

## RIESGO DE ANEGAMIENTO EN TRIGO (*Triticum aestivum* L) PARA DISTINTAS LOCALIDADES DE LA REGIÓN TRIGUERA ARGENTINA

ROMINA P DE SAN CELEDONIO<sup>1</sup>; JOSÉ ROBERTO MICHELOUD<sup>1</sup>; LEONOR GABRIELA ABELEDO<sup>1</sup>; DANIEL JULIO MIRALLES<sup>1</sup> & GUSTAVO ARIEL SLAFER<sup>2</sup>

Recibido: 16-02-14

Recibido con revisiones: 29-04-14

Aceptado: 14-05-14

### RESUMEN

En la Argentina, la producción de trigo es afectada ocasionalmente por eventos de anegamiento, cuya frecuencia depende del clima, tipo de suelo y relieve de cada zona en particular. Sin embargo, es muy escasa la información sobre el nivel de riesgo de ocurrencia de dichos anegamientos en las distintas zonas productivas de la Argentina. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar la probabilidad de ocurrencia de anegamiento durante el ciclo ontogénico de trigo en diversas localidades de la región triguera argentina, utilizando un modelo de simulación de cultivos. Para ello, se realizaron simulaciones de 33 campañas de trigo, utilizando el modelo CERES-Wheat v. 3.5, para una combinación de localidades (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín y Tandil), fechas de siembra (temprana y tardía) y contenidos contrastantes de agua útil en el perfil del suelo a la siembra (valor esperado alto, medio y bajo). La probabilidad de anegamiento promedio durante el ciclo del cultivo varió entre el 7 y el 24%, dependiendo de la localidad, para una condición hídrica inicial media y fecha de siembra temprana. Dicha probabilidad se incrementó durante el período de mayor sensibilidad del cultivo al anegamiento (*i.e.* espiguilla terminal (ET)-floración (FI)). Para una fecha de siembra temprana y partiendo de un suelo con contenido hídrico medio, en 1 de cada 2 años se espera que ocurran entre 2 y 7 días de anegamiento durante la etapa ET-FI, dependiendo de la localidad. Dicho valor fue levemente mayor o menor si el contenido hídrico del suelo a la siembra era alto o bajo, respectivamente. La fecha de siembra no modificó significativamente la probabilidad de anegamiento; sin embargo, la merma de rendimiento que puede producir la misma cantidad de días de anegamiento en una fecha tardía sería mayor que en una fecha temprana, como consecuencia de un aumento de la demanda ambiental a la que está expuesto el cultivo. De la misma manera, en las distintas localidades, el mismo número de días de anegamiento produciría distintas magnitudes de pérdidas de rendimiento como consecuencia de diferencias en la demanda ambiental entre sitios.

**Palabras clave.** Balance hídrico, modelo de simulación CERES, período de sensibilidad al anegamiento, floración.

## WATERLOGGING RISK IN WHEAT (*Triticum aestivum* L) FOR DIFFERENT LOCATIONS OF THE ARGENTINE WHEAT AREA

### ABSTRACT

In Argentina, wheat production is affected with some regularity by waterlogging events, whose frequency depends on each particular year and area. However, there are few information about which is the probability of occurrence of waterlogging in different locations of the Argentinean wheat production area. The objective of this work was to quantify the probability of occurrence of waterlogging during the wheat crop cycle in different locations of the wheat belt. To fulfill the objective, 33 growing seasons of wheat crop were simulated using the CERES-Wheat model v. 3.5, with a combination of five locations (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín y Tandil), two sowing dates (early and late sowing date), and three soil water content at sowing (low, medium and high). The average probability of waterlogging during the crop cycle was from 7 to 24%, depending on the location. However, during the period of more sensitivity to waterlogging (*i.e.* terminal spikelet (TS) – flowering (FI)), the probability was, in general, higher than that considered for the whole cycle. Thus, considering an early sowing date and medium soil water availability at sowing, in 50% of the years between 2 and 7 days of waterlogging is expected during TS-FI period, depending on the location. The number of days of waterlogging can be greater or lesser depending on the soil water content at sowing. Variations in sowing date did not modify the probability of waterlogging. However, for a similar number of days of waterlogging, the negative effect on yield would be higher at a late than at an early sowing date. This is due to an increased environmental demand that crop is exposed during a waterlogging at a late sowing date. Therefore, similar number of days of waterlogging in different locations can produce different grain yield losses, as a consequence of differences in the environmental demand among sites.

**Key words.** Water balance, CERES simulation model, waterlogging sensitivity period, flowering.

<sup>1</sup> Cátedra de Cerealicultura, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía; <sup>2</sup> ICREA (Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats) AGROTECNIO (Centre de Recerca en Agrotecnologia) Universitat de Lleida

\*Autor de contacto: romina@agro.uba.ar

## INTRODUCCIÓN

El anegamiento es la saturación de los poros del suelo con agua, donde en general (aunque no exclusivamente) existe una delgada capa de agua sobre la superficie del suelo (Striker, 2012). Dicho estrés afecta la producción de los cultivos a nivel mundial, y se proyecta que a futuro su importancia será mayor como consecuencia del incremento de la frecuencia de eventos climáticos extremos (Wollenweber *et al.*, 2003). Muchas regiones del mundo son afectadas frecuentemente por eventos de anegamiento. Las principales causas son fuertes lluvias, topografía plana, y/o suelos con deficiente infiltración (Collaku & Harrison, 2002), ya sea por una limitación natural del tipo de suelo (*i.e.* elevado contenido de arcilla, presencia de tosca, etc.) o como consecuencia de la compactación sub-superficial que genera el excesivo tránsito de rodados. Aún en suelos irrigados, puede ocurrir anegamiento debido a la ausencia de adecuados sistemas de drenaje (Van Ginkel *et al.*, 1997), incluso si el sistema de riego es por mantos o inundación hay anegamiento aún en suelos bien drenados, por al menos un par de días. En la Argentina, la producción de trigo (*Triticum aestivum* L) es afectada por eventos de anegamiento que producen caídas en los rendimientos (Oficina de Riesgo Agropecuario, 2013) o incluso la pérdida de la cosecha en grandes áreas (Bolsa de Cereales de Buenos Aires, 2012).

Estudios previos analizaron, por medio del uso de modelos de simulación, el impacto de escenarios climáticos futuros sobre las modificaciones esperables en la producción agrícola de la Región Pampeana (Magrin *et al.*, 2007; Magrin *et al.*, 2005). Sin embargo, es muy escasa la información sobre el nivel de riesgo de ocurrencia de eventos de anegamiento en distintas zonas productivas de la Argentina, y especialmente de cómo se vinculan los anegamientos con la estación de crecimiento y fenología del cultivo. Esto resulta trascendente ya que la magnitud del daño producido por un evento de anegamiento (al igual que el de otros tipos de estrés) depende del estado de desarrollo del cultivo (de San Celedonio *et al.*, 2014). Para la cuenca baja del Río Salado, Vázquez *et al.* (2009) concluyeron que un 2,7% del área destinada a agricultura presenta una recurrencia de anegamiento superior al 40%. Por otro lado, Reussi Calvo & Echeverría (2006) determinaron, para distintas localidades del sur de la provincia de Buenos Aires, que, al momento de la emergencia del cultivo de trigo, la probabilidad de ocurrencia de excesos hídricos era del 35% para Tres Arroyos, 33% para Balcarce, y 12% para Puán.

