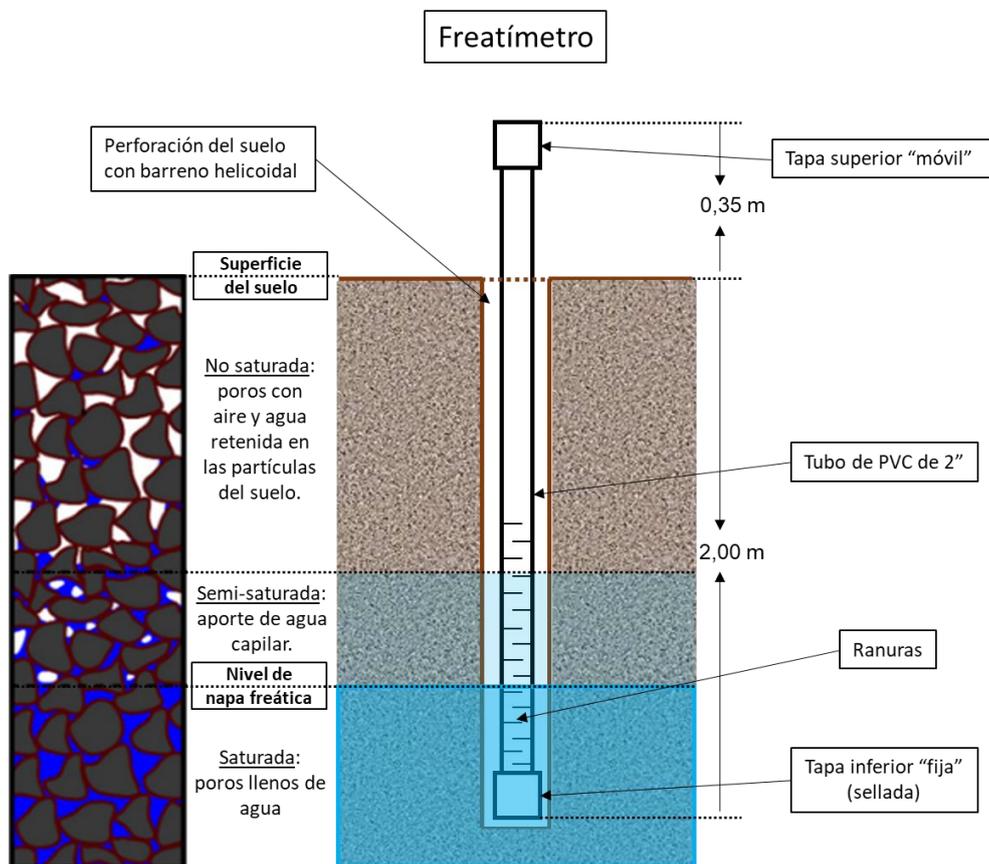


**Figura 5.** Barreno helicoidal y perforación del suelo para la instalación del freaímetro.

A su vez, se determinaron las diferencias de nivel o elevación entre los diferentes puntos del terreno donde se instalaron los freaímetros, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia obtenido con el nivel de anteojo. Desde el freaímetro 1 al 4 se

observó un desnivel de 0,10 m, es decir, una pendiente del 1 %, acorde a la nivelación del lote para el riego por gravedad.

Cada freatómetro se compuso de un caño de 2,35 m de largo y 2 pulgadas de diámetro, con tapa fija en la parte inferior y móvil en la superior para realizar las mediciones del nivel freático y las extracciones de agua. Para permitir el movimiento del agua entre el suelo y el interior del caño se realizaron ranuras en la porción media inferior (Figura 6). Luego de colocado el freatómetro se respetó el tiempo de estabilización (48 h) para la primera medición (INTA, 2014).



**Figura 6.** Diagrama del freatómetro y su ubicación en relación con las tres zonas hídricas del suelo (no saturada, semi-saturada y saturada).

## Evaluaciones

Las mediciones del nivel freático y las extracciones de agua se realizaron de forma periódica entre 15 y 30 días durante todo el período de estudio. A principios de agosto de 2021 no se detectó la napa a la profundidad de medición de los freáticos, por lo que se interrumpió el seguimiento hasta fin de noviembre, momento en el cual se inició el ciclo hidrológico 2021 - 2022.

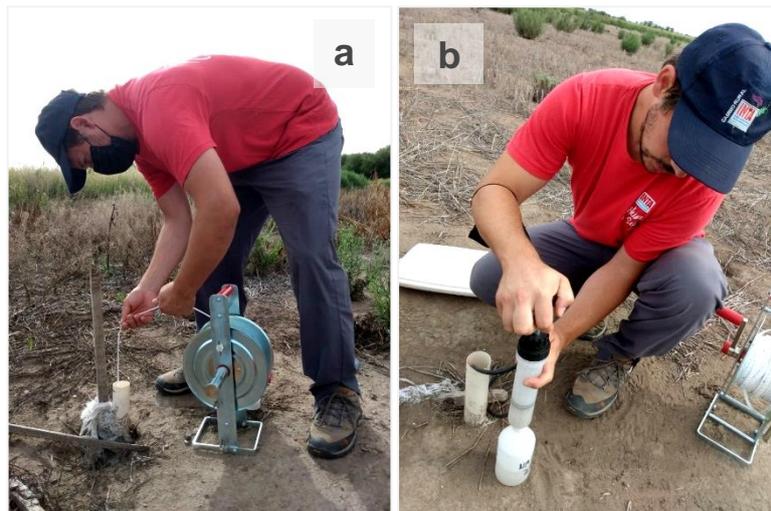
En cada fecha se determinó el nivel freático mediante una sonda de profundidad (Figura 7a). En el mismo momento, se extrajo una muestra de agua de cada freático (Figura 7b) de hasta 500 cm<sup>3</sup>, dependiendo la disponibilidad, y se conservó refrigerada hasta su ingreso al Laboratorio de Suelos y Agua (LSA) del INTA Hilario Ascasubi.

El agua extraída se caracterizó químicamente y se comparó con la calidad del agua utilizada en el riego de los lotes contiguos (derivada del río Colorado). Los análisis se desarrollaron bajo los protocolos consensuados por la Red de Laboratorios de Suelo, Agua y Material Vegetal del INTA (RILSAV), basados en los propuestos por el Standard methods for the examination of water and wastewater, 22 th Edition. Washington D.F.OMS. En cada muestra de agua se determinó: sólidos disueltos totales (SDT), pH, conductividad eléctrica (CE), calcio, magnesio, sodio, potasio, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y se calculó la relación de adsorción de sodio (RAS<sup>1</sup>), la concentración de sodio residual (CSR) y las relaciones de aniones y cationes. En el último periodo de estudio (entre 6 de octubre de 2021 y el 11 de abril de 2022), se incorporó la determinación de nitratos. Asimismo, se utilizó la referencia de los nitratos en el agua de riego como promedio de cuatro campañas en 2022 (agosto, octubre, diciembre y febrero). Además, se evaluó a través de tabla de tolerancia a sales de los diferentes cultivos (Maas & Hoffman, 1977; García, 2012), si estos parámetros registrados y cuantificados en cada freático exceden los niveles establecidos para los

---

<sup>1</sup> RAS, fórmula empírica que relaciona los contenidos de sodio, calcio y magnesio y que expresa el porcentaje de sodio de cambio en el suelo en situación de equilibrio.

cultivos que predominan en el VBRC. Debido a la limitada información que permita determinar fehacientemente el efecto de la calidad de agua de napas sobre los cultivos, y de niveles guía específicos; los valores obtenidos se analizaron siguiendo las directrices para interpretar la calidad del agua para riego (Adaptado de Ayers & Westcott, 1985; Manual 29, FAO).



