Ambientación y aplicación variable de insumos en áreas con influencia freática

- Marcelo D. Nosetto, Esteban G. Jobbágy, Jorge L. Mercau
- Grupo de Estudios Ambientales – IMASL, UNSL y CONICET

El manejo por ambientes es muy útil para aumentar la eficiencia de producción en campos con influencia freática. El aporte de napas a los cultivos puede determinar altos rendimientos y reducir el riesgo hídrico en ambientes semiáridos o subhúmedos.

Palabras claves: relieve, planicie, napa, freático, sales, agua, capilaridad, anegamiento, agricultura, rendimiento.

Introducción

Las planicies sedimentarias húmedas y sub-húmedas de muy baja pendiente regional suelen presentar características hidrológicas singulares. En una gran porción de la región pampeana, que incluye el centro y oeste de Buenos Aires, sur de Córdoba, sudoeste de Santa Fe y noreste de La Pampa, la muy escasa pendiente regional y la presencia de cordones medanosos limitan la evacuación de los excesos hídricos ocasionales, favoreciendo la existencia de napas freáticas muy cercanas a la superficie (< 5m de profundidad) en la mayor parte del paisaje. En estos ambientes los excesos hídricos solo pueden ser evacuados en forma evaporativa (evaporación de cuerpos de agua y directa del suelo y transpiración de la vegetación), proceso que comúnmente lleva a la acumulación de sales en la zonas de mayor intensidad de descarga. En paisajes con mayores pendientes y capacidad de evacuación de agua (y sales), estas situaciones se limitan en cambio a las zonas más bajas del paisaje y presentan una fracción pequeña de la superficie.

Cuando las napas freáticas se presentan cercanas a la superficie interactúan con los cultivos a través de distintos mecanismos. Dependiendo de las profundidades prevalecientes, el agua subterránea puede estar totalmente desacoplada de la vegetación, puede ser una valiosa fuente de agua, o bien transformarse en un agente de estrés por anegamiento y/o salinidad. Aquí sintetizamos los aspectos más relevantes de estos efectos aprovechando información generada en esquemas de agricultura de precisión. También planteamos algunas claves para la aplicación de información freática en la toma de decisiones agrícola, especialmente en esquemas de manejos de agricultura por ambientes y espacialmente variable a nivel de lote.

Profundidad freática y rendimientos

La principal variable que define el tipo de influencia de las napas sobre los cultivos es su profundidad. Comprender y cuantificar la relación profundidad freática vs. rendimiento en lotes cultivados es la clave para incorporar el componente freático en la toma de decisiones. Primero es necesario reconocer que el aporte de agua freática hacia los cultivos está mediado por el transporte capilar que permite desplazar agua hasta más de un metro por encima del nivel freático. Para simplificar la influencia freática sobre los cultivos y anticipar mejor sus impactos sobre los rendimientos, resulta útil dividir el perfil del suelo/sedimento en bandas de profundidad decreciente (Jobbágy y Nosetto 2009). En la banda más profunda (I) no hay efectos de las napas sobre los cultivos ya que la zona capilar no alcanza a contactar a las raíces. Sobre un umbral de profundidad (en términos generales, 2-3 m por debajo de la profundidad máxima de raíces), se ingresa en otra banda (II), en la que 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. Superado un nuevo umbral de profundidad (en términos generales, 0,5 m por debajo de la profundidad máxima de raíces) se alcanza una nueva banda (III) en la que 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, cuando la napa freática anega una porción del sistema radical se ingresa en una nueva banda (IV) en la cual el rendimiento cae generalmente de forma abrupta. 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.