Un suelo es considerado anegado cuando la fracción de agua disponible en las capas superficiales del suelo supera en un 20% la capacidad de retención del suelo (capacidad de campo) (Aggarwal *et al.*, 2006) y, como resultado de esto, se comienza a limitar la difusión de gases en el suelo (Setter *et al.*, 2009). De esta manera, se reduce la entrada de oxígeno y el suelo se vuelve hipóxico primero y anóxico después. La falta de oxígeno disponible para la respiración del sistema radical (de cultivos sin aerénquima desarrollado) afecta fuertemente el crecimiento, y consecuentemente el rendimiento. La magnitud de pérdida de rendimiento por efecto del anegamiento depende, entre otras cosas, del estado fenológico del cultivo al momento en que ocurre el estrés. En trigo, el período entre comienzo de encañazón (*i.e.* espiguilla terminal) y floración fue identificado como el más sensible a condiciones de anegamiento (de San Celedonio *et al.*, 2014), provocando pérdidas de rendimiento que rondan el 35% en fechas de siembra tempranas y de hasta el 80% cuando fue sembrado muy tardíamente. La etapa que abarca de espiguilla terminal a floración (ET-FI) se considera entonces que es el período de mayor susceptibilidad del cultivo al anegamiento (período crítico para anegamiento).

De esta manera, la cuantificación de la probabilidad de anegamiento durante el período de mayor sensibilidad del cultivo de trigo en distintas localidades de la región triguera argentina sería de gran utilidad para la evaluación del riesgo y una herramienta útil para la toma de decisiones de manejo. Los modelos de simulación agronómica (como por ejemplo los modelos CERES) son una herramienta para integrar la interacción entre diferentes variables y poder cuantificar estocásticamente la ocurrencia de anegamiento (Shaw *et al.*, 2013). El modelo CERES-Wheat v.3.5 es un modelo a escala de cultivo que simula, entre otras variables, desarrollo, acumulación de biomasa y rendimiento en grano del cultivo de trigo (para detalles ver Jones *et al.*, 2003). Los datos de entrada requeridos por el modelo son: variables climáticas (radiación solar, temperatura y precipitaciones), de manejo (como cultivar, fecha de siembra, densidad de plantas, humedad del suelo a la siembra, fertilización, etc.) y parámetros del suelo/sitio (como latitud, profundidad de las capas del suelo, textura, porosidad total, y parámetros hídricos del suelo tales como capacidad de campo, punto de marchitez permanente y conductividad hidráulica saturada). El modelo genera resultados sobre acumulación de biomasa, rendimiento en grano a madurez, contenido de nitrógeno en la biomasa, y un resumen del balance de agua y la dinámica de nitrógeno en el suelo,

entre otras variables. El desarrollo del cultivo lo simula utilizando 4 coeficientes genéticos (P1V, sensibilidad a la vernalización; P1D, sensibilidad al fotoperíodo; P5, duración del llenado de granos; y PHYNT, filocrono). El modelo CERES-Wheat está ampliamente difundido a nivel mundial ya que posibilita analizar estrategias de manejo contrastantes, bajo sitios específicos y utilizando series de datos climáticos históricos (e.g. Magrin *et al.*, 1997; Guo *et al.*, 2010; Dettori *et al.*, 2011; White *et al.*, 2011). El modelo realiza una adecuada estimación de la dinámica del contenido de agua en el suelo, tal como ha sido demostrado para condiciones de la Argentina (Savin, 1988) y de otras localidades en el mundo (Eitzinger *et al.*, 2004; Arora *et al.*, 2007; Romero *et al.*, 2012); y del patrón de crecimiento de raíces del cultivo de trigo (Savin *et al.*, 1994), así como de la fenología del mismo (Timsina & Humphreys, 2006; Dettori *et al.*, 2011), lo que permite su uso para la cuantificación del riesgo de ocurrencia de anegamiento para distintas localidades y estados particulares de desarrollo del cultivo de trigo.

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar la probabilidad de ocurrencia de anegamiento durante el ciclo ontogénico de trigo en diversas localidades de la región triguera argentina. Para cumplir con este objetivo se hicieron simulaciones utilizando el modelo de simulación CERES-Wheat.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para cuantificar la probabilidad de ocurrencia de anegamiento dentro de la región triguera de la Argentina se consideró, utilizando el modelo de simulación CERES-Wheat v.3.5, una combinación de diferentes localidades, fechas de siem-

bra y contenidos contrastantes de agua útil en el perfil del suelo a la siembra trabajando con 33 campañas de trigo consecutivas (desde el año 1971 al año 2003), abarcando así un amplio rango de variabilidad climática.

### Localidades

Se seleccionaron cinco localidades (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualaguaychú, Junín, Tandil) dentro del área triguera de la Argentina con condiciones edáficas y climáticas contrastantes. Las características de cada sitio están descritas en la Tabla 1. Se utilizó el tipo de suelo predominante de cada sitio según la Carta de suelos de la República Argentina (INTA, 1993) y los datos climáticos correspondientes al período que abarca desde los años 1971 hasta 2003 (AACREA, 2013). El archivo Soil.sol utilizado en las simulaciones se detalla en el Apéndice. Los valores de agua útil (AU) presentados en la Tabla 1 se calcularon para la totalidad del perfil de suelo considerado para cada localidad en base a la ecuación propuesta por Damiano & Taboada (2000):

$$AUK = \sum_{i=1}^n s_i * (\Theta_{33} - \Theta_{1500})$$

donde  $\Theta_{33}$  y  $\Theta_{1500}$  es el contenido hídrico volumétrico ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) a los potenciales de 33 y -1500 KPa por horizonte  $i$  del suelo  $k$ ;  $s_i$  es el espesor y  $n$  es la cantidad de horizontes. La suma de todos los horizontes resultó en la lámina de agua disponible (mm) de cada suelo.

Los valores de  $\Theta_{33}$  (CC) y  $\Theta_{1500}$  (PMP) fueron calculados en base a las ecuaciones de Ritchie & Crum (1989) y Gijssman *et al.* (2002).

Tabla 1. Sitios analizados, ubicación (latitud, longitud) de la estación meteorológica utilizada, tipo de suelo, contenidos de arcilla + limo ( $< 50 \mu\text{m}$ ) en el horizonte superficial, capacidad de agua útil (AU), profundidad de suelo y lluvias acumuladas (media, máxima, mínima) desde el 1<sup>o</sup> de abril hasta madurez fisiológica (determinada como una fecha promedio de las 33 campañas simuladas).

Table 1. Sites, location (latitude, longitude), soil classification, clay + silt content ( $< 50 \mu\text{m}$ ) in the surface soil layer, available soil water, soil depth, and cumulative precipitations (mean, maximum, minimum) during the period from April 1<sup>st</sup> to physiological maturity (determined as an average date from the 33 years of climatic data).

Localidad	Ubicación	Tipo de suelo	Arcilla + limo ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Capacidad de AU (mm)	Prof. suelo (cm)	Lluvias acumuladas (mm)		
						Media	Max	Min
Bordenave	37°51'0"S 63°1'12"O	Hapludol típico	626	186	140	442	707	204
Capitán Sarmiento	33°36'0"S 59°40'48"O	Argiudol abráptico	924	243	180	577	909	212
Gualaguaychú	33°0'0"S 58°30'0"O	Argiudol vértico	966	213	160	606	1075	313
Junín	34°19'48"S 60°32'60"O	Hapludol típico	624	228	180	544	925	235
Tandil	37°15'0"S 59°8'60"O	Argiudol típico	712	77	60	599	882	400

### Fechas de siembra

Las simulaciones se realizaron considerando dos fechas de siembra, una temprana (u óptima) y una tardía. Para las localidades de Gualeguaychú, Capitán Sarmiento y Junín se usaron las fechas 1<sup>o</sup> de julio y 25 de julio como fechas temprana y tardía, respectivamente; mientras que para Bordenave y Tandil las fechas fueron posteriores debido al aumento del riesgo de heladas (25 de julio y 1<sup>o</sup> de agosto como fecha temprana y tardía, respectivamente).