**Figura 7.** Determinación de la profundidad del nivel freático mediante una sonda (a) y muestreo del agua mediante una jeringa para su caracterización química (b).

### **Variables que condicionan la disponibilidad del agua y el rendimiento de los cultivos**

La potencialidad de aporte de agua de la napa freática depende de varios factores, entre los que se destacan; el nivel o profundidad de ésta y de las raíces, definiendo la distancia fuente destino; la textura del suelo, condicionando su capacidad de transporte capilar en el perfil y saturado en el acuífero y la calidad del agua, restringiendo su posible absorción (Jobbágy et al., 2007; Gómez, 2009).

### **Nivel de la napa freática**

Durante todo el periodo de seguimiento se observó que el nivel freático promedio fue de 1,55 m, oscilando entre 1,00 y 1,91 m, respecto de la superficie del suelo (Figura 8). Estos valores se asemejan a los obtenidos en

la zona con promedios de 1,40; 1,50, 1,64 y 1,70 m, entre 0,80 y 2,00 m (Sánchez y Pezzola, 1997, 1998a; Peinemann, 2008; Sánchez, 2013).

A pesar de la escasa distancia entre ellos y en la elevación entre los diferentes puntos del terreno, se observaron diferencias entre freáticos de hasta 0,40 m en la profundidad de la napa (desvío de 0,17 m) en la misma fecha de medición. Durante gran parte del periodo de seguimiento, el nivel de la napa fue similar entre los F1 y F2 y entre el F3 y F4 (Figura 8). La napa se encontró más profunda en los dos primeros, lindantes con lotes agrícolas, que en los próximos al monte. Esta característica podría suponer un movimiento de la napa hacia el sector de monte, el cual podría estar actuando de "bomba de agua".

Asimismo, se observaron diferencias temporales. En todos los freáticos, el nivel de la napa se comportó de manera descendente desde enero (verano), mes en el que mostró el nivel más cercano a la superficie del suelo, hasta fines de julio de 2021 (invierno), cuyo nivel freático fue más profundo (por debajo de 2,00 m, Figura 8). Esta variación estaría asociada a la influencia de la campaña de riego. En concordancia, en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén, Galeazzi y Aruani (2019) observaron que la elevación más significativa del nivel freático se produjo debido a la reposición del agua en el suelo por riegos y las prácticas de control de heladas tardías, y los niveles freáticos más profundos con la disminución de los riegos durante la cosecha de los frutales. No obstante, estos resultados fueron diferentes a los advertidos por Sánchez y Pezzola (1997), que no observaron diferencias estacionales durante 1997. En un estudio posterior, los mismos autores detectaron mayor profundidad de la napa en verano y menor distancia a la superficie en otoño (Sánchez y Pezzola, 1998a). En este último caso, asociaron el nivel más bajo a la gran evapotranspiración durante el periodo estival y el nivel más alto a la escorrentía subterránea aportada por la lluvia y al agua de riego de lenta recarga.

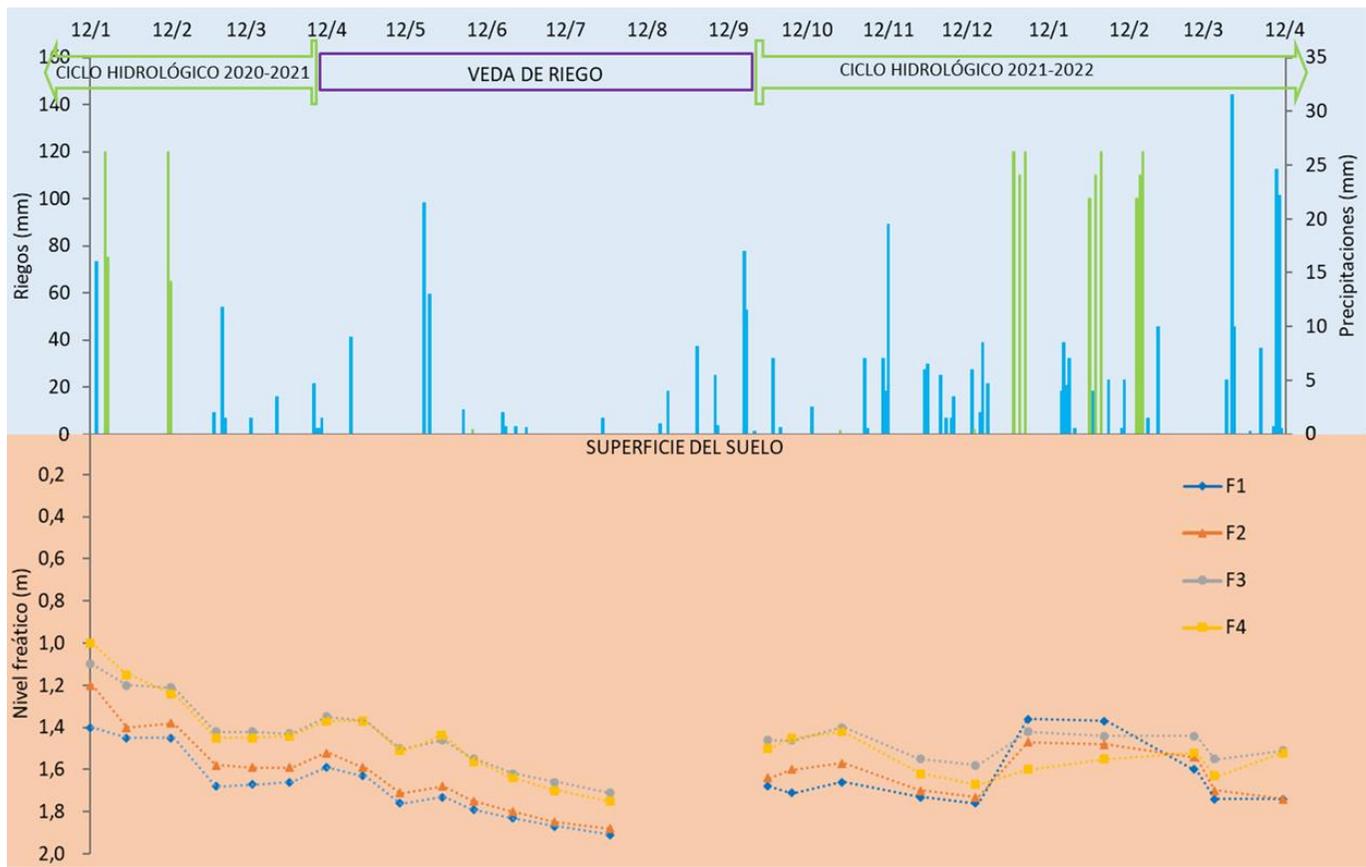
En un estudio realizado en 12 suelos de textura arenosa-franca (serie San Adolfo) en el VBRC, Sánchez (2014) determinó una infiltración acumulada y básica máxima de 64 cm y 13 cm h<sup>-1</sup>, respectivamente, al aplicar una lámina

de riego de 100 mm. Por lo tanto, se supone que las precipitaciones no lograrían modificar la dinámica del nivel freático, ya que el acumulado durante el ciclo de estudio (16 meses) fue de aproximadamente 400 mm en 2021, el mayor registro mensual ocurrió en noviembre de 2021 con 50 mm y los eventos de precipitación no superaron 30 mm día<sup>-1</sup>.