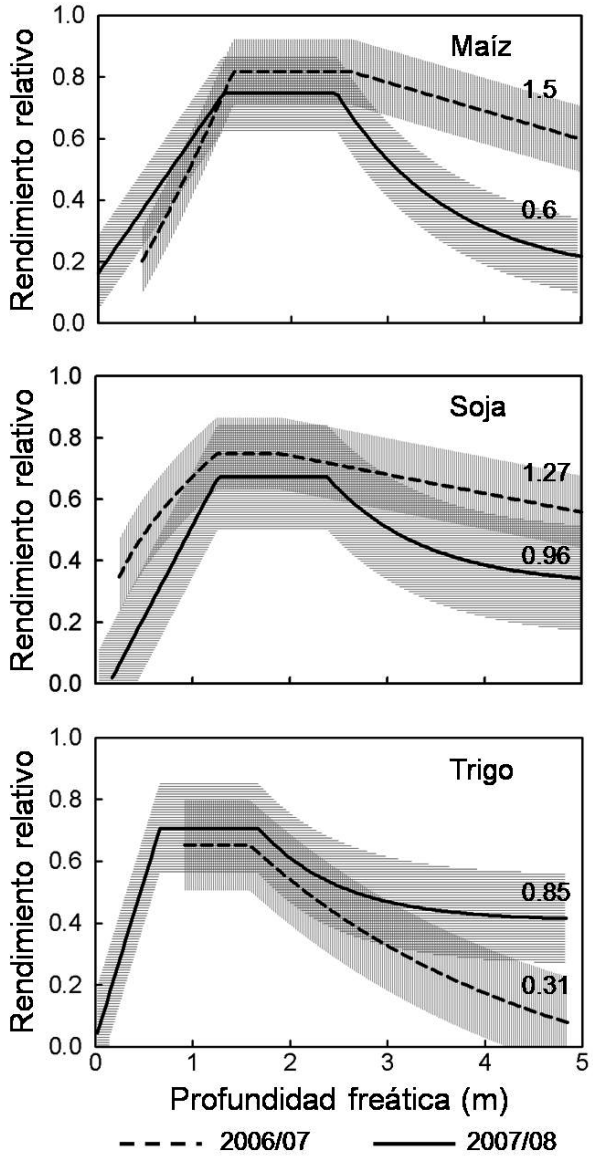
El mapeo de rendimientos ofrece una oportunidad única para delimitar estas funciones de respuesta a la profundidad de napas, especialmente en lotes con topografía ondulada pero relativamente baja heterogeneidad edáfica. En base al cruce de mapas de rendimiento y de profundidad freática hemos podido establecer relaciones claras de respuesta de distintos cultivos al nivel freático durante dos campañas (2006/2007 y 2007/2008) en la zona de Vicuña Makenna (Córdoba). Se encontró que los rangos de la banda de aporte óptimo (III) correspondió a profundidades de 0,7 a 1,7 m, 1,2 a 2,2 m y 1,4 a 2,4 metros para trigo, soja y maíz, respectivamente (Figura 1, Nosetto y col. 2009).

Los rendimientos de maíz, soja y trigo se normalizaron de acuerdo a los máximos observados en cada estación de crecimiento (Figura 1). Las líneas resultan del mejor modelo explicativo con dos puntos de quiebre. Las áreas grises representan los intervalos de 75% de predicción y los valores numéricos indican el cociente entre precipitación y evapotranspiración potencial del cultivo para toda la estación. Nótese que las campañas 2006/07 y 2007/08 fueron respectivamente húmedas y secas para los cultivos de verano y por consiguiente la caída de los rendimientos con napas profundas fue menor en la primera situación. Para la estación de crecimiento de trigo, en cambio, 2006/07 fue más seco y 2007/08 más húmedo.

Otras variables que afectan el aporte de napas

Las relaciones descriptas más arriba se desarrollaron en suelos arenosos, sin impedancias físicas y con aguas subterráneas de baja salinidad (< 3 dS/m). Sin embargo, las respuestas pueden verse fuertemente modificadas bajo otras condiciones. Aguas con creciente salinidad mostrarán una disminución en los beneficios observados en las bandas II y III y posiblemente un aumento de los perjuicios de la banda IV. Con respecto a la textura de los suelos, aquellos con alto porcentaje de arcilla limitarán el transporte de agua desde la napa a la zona de absorción generando un techo de rendimientos menor al potencial y una banda III inexistente que será reemplazada por una banda II de mayor espesor. Las impedancias subsuperficiales como horizontes calcáreos, nátricos u horizontes muy arcillosos, reducirán los beneficios de las bandas II y III. Por otro lado, es importante destacar que los aportes de napas a un cultivo exceden a los realizados en tiempo real. En períodos largos de barbecho y hasta que las raíces profundizan, un transporte lento (0,1 a 0,5 mm/día) desde napas profundas puede

1 FIGURA Respuesta del rendimiento de maíz, soja y trigo a la profundidad freática.



almacenar agua en el perfil. En años con pobre recarga por lluvias, ese ascenso capilar puede constituir un aporte no despreciable que puede llegar a ser significativo aun con niveles de 4 metros de profundidad de napa.