Para ambas fechas de siembra se consideró un contenido de nitrógeno en suelo a la siembra de 130 kg N ha<sup>-1</sup> con el objetivo de que los cultivos no presenten deficiencias nitrogenadas marcadas, y se utilizó soja (*Glycine max* (L) Merrill) como cultivo antecesor, reflejando una práctica común para la zona. La densidad de siembra utilizada fue de 350 plantas m<sup>-2</sup>. Con el objetivo de asegurar que la germinación ocurra un día después de la siembra, un riego de 5 mm de agua fue simulado a la siembra. El contenido mínimo de agua necesaria para asegurar la germinación fue calculado con el modelo relacionando diferentes cantidades de riego a la siembra con el número de días a germinación.

### Disponibilidad de agua a la siembra

Se consideraron tres diferentes condiciones de contenido hídrico a la siembra en el perfil del suelo (*i.e.* bajo, medio y alto). Para calcular esos valores se tuvo en cuenta un manejo común en la zona. Se asumió que el período de barbecho se inició luego de un cultivo de soja (antecesor) y que al momento en que la soja alcanzó madurez fisiológica había consumido toda el agua acumulada en el perfil del suelo (Coll *et al.*, 2012). De esta manera, se inició la simulación el 1<sup>o</sup> de abril con un contenido de agua del perfil igual al punto de marchitez permanente (PMP) de cada suelo. Durante el barbecho, el suelo fue

recargado con las lluvias ocurridas desde ese momento hasta la fecha de siembra del trigo en cada localidad. Se consideró un barbecho libre de malezas, lo que implica que no hay pérdida de agua por transpiración durante los meses sin cultivo. Con esta información para los 33 años de serie climática histórica para cada sitio se obtuvo una curva de distribución de probabilidades de contenido de agua en el suelo en cada fecha de siembra. El promedio de disponibilidad de agua para el 20% de los casos más altos, medios y más bajos (7 años en cada situación) se utilizó como tres condiciones diferentes de agua a la siembra en las simulaciones de trigo para cada combinación de localidad y fecha de siembra, denominadas contenidos de agua útil en el suelo alto, medio y bajo. Los valores promedios simulados para el contenido de agua a la siembra para cada localidad y fecha de siembra se presentan en la Tabla 2.

### Cultivar

El cultivar de trigo seleccionado para la simulación fue el cultivar comercial Baguette 13, el cual fue previamente calibrado en condiciones locales. Este cultivar es ampliamente utilizado en la Argentina y es caracterizado por su ciclo como corto, con alto potencial de rendimiento. La validación del modelo se realizó con datos de 61 experimentos independientes de la RET—Red de Ensayos Comparativos de Variedades de Trigo (INASE, 2014)— que combinan diferentes campañas, fechas de siembra y localidades de la Argentina. El análisis de regresión de días de siembra a floración predicho (Pfl) versus observado (Of) fue  $Pfl = 0,71 Of + 31,5$ ;  $R^2 = 0,70$ ;  $p < 0,001$ ;  $RMSE = 5,7$  días.

### Análisis del contenido de agua del suelo y anegamiento

Se consideró evento de anegamiento a las situaciones en las que el contenido de agua en los primeros 15 cm del perfil

Tabla 2. Contenido de agua útil (mm) para la totalidad del perfil del suelo al momento de la siembra del trigo para cada localidad y fecha de siembra. Los valores bajo, medio y alto de contenido de agua útil en el suelo se calcularon como el promedio de los 7 años (20% de los años) con datos más bajos, medios y más altos respectivamente para los 33 años analizados.

Table 2. Water availability (mm) at the whole soil profile at the time of sowing of wheat for each location and sowing date. Values of low, medium and high soil water content were calculated as the mean of the 7 years (20% of the years) of the lower, medium and higher values respectively for the 33 years analyzed.

Localidades	Fecha de siembra temprana			Fecha de Siembra tardía		
	Contenido de agua útil en el suelo a siembra (mm)					
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Bordenave	8,1	43,8	96,8	10,5	39,6	96,6
Capitán Sarmiento	8,5	34,0	86,5	13,7	61,2	140,4
Gualeguaychú	16,5	48,4	118,0	23,1	88,0	148,5
Junín	19,6	71,6	153,8	27,0	76,9	159,5
Tandil	13,4	59,5	87,1	19,9	61,7	88,9

del suelo superó en más del 20% el punto máximo de retención (capacidad de campo) de cada uno de los suelos (Aggarwal *et al.*, 2006). La probabilidad de ocurrencia de anegamiento durante el ciclo del cultivo (y subetapas específicas) fue evaluada a través de curvas de frecuencia acumulada y calculando valores promedio.

## RESULTADOS

### Fenología del cultivo

La fecha de floración varió por el efecto sitio, fecha de siembra y año. La duración de la fase siembra-floración fue entre 89 y 112 días en el promedio de los años, dependiendo de la localidad y fecha siembra, mientras que la sub-fase espiguilla terminal-floración presentó un rango de duración de 29 a 35 días (Tabla 3). Debido a la variabilidad interanual, el desvío estándar de la fase siembra-floración fue  $\leq 5,2$  días y de la sub-fase espiguilla terminal-floración de  $\leq 2,4$  días, dependiendo de la localidad (Tabla 3).

### Probabilidad de anegamiento diaria durante el ciclo del cultivo

La probabilidad de anegamiento varió a lo largo del ciclo del cultivo de trigo (desde siembra hasta madurez) y entre localidades. Bordenave y Junín fueron las localidades donde la probabilidad de anegamiento a lo largo del ciclo del cultivo fue menor, con probabilidades menores al 10% promedio para todo el ciclo. En Gualaguaychú y Capitán Sarmiento, las probabilidades promedio de anegamiento para todo el ciclo fueron mayores al 19%, mientras que Tandil se ubicó en una situación intermedia (Fig. 1). En general, el riesgo de anegamiento fue menor al comienzo del ciclo del cultivo y se fue incrementando a medida que el cultivo avanzaba hacia el estado de floración, salvo para la localidad de Gualaguaychú, donde la probabilidad de anegamiento fue

mayor en implantación y luego de 90 días de ciclo. No obstante, Gualaguaychú se caracterizó por presentar una probabilidad de anegamiento menos variable a lo largo de todo el ciclo que en el resto de las localidades. De floración a madurez la probabilidad de ocurrencia de anegamiento tendió a disminuir en las 5 localidades (Fig. 1). A su vez, la probabilidad extrema de eventos de anegamiento difirió entre las localidades. En Bordenave la probabilidad de anegamiento para un día en particular fue como máximo del 25%, mientras que en Capitán Sarmiento, Gualaguaychú y Tandil fue de hasta el 40%, presentando Junín una situación intermedia (Fig. 1).

Con el retraso de la fecha de siembra no se observaron cambios sustanciales en el riesgo de anegamiento a lo largo del ciclo del cultivo. Sin embargo, sí se produjeron cambios en la fenología que implican que la probabilidad de anegamiento durante el período de mayor sensibilidad al anegamiento pueda cambiar, como consecuencia de cambios en la fecha de floración (Tabla 3).

### Probabilidad de anegamiento diaria durante el período de mayor sensibilidad (espiguilla terminal-floración)

En general, las probabilidades promedio durante este período fueron mayores que para el ciclo completo, con valores entre el 10 y 25% considerando la condición media de agua al inicio. El contenido hídrico del suelo a la siembra no modificó sustancialmente la probabilidad de anegamiento pero, para un día determinado, la probabilidad de anegamiento fue mayor con altos contenidos hídricos en suelo al inicio que con contenidos hídricos medios y bajos (Fig. 2). Por otra parte, la condición hídrica inicial también condicionó la variabilidad del riesgo de anegamiento durante el período de mayor sensibilidad al anegamiento: en Bordenave y Capitán Sarmiento la mayor variabilidad dia-

Tabla 3. Duración en días de las fases siembra-floración (S-FI) y espiguilla terminal-floración (ET-FI) para cada localidad y fecha de siembra. Los datos corresponden al promedio de los 33 años simulados  $\pm$  un desvío estándar.