El evento de intensidad diaria máxima se registró en septiembre de 2021 con 27,4 mm día<sup>-1</sup> y el de intensidad hora máxima ocurrió en enero del mismo año con 7,6 mm h<sup>-1</sup> (G. Zura, comunicación personal, 3 de marzo de 2023). Estas se clasifican dentro del rango de intensidad moderada, es decir, entre 20 y 50 mm día<sup>-1</sup> y 5 y 10 mm h<sup>-1</sup> (Latupapua et al., 2018).

En cuanto al ingreso de agua a la red del área de riego del VBRC, durante el ciclo hidrológico 2020 - 21 (finalizando en junio de 2021), alcanzó un derrame de 2.850 hm<sup>3</sup>, correspondiendo una calificación de un año hidrológico "seco". En el ciclo hidrológico 2021 - 22, se estimó en 1.240 hm<sup>3</sup>, equivalente al 27 % del derrame histórico del río Colorado y 40 % del ciclo hidrológico anterior (COIRCO, 2022). A su vez, durante el período enero - abril de 2022, los caudales promedio del río Colorado en la estación de aforo Paso Alsina registraron niveles muy por debajo del promedio histórico para dichos meses. Incluso, durante enero, marzo y abril se registraron valores inferiores a los caudales mínimos históricos (Aumassanne et al., 2022). Esto podría ser una de las causas de la diferencia temporal observada entre los meses del verano 2021 y los de 2022 (Figura 8).

Durante enero y febrero de 2022, se observó un incremento en la altura de la napa en F1, respecto de los otros puntos de control (Figura 8). Este cambio podría estar asociado al riego por gravedad de los lotes lindantes, que recibieron un total de aproximadamente 1000 mm en esos meses.



**Figura 8.** Nivel freático en 4 freatímetros (F1 al F4), láminas de riego en lotes lindantes (columnas verdes) y precipitaciones ocurridas durante el período de estudio (columnas azules; desde 12/01/2021 hasta 12/04/2022). El nivel "0" refiere a la superficie del suelo.

### **Espesor de suelo explorado por las raíces**

Para caracterizar la disponibilidad de agua, además del nivel freático, es importante determinar la profundidad efectiva de las raíces (Dardanelli y Bachmeier, 1993). Si bien en este estudio no se realizaron evaluaciones del desarrollo de las raíces de las diferentes especies vegetales cultivadas en el VBRC, se utilizaron datos bibliográficos para estimar la exploración del perfil de suelo en cada caso.

Los principales cultivos sembrados en el VBRC corresponden a cereales y oleaginosas como: trigo, avena, cebada, girasol, sorgo y maíz. Este último se destaca tanto para la producción de grano como para ensilado de planta entera en planteos ganaderos, dado sus elevados rendimientos de biomasa total (planta y grano).

En la producción de cultivos hortícolas, la cebolla es el cultivo de mayor relevancia en esta región. Según estimaciones de la Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado (CORFO), la superficie cultivada de la campaña 2021/22 fue de 6.763 hectáreas en el VBRC. El rendimiento promedio es de 40 - 50 tn ha<sup>-1</sup>, es decir, 2.000 - 2.500 bolsas (SAGyP, 2023). En general, el riego se realiza por gravedad, ya sea en surcos o melgas, con un total de 19 a 22 riegos por ciclo, es decir, entre 1600 y 1850 mm (Sánchez, 2013; Bongiovanni, 2020).

Además, el 55 % del total de hectáreas regadas está destinada a la producción de pasturas perennes, principal recurso forrajero para cubrir las demandas de la producción de carne y leche. Entre ellas se destaca la implantación de alfalfa, para distintos destinos, como forraje, confección de heno y semilla, y en menor proporción agropiro y festuca (Carbó, 2014; Lucanera, 2018; Cordisco et al., 2019).

Según la bibliografía, la exploración del perfil de suelo por parte de las raíces de los cultivos se puede clasificar en tres tipos (Asaad, 2018; Tabla 1):

- “superficial” o “poco profunda”, el sistema de raíces de estos cultivos se extiende en el suelo hasta una profundidad de 1,00 m. Dentro de este grupo se encuentran la mayoría de las hortícolas realizadas en el VBRC. En cuanto a la cebolla, la bibliografía en

general indica que sus raíces se concentran en los primeros 0,30 m del suelo, alcanzando los 0,60 m.

- “moderada”, la profundidad del sistema radicular de estos cultivos oscila entre 1,00 y 1,50 m. En el caso de los principales cultivos de cereales y oleaginosas implantados en el VBRC, se ubican entre la clasificación “superficial” y “moderada”; a excepción del girasol que también puede superar este umbral para alcanzar la “profunda”.
- “profunda”, el sistema de raíces de estas plantas se extiende en el suelo a una profundidad de más de 1,50 m, como el caso de las pasturas perennes.

Algunas experiencias afirman que el nivel freático a una profundidad de 1,20 - 2,00 m es óptimo para obtener alta producción de biomasa en maíz, girasol, trigo y sorgo (Kang et al., 2001; Kahlow et al., 2005; Mueller et al., 2005). Mueller et al. (2005) midieron aportes de agua de la napa freática de 100 a 400 mm en maíz y de 20 a 250 mm en trigo, con la napa a 0,80 y 1,20 m de profundidad. Por otra parte, Kang et al. (2001) indicaron aportes de aproximadamente un 33 y un 50 % de la evapotranspiración para maíz y trigo, respectivamente, con profundidades de napa freática entre 0,50 y 2,50 m. Kahlow et al. (2005) indicaron una profundidad óptima de la napa freática de 2,00 m para maíz y girasol, y 1,50 m para trigo. Mejía et al. (2000) observaron un aumento del rendimiento de 5 - 10 % de un cultivo de maíz en un suelo con influencia de la napa respecto de uno creciendo sin aporte de napa.

Respecto de las pasturas, Dardanelli y Collino (2002) estimaron un aporte de hasta el 25 % del consumo de agua anual de un cultivo de alfalfa para corte, en un suelo con napa freática situada a una profundidad aproximada de 6,00 m.

En función de la estratificación según el contenido hídrico en el perfil del suelo, el sistema radicular de los cultivos hortícolas, por ejemplo, cebolla, exploraría solo la zona “no saturada” (Tabla 1). En cambio, el resto de los cultivos alcanzarían fácilmente las zonas “semi-saturada” y “saturada” (Tabla 1). Esta podría ser la razón por la cual estos cultivos pueden progresar

con una frecuencia de riego mucho menor en el mismo período evapotranspirativo al cultivo de cebolla (Sánchez, 2013).

**Tabla 1.** Profundidad teórica de la raíz de los principales cultivos del VBRC y su clasificación respecto a la exploración radical y a su alcance en el perfil hídrico del suelo.

Cultivo	Profundidad de raíz (m)*	Clasificación	Alcance (zona hídrica)
Cebolla	0,30 – 0,60	Superficial	No saturada
Cereales de invierno	0,60 – 1,40	Superficial / Moderada	Semi-saturada / Saturada
Maíz	0,60 – 1,50		
Sorgo	1,40		
Girasol	0,70 – 2,00	Superficial / Moderada / Profunda	Semi-saturada / Saturada
Pasturas perennes (alfalfa, agropiro, festuca)	1,00 – 5,00	Profunda	Semi-saturada / Saturada

# Fuente: Brewster, 2008; Haberle & Svoboda, 2015; Omran et al., 2016; Sun et al., 2008; Thorup-Kristensen, 2001; Zink, 1966.

