

# 5

## Balance hídrico como herramienta de decisión <sup>(2)</sup>

### 5.1. Balance hídrico para cultivos específicos

**D**e todos los elementos meteorológicos, el que presenta más variabilidad interanual y que sin duda ejerce mayor impacto en la agricultura de secano es la precipitación u oferta de agua. De la interacción entre la oferta de agua, su infiltración y retención en el suelo, y la demanda de agua constituida por los elementos meteorológicos que producen la evaporación directa desde el suelo y la transpiración a través de los estomas de las hojas de las plantas (constituyendo la evapotranspiración), resulta lo que llamamos reserva o almacenaje de agua en el suelo en un momento dado. Si el almacenaje es abundante, establece una suerte de seguro para el consumo de los días siguientes exentos de precipitación. Es un dato del que se deduce un diagnóstico del estado actual de la vegetación que cubre el suelo, entendiéndolo como tal la capa de la superficie del terreno hasta donde tienen normalmente actividad la mayor proporción de los sistemas de raíces de la vegetación natural y que exporta agua a la atmósfera.

Las mermas en los rendimientos de los cultivos más importantes en Argentina se relacionan principalmente con deficiencias hídricas a floración o con excesos en las etapas inicial y final del ciclo del cultivo. De allí el interés de la Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA) del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca en desarrollar un sistema operativo de seguimiento de la situación hídrica de los cultivos más extendidos en el país, es decir, trigo, soja, maíz y girasol. Para su aplicación en ganadería, también se realiza un seguimiento del estado hídrico de las pasturas.

La importancia de poder realizar un seguimiento del estado hídrico de cada cultivo en forma individual reside en la posibilidad de poder evaluar en cada caso el consumo hídrico particular del cultivo en cada una de sus etapas y el estado de las reservas en los periodos críticos de cada uno de ellos. Para la misma fecha, considerando el mismo suelo y las mismas condiciones meteorológicas, los almacenajes difieren en gran medida entre un cultivo y otro. Esta situación es fácil de apreciar en el mes de diciembre, por ejemplo, comparando el contenido de agua en el suelo estimado para trigo a término con otro realizado para maíz

entrando en su periodo de mayor consumo.

En la ORA, el balance hídrico se realiza para la capa superficial en periodos cercanos a la fecha de siembra y durante los primeros estadios de las plantas. También se calcula en forma integrada a una profundidad no superior a un metro durante todo el ciclo del cultivo. Para las pasturas, el balance hídrico se continúa todo el año.

El balance hídrico diario utilizado para el cálculo del almacenamiento de agua en el suelo considera la precipitación, la evapotranspiración real del cultivo, el escurrimiento superficial, la percolación profunda y los excesos de agua acumulados en superficie. En el mismo se han despreciado movimientos horizontales subsuperficiales de agua, que resultan en general de orden menor que los verticales.

El valor de la precipitación diaria es muy variable aún entre puntos muy cercanos, digamos unos 20 km, en especial en verano. Ésta es la variable meteorológica cuya estimación incorpora mayor error en los resultados. En este caso se consideran sólo datos de precipitación diaria provenientes del SMN y del INTA en localidades referentes de cada una de las zonas que involucra el monitoreo de las reservas de la ORA.

La humedad del suelo puede estar en su máxima capacidad de retención o capacidad de campo (en que la extracción de agua por los vegetales se produce sin ninguna dificultad) o puede descender a valores por debajo del punto de marchitez permanente, en que un vegetal se marchitaría sin posibilidad de recuperación ni aún dentro de una atmósfera saturada. Entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente existe el rango de lo que denominamos agua útil. A medida que se va utilizando el agua útil, y las reservas se acercan al punto de marchitez permanente, el esfuerzo del vegetal para extraer agua es cada vez mayor. A ese esfuerzo se lo denomina estrés hídrico.

La capacidad de un suelo de almacenar agua depende de la cantidad y tamaño de sus poros, es decir de su estructura, textura y contenido de materia orgáni-

ca. Para la estimación de la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez (PMP) el modelo considera el método de Ritchie. Los valores de capacidad no se refieren a una profundidad fija, sino que tienen en cuenta la profundidad típica de exploración radicular en cada zona. Frecuentemente se llama a esta medida "capacidad efectiva". El método de Ritchie para la estimación de la CC y el PMP considera distintos horizontes, la profundidad de cada uno de ellos, porcentajes de arena, arcilla, limo y materia orgánica.

