

## Implicancias del cambio climático sobre el rendimiento de los cereales de invierno en la Región Pampeana <sup>1</sup>

**Daniel J. Miralles y Guillermo A. García**

Cátedra de Cerealicultura e IFEVA-CONICET, Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, Ciudad de Buenos Aires, (C1417 DSE).

El clima global está experimentando un cambio consistente e inevitable, a pesar de los esfuerzos por reducir las emisiones de gases a la atmósfera (IPCC, 2007), lo cual ha sido claramente documentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), órgano internacional encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Las diferentes modificaciones que experimenta y experimentará el clima global, entre las que se pueden destacar aumentos de la temperatura, incremento de la concentración de CO<sub>2</sub>, alteración de los patrones de lluvias y de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa, tiene y tendrá consecuencias tanto ambientales como socio-económicas. Este es un problema sumamente complejo y como tal requiere de trabajo interdisciplinario para encontrar soluciones. Es por esta razón que diferentes disciplinas como la meteorología, la estadística, la matemática, la economía, la agronomía, entre otras, se agrupan para tratar de predecir cambios, definir los sectores más vulnerables y diseñar estrategias de adaptación al cambio climático. En todos estos aspectos, el conocimiento es incompleto, por lo cual la comunidad científica tienen mucho trabajo por delante. Para la sociedad el concepto “cambio climático” involucra aspectos negativos en su contexto. Sin embargo, en términos de procesos biológicos en general, y de los cultivos en particular, el cambio climático puede tener un efecto positivo, negativo o neutro dependiendo del factor ambiental que se vea modificado, de su magnitud y sentido de cambio. La agricultura enfrenta el desafío, no solo de incrementar la producción de alimentos y fibras para una población mundial en constante crecimiento, sino que además debe hacerlo bajo condiciones ambientales más variables lo cual vuelve la producción agrícola cada vez menos predecibles. Además, como toda actividad humana, la agricultura debe reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. En este contexto, la agricultura deberá adaptarse a los cambios climáticos proyectados, a fin de asegurar una sustentable producción de alimentos y fibras.

El trigo pan (*Triticum aestivum* L.) y la cebada cervecera (*Hordeum vulgare* L.) son dos de los cultivos extensivos, considerando área sembrada y producción, más importantes no solo a nivel mundial sino también local. Trigo es el cultivo más sembrado del mundo (ca. 200 millones de hectáreas), con una producción de más de 650 millones de toneladas (FAO, 2014), la cual provee un quinto de las calorías consumidas diariamente. Cebada, por su parte, con un área sembrada de alrededor de 50 millones de hectáreas y una producción de más de 140 millones de toneladas (FAO, 2014), es el quinto cultivo de grano a nivel mundial, con destino forrajero o maltero (Cattáneo, 2011). En Argentina, estos cereales son los cultivos invernales por excelencia, abarcando alrededor del 25% del área destinada a cultivos de granos. Si consideramos los últimos años, a pesar de haber perdido una importante superficie debido a

---

<sup>1</sup> Fuente: Revista HORIZONTE A

las restricciones para su comercialización, el trigo continua siendo el cereal de mayor área cultivada (ca. 4 millones de hectáreas), con una producción de 13 millones de toneladas. Por otro lado el cultivo de cebada, con casi un millón de hectáreas sembradas y con casi 3 millones de toneladas producidas (MAGyP, 2013), ha crecido notablemente debido no solo a las excelentes condiciones ambientales que Argentina ofrece para su cultivo, sino también a la mayor demanda interna y externa de malta (Cattáneo, 2011). De hecho, Argentina es uno de los proveedores más importantes de malta para toda Sudamérica. En este contexto es crucial conocer el comportamiento de ambos cultivos frente a los cambios climáticos proyectados a fin de poder desarrollar estrategias de adaptación que permitan mantener e incluso incrementar la producción de estos importantes cereales en escenarios futuros.

Como se mencionó previamente, los escenarios climáticos futuros sufrirán modificaciones de numerosas variables ambientales. En este artículo nos centramos en dos de los factores más relevantes para la producción agrícola, temperatura y precipitación, describiendo cambios esperados en dichas variables climáticas y su posible impacto sobre la producción de cultivos de trigo y cebada. Desde el punto de vista de la fisiología de cultivo, se intenta ilustrar como el manejo de los cultivos de invierno podría adaptarse a los escenarios climáticos proyectados.