En función de las curvas de evapotranspiración de los cultivos ( $K_c$ ) en girasol, maíz y alfalfa el mayor  $K_c$  se produce en los meses de diciembre, enero y febrero (Sánchez, 2013); y en trigo durante octubre y noviembre (Andriani, 2016), siendo el periodo crítico para la formación y desarrollo de granos, que coincide con los niveles más elevados de la napa freática local medida. En consecuencia, es probable que las raíces de estos cultivos se encuentren en contacto con la napa freática durante el periodo crítico. Según la ley de Darcy, es esperable que la napa freática haya aportado agua con variaciones en la tasa de ascenso capilar, la cual se encuentra fuertemente vinculada a la profundidad del sistema radical (Hess et al., 2000; Jorenush & Sepaskhah, 2003; Raes & Deproost, 2003; Hurst et al., 2004). Asimismo, este ascenso capilar se encuentra condicionado por la textura del suelo, que según la FAO se estima entre 0,20 y 0,50 m para suelos de texturas gruesa (Brouwer et al., 1985).

Jobbágy y Noretto (2009) propusieron una clasificación para simplificar la influencia de la napa freática sobre los cultivos y anticipar sus impactos sobre los rendimientos. La misma resulta en dividir el perfil del suelo en

bandas de profundidad decreciente. En la banda I (mayor a 5,00 m), que corresponde a la más profunda, no hay efectos de las napas sobre los cultivos ya que la zona capilar no alcanza a contactar a las raíces. En la banda II (en términos generales, 2,00 - 3,00 m por debajo de la profundidad máxima de raíces) el aporte capilar comienza a ser significativo para los cultivos. En esta banda, ascensos progresivos de la napa aumentan exponencialmente el transporte capilar hacia las raíces, del mismo modo que lo hacen los rendimientos. En la banda III (en términos generales, 0,50 m por debajo de la profundidad máxima de raíces) la capacidad de transporte capilar supera la demanda del cultivo. En este caso mayores ascensos no modifican los rendimientos, que ya habrían alcanzado el óptimo esperable en condiciones de abastecimiento hídrico ideal. Finalmente, la banda IV, cuando la napa freática anega una porción del sistema radical y el cultivo, primero en forma subclínica y luego con síntomas más obvios, empieza a perder rendimiento. El anegamiento viene acompañado de pérdida de actividad de las raíces por anoxia, menor disponibilidad de algunos nutrientes, y en casos más extremos dificultades de piso para las labores.

Nosetto et al. (2009) determinaron rangos de banda de aporte óptimo (III) correspondientes a profundidades de 0,70 a 1,70, 1,20 a 2,20 y 1,40 a 2,40 m para trigo, soja y maíz, respectivamente.

De acuerdo con esta clasificación, el nivel freático observado en este trabajo se encontró dentro del rango de las bandas III y IV. Esto indicaría que, debido a la profundidad de la napa observada en el lote, podría contribuir con el aporte de agua al uso consuntivo del maíz y trigo, pudiendo alcanzar mayores niveles de rendimiento respecto a sitios sin napa. Por otro lado, en maíz la banda IV (menor a 1,40 m) estaría indicando cierto condicionamiento de su desarrollo y una disminución de la productividad del cultivo por condiciones de anaerobiosis.

### Calidad de la napa

El resultado de los análisis químicos del agua de cada uno de los freáticos, permitió agrupar a F2 y F3 en función de su similitud, mientras que F1 y F4 se analizaron individualmente. Además, al no observarse grandes diferencias temporales, se realizó el promedio del periodo completo de evaluación para cada freático (Tabla 2).

**Tabla 2.** Parámetros químicos del agua de la napa de los freáticos 1 (F1), 2 y 3 (F2-3); 4 (F4) y el agua de riego proveniente del río Colorado (RC), como promedio temporal durante el periodo de evaluación de la napa.

Parámetro	Unidad	F1	F2-3	F4	RC
CE	dS m <sup>-1</sup>	2,51	1,84	5,20	1,53
SDT	mg L <sup>-1</sup>	1875	1350	4477	1009
pH		7,7	7,8	7,5	8,2
Dureza		913	591	2064	471
RAS		3,1	3,0	4,8	3,3
Ca <sup>++</sup>	meq L <sup>-1</sup>	14,39	9,77	33,97	7,12
Mg <sup>++</sup>		3,87	2,07	7,31	2,01
Na <sup>+</sup>		9,38	7,25	22,10	6,87
K <sup>+</sup>		0,72	0,52	0,29	0,13
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		6,01	4,99	6,43	2,00
Cl <sup>-</sup>		9,68	7,19	24,51	5,99
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>		11,38	6,96	32,96	6,90
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		0,12	0,11	0,08	0,04

# Referencias: freático 1 (F1), promedio del freático 2 y 3 (F2-3), freático 4 (F4), agua proveniente del río Colorado (RC), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), calcio (Ca<sup>++</sup>), magnesio (Mg<sup>++</sup>), sodio (Na<sup>+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloruros (Cl<sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y relación de adsorción de sodio (RAS).

### Cationes y aniones

En cuanto a la composición de los iones mayoritarios, se observó una tendencia casi constante (F4 > F1 > F2-3 ≥ RC; Tabla 3). En el promedio de los cuatro freáticos, los cationes mayoritarios fueron calcio y sodio, con promedios entre los freáticos de 51,3 y 34,9 %, respectivamente (Tabla 3). Además, los sulfatos y cloruros prevalecieron entre los aniones, con promedios entre freáticos de 43,2 y 37,1 %, respectivamente (Tabla 3). En contraposición, los cationes potasio y magnesio, y los aniones nitrato y bicarbonato se presentaron en menor proporción, con promedio entre freáticos de 1,8; 12,0; 0,4 y 19,3 %, respectivamente (Tabla 3).

**Tabla 3.** Proporción (%) de los cationes (a) y aniones (b) en el agua de los freáticos y de riego.

	F1	F2-3	F4	Promedio	RC
<b>Aniones</b>	%				
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22,04	25,89	10,00	19,31	13,39
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	41,88	36,25	51,58	43,24	46,18
Cl <sup>-</sup>	35,64	37,29	38,29	37,07	40,16
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,44	0,57	0,13	0,38	0,27
Cl <sup>-</sup> + NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	36,08	37,86	38,42	37,45	40,43
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>Cationes</b>	%				
Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	35,56	39,59	35,16	36,77	43,48
Na <sup>+</sup>	33,10	37,06	34,69	34,95	42,86
K <sup>+</sup>	2,46	2,54	0,47	1,82	0,62
Ca <sup>++</sup>	50,70	49,75	53,38	51,28	44,10
Mg <sup>++</sup>	13,73	10,66	11,46	11,95	12,42
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

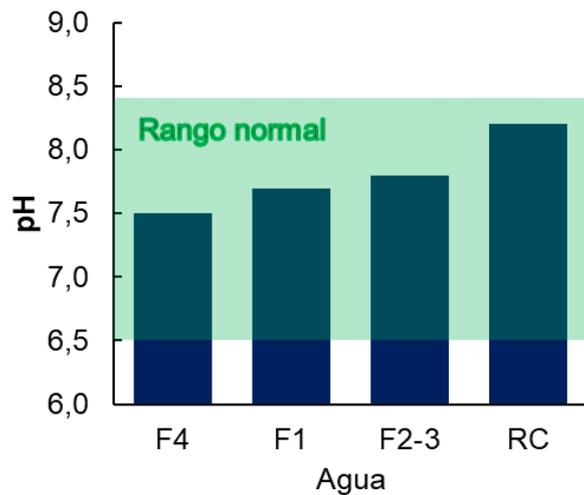
# Referencias: freático 1 (F1), promedio del freático 2 y 3 (F2-3), freático 4 (F4), promedio de F1, F2-3 y F4 (promedio), agua proveniente del río Colorado (RC), conductividad eléctrica (CE), sólidos disueltos totales (SDT), calcio (Ca<sup>++</sup>), magnesio (Mg<sup>++</sup>), sodio (Na<sup>+</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), bicarbonatos (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), cloruros (Cl<sup>-</sup>), sulfatos (SO<sub>4</sub><sup>=</sup>), nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) y relación de adsorción de sodio (RAS).