Table 3. Duration of the phases sowing-flowering (S-FI) and terminal spikelet-flowering (ET-FI) for each location and sowing date. Values are the average of the 33 simulated years  $\pm$  one standard deviation.

Localidades	Fecha de siembra temprana		Fecha de siembra tardía	
	S-FI	ET-FI	S-FI	ET-FI
Bordenave	106,6 $\pm$ 5,2	33,5 $\pm$ 2,4	95,5 $\pm$ 4,9	32,2 $\pm$ 2,0
Capitán Sarmiento	108,1 $\pm$ 3,1	32,3 $\pm$ 2,2	92,7 $\pm$ 2,5	30,0 $\pm$ 1,7
Gualaguaychú	103,5 $\pm$ 3,4	31,3 $\pm$ 2,0	89,3 $\pm$ 2,8	29,5 $\pm$ 1,8
Junín	112,2 $\pm$ 2,8	33,0 $\pm$ 2,0	96,0 $\pm$ 2,5	30,9 $\pm$ 1,8
Tandil	110,6 $\pm$ 3,6	35,1 $\pm$ 1,8	100,1 $\pm$ 3,4	34,2 $\pm$ 1,9

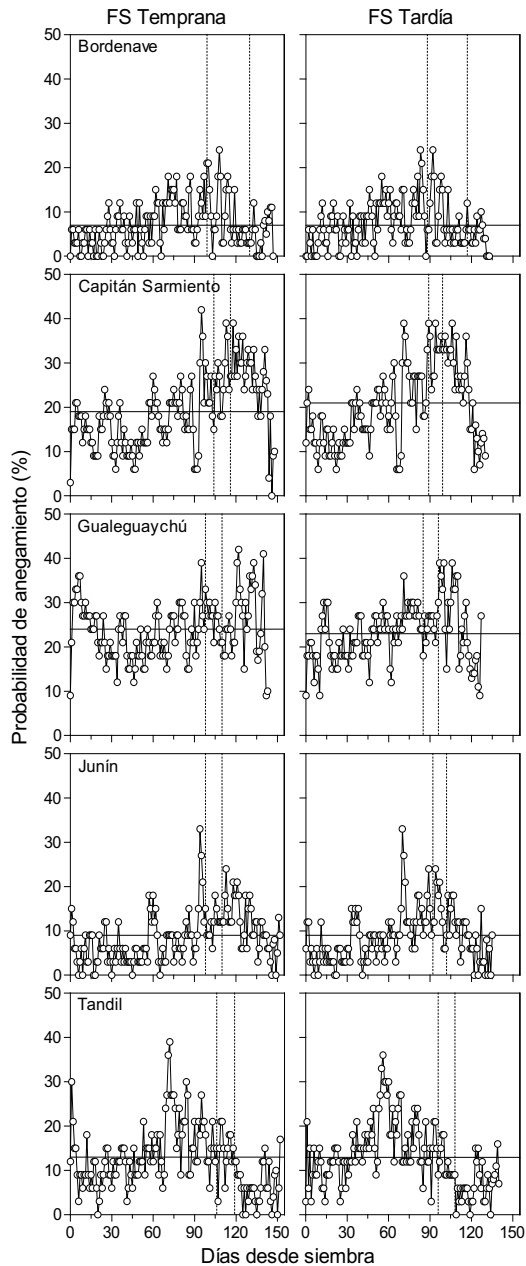


Figura 1. Probabilidad de ocurrencia de anegamiento diaria en el ciclo del cultivo de trigo sembrado en una fecha temprana (FS Temprana) y una tardía (FS Tardía) en cinco localidades (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín y Tandil) para una condición media de contenido hídrico a la siembra. La línea continua horizontal indica la probabilidad media de anegamiento para todo el ciclo del cultivo y las líneas punteadas verticales indican el rango de las fechas de floración para los 33 años analizados.

Figure 1. Probability of waterlogging in each day of the cycle for a wheat crop sown in an early (FS Temprana) and a late sowing date (FS Tardía) in five locations (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín and Tandil) for a medium soil water condition at sowing. Solid horizontal lines show the average probability of waterlogging for the whole crop cycle, and dotted vertical lines show the range on flowering dates for the 33 years analyzed.

ria en la probabilidad de anegamiento se observó cuando el contenido hídrico del suelo a siembra fue alto, mientras que en otras localidades (ej. Tandil) la mayor variabilidad estuvo asociada a la condición hídrica inicial baja (Fig. 2).

Con el atraso de la fecha de siembra no hubo una tendencia general para las distintas localidades en cuanto a la probabilidad de anegamiento en el período analizado (Fig. 2). En Bordenave, Gualeguaychú y Tandil la probabilidad de anegamiento se redujo entre 1 y 2% promedio para el período ET-FI, mientras que en Capitán Sarmiento y Junín dicha probabilidad aumentó en un 4 y 2%, respectivamente. A su vez, en las localidades de Gualeguaychú, Junín y Tandil se observó un comportamiento menos errático de las probabilidades de anegamiento día por día en la fecha de siembra tardía comparada con la temprana (menor diferencia entre puntos máximos y mínimos), mientras que lo contrario se evidenció para las localidades de Bordenave y Capitán Sarmiento (Fig. 2).

#### Análisis del riesgo de anegamiento durante el periodo de mayor sensibilidad

La distribución de probabilidades del número de días con anegamiento durante el período ET-FI varió entre localidades y condiciones de manejo (fechas de siembra y contenido hídrico del suelo a la siembra) (Fig. 3). Tandil fue la localidad donde la probabilidad de ocurrencia de anegamiento durante el período ET-FI fue mayor, ya que la probabilidad de tener al menos un día de anegamiento durante ese período fue del 97%, independientemente del contenido hídrico del suelo a la siembra o la fecha de siembra. En Capitán Sarmiento y Junín la probabilidad de tener al menos un día de anegamiento también fue alta (más del 90%), pero se encontraron leves diferencias entre fechas de siembra y contenido hídrico inicial (Fig. 3). En el otro extremo se posicionó Bordenave, donde la ocurrencia de al menos un día con anegamiento fue entre el 64 y 73% de los años, dependiendo básicamente de las condiciones hídricas del suelo al momento de la siembra del trigo. En Gualeguaychú la situación fue intermedia, entre el 85 y 90% de los años se tuvo al menos un día de anegamiento (dependiendo de la fecha de siembra y contenido hídrico inicial del suelo).