Agricultura de precisión y manejo por ambientes bajo influencia freática

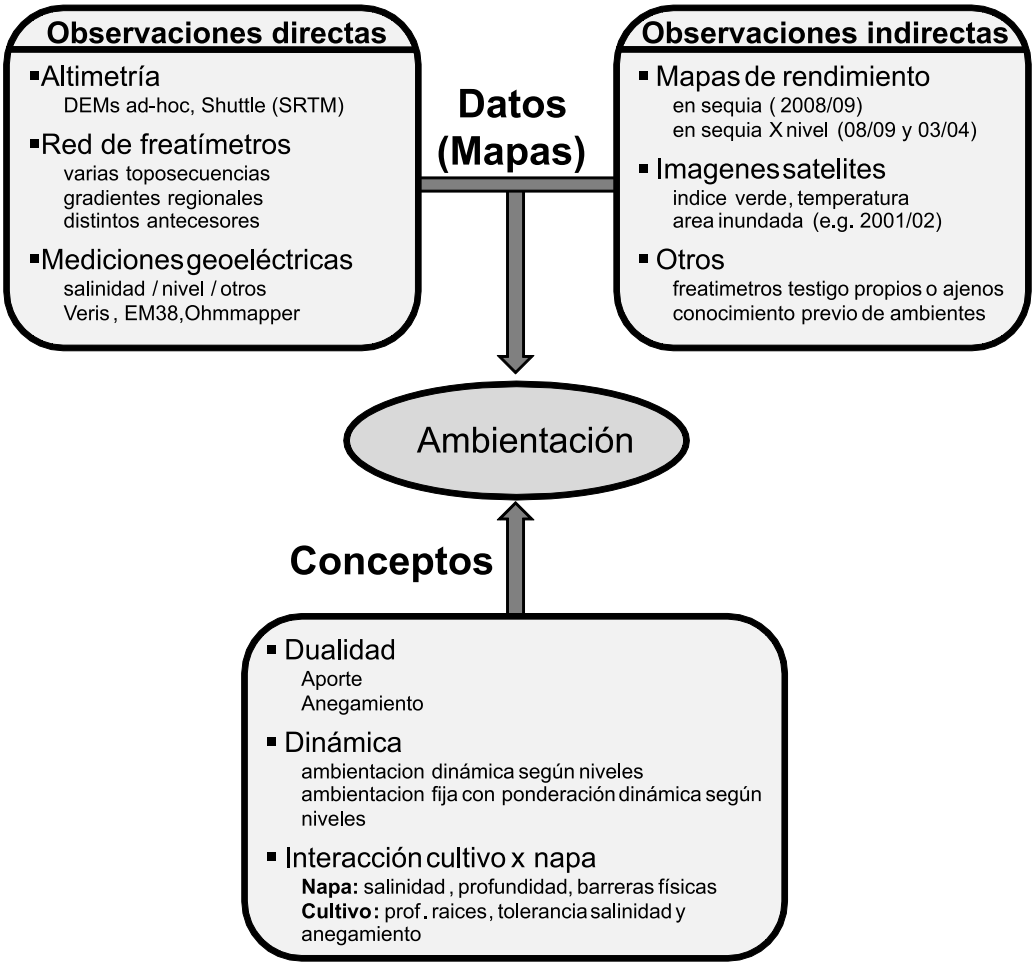
La ambientación y la aplicación variable de insumos son herramientas muy útiles para aumentar la eficiencia de producción en campos con influencia freática. En estos esquemas es posible identificar dos grandes flujos de información que al considerarlos en forma conjunta permiten definir las reglas para la ambientación y la aplicación variable de insumos (Figura 2). Por un lado los datos, generados a partir de distintas fuentes, buscan caracterizar la influencia freática sobre los cultivos en forma espacial a través de mapas. Por otro lado, los conceptos teóricos son los que definen las pautas a partir de las cuales es posible transformar los mapas de influencia freática en mapas de ambientes.