A pesar de no encontrarse regulado en la normativa internacional sobre calidad de aguas para riego, el sulfato contribuye a la salinidad del agua de riego junto con el resto de los iones mayoritarios. FAO considera un rango de concentración de 0 a 20 meq L<sup>-1</sup> como valores normales en agua de riego. Para todas las muestras analizadas F1, F2 y F3 estuvieron dentro del rango usual, en cambio F4 siempre presentó niveles superiores.

Los parámetros establecidos en las directrices para calidad de riego establecen que con una concentración de bicarbonatos por encima de 1,5 meq L<sup>-1</sup> comienzan a registrarse inconvenientes de uso y por encima de 8,5 meq L<sup>-1</sup> las restricciones para su utilización pueden ser severas. Todos los freáticos registraron un grado de restricción de uso ligero a moderado. De acuerdo con el diagrama de Piper, el agua de las napas y del riego analizadas no presentan un anión dominante, F1 y F2-3 son cálcicas y F4 y RC son cálcicas sulfatadas.

## pH

Los valores de pH de la napa freática fluctuaron entre 7,5 y 7,8, manteniéndose por debajo del pH del agua de riego (8,2) y dentro del rango considerado normal (Figura 9).

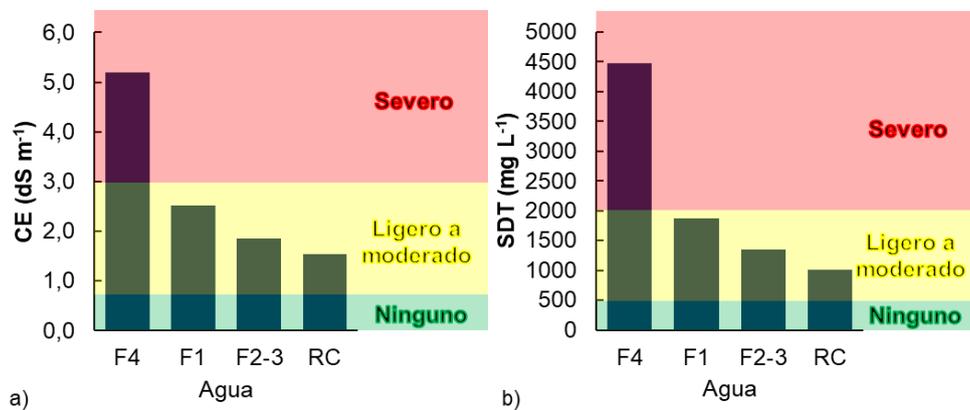


**Figura 9.** Valores de pH del agua de los frentímetros y del río Colorado. Rango normal: entre 6,5 y 8,4.

## Salinidad

Se observaron variaciones en los valores de CE, oscilando entre 1,84 dS m<sup>-1</sup> en el F1 hasta 5,20 dS m<sup>-1</sup> en el F4. En un trabajo realizado en 13 frentímetros distribuidos en el área de la intendencia de riego de Mayor Buratovich en la hemicuenca norte (abarcando aproximadamente 60.000 ha en el partido de Villarino) del VBRC, se registraron valores de CE entre 3 y 20 dS m<sup>-1</sup> en 1997 y con valores promedio de 10,5 dS m<sup>-1</sup> en 1998, sin diferencias estacionales (Sánchez y Pezzola, 1997; 1998).

A partir de los parámetros CE y SDT, que definen la salinidad y por lo tanto la disponibilidad de agua para el cultivo, se observó un grado de restricción ligero a moderado en F1 y F2-3, similar a la medida en el agua del río Colorado, y severo para F4 durante el período de estudio, pudiendo afectar los rendimientos de los cultivos susceptibles (Figura 10).



**Figura 10.** Valores de conductividad eléctrica (CE; a) y sólidos disueltos totales (SDT; b) del agua de los freáticos y del río Colorado. Grado de restricción de CE: ninguno, menor a 0,7 dS m<sup>-1</sup>; ligero a moderado, entre 0,7 y 3,0 dS m<sup>-1</sup>; y severo, mayor a 3,0 dS m<sup>-1</sup>. Grado de restricción de SDT: ninguno, menor a 450 mg L<sup>-1</sup>; ligero a moderado, entre 450 y 2000 mg L<sup>-1</sup>; y severo, mayor a 2000 mg L<sup>-1</sup>.

El umbral crítico se refiere al valor límite de CE a partir del cual el cultivo comienza a mermar su producción por salinidad. De acuerdo con los valores de CE del agua de los freáticos y su relación con los umbrales críticos teóricos de los principales cultivos realizados en el VBRC, se estimó la reducción en el rendimiento (Tabla 4).

En función de valores umbrales críticos publicados por García (2012) y Maas y Hoffman (1977), la calidad del agua de la napa freática no sería problemática para cultivos de cebada y pasturas de agropiro (ambos tolerantes). La siembra de trigo o sorgo en estas condiciones tampoco presentaría dificultades, dada la moderada tolerancia de ambos cultivos. En el caso de pasturas, la festuca, que también entra en la categoría de moderadamente tolerante, podría mostrar alguna merma en su producción de materia seca (aproximadamente, 8 %) debida a la presencia de sales. Algunos cultivos clasificados como moderadamente sensibles, como avena, girasol, maíz o alfalfa, podrían sufrir disminuciones en sus rendimientos de hasta el 40 % (Tabla 4).

De cualquier manera, la interacción de la condición de suelo, la frecuencia de riego y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de cada cultivo, podrían atenuar los efectos adversos provenientes de la cercanía de la napa.

**Tabla 4.** Merma en el rendimiento de los principales cultivos realizados en el VBRC en función de la CE del agua cada freático.

Cultivo	Umbral crítico	Clasificación	F1	F2-3	F4
	CEes		CE		
			[dS m <sup>-1</sup> ]		
			2,5	1,8	5,2
	[dS m <sup>-1</sup> ]		Pérdida en el rendimiento		
[%]					
<b>Cultivos de invierno</b>					
Cebada	8	Tolerante	-	-	-
Trigo	6	Medianamente Tolerante	-	-	-
Avena	1,7	Moderadamente Sensible	10	2	42
<b>Cultivos de verano</b>					
Sorgo	6,8	Medianamente Tolerante	-	-	-
Girasol	1,7	Moderadamente Sensible	5	1	21
Maíz	1,7	Moderadamente Sensible	10	2	42
<b>Pasturas perennes</b>					
Agropiro	7,5	Tolerante	-	-	-
Festuca	3,9	Medianamente Tolerante	-	-	8
Alfalfa	2	Moderadamente Sensible	4	-	24

# CEes: conductividad eléctrica del extracto de saturación (zona radicular). Referido a la clasificación según Maas & Hoffman (1977) y García (2012).

### Infiltración

Se refiere al efecto del agua de riego sobre las propiedades hídricas del suelo causando disminución en la velocidad de infiltración del agua. Se evalúa considerando la CE y la relación de adsorción de sodio o RAS simultáneamente. Esto hace referencia al efecto floculante de las sales y al efecto dispersivo del sodio (García, 2012; Macchiavello y Sueiro, 2011). No se registran inconvenientes de uso del agua en ninguno de los freáticos

ni en el agua de riego ya que el RAS se ubica entre 3 y 6, y la CE es mayor a 1,3 ds m<sup>-1</sup> (Tabla 5).