El número de días de anegamiento durante el período crítico de sensibilidad del cultivo de trigo (ET-FI) también varió entre localidades (Fig. 3). Considerando un 50% de probabilidad de ocurrencia (*i.e.* 1 de cada 2 años), y con un contenido medio de agua en suelo a la siembra, en Borde-

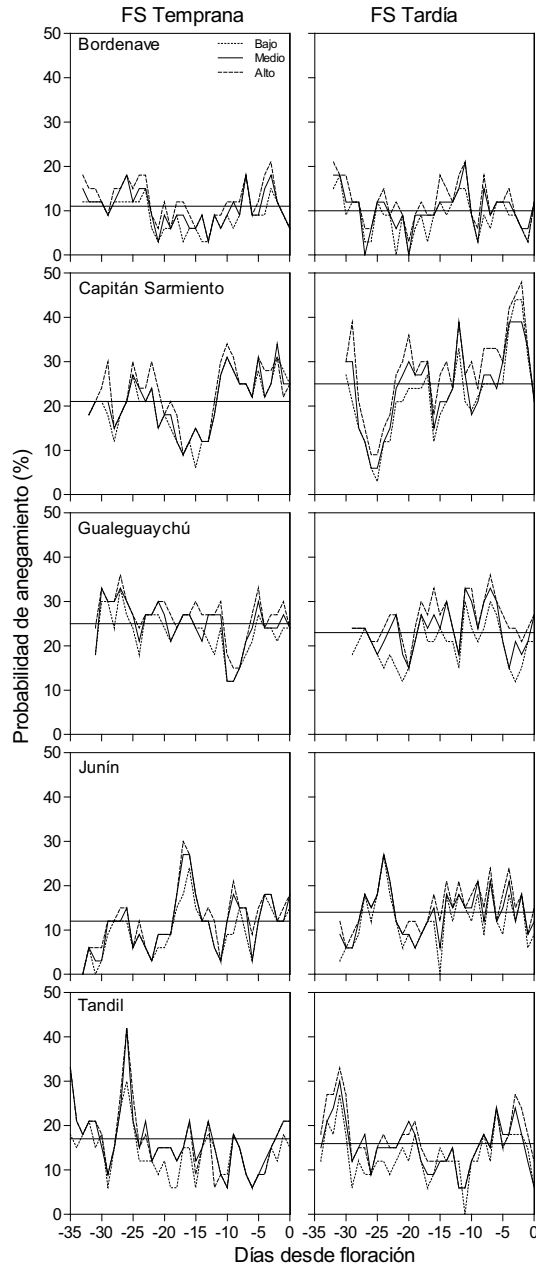


Figura 2. Probabilidad de ocurrencia de anegamiento diaria durante el período de mayor sensibilidad al anegamiento (*i.e.* espiguilla terminal a floración) para un cultivo de trigo sembrado en una fecha temprana (FS Temprana) y una tardía (FS tardía) en cinco localidades (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín y Tandil) para tres condiciones de contenido hídrico del suelo a la siembra del cultivo (bajo, medio y alto). La línea continua horizontal indica la probabilidad media de anegamiento para el período analizado.

Figure 2. Probability of waterlogging in each day during the period of more sensitivity to waterlogging (*i.e.* from terminal spikelet to flowering) for a wheat crop sown in an early (FS Temprana) and a late sowing date (FS Tardía) in five locations (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín and Tandil) under three soil water content conditions at sowing (low, medium, high). Solid horizontal line shows the average probability of waterlogging for the analyzed period.

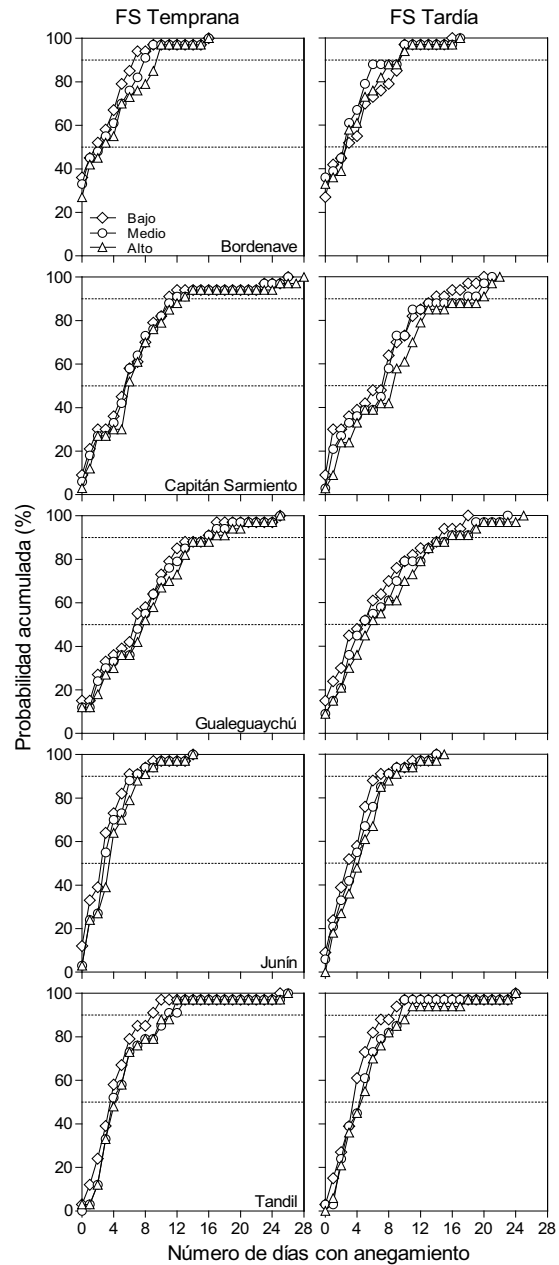


Figura 3. Probabilidad acumulada del número de días con anegamiento durante el período de mayor sensibilidad al anegamiento (*i.e.* espiguilla terminal a floración) para un cultivo de trigo sembrado en una fecha temprana (FS Temprana) y una tardía (FS tardía) en cinco localidades (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín y Tandil) para tres condiciones de contenido hídrico del suelo a la siembra del trigo (bajo, medio y alto). Las líneas punteadas horizontales indican las probabilidades del 50 y 90%.

Figure 3. Cumulative probability of the number of days with waterlogging during the period of most sensitivity to waterlogging (*i.e.* from terminal spikelet to flowering) under a wheat crop sown in an early (FS Temprana) and a late date (FS Tardía) in five locations (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín and Tandil) under three soil water condition at sowing (low, medium, high). Dotted horizontal lines show the probabilities of 50 and 90%.

nave, Junín y Tandil se esperan al menos 2, 3 y 4 días de anegamiento, respectivamente, mientras que para Capitán Sarmiento y Gualeguaychú se esperan para dicha probabilidad al menos 6 y 7 días, los cuales variaron como máximo en 1 día, más o menos dependiendo de si el contenido de agua la siembra era alto o bajo. Si se considera una probabilidad del 10% (*i.e.* 1 de cada 10 años) se puede tener una idea del riesgo de ocurrencia de eventos extremos de anegamiento. Así, las diferencias entre localidades se ven magnificadas, ya que se observaron para Junín, Bordenave y Tandil, 7, 8 y 9 días de anegamiento respectivamente durante el período crítico, y 12 días y 16 para Capitán Sarmiento y Gualeguaychú, respectivamente. Las variaciones en el contenido hídrico del suelo a la siembra produjeron cambios de 1 o 2 días de anegamiento dependiendo de la localidad (Fig. 3).

La fecha de siembra no modificó sistemáticamente la probabilidad de anegamiento para las distintas localidades. Considerando el 50% de probabilidad de ocurrencia, la cantidad de días de anegamiento esperados durante el período de mayor sensibilidad no se modificaron respecto de la fecha de siembra temprana en Bordenave ni Tandil, mientras que en Capitán Sarmiento y Junín se espera 1 día más y en Gualeguaychú 2 días menos de anegamiento que en la fecha temprana. Para la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos (10% de probabilidad), el atraso en la fecha de siembra en general aumentó el número de días esperados de anegamiento, siendo el caso más extremo Capitán Sarmiento, que pasó de 12 días de anegamiento en la fecha temprana a 18 días en la fecha tardía. Tandil fue el único caso donde el número de días esperados de anegamiento fue mayor en la fecha temprana que la tardía, pero la diferencia fue marginal (9 vs 8 días).