La evapotranspiración del sistema suelo-cultivo alcanza un valor máximo o potencial (ETP) sólo cuando no existen limitantes hídricas. Para el cálculo de la evapotranspiración potencial se utilizó la denominada ecuación de FAO Penman-Monteith, recomendada por la FAO. El valor de ETP se calcula en función de la radiación máxima (astronómica) del día y valores de las siguientes variables meteorológicas: temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, viento y heliofanía (o nubosidad, en su defecto). Cuando la humedad del suelo es inferior a la capacidad de campo, la evapotranspiración real del sistema suelo-cultivo es menor que la potencial, y va disminuyendo a medida que aumenta el nivel de estrés hídrico al que está sometido el cultivo.

Como la evapotranspiración de referencia se refiere al consumo hídrico de una pradera permanente, es decir, activa (verde) durante todo el año, debe realizarse primero un ajuste relacionado con el consumo de agua del cultivo particular, que varía a lo largo de su ciclo con respecto al de una pradera, superándolo en algunos periodos (críticos) y permaneciendo por debajo en otros, dependiendo de su desarrollo fisiológico. Es necesario entonces conocer el requerimiento hídrico de cada cultivo particular a lo largo de su ciclo, con respecto al de referencia, lo cual queda establecido por el coeficiente de cultivo (Kc).

Los excesos hídricos suelen mantenerse por algunos días en superficie luego de lluvias muy abundantes. En algunos lotes los excesos se ven retenidos debido a que el suelo ya no es capaz de absorberlo,

porque el mismo se halla en capacidad de campo, y tampoco se eliminan rápidamente por escurrimiento superficial, debido a limitaciones en las condiciones naturales de drenaje. Los valores diarios de exceso se calculan como el excedente de agua con respecto al contenido máximo posible, es decir, la capacidad de campo. Es necesario conocer un valor inicial de excesos, que a la siembra es en general cero, ya que de otra forma la misma no se realiza por falta de piso, y se esperan mejores condiciones.

El escurrimiento superficial es la parte de la precipitación que no ingresa al suelo debido a que el mismo no es perfectamente permeable. También el modelo estima un paulatino escurrimiento de los excesos eventualmente acumulados en superficie luego de lluvias intensas.

La percolación o drenaje profundo es la cantidad de agua que atraviesa la capa superficial del terreno y se interna en profundidades más allá del horizonte de exploración radicular. Este término es de orden menor al escurrimiento superficial en áreas bien drenadas de la región pampeana, pero no es así para zonas con dificultades de drenaje, donde predomina la infiltración sobre el escurrimiento.

Las variables meteorológicas diarias necesarias para alimentar este algoritmo son: precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento, heliofanía (o en su defecto nubosidad). Los parámetros necesarios para cada tipo de suelo son: capacidad de campo, punto de marchitez permanente, tipo de escurrimiento, porcentaje de arcilla, profundidad máxima de exploración radicular. Si no se dispone de valores de CC y PMP, los mismos se calculan según el método de Ritchie y para ello deberá contarse con los porcentajes de arcilla, limo, arena y materia orgánica para cada horizonte. La información acerca del cultivo modelado debe contener: fecha de siembra, fecha estimada de cosecha, duración aproximada de cada etapa fenológica, consumo hídrico en cada etapa fenológica.

## 5.2. Sistema de monitoreo y alerta temprana

### a. Monitoreo del estado hídrico de los cultivos en puntos clave

A pesar de que el requerimiento de información bá-

sica de suelos y cultivos es apreciable, y que a esto debe sumarse la disponibilidad de información meteorológica diaria de muchas variables, fue posible generar un sistema de monitoreo del estado hídrico de los cultivos a tiempo real, que se actualiza sema-

nalmente. Para que esto se lleve a cabo se cuenta con el apoyo del SMN y del INTA. Los puntos para los que se lleva a cabo actualmente el monitoreo de las reservas para distintos cultivos y para pradera se pueden ver en la Figura 1. Cada punto es representativo de las condiciones zonales.