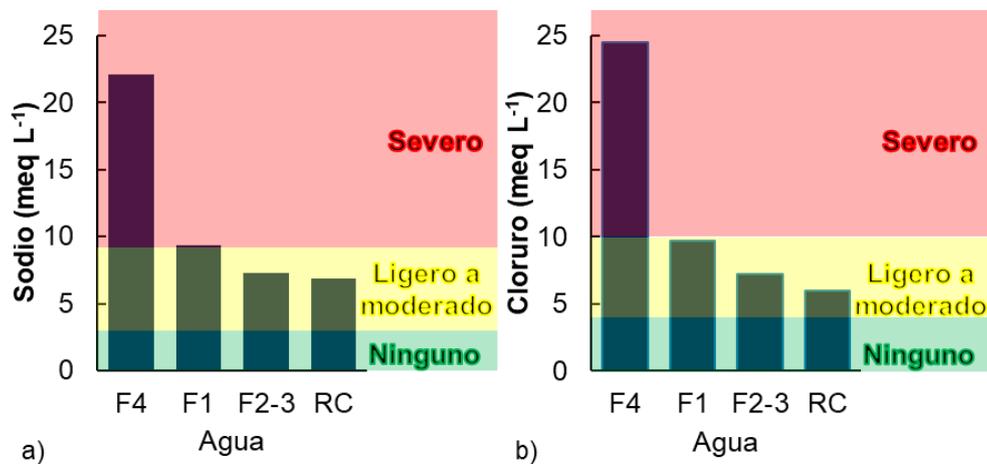
**Tabla 5.** Clasificación de la calidad del agua de acuerdo con el RAS y la CE.

RAS	CE (ds m <sup>-1</sup> )		
	Grado de restricción de uso		
	Ninguno	Ligero a moderado	Severo
0 a 3	0,9	0,9 – 0,2	0,2
3 a 6	1,3	1,3 – 0,3	0,3
6 a 12	2,0	2,0 – 0,4	0,4
12 a 20	3,1	3,1 – 0,9	0,9
> 20	5,6	5,6 – 1,8	1,8

### Toxicidad de iones específicos y elementos traza

En cuanto a la toxicidad de iones específicos como el sodio, los síntomas incluyen quemazones, encrespamiento de la hoja y muerte de tejidos. Ello ocurre inicialmente en los bordes externos y, a medida que la severidad de la toxicidad aumenta, progresa en los tejidos intervenales (García, 2012). En este trabajo se observó que el agua puede afectar a cultivos sensibles, con un grado de restricción ligero o moderado en F2-3 y RC; y severo en F1 y F4 (Figura 11a).

Considerando los cloruros, los síntomas de toxicidad incluyen quemazón o secamiento de los tejidos foliares. En casos de toxicidad excesiva se produce necrosis a menudo acompañada por defoliación (García, 2012). En este trabajo se observó que en F1, F2-3 y RC presentan un riesgo de toxicidad ligero a moderado, mientras que en F4 el riesgo pasa a ser severo (Figura 11b).



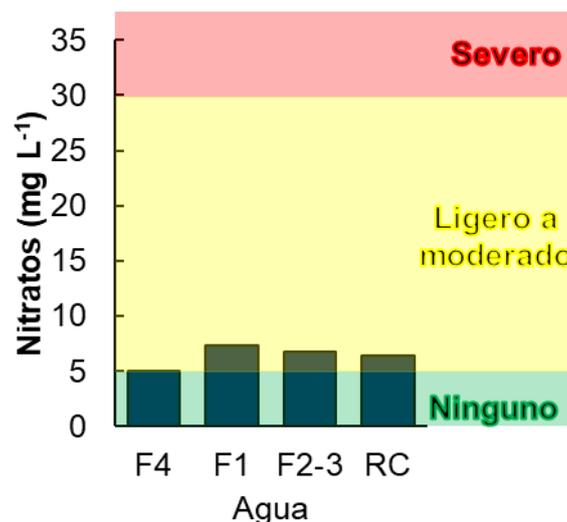
**Figura 11.** Valores del catión sodio (a) y el anión cloruro (b) del agua de los freáticos y del río Colorado. Grado de restricción del sodio: ninguno, menor a 3 meq L<sup>-1</sup>; ligero a moderado, entre 3 y 9 meq L<sup>-1</sup>; y severo, mayor a 9 meq L<sup>-1</sup>. Grado de restricción del cloruro: ninguno, menor a 4 meq L<sup>-1</sup>; ligero a moderado, entre 4 y 10 meq L<sup>-1</sup>; y severo, mayor a 10 meq L<sup>-1</sup>.

### **Sistema carbonato-bicarbonato (CO<sub>3</sub><sup>=</sup> - HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) - Carbonato de sodio residual (CSR)**

Según Eaton (1950), Wilcox, Blair y Bower (1954), citados por López-García et al. (2016), la concentración de carbonatos y bicarbonatos en el agua de riego debe considerarse como un parámetro de evaluación de la calidad. Los bicarbonatos en el agua de riego se transforman en carbonatos con cierta facilidad durante las estaciones secas del año de acuerdo con la siguiente ecuación:  $2 \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$ . Durante los procesos de evapotranspiración, cuando se reconcentra la solución del suelo, los carbonatos y bicarbonatos se precipitan formando  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . La pérdida de  $\text{Ca}^{++}$  y de  $\text{Mg}^{++}$  en las soluciones de los suelos conduce a que aumenten las concentraciones de sodio  $\text{Na}^+$ . En estas condiciones, las soluciones de los suelos se enriquecen con sales tóxicas, como  $\text{NaCl}$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Cuando esto ocurre, aumenta el valor del RAS y por lo tanto el riesgo de sodificación. El carbonato de sodio residual (CSR) se emplea para predecir la peligrosidad del sodio una vez que han reaccionado los cationes calcio y magnesio con

los aniones carbonatos y bicarbonatos. Cuando en el sistema carbonato - bicarbonato los valores de  $(\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$  exceden a los valores de  $(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ , Eaton (1950) denomina a esta diferencia como CSR;  $\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$ , expresados en  $\text{meq L}^{-1}$ . Wilcox et al. (1954) trabajaron con agua que contiene  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  en condiciones de invernadero; establecieron que el agua que tiene  $> 2.50 \text{ meq L}^{-1}$  de CSR no es apropiada para riego, y aquella agua que se encuentra en el intervalo de 1.25 a 2.50  $\text{meq L}^{-1}$  de CSR es agua marginal; en cambio, el agua que posee  $< 1.25$  de CSR es segura o buena para el riego agrícola. En este caso, el carbonato de sodio residual (CSR) medio en F1 fue de (-12,3); F2-3 de (-6,9); F4 de (-34,9) y, finalmente, RC de (-7,1); tratando en todos los casos de un agua segura para riego agrícola.

Las directrices internacionales, contemplan además los elementos boro y nitratos, por ser esenciales para las plantas y requeridos en cantidades pequeñas, pudiendo resultar tóxicos en concentraciones mayores a las adecuadas. El boro no fue analizado en este trabajo mientras que los nitratos presentaron ligera restricción de uso en todos los muestreos (Figura 12).



**Figura 12.** Valores de nitratos del agua de los freáticos y del río Colorado. Grado de restricción: ninguno, menor a 5  $\text{mg L}^{-1}$ ; ligero a moderado, entre 5 y 30  $\text{mg L}^{-1}$ ; y severo, mayor a 30  $\text{mg L}^{-1}$ .