## DISCUSIÓN

En un trabajo reciente, de San Celedonio *et al.* (2014) determinaron que anegamientos durante el período comprendido entre espiguilla terminal y floración provocaron las mayores mermas en el rendimiento (comparado con una situación sin anegamiento), mientras que en etapas iniciales (desde emergencia hasta espiguilla terminal) o finales (de floración a madurez) del ciclo del cultivo las mermas de rendimiento fueron de menor magnitud. En el presente estudio encontramos que el momento cercano a floración fue el que presentó las mayores probabilidades diarias de anegamiento dentro de cada localidad (con la excepción de Tandil donde las mayores probabilidades de anega-

miento ocurrieron más temprano en el ciclo), con valores que rondaron entre el 25 y 40% dependiendo de la localidad y el contenido de agua en el suelo a la siembra. Sin embargo, que el período previo a floración sea el que posee, para los sitios evaluados en nuestro trabajo, las mayores probabilidades diarias al anegamiento difiere de lo descrito por Reussi Calvo & Echeverría (2006), quienes indicaron que el momento más afectado por excesos hídricos es al comienzo del ciclo del cultivo, con valores del 12-35% de probabilidad de ocurrencia, dependiendo de la localidad (Balcarce, Tres Arroyos y Puán). Las diferencias entre ambos trabajos pueden estar asociadas, por un lado, a las localidades bajo estudio ya que en el presente estudio, para algunas localidades en particular como por ejemplo Gualeguaychú y Tandil, también se encontraron probabilidades altas de anegamiento en períodos cercanos a la siembra del cultivo, con valores que alcanzaron el 35% (Fig. 1). Por otro lado, en el presente trabajo, los contenidos hídricos iniciales se determinaron en función de las probabilidades de ocurrencia en cada localidad partiendo de un cultivo de soja como antecesor (Tabla 2), mientras que en el trabajo de Reussi Calvo & Echeverría (2006), los balances hídricos se hicieron partiendo a la siembra con el suelo a capacidad de campo en todas las condiciones, lo que aumenta la probabilidad de anegamiento, y seguramente más marcadamente en etapas tempranas que en etapas tardías.

Los sitios seleccionados en el presente estudio abarcaron condiciones variables en tipo de suelo y clima dentro de la región triguera argentina. La probabilidad de ocurrencia de anegamiento durante el ciclo del cultivo de trigo varió entre los sitios, como consecuencia de la combinación de factores climáticos y edáficos (Fig. 4). En Bordenave y Junín, más del 85% de las variaciones en la probabilidad de anegamiento se explicaron por las precipitaciones caídas durante el ciclo del cultivo (Fig. 4). En Gualeguaychú y Tandil, por el contrario, el impacto de las precipitaciones diarias como factor explicativo de la ocurrencia de anegamiento durante el ciclo del cultivo fue menor ( $R^2=0,17$  y  $R^2=0,25$ , respectivamente;  $p>0,01$ ), probablemente por un mayor impacto de las limitaciones edáficas. En Gualeguaychú, el tipo de suelo (Argiudol vértico), caracterizado por un alto contenido de arcillas con características expandentes (Benintende *et al.*, 2012), establece una limitación a la conductividad hidráulica y consecuentemente a las pérdidas del exceso de agua por verse restringido el drenaje, mientras que el suelo de Tandil se caracteriza por presentar una capa impermeable (tosca) a los 60 cm de profundidad. En Capitán Sarmiento, si bien el contenido de arcillas tam-



bién es alto y pudo reducir la conductividad hidráulica del suelo, no fue tan limitante como en Gualeguaychú. En este caso, las precipitaciones durante el ciclo del cultivo explicaron gran parte (74%) de la variabilidad en la probabilidad de anegamiento (Fig. 4).

Para la etapa de mayor sensibilidad del cultivo al anegamiento (ET-Fl), el número de días esperados con anegamiento en el 50% de los años fue entre 2 y 7 días, dependiendo de la localidad y contenido inicial de agua en el suelo. Sin embargo, las diferencias entre localidades fueron más marcadas al tener en cuenta los años extremos, ya que en el 10% de los años se han observado valores de 7 días (Junín) hasta 16 días (Capitán Sarmiento) de anegamiento en el período ET-Fl (Fig. 3). Si bien la condición hídrica del suelo al momento de la siembra del trigo no generó grandes cambios en la probabilidad de anegamiento en la etapa de mayor sensibilidad, los riesgos de anegamiento fueron mayores cuando el contenido hídrico inicial del suelo fue elevado, y esto fue consistente en todas las localidades. El atraso en la fecha de siembra tampoco produjo cambios de magnitud en la probabilidad de anegamiento.

Conocer la duración del anegamiento durante el período crítico de sensibilidad del cultivo de trigo es de vital importancia, ya que la magnitud del daño producido sobre el

rendimiento depende en gran parte de la cantidad de días que el cultivo se encuentra expuesto a dicho estrés (Setter & Waters, 2003). El intervalo hídrico óptimo representa el rango de agua del suelo que limita al mínimo el crecimiento de los cultivos en términos de potencial agua, aireación y resistencia del suelo a la penetración de las raíces (Damiano & Moschini, 2011). De esta manera, conocer el número de días esperados con anegamiento para cada localidad (asociado a una probabilidad) permite inferir cuál será el grado de limitación al crecimiento y, por consiguiente, el porcentaje de pérdida de rendimiento esperado. Por ejemplo, de San Celedonio *et al.* (2014) mostraron que 20 días de anegamiento previos a floración, en un cultivar similar al utilizado en el presente trabajo, produjo pérdidas de rendimiento del 35%. Otros trabajos de la literatura (Yavas *et al.*, 2012), reportaron mermas del rendimiento de entre el 20 y el 80% dependiendo del cultivar, como consecuencia de estar expuestos a 10 días de anegamiento durante encañazón. Aún 2 días de anegamiento, repetidos tres veces durante el período de encañazón de trigo, produjeron pérdidas de ca. 10% del rendimiento en grano (Li *et al.*, 2011), lo que resulta de gran importancia, ya que anegamientos de esa magnitud resultaron ser frecuentes en las zonas analizadas.

Si bien las fechas de siembra simuladas no generaron resultados contrastantes en cuanto a la probabilidad de anegamiento, el cambio de las condiciones ambientales a las que se expone el cultivo debido al atraso en la fecha de siembra puede producir cambios importantes en la respuesta de los cultivos al anegamiento, más allá de las pérdidas de rendimiento potencial dada por la propia modificación de la fecha siembra. En un trabajo reciente, de San Celedonio *et al.* (2014) mostraron que para una fecha de siembra tardía para los cereales invernales, 15 días de anegamiento en el período inmediatamente anterior a la floración produjeron pérdidas de rendimiento en trigo de hasta el 80%, mientras que en una fecha de siembra temprana esas pérdidas fueron de ca. 35% cuando el cultivo permaneció anegado por 20 días en el mismo estado ontogénico. Es posible pensar que las diferencias entre ambas situaciones fueron consecuencia de una mayor demanda atmosférica en las fechas más tardías lo que determinó reducciones de importancia en el rendimiento respecto de la fecha temprana. Evidencias en girasol han demostrado que un aumento en la demanda atmosférica intensifica el estrés por anegamiento y genera mayores pérdidas de rendimiento (Grassini *et al.*, 2007). De forma análoga se puede especular que a igual probabilidad de

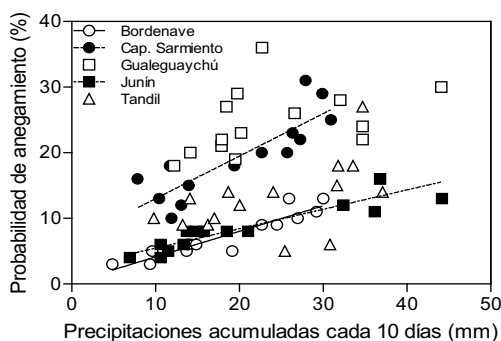


Figura 4. Probabilidad de anegamiento para el ciclo del cultivo de trigo en función de las precipitaciones caídas durante el ciclo. Los datos de precipitaciones corresponden a los mm de lluvia acumulados en 10 días consecutivos, y el valor de probabilidad de anegamiento es el promedio diario de esos 10 días para la fecha de siembra temprana y contenido hídrico medio del suelo a la siembra para las cinco localidades (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín y Tandil).