El resultado del balance diario en cada punto geográfico de seguimiento se visualiza en un gráfico que muestra la evolución del contenido de agua en el suelo (mm) a lo largo del ciclo del cultivo. La Figura 2, por ejemplo, muestra la evolución de los almacenajes para soja de primera de siembra temprana en Venado Tuerto (Santa Fe) durante la campaña 2010-2011. La evolución del contenido de humedad está representada con una línea negra, desde la fecha de siembra (05/11) hasta unos 3 meses después (01/01). En el gráfico se señalan los periodos más críticos a sequía (naranja) y a excesos hídricos (celeste) para este cultivo.

Para facilitar la interpretación de la información, es posible comparar la evolución en la campaña en curso con los valores de almacenaje medios (1970-2010) y los valores mínimos extremos: los almacenajes normales son los que corresponden al límite superior del área verde, mientras que los mínimos históricos se ubican en el límite superior del área amarilla. Es decir, si la línea negra cae dentro del área verde, significa que los almacenajes son inferiores a los normales. En el ejemplo de la Figura 2 los almacenajes evolucionan en forma normal desde fines de noviembre hasta fines de diciembre, pero luego comienzan a caer rápidamente. Si la línea negra perfora el área amarilla, esto significa que las reservas hídricas son inferiores al récord de mínima estimado para el periodo 1970 a la fecha. En la Figura 2 se aprecia que el valor estimado de agua en el suelo para un lote de soja de primera al 01/01/2011 es igual al mínimo histórico.

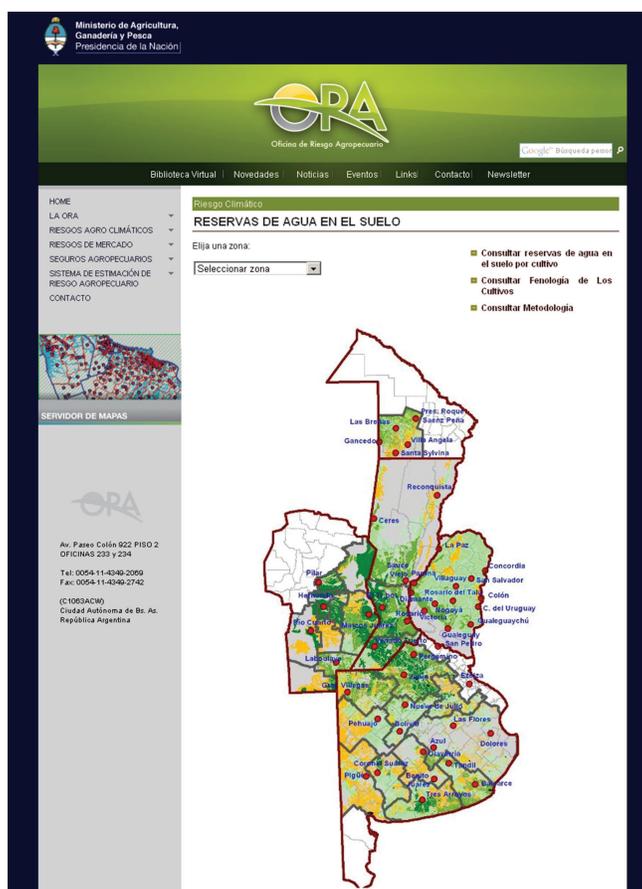


Figura 1. Ubicación de los puntos de monitoreo del estado de las reservas hídricas de los cultivos, online y a tiempo real.

El monitoreo del estado de las reservas en este caso evidenció una señal de alarma. Debido a esto, y considerando que ya el cultivo se hallaba al inicio del periodo crítico para déficit hídrico, se realizó una estimación de escenarios a 30 días, con el fin de evaluar la posibilidad estadística de un mejoramiento (o no) de la situación hídrica en la zona para esa fecha (31/01/2011).

## b. Mapas de estado hídrico de los cultivos

Además de utilizar el balance hídrico para realizar un seguimiento de los almacenajes en una localidad dada a través del tiempo, puede aplicarse a la creación de mapas de estado de las reservas hídricas para toda una región en un momento particular de la campaña. Para ello es necesario contar con información climática completa en la mayor cantidad posible de puntos dentro del área a representar, la fenología del cultivo en las distintas subzonas y los suelos correspondientes.

La ORA realiza semanalmente mapas del estado de las reservas de agua en el suelo en las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Entre Ríos, sudeste de Córdoba y gran parte de Chaco. Este seguimiento se efectúa durante todo el año para una pradera implantada de referencia, con excepción del norte de Santa Fe y Chaco, donde no es frecuente este tipo de cobertura. También se realiza para algodón, girasol,

maíz, soja y trigo, durante el ciclo de cada cultivo.