Dentro de los **datos** se encuentran concretamente los mapas que buscan caracterizar la influencia freática, a través de los niveles y salinidad, en forma directa. Los mapas de profundidad freática se pueden generar a partir de mapas altimétricos de alta resolución, obtenidos por ejemplo a partir de un GPS diferencial, y mediciones periódicas de profundidad freática en una red de puntos representativos del campo. Alternativamente, el mapeo de profundidad freática se puede realizar a través de mediciones geoeléctricas, las cuales pueden brindar información adicional de interés para la definición de ambientes, como ser la salinidad de la napa y la presencia de barreras físicas (capas de tosca, horizontes thaptos). La influencia freática también se puede inferir en forma indirecta, por ejemplo, a partir de la observación de la variación espacial de los rendimientos en campañas secas (Fig. 2). Esta información es enriquecida si se compara la variación espacial de los rendimientos en campañas secas que tuvieron distintos niveles freáticos, por ejemplo las campañas 2003/04 y 2008/09. Complementariamente a los mapas de rendimiento, los datos satelitales nos pueden brindar valiosa información para la definición de ambientes. El índice verde y la temperatura superficial son variables satelitales de fácil obtención y procesamiento y que pueden brindar información muy útil para inferir la influencia freática sobre los cultivos. Finalmente, ante la carencia de una red freatimétrica propia, los datos aportados por unos pocos freatímetros testigos, ya sean propios o ajenos, como el conocimiento previo de los distintos ambientes del campo son fuentes de información que se debe incluir en el proceso de ambientación.

Dentro de los **conceptos** claves a tener en cuenta en la definición de ambientes se destaca la naturaleza dual de la influencia freática sobre los cultivos. Esto implica que la napa puede ejercer un efecto positivo sobre los cultivos aportando agua ante situaciones de déficit; siempre y cuando se encuentra en una posición adecuada y presenta bajo contenido de sales. Este efecto tiende a amplificarse en épocas de sequía y a diluirse en períodos húmedos. Al mismo tiempo, la napa puede afectar negativamente a los cultivos cuando se encuentra muy cercana a la superficie o presenta alto contenido de sales. En los paisajes ondulados del S de Cordoba, N de la Pampa y NO de Buenos Aires, estos efectos pueden llegar a manifestarse en forma simultánea en un mismo lote.

En conexión con el concepto anterior, es fundamental también reconocer la naturaleza dinámica de las napas que las diferencia de otras variables ambientales que son de naturaleza mucho más estable (por ej. textura, alcalinidad, etc.). Las zonas que ofrecen profundidades de napa ideales un año, pasarán a generar ries-

2 FIGURA Flujos de información para esquemas de Ambientación y Manejo variable de insumos en escenarios de influencia freática



gos de anegamiento al siguiente si atravesamos un período de excesos hídricos y ascensos freáticos. Por el contrario, tras varias campañas secas, los niveles pueden descender y el efecto benéfico de las napas puede desaparecer por completo de los lotes. Ante esta situación se puede optar por una ambientación dinámica, en la cual se modifican los ambientes de acuerdo a los niveles freáticos, o por una ambientación fija, en la cual se mantienen fijos los ambientes pero su ponderación varía en el tiempo de acuerdo a los niveles freáticos de los mismos.

Por último, hay que reconocer que la influencia de la napa sobre los cultivos no es fija y que existe una interacción entre ambos elementos. Esto implica, por ejemplo, que no todos los cultivos responden de igual forma al anegamiento y a la salinidad, y que por lo tanto sería posible seleccionar especies y/o cultivares mejor adaptados a estas condiciones. De manera similar, los umbrales que definen las distintas zonas de influencia freática descriptas más arriba no son fijas, sino que son afectadas por las profundidades variables de raíces de los distintos cultivos.