## **Conclusiones**

Las variaciones temporales y espaciales del nivel freático durante el periodo de estudio en el lote evaluado se relacionaron directamente con la influencia del ambiente de riego. El nivel freático promedio fue de 1,55 m, descendiendo en invierno y ascendiendo en primavera - verano.

Las condiciones de cercanía de la napa pueden ser aprovechadas para la producción de cereales de invierno, cultivos de verano y pasturas, cuyos sistemas radiculares explorarían las zonas "semi-saturada" y "saturada". El nivel freático se clasificó dentro del rango de banda de aporte óptimo (banda III) para trigo y maíz, lo que podría incrementar el rendimiento de estos cultivos. Asimismo, en maíz también se clasificó dentro del rango de banda que puede condicionar el desarrollo y productividad por anaerobiosis (banda IV).

La calidad del agua de la napa también determinará el efecto de esta sobre los rendimientos. En este sentido, la napa se caracterizó por la alta concentración de iones calcio, sodio, sulfatos y cloruros. La salinidad determinó un grado de restricción desde ligero a moderado hasta severo en la disponibilidad de agua para los cultivos y en consecuencia mermas potenciales de rendimiento de hasta el 40 % en cultivos moderadamente sensibles.

Será necesario desarrollar estudios de este tipo en la región para caracterizar la variabilidad en la profundidad y la calidad del agua de la napa freática como recurso, con el objetivo de sumar herramientas para la toma de decisiones al momento de implantar un cultivo o una pastura, o manejar eficientemente el agua de riego.

En función de la contribución de la napa freática en futuros trabajos se propondrá realizar ajuste con GIS de cotas superficiales y profundidad de napa para poder realizar prácticas agronómicas de especies, densidad, fecha de siembra, nutrición, tipos de fuentes de fertilizantes (reacción, solubilidad, otros) y momentos, dosis y posición del fertilizante.

Además, se recomienda en suelo, en función del rango promedio en el que se mueve el ascenso de la napa freática, realizar determinaciones de sales

(solubles y poco solubles) que puedan condicionar, por exceso (antagonismos) y deficiencias, los nutrientes que limitan la productividad de los cultivos principales. Por ejemplo, el exceso de S podría condicionar la respuesta de P en los cultivos (fuente, dosis y lugar de colocación del fertilizante pueden ser estratégicos), así mismo el pH podría estar condicionando la disponibilidad de algunos micronutrientes esenciales para los cultivos.

### **Bibliografía**

- Andriani, J. (2016). Lo que hay que saber del "consumo de agua de los cultivos". Para mejorar la producción, 55, 99-108.
- Angeli, A., Cholaky, C., Cantero, G y Cisneros, J. (2006). Biodrenaje forestal: efectos sobre la salinidad del suelo y el nivel freático en el sur cordobés. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Salta, Argentina.
- Ayers, R & Westcot, D. (1985). Water quality for agriculture. FAO irrigation and Drainage paper 29, FAO, Roma, 156p.
- Asaad, S. (2018). Principles of Agronomy. Agronomy Department, Faculty of Agriculture, Benha University.
- Aumassanne, C., Oricchio, P., Beget, M., Masseroni, M., Fontanella, D., Varela, A., Gattinoni, N., Ramis, V., Espíndola, A., Dunel, L., Vanzolini, J. y Storniolo, R. (2022). Informe hidrometeorológico de la cuenca del Río Colorado: Un instrumento para la toma de decisión.
- Bongiovanni, M. (2020). Desempeño del riego por superficie del cultivo de cebolla en el valle bonaerense del río Colorado, Argentina. Propuestas para el aumento de la eficiencia de riego. [Tesis de Magister en riego y drenaje, EEA Hilario Ascasubi, INTA].
- Bonorino, A. y Paoloni, J. (1984). Modelo conceptual y datos para la elaboración del modelo de simulación de un acuífero libre para un área bajo riego. Ciencia del suelo, 2 (2), 193-205.
- Brewster, J. (2008). Onions and other vegetable alliums (No. 15). CABI. P456.

- Brouwer, C., Goffeau, A. & Heibloem, M. (1985). Irrigation Water Management: Training Manual No. 1-Introduction to Irrigation. FAO, Rome.
- Cappannini, D. y Loes, R. (1966). Los suelos del Valle Inferior del río Colorado. Colección suelos N° 1; INTA. Buenos Aires, Argentina.
- Carbó, J. (2014). Balance hidrosalino 2011-2012 Valle Bonaerense del Río Colorado. Documento CORFO (Corporación de Fomento del Valle Bonaerense del Río Colorado).
- COIRCO. (2022). Comité Interjurisdiccional del Río Colorado. [www.coirco.gov.ar](http://www.coirco.gov.ar).
- Cordisco, M., De Uribe Echevarría, A., Maccagno, R., Scoponi, L., Nori, M. y Piñeiro, V. (2019). Riego por gravedad en el Valle Inferior del Río Colorado (BA): análisis económico para una gestión eficiente del agua a escala predial. L Reunión Anual AAEA. Buenos Aires.
- Dardanelli, J. y Bachmeier, O. (1993). Profundidad efectiva de raíces y límite inferior de agua útil determinado en campo para diferentes cereales y oleaginosos. Actas XVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Dardanelli, J. & Collino, D. (2002). Estimation of the water table contribution to alfalfa crops in the Argentinean Pampa Region. *Agriscientia*, 19: 11-18.
- Davies, M. & Hillman, G. (1988). Effects of soil flooding on growth and grain yield of populations of tetraploid and hexaploid species of wheat. *Annals of Botany*, 62(6), 597-604.
- Díaz, B. y Tiberi, B. (2017). Calidad de aguas superficiales para el riego en la región hidrográfica del Río Gallegos (Santa Cruz, Argentina). XXVI Congreso Nacional del Agua, Córdoba, Argentina.
- Eaton, F. M. (1950). Significance of Carbonates in Irrigation Waters. *Soil Science*, 69(2), 123-134.
- Ferrelli, F., Bohn, V. y Piccolo, M. (2012). Variabilidad de la precipitación y ocurrencia de eventos secos en el sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina). IX Jornadas nacionales de geografía física, Bahía Blanca, 15-28p, ISBN 978-987-1648-32-0.

- Galeazzi, J. y Aruani, A. (2019). Manejo del riego en pera (*pyrus communis*) cv. Williams cultivada en suelo con capa freática poco profunda. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 151-162.
- García, A. (2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *IAH*, 7, 27-36.
- Gómez, M. (2009). Definición de la aptitud de agua para riego en un agroecosistema del Sur de la Provincia de Córdoba, Argentina. *Investigación y Ciencia*, 17(45), 38-43.
- Haberle, J. & Svoboda, P. (2015). Calculation of available water supply in crop root zone and the water balance of crops. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 45(4), 285-298.
- Hess, T., Leeds-Harrison, P. & Counsell, C. (2000). *Wasim. Technical Manual.*, Oxfordshire, Inglaterra.
- Hurst, C., Thorburn, P., Lockington, D. & Bristow, K. (2004). Sugarcane water use from shallow water tables: implications for improving irrigation water use efficiency. *Agricultural Water Management*, 65(1): 1-19.
- INTA. (2014). ¿Por qué es importante conocer el nivel de la napa freática? <https://inta.gob.ar/documentos/bfpor-que-es-importante-conocer-el-nivel-de-la-napa-freatica>.
- Kahlow, M., Ashraf, M. & Zia-ul-Haq. (2005). Effect of shallow groundwater table on crop water requirements and crop yields. *Agricultural Water Management*, 76(1): 24-35.
- Jobbágy, E. y Noretto, M. (2015). Las napas freáticas superficiales como agente de degradación de suelos. *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*, Buenos Aires, Editorial FECIC, 1, 287-300.
- Jobbágy, E. y Noretto, M. (2009). Napas freáticas: pautas para comprender y manejar su impacto en la producción. *Actas XVII Congreso AAPRESID*: 151-156.
- Jobbágy, E., Sznaider, G., Noretto, M., Aragon, R., Mangas, G. y De Forteza, S. (2007). Dinámica de napas y riesgo de inundación: Influencias y efectos en la variabilidad de los cultivos. *Mundoagro*.