En los mapas, el balance hídrico no se realiza para las localidades donde se cuenta con información meteorológica, sino en cada unidad de suelo. Así, el resultado obtenido para cada lugar y cultivo se obtiene en función del suelo local, de datos de precipitación interpolados de la red pluviométrica disponible, de la fenología de la zona y de valores de evapotranspiración potencial correspondientes a la estación meteorológica más cercana.

Los mapas de estado de las reservas hídricas permiten tener un panorama areal general de la situación hídrica para un cultivo en particular y determinar las áreas afectadas por condiciones subóptimas. Esto permitirá posteriormente inferir la parte de la producción que podría verse afectada por una eventual situación adversa. La desventaja es que, con un solo mapa no es posible saber cuáles fueron las condiciones anteriores, con lo cual debe consultarse una secuencia de mapas y ver su evolución temporal, o consultar el monitoreo de las reservas hídricas para localidades clave que se ha detallado en el ítem anterior.

Un ejemplo de mapa de estado de las reservas hídricas en el suelo puede verse en la Figura 3. Se trata en este caso de categorías de almacenaje estimados para soja de primera al 9 de enero de 2011.

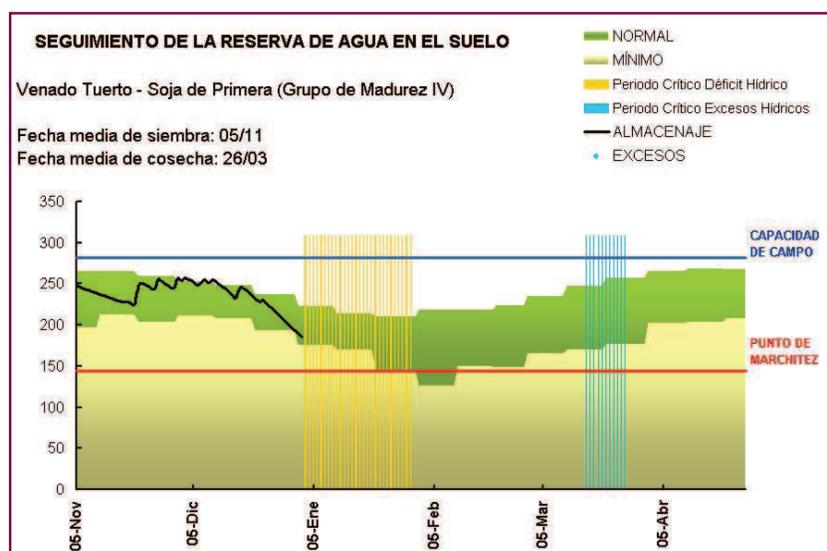


Figura 2. Seguimiento de las reservas hídricas profundas (línea negra) para soja de primera de siembra temprana en Venado Tuerto (Santa Fe) en el inicio de la campaña 2010-2011

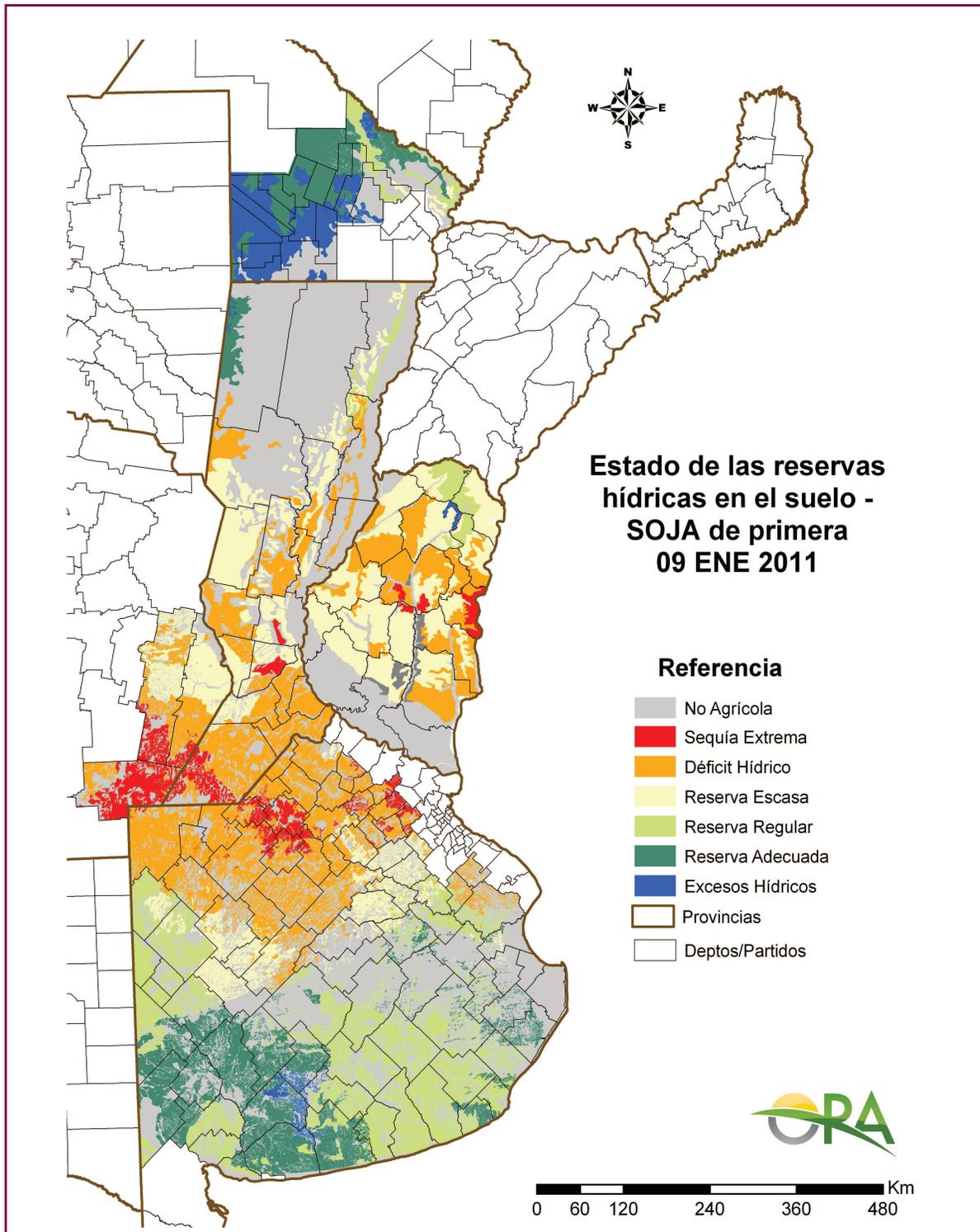


Figura 3. Estado de las reservas de agua en el suelo para soja de primera estimado al 09/01/2011

### 5.3. Escenarios a futuro de contenido de agua en el suelo

En ese momento, existía una gran preocupación acerca de la evolución de la campaña gruesa, debido a la falta de precipitaciones adecuadas.

La estimación de escenarios a futuro es una evaluación estadística de las condiciones a las que los almacenajes pueden llegar a arribar en 30, 60, 90 días, dependiendo del estado inicial de los mismos y de las lluvias que se puedan registrar en ese periodo futuro. Se llamará “escenario normal” al que se obtenga suponiendo que las lluvias futuras serán las habituales, “escenario seco” al que derive de lluvias escasas en ese lapso, y “escenario húmedo” al que provenga de la posibilidad de lluvias futuras abundantes.

Para la determinación de escenarios a futuro no sólo se necesitan datos recientes (últimos cuatro o cinco años), sino series históricas (tres o cuatro décadas), ya que para la producción de los mismos se realiza una generación sintética de series de precipitación diaria a 30, 60 ó 90 días, en base a las distintas distribuciones de precipitaciones para el período a evaluar.

Se mostrará ahora con un ejemplo particular el uso de la herramienta como elemento de diagnóstico y

evaluación de situaciones a futuro para un caso particular: la campaña triguera 2008-2009 en Marcos Juárez (Córdoba). Esta campaña fue emblemática y tristemente recordada por los productores agropecuarios debido a la marcada seca que tuvo lugar durante la misma, que afectó también a la gruesa en forma generalizada, en el marco de un evento La Niña moderado, al que se sumaron otros factores de escala regional.

En particular en el departamento Marcos Juárez la campaña triguera comenzó con almacenajes de agua en el suelo inferiores a los normales. Se procedió a la siembra a la expectativa de un mejoramiento de las condiciones hídricas que, según lo que muestra la Figura 4, no tuvo lugar en el término de tres meses. Allí se puede ver que al 20 de agosto de 2008 las reservas estimadas para trigo de siembra temprana decayeron hasta valores mínimos extremos, cercanos al punto de marchitez.

El 20 de agosto, un mes antes del comienzo del periodo crítico a déficit hídrico, este hecho constituía una señal de alerta. Se consideró necesario entonces evaluar las posibilidades de recuperación de las reservas al inicio de este periodo. Con ese fin se evaluaron los escenarios a futuro al 20 de septiembre.

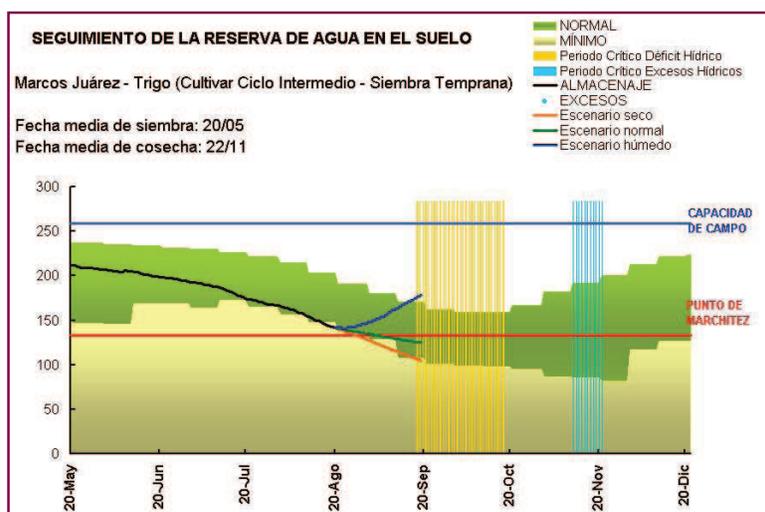


Figura 4. Seguimiento de las reservas y escenarios a futuro del estado de las reservas hídricas para trigo de siembra temprana en Marcos Juárez del 20/08 al inicio del periodo crítico (20/09) de la campaña 2008-2009

Los escenarios a futuro generados mediante simulación Montecarlo se grafican a partir del último día del seguimiento (ver Figura 4). La línea azul corresponde a un escenario húmedo (lluvias superiores a las normales, quintil superior), la línea roja corresponde a un escenario seco (lluvias inferiores a las normales, quintil inferior), y la línea verde representa un escenario de lluvias normales (situaciones intermedias, segundo a cuarto quintil).

En el gráfico se puede ver que, aún con lluvias normales (línea verde), los almacenajes al 20/09 se hallarían en niveles cercanos al punto de marchitez. Por otro lado, la continuidad de un escenario seco (línea naranja) determinaría condiciones extremas de sequía. Sólo un escenario de lluvias abundantes (línea azul) llevaría las reservas hídricas a niveles normales para la fecha, pero este escenario no era el esperado por las tendencias climáticas emitidas por el SMN en agosto de 2011.

Además de la salida gráfica de la Figura 4, el modelo de Monitoreo y Alerta temprana de la ORA posee una salida numérica que permite evaluar la probabilidad de contar con distintos niveles de reserva en el futuro, dependiendo del escenario de lluvias que se concrete en ese plazo (lluvias escasas, normales o abundantes). La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos el 20/08/2008 al evaluar los escenarios probables al 20/09/2008 para trigo en marcos Juárez.

Según los resultados de la Tabla 1, la probabilidad de salir del nivel de déficit (25% de agua útil) al 20/09 con lluvias normales o escasas era nulo. Sólo con un escenario húmedo, no previsto, se presentaban posibilidades de reservas superiores. Esto indicaba una situación límite que permitía anticipar rendimientos

de trigo muy inferiores a los esperados en la zona.

Efectivamente, las precipitaciones suministraron el auxilio necesario y las reservas de agua en el suelo llegaron al inicio del periodo crítico en condiciones deficitarias. El mapa de estado de las reservas de agua en el suelo para el sudeste de Córdoba (Figura 5) mostraba al trigo de siembra temprana en la zona en situación deficitaria al 20/09/08, según lo previsto.

El rinde medio del departamento de Marcos Juárez esperado para trigo en la campaña 2008-2009 era de unos 2800 kg/ha. El resultado para esta campaña, según datos del Ministerio de Agricultura, fue de 1400 kg/ha, aproximadamente. Esto indica una pérdida promedio del 50% del rendimiento esperado en la campaña analizada.

Cabe preguntarse a partir de cuándo era posible prever que la situación hídrica para el trigo en Marcos Juárez resultaría deficitaria al inicio de su periodo crítico (20/09). En la Tabla 2 se puede ver una secuencia de resultados que resume las salidas del modelo de Alerta Temprana (escenarios), en el cual sólo se transcribieron las probabilidades asociadas a cada escenario para el caso de déficit. Ya tres meses antes se podía ver que, con un escenario de lluvias escasas la situación al inicio del periodo crítico sería de déficit (100%). Con lluvias normales la probabilidad de déficit al 20/09 ya era alta (81%) y se fue incrementando en evaluaciones posteriores (97% y 100%).

Esto significa que en muchos casos esta evaluación temprana puede indicar que las posibilidades de alcanzar los rendimientos esperados para determinado cultivo o zona son bajas y “encender una luz roja”. En particular en áreas trigueras del oeste de la

*Tabla 1. Escenarios de lluvia y probabilidad asociada a cada uno de ellos de distintos niveles de reserva de agua en el suelo para trigo en Marcos Juárez. La salida fue obtenida el 20/08/08 y se evaluaron los escenarios al 20/09/08, inicio del periodo crítico.*

NIVEL DE RESERVA DE AGUA EN EL SUELO	PROBABILIDAD PARA EL ESCENARIO (%)		
	Seco	Normal	Húmedo
Déficit	100	100	34
Escasa	0	0	47
Regular	0	0	14
Adecuada	0	0	4
Exceso	0	0	1

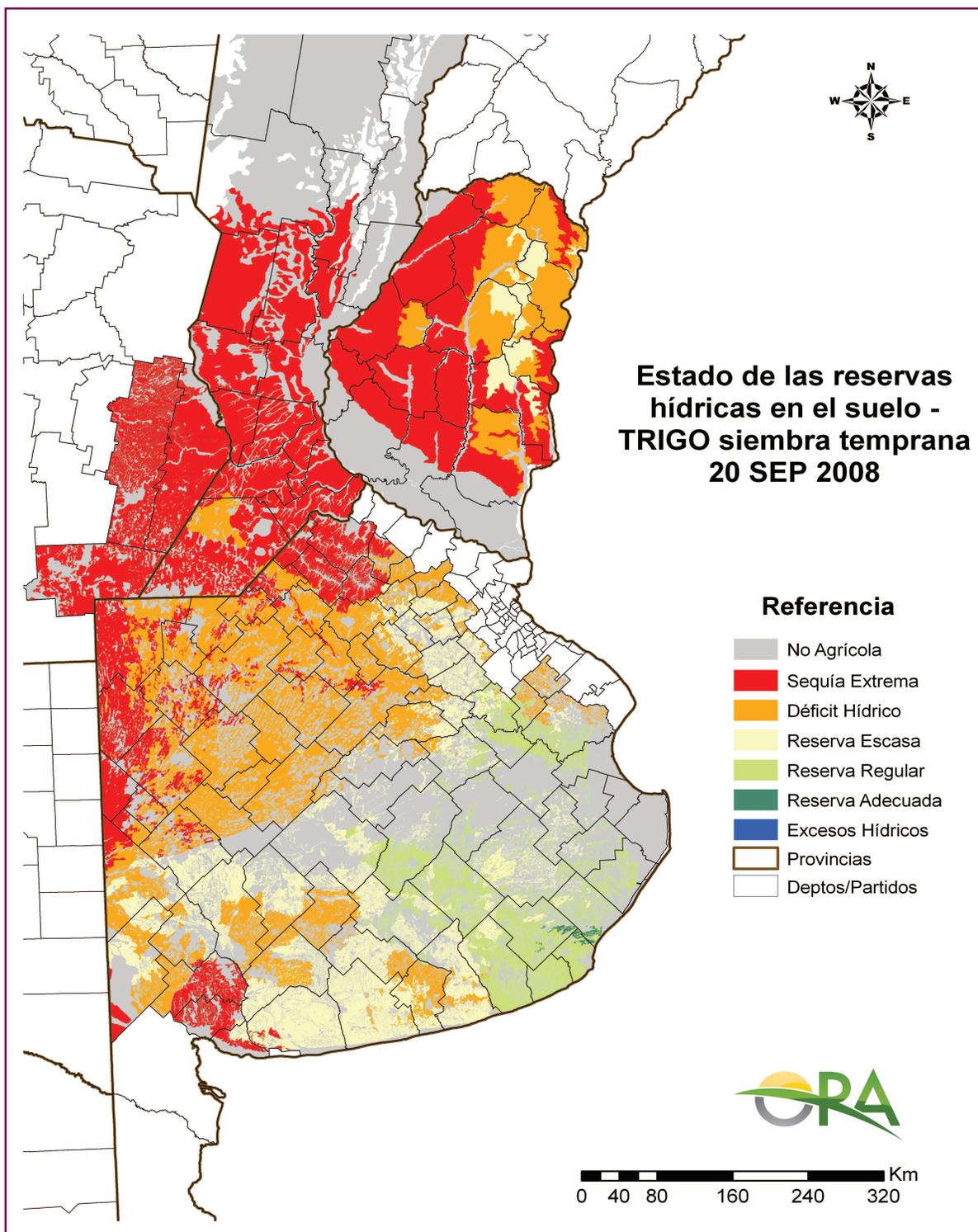


Figura 5. Estado de las reservas de agua en el suelo para trigo de siembra temprana al 20/09/2008

región pampeana u otras con regímenes pluviométricos con marcada estacionalidad, las condiciones al inicio de la fina determinan en gran medida las expectativas de reservas adecuadas al arribo del periodo crítico a déficit hídrico. Meses antes de este mo-

mento es posible entonces evaluar la probabilidad de transitar este periodo en condiciones deficitarias, con el consecuente estrés hídrico que seguramente redundará en una merma considerable en los resultados finales.

Tabla 2. Escenarios de lluvia y probabilidad asociada a la ocurrencia de déficit hídrico al inicio del periodo crítico para trigo en Marcos Juárez. La primera columna indica la fecha de elaboración de la previsión.

FECHA DE ELABORACIÓN	PROBABILIDAD DE DÉFICIT PARA EL ESCENARIO (%)		
	Seco	Normal	Húmedo
20/06/2008 (3 meses antes)	100	81	5
20/07/2008 (2 meses antes)	100	97	11
20/08/2008 (1 mes antes)	100	100	34

## 5.4. Comentarios finales

El monitoreo del desarrollo de las condiciones hídricas para cada cultivo a lo largo de una campaña resulta de gran valor para la estimación anticipada de los resultados finales zonales y nacionales de producción de granos y forrajeras (ganadería).

El seguimiento actualmente en funcionamiento se ha desarrollado de forma que pueda aprovechar toda la información disponible en los puntos en que ésta exista, y adaptarse a la información menos completa que puedan ofrecer otros puntos. Por ejemplo, en algunas estaciones meteorológicas no se dispone de heliofanógrafo: en ese caso la estimación de la ETP se realiza según una adaptación de la ecuación Penman-FAO que utiliza nubosidad (octavos de cielo cubierto) en vez de heliofanía. Incluso puede realizarse un seguimiento adecuado de puntos que disponen únicamente de pluviómetro, utilizando los datos locales de suelo y precipitación, y una estimación de la ETP que consiste en un ajuste sencillo del valor de

ETP estimado en las localidades más cercanas con información suficiente. Actualmente se trabaja en la extensión del área de cobertura del monitoreo, siendo el principal inconveniente la poca disponibilidad de información de suelos.

La posibilidad de generar escenarios a futuro permite adelantarse a los eventos perjudiciales que podrían devenir y sus consecuencias sobre los rindes. Si bien no se ha podido aún establecer una correlación directa "estado hídrico – rindes", debido a la influencia de otros factores adversos secundarios que afectan los resultados, se puede saber que si las condiciones hídricas son inadecuadas en los periodos críticos, los rendimientos se verán reducidos en forma significativa. Así, las herramientas mostradas permiten realizar un seguimiento de las condiciones hídricas a lo largo de la campaña en puntos clave, determinar el área afectada por eventuales eventos adversos.

(2) Diseño metodológico: Lic. Adriana Basualdo