Acotando incertidumbres

Las napas ofrecen una predictibilidad mucho mayor a la de las precipitaciones y es posible acotar la incertidumbre respecto a su nivel analizando series freatimétricas de muchos años. Normalmente se observa en este tipo de series para la región pampeana que los niveles siguen un patrón estacional repetido, con situaciones muy variables entre octubre y diciembre (puede haber ascensos o descensos en este período), variable pero con claros descenso entre diciembre y enero, aún más variables pero con predominio de fuertes ascensos entre febrero y mayo, y finalmente muy estables entre mayo y octubre. Esto implica que las mediciones freatimétricas de mayo nos pueden permitir anticipar los niveles que encontraremos a la siembra de cultivos de verano con bastante

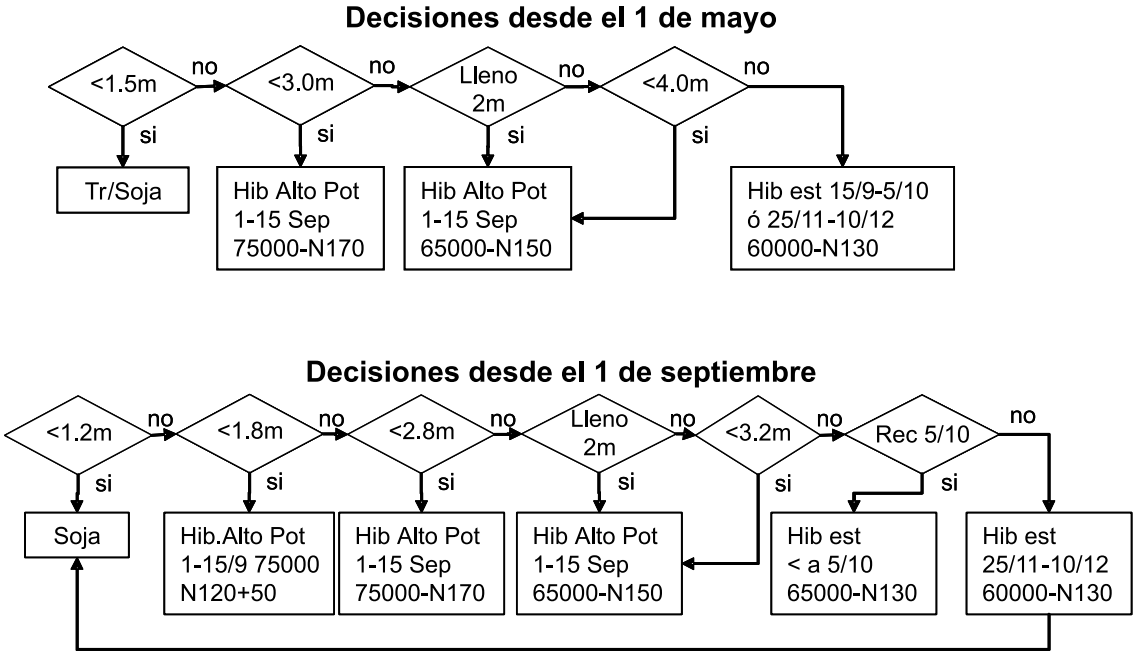
certeza y generar la zonificación de lotes y los esquemas variables de manejo con esa anticipación.

Los cambios tecnológicos disparados por la cuantificación de variables ambientales con mayor impacto en los cultivos son la clave del éxito de la agricultura por ambientes. Los grandes efectos de la napa por un lado, y su variabilidad en el espacio y en el tiempo justifican su inclusión cuidadosa en la agricultura por ambientes y de precisión. Un árbol de decisión permite explicitar una lógica que integre el conocimiento de dinámica de la napa, la cuantificación de su variabilidad y las oportunidades y restricciones que cada empresa agrícola enfrenta cada campaña. Junto a la empresa La Biznaga hemos desarrollado esquemas como el que, a modo de ejemplo, se presenta en la figura 3 para el cultivo de maíz en suelos profundos sin impedancias y no muy arenosos del sur de Pehuajó. El árbol hace explícito que para maíz se debe conocer el nivel de la napa a fin de los meses de abril y de agosto. En La Biznaga eso se logra con una red de freatímetros permanentes que cubre los distintos ambientes edáficos y las distintas fases de las secuencias agrícolas. Esa red se mide en momentos críticos para las decisiones en distintos cultivos. Para propagar la información en el espacio, la red se apoya en pozos de una vez que se realizan en todas las unidades de manejo durante el invierno.