- Jorenush, M. & Sepaskhah, A. (2003). Modelling capillary rise and soil salinity for shallow saline water table under irrigated and non-irrigated conditions. *Agric. Water Manage.*, 61: 125-141.
- Justo, C. (2008). Las dos caras de las napas. Memoria técnica. EEA INTA General Villegas. 2008-2009.
- Kang, S., Zhang, F., Hu, X., Jerie, P. & Zhang, L. (2001). Effects of shallow water table on capillary contribution, evapotranspiration, and crop coefficient of maize and winter wheat in a semi-arid region. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52(3): 317-327.
- Latupapua, H., Latupapua, A. I., Wahab, A., & Alaydrus, M. (2018). Wireless sensor network design for earthquake's and landslide's early warnings. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci*, 11(2), 437.
- Leyshon, A. & Sheard, R. (1974). Influence of short-term flooding on the growth and plant nutrient composition of barley. *Canadian Journal of Soil Science*, 54(4), 463-473.
- López-García, A., Ortega-Escobar, H., Ramírez-Ayala, C., Sánchez-Bernal, E., Can-Chulim, Á., Gómez-Meléndez, D., & Vázquez-Alvarado, R. (2016). Caracterización fisicoquímica del agua residual urbano-industrial y su importancia en la agricultura. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 139-157.
- Lucanera, G. (2018). Banco de Datos Socioeconómicos de la Zona de CORFO – Río Colorado. Estimación del Producto Bruto Agropecuario Regional. 2017/2018. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Economía.
- Lucanera, G., Castellano, A. y Barbero A. (2022). Banco de Datos Socioeconómicos de la Zona de CORFO – Río Colorado. Estimación del Producto Bruto Agropecuario Regional. 2021/2022. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Economía.
- Maas, E. & Hoffman, C. (1977). Crop salt tolerance current assessment. *Journal of irrigation and Drainage Division. ASCE*, Vol. 103, No. 1R 2. Proc. Paper 12993, 115-134.

- Macchiavello, A y Sueiro, N. (2011). Comportamiento de napas y calidad de agua en los partidos de General Villegas y Lincoln. Memoria técnica. EEA General Villegas. 2011-2012, 1-5.
- Mejia, M., Madramootoo, C. & Broughton, R. (2000). "Influence of water table management on corn and soy-bean yields". *Agricultural Water Management*, 46(1): 73-89.
- Mueller, L., Behrendt, A., Schalitz, G. & Schindler, U. (2005). Above ground biomass and water use efficiency of crops at shallow water tables in a temperate climate. *Agricultural Water Management*, 75(2): 117-136.
- Nosetto, M., Jobbágy, E., Jackson, R. & Sznaider, G. (2009). Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research* 113: 138-148.
- Omran, H., Kareem, I & Hassan, R. (2016). Evaluation the operation of a drip irrigation system in different types of soil. *Kufa Journal of Engineering*, 7(2).
- Peinemann, N. (2008). Sedimentos arcillosos en un suelo del valle inferior del río Colorado (Argentina). *Ciencia del suelo*, 26(2), 205-210.
- Ponnamperuma, F. (1984). *Effects of flooding on soils*. New York: Academic Press. Vol. 10, 9-45 p.
- Raes, D. & Deproost, P. (2003). Model to assess water movement from a shallow water table to the root zone. *Agricultural Water Management*, 62(2): 79-91.
- SAGyP. (2023). *Producción de cebolla en Argentina. Evolución del cultivo hasta la temporada 2021/22*. Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca, Ministerio de Economía, Argentina. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sagyp-informe-produccion-cebolla-enero-2023-2.pdf>.
- Sánchez, R. (2013). Estimación de los requerimientos hídricos de los principales cultivos en el valle bonaerense del río Colorado. INTA Hilario Ascasubi. Informe Técnico, 40.
- Sánchez, R. (2014). Infiltración en los suelos regados del valle bonaerense del Río Colorado, Argentina. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del

- Suelo II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca.
- Sánchez, R. y Pezzola, A. (1997). Monitoreo del sistema de riego y drenaje del Valle Bonaerense del río Colorado. Convenio CORFO-INTA. 46pp.
- Sánchez, R. y Pezzola, A. (1998a). Monitoreo del sistema de riego y drenaje del Valle Bonaerense del río Colorado. Convenio CORFO-INTA. 49pp.
- Sánchez, R., Pezzola, A. y Cepeda, J. (1998b). Caracterización edafoclimática del área de influencia del INTA EEA Hilario Ascasubi. Partidos de Villarino y Patagones, Pcia. de Buenos Aires. Boletín de divulgación N° 18. ISSN 0328-3321.
- Saks, M. (2014). Factores edáficos que inciden sobre la productividad de maíz en la Región Semiárida Pampeana. Tesis MSc. UNS, Bahía Blanca, Arg. 93p.
- Scherger, L., Lexow, C., Zanello, V. y Carbajo, M. (2019). Salinización de suelos de textura fina por ascenso capilar a partir del acuífero freático hipersalino somero (Bahía Blanca, Argentina). Revista Águas Subterráneas, 33(2): 159-170, 2019, ISSN: 0101-7004.
- Sharma, D. & Swarup, A. (1988). Effects of short-term flooding on growth, yield and mineral composition of wheat on sodic soil under field conditions. Plant and Soil, 107(1), 137-143.
- Sun, H., Wu, R., Li, P., Shao, S., Qi, L. & Han, J. (2008). Rooting depth of alfalfa. Acta Agrestia 16, 207–312.
- Thorup-Kristensen, K. (2001). Root growth and soil nitrogen depletion by onion, lettuce, early cabbage and carrot. In International Conference on Environmental Problems Associated with Nitrogen Fertilization of Field Grown Vegetable Crops 563(pp. 201-206).
- Wilcox, L., Blair, G., & Bower, C. (1954). Effect of Bicarbonate on Suitability of Water for Irrigation. Soil Sci., 77(4), 259-266.
- Zink, F. (1966). Studies on the growth rate and nutrient absorption of onion. Hilgardia. Journal of agriculture science. University of California. 37(8), 203-213.

La existencia de un nivel freático poco profundo puede ser una fuente disponible de agua subterránea para los cultivos en el valle bonaerense del río Colorado (VBRC). Su contribución estaría condicionada no solo por la profundidad y la calidad de esta, sino también por el cultivo (raíces y tolerancia a encharcamiento - salinidad).

El objetivo de este trabajo fue evaluar las fluctuaciones en la profundidad y las características químicas de la napa freática, y estimar su aporte sobre el rendimiento de los principales cultivos en el valle bonaerense del río Colorado.

ISSN 0328-3399 Informe técnico N° 91



Instituto Nacional de  
Tecnología Agropecuaria



Ministerio  
de Economía  
República Argentina

Secretaría  
de Bioeconomía