Figure 4. Waterlogging probability during the crop cycle against rainfall occurred during the wheat cycle. Rainfall data correspond to cumulative water –mm– each consecutive 10 days, and waterlogging probability is the daily average for those 10 days in an early sowing date and middle water content in the soil at sowing for the 5 locations (Bordenave, Capitán Sarmiento, Gualeguaychú, Junín y Tandil).

anegamiento y con similar período de ocurrencia (por ejemplo en el período previo a la floración), aquellas localidades donde la demanda ambiental sea mayor (*i.e.* alto déficit de presión de vapor, altas temperaturas), las pérdidas de rendimiento por anegamiento serán mayores.

En el presente trabajo las precipitaciones fueron consideradas como la única fuente de ingreso de agua al sistema (exceptuando los 5 mm de riego a la siembra para asegurar la germinación y evitar variaciones en la emergencia del cultivo); sin embargo, otras fuentes adicionales de agua en los sistemas agrícolas son la escorrentía desde sitios de mayor altitud o el ascenso de la napa freática (Viglizzo *et al.*, 2009). Dada nuestra aproximación, la probabilidad de anegamiento tendería a ser superior a la aquí descripta dado el impacto conjunto de la topografía y el clima en la ocurrencia de eventos de anegamiento. Es importante remarcar que la evaluación llevada a cabo en el ejercicio de simulación se restringió a un solo genotipo. Sin embargo, si un aspecto central de la decisión de la fecha de siembra es conseguir una determinada fecha de floración, las probabilidades de anegamiento calculadas para el período ET-Fl, podrían ser extrapoladas para casi cualquier genotipo que florezca en la fecha de floración buscada; sí sería diferente la probabilidad de anegamiento calculada para etapas iniciales, porque se sembraría en diferentes fechas, dependiendo del ciclo del cultivo. Así, los resultados podrían ser extrapolados incluso a cultivares de cebada, ya que el período de mayor sensibilidad al anegamiento en cebada (ca. 20 días previos a floración) es similar al establecido para trigo (de San Celedonio *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES

Las localidades evaluadas mostraron diferencias en la probabilidad de anegamiento tanto durante el ciclo del cultivo como en el período de mayor sensibilidad al anegamiento para trigo (período previo a la floración). La condición de humedad del suelo al momento de la siembra afectó la probabilidad de anegamiento durante el ciclo del cultivo y en la etapa de mayor sensibilidad, aunque no en gran magnitud.

## AGRADECIMIENTOS

A R. Savin (Universitat de Lleida) y a M. Roba (INTA) por su colaboración en el análisis e interpretación de los datos. A la Universidad de Buenos Aires y a CYTED (METRICE Red 110RT0394) por cubrir los costos de pasajes y estadía, respectivamente, en la Universitat de Lleida de RdSC durante la realización del presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

- AACREA, 2013. Banco de datos de la Unidad Organizacional de Investigación y Desarrollo de AACREA.
- Aggarwal, PK; N Kalra; S Chander & H Pathak. 2006. InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agric. Sys.* 89: 1-25.
- Arora, VK; H Singh & B Singh. 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model. *Agric. Water Manag.* 94: 22-30.
- Benintende, S; M Benintende; D David; M Sterren & M Saluzzio. 2012. Caracterización de indicadores biológicos y bioquímicos en Alfisoles, Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos. *Ci. Suelo* 30: 23-29.
- Bolsa de Cereales de Buenos Aires. 2012. Estimaciones Agrícolas. Informe de Situación N°1. <http://bibliotecadigital.bolsadecereales.com.ar/greenstone/collect/pubper/index/assoc/HASHdb3f/5133d354.dir/IDS2012.%20n01.%20ooc.pdf>. 9 de enero de 2014.
- Coll, L; A Cerrudo; R Rizzalli; JP Monzon & FH Andrade. 2012. Capture and use of water and radiation in summer intercrops in the south-east Pampas of Argentina. *Field Crops Res.* 134: 105-113.
- Collaku, A & SA Harrison. 2002. Losses in Wheat Due to Waterlogging. *Crop Sci.* 42: 444-450.
- Damiano, F & MA Taboada. 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedotransferencia en suelos agrícolas de la región Pampeana. *Ci. Suelo* 18: 77-88
- Damiano, F & RC Moschini. 2011. Intervalo hídrico óptimo en suelos argiudoles plantados con *Eucalyptus dunnii* Maiden. *Ci. Suelo* 29: 1-11
- de San Celedonio, RP; LG Abeledo & DJ Miralles. 2014. Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant Soil* 378: 265-277
- Dettori, M; C Cesaraccio; A Motroni; D Spano & P Duce. 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. *Field Crops Res.* 120: 179-188.
- Eitzinger, J; M Trnka; J Hösch; Z Zalud & M Dubrovský. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecol. Model.* 171: 223-246.
- Gijsman, AJ; SS Jagtap & JW Jones. 2002. Wading through a swamp of complete confusion: how to choose a method for estimating soil water retention parameters for crop models. *Eur. J. Agron.* 18: 75-105.
- Grassini, P; GV Indaco; ML Pereira; AJ Hall & N Trápani. 2007. Responses to short-term waterlogging during grain filling in sunflower. *Field Crops Res.* 101: 352-363.
- Guo, R; Z Lin; X Mo & C Yang. 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Agric. Water Manag.* 97: 1185-1194.
- INASE, 2014. Instituto Nacional de Semillas. Red de ensayos comparativos de variedades de trigo. [http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=102&Itemid=91](http://www.inase.gov.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=102&Itemid=91). 24 de Abril de 2014
- INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 1993. Carta de Suelos de la República Argentina.