Un aspecto destacado en este árbol es el valor que se le da a la predictibilidad del nivel de napa desde mediados de otoño. Eso permite aprovechar oportunidades en compras de híbridos y mejorar precios y logística en fertilizantes. Además, adelantar la decisión a ese momento, aumenta la posibilidad de manejo de un elevado nivel freático. Con napas muy cercanas en mayo, se intensifica la secuencia, aumentando el consumo de napa, a través de un doble cultivo trigo/soja que eventualmente puede ser trigo/maíz. En agosto se vuelve a medir y se toman decisiones más finas. Sin embargo, si se llega a esa fecha con napas altas, por no haber intensificado, o por un invierno excepcionalmente húmedo, todavía resta la oportunidad de reducir el riesgo empresario a través de gastar menos en una unidad que se puede inundar. Con napas todavía muy próximas, se puede dividir la dosis de fertilizante nitrogenado, y cuando la primavera no es muy húmeda, o descartando aquellas zonas más afectas, se completa la dosis.

Con una napa entre 1,8 y 2,8 m se usa el mayor nivel de insumos que maximice el beneficio según la relación de precios de la campaña. Ese es el planteo que apunta al máximo rendimiento. No obstante, un perfil lleno (cerca de capacidad de campo hasta 2 m) permite hacer un planteo de maíz muy bueno, aunque con algo menos de insumos para reducir el riesgo económico que imponen

3 FIGURA Esquema de decisiones desarrollado junto a la empresa La Biznaga para el cultivo de maíz en suelos profundos sin impedancias y no muy arenosos en la zona de Pehuajó.



posibles años secos. Aún un perfil que tenga el segundo metro seco (menos del 50% de recarga) mantendrá su aptitud para un buen planteo si la presencia de napa a menos de 4 m permite inferir que el perfil estará recargado para las etapas críticas del cultivo. Con napas profundas y una mala recarga en el segundo metro, solo una recarga alta durante septiembre llevaría a siem-

bras tempranas. De lo contrario, se pasaría a siembras tardías, donde el perfil se recarga durante noviembre, y las etapas críticas se ubican en una época con menos déficit hídrico.

Conclusión

- El aporte de napas a los cultivos puede ser un factor decisivo generando altos rendimientos y reduciendo fuertemente el riesgo hídrico en ambientes semiáridos o subhúmedos, especialmente en zonas con suelos arenosos. La incorporación de la información freática a esquemas de manejo por ambiente y agricultura de precisión permite optimizar las ventajas de este aporte y requiere la combinación de pocas mediciones de nivel freático con buena información altimétrica. La definición de ambientes en este sentido debe ser flexible y dinámica, ajustándose año a año de acuerdo a los cambios de nivel y considerando las diferentes curvas de respuesta a la profundidad freática que muestran las especies cultivadas. Los árboles de decisión que integran la información freática permiten explicitar una lógica que finalmente redunda en una mayor eficiencia de la empresa agropecuaria.

Encuentre el presente trabajo en **www.aapresid.org.ar**

Referencias

Jobbágy EG y MD Nosetto. 2009. Napas freáticas: pautas para comprender y manejar su impacto en la producción. Actas del XVII Congreso AAPRESID – 151-155.

Jobbágy EG, MD Nosetto y J.L. Mercau. 2010. Napas y cultivos: describir, entender y manejar. http://gea.unsl.edu.ar/napas/index.html.

Nosetto MD, EG Jobbágy, GA Sznaider, RB Jackson. 2009. Reciprocal influence between crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. Field Crop Research, 113: 138-148.