### **¿Cómo afectará a los cultivos los cambios en las temperaturas?**

Un amplio consenso mundial indica que la temperatura será la variable más afectada por el cambio climático. Un aspecto positivo es que sus variaciones serán, en cierta medida, las más predecibles. Sin embargo, y a pesar de la capacidad de predicción que podamos tener sobre esta variable su impacto sobre la productividad de los cultivos es la principal fuente de incertidumbre en escenarios futuros. Teniendo en cuenta los escenarios más contrastantes, la temperatura media global se incrementará entre 1,1 y 6,4 °C para fines de este siglo, con una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos (IPCC, 2007). En lo que respecta a Latinoamérica, y más precisamente a la Región Pampeana, principal zona productiva de cultivos de grano en Argentina, las tendencias serán similares. En esta región, la principal característica del incremento de la temperatura media ha sido la reducción de la amplitud térmica diaria debido a mayores temperaturas mínimas no acompañadas por la modificación de las máximas. Este patrón de cambio térmico ha sido claramente documentado en un trabajo llevado a cabo por Fernández Long et al (Cátedra de Climatología de la FA UBA), donde se evaluaron las tasas de cambio en temperaturas máximas y mínimas de la Región Pampeana a lo largo del año, para casi un siglo de datos meteorológicos (Figura 1). Una característica a resaltar del incremento de temperaturas mínimas es que los mayores cambios se registran durante la primavera, época en la cual se está definiendo el rendimiento potencial de los cultivos de invierno en la región. A futuro (proyecciones para el 2080), se prevén incrementos de la temperatura media de entre 1,8 y 4,5°C para la Región Pampeana, manteniéndose la característica del calentamiento asimétrico entre el día (temperaturas máximas) y la noche (temperaturas mínimas) y sumándose a una mayor ocurrencia de climas extremos. En el caso de la temperatura, esto último se relaciona fuertemente con episodios de muy altas temperaturas máximas u ocurrencia de heladas fuera de época.

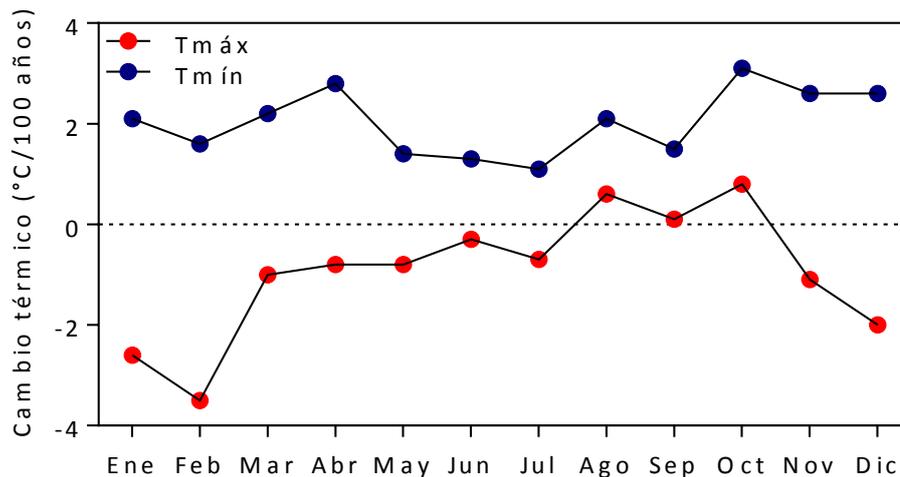


Figura 1. Tendencias registradas en las temperaturas mínimas y máximas mensuales, a lo largo del período 1925-2007, promedio de 12 localidades representativas de la Región Pampeana. Datos adaptados de Fernández Long et al (2008).

Considerando estos escenarios de cambio climático, los cultivos de invierno como trigo y cebada, explorarían un ambiente térmico con dos características fundamentales: i) una mayor temperatura media, debida principalmente a incrementos en las temperaturas nocturnas, y ii) una mayor frecuencia de días con temperaturas máximas superiores a 30-35°C, comúnmente conocidos como golpes de calor. Teniendo en cuenta que estos serán los escenarios térmicos a futuro vale preguntarse cómo se afectarían los rendimientos de los cultivos de invierno. En este sentido, mayores temperaturas nocturnas afectarían fundamentalmente el desarrollo del cultivo, reduciendo la duración de etapas importantes como el período crítico y/o el llenado de granos. Esto traería aparejada una menor captura de recursos (fundamentalmente radiación), lo cual implica un menor rendimiento del cultivo. Dado que, el impacto sobre procesos y atributos de crecimiento (por ejemplo eficiencia en el uso de los recursos) no se vería fuertemente afectado, las estrategias de manejo, debería focalizarse en la fenología (ciclo) del cultivo. En este caso, resulta importante considerar la interacción fecha de siembra - cultivar. Por ejemplo, si los aumentos térmicos acortan el ciclo del cultivo podría adelantarse la fecha de siembra o elegir un cultivar de ciclo más largo. Sin embargo, ambas medidas, están condicionadas fuertemente por la ocurrencia de heladas (se discute más adelante) y los golpes de calor, respectivamente. En este último caso, la frecuencia de eventos de muy altas temperaturas es mayor a medida que transcurre el ciclo del cultivo o nos movemos a latitudes más bajas. Una estrategia podría ser la mitigación de los efectos negativos del cambio climático, por ejemplo, la tolerancia del cultivo a la exposición a golpes de calor. En este sentido, el mejoramiento debe poner fuerte énfasis, intentando obtener genotipos de mejor comportamiento frente a golpes de calor.

A nivel productivo regional, Magrin et al. (2005), utilizando modelos de simulación y series climáticas de distintas localidades de la Región Pampeana, compararon los cambios ocurridos en la