- Jones, JW; G Hoogenboom; CH Porter; KJ Boote; WD Batchelor; LA Hunt; PW Wilkens; U Singh; AJ Gijsman & JT Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 18: 235-265.
- Li, C; D Jiang; B Wollenweber; Y Li; T Dai & W Cao. 2011. Waterlogging pretreatment during vegetative growth improves tolerance to waterlogging after anthesis in wheat. *Plant Sci.* 180: 672-678.
- Magrin, GO; MI Travasso; RA Díaz & RO Rodríguez. 1997. Vulnerability of the agricultural systems of Argentina to climate change. *Clim. Res.* 9: 31-36.
- Magrin, GO; MI Travasso & RO Rodríguez. 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Climatic Change* 72: 229-249
- Magrin, GO; MI Travasso; GM López; GR Rodríguez & AR Lloveras. 2007. Vulnerabilidad de la Producción Agrícola en la Región Pampeana Argentina: Informe Final. Componente B3 de la 2da Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático. 86 p. [Publicación en línea] *En:* <http://www.ambiente.gov.ar>
- Oficina de Riesgo Agropecuario (ORA). 2013. Riesgos agroclimáticos, Mapas de riesgo de estrés y excesos hídricos para cultivos de secano. <http://www.ora.gov.ar/>. 9 de enero 2014.
- Reussi Calvo, NI & HE Echeverría. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ci. Suelo* 24: 115-122.
- Ritchie, JT & J Crum. 1989. Converting soil survey characterization data into IBSNAT crop model input. *In:* Bouma, J., Bregt, A.K., (eds), Land Qualities in Space and Time. Proceedings of a Symposium Organized by the International Society of Soil Science (ISSS), Wageningen, the Netherlands, 22 /26 August 1988. Pudoc, Wageningen, pp. 155-167.
- Romero, CC; G Hoogenboom; GA Baigorria; J Koo; AJ Gijsman & S Wood. 2012. Reanalysis of a global soil database for crop and environmental modeling. *Environ. Modell. Soft.* 35: 163-170.
- Savin R, 1988. Profundidad de enraizamiento, siembra temprana y sus efectos sobre el rendimiento de trigo sometido a sequías invierno primaverales: Análisis de estrategias de manejo con un modelo de simulación, Tesis de Maestría, Universidad de Buenos Aires. pp 77-78
- Savin, R; AJ Hall & EH Satorre. 1994. Testing the root growth subroutine of the CERES-wheat model for two cultivars of different cycle length. *Field Crops Res.* 38: 125-133.
- Setter, TL & I Waters. 2003. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats. *Plant Soil* 253: 1-34.
- Setter, TL; I Waters; SK Sharma; KN Singh; N Kulshreshtha; NPS Yaduvanshi; PC Ram; BN Singh; J Rane; G McDonald; H Khabaz-Saberi; TB Biddulph; R Wilson; I Barclay; R McLean & M Cakir. 2009. Review of wheat improvement for waterlogging tolerance in Australia and India: the importance of anaerobiosis and element toxicities associated with different soils. *Ann. Bot.* 103: 221-235.
- Shaw, RE; WS Meyer; A McNeill & SD Tyerman. 2013. Waterlogging in Australian agricultural landscapes: a review of plant responses and crop models. *Crop Pasture Sci.* 64: 549-562.
- Striker, GG. 2012. Flooding Stress on Plants: Anatomical, Morphological and Physiological Responses. *In:* Mworio, JK (ed), Botany. InTech, pp. 3-28.
- Timsina, J & E Humphreys. 2006. Performance of CERES-Rice and CERES-Wheat models in rice-wheat systems: A review. *Agric. Sys.* 90: 5-31.
- Van Ginkel, M; K Sayre & G Boru. 1997. La tolerancia al anegamiento en el trigo: problemas relacionados con el fitomejoramiento. *En:* Mohan Kohli, M & DL Martino (eds), Explorando altos rendimientos en trigo. CIMMYT, INIA, Colonia, Uruguay, pp. 193-208.
- Vázquez, PM; FN Cabria; MdC Rojas & MB Caladroni. 2009. Riesgo de Anegamiento: Estimaciones para la cuenca baja del Río Salado. *Ci. Suelo* 27: 237-246.
- Viglizzo, EF; EG Jobbágy; L Carreño; FC Frank; R Aragón; L De Oro & V Salvador. 2009. The dynamics of cultivation and floods in arable lands of Central Argentina. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13: 491-502.
- White, JW; G Hoogenboom; BA Kimball & GW Wall. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Res.* 124: 357-368.
- Wollenweber, B; JR Porter & J Schellberg. 2003. Lack of Interaction between Extreme High-Temperature Events at Vegetative and Reproductive Growth Stages in Wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 189: 142-150.
- Yavas, I; A Unay & M Aydin. 2012. The waterlogging tolerance of wheat varieties in Western of Turkey. *The Scientific World Journal* 2012: 1-7.



## GUALEGUAYCHÚ

*JAWHTJ0012	ALT	Ea	potreros	Pendiente	0-1%											
@SITE	COUNTRY	LAT	LONG	SCS	FAMILY											
	Gualeguaychú	ARGENTINA	-33	-58.5	Argiudol vértico											
@	SCOM	SALB	SLU1	SLDR	SLRO	SLNF	SLPF	SMHB	SMPX	SMKE	SLCI	SLCF	SLNI	SLHW	SLHB	SCEC
	BN	0.13	24.1	0.10	80	1.00	1.00	IB001	IB001	IB001						
@	SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLOC	SLCL	SLSI	SLCF	SLNI	SLHW	SLHB	SCEC
	12	A11	0.200	0.344	0.464	1.00	-99.0	1.22	1.30	36.8	59.8	0.0	-99	6.6	-99	-99
	23	A12	0.200	0.348	0.492	1.00	-99.0	1.14	2.04	37.0	57.0	0.0	-99	7.0	-99	-99
	45	B21t	0.254	0.392	0.462	0.08	-99.0	1.23	1.21	49.0	46.8	0.0	-99	6.9	-99	-99
	60	B22t	0.245	0.383	0.457	0.14	-99.0	1.24	1.06	47.0	48.1	0.0	-99	8.2	-99	-99
	75	B22t	0.245	0.382	0.452	0.12	-99.0	1.25	0.92	47.0	48.1	0.0	-99	8.2	-99	-99
	90	B22t	0.245	0.381	0.446	0.11	-99.0	1.27	0.77	47.0	48.1	0.0	-99	8.2	-99	-99
	100	B3ca	0.225	0.354	0.435	0.09	-99.0	1.30	0.59	42.5	37.2	0.0	-99	8.6	-99	-99
	120	B3ca	0.225	0.353	0.427	0.08	-99.0	1.32	0.40	42.5	37.2	0.0	-99	8.6	-99	-99
	160	Cca	0.222	0.344	0.399	0.06	-99.0	1.40	0.20	41.9	26.5	0.0	-99	8.7	-99	-99

## JUNÍN

*JAWHTJ1011	SCS	CLOSA	DELGADO													
@SITE	COUNTRY	LAT	LONG	SCS	FAMILY											
	CEREALES	ARGENTINA	34.000	61.250	Hapludol típico											
@	SCOM	SALB	SLU1	SLDR	SLRO	SLNF	SLPF	SMHB	SMPX	SMKE	SLCI	SLCF	SLNI	SLHW	SLHB	SCEC
	BN	0.13	9.7	0.50	77.0	1.50	1.00	IB001	IB001	IB001						
@	SLB	SLMH	SLLL	SDUL	SSAT	SRGF	SSKS	SBDM	SLOC	SLCL	SLSI	SLCF	SLNI	SLHW	SLHB	SCEC
	15	AP	0.128	0.257	0.376	1.00	-99.0	1.26	1.50	20.7	41.7	0.0	-99	5.9	5.5	22.1
	30	A1	0.137	0.265	0.375	1.00	-99.0	1.26	0.80	22.7	39.8	0.0	-99	6.3	5.6	19.1
	45	B1	0.144	0.271	0.371	0.50	-99.0	1.27	0.25	24.4	36.7	0.0	-99	6.3	5.6	20.4
	60	B2	0.150	0.275	0.366	0.40	-99.0	1.28	0.10	25.6	33.5	0.0	-99	6.4	5.9	20.4
	90	B3	0.117	0.243	0.364	0.50	-99.0	1.28	0.05	18.1	37.4	0.0	-99	6.6	6.2	16.3
	120	C	0.099	0.226	0.359	0.40	-99.0	1.30	0.05	14.2	37.5	0.0	-99	6.3	6.5	14.3
	150	C	0.099	0.226	0.359	0.30	-99.0	1.30	0.05	14.2	37.5	0.0	-99	6.3	6.5	14.3
	180	C	0.099	0.226	0.359	0.20	-99.0	1.30	0.05	14.2	37.5	0.0	-99	6.3	6.5	14.3



Copyright of Ciencia del Suelo is the property of Asociacion Argentina de la Ciencia del Suelo (AACS) and its content may not be copied or emailed to multiple sites or posted to a listserv without the copyright holder's express written permission. However, users may print, download, or email articles for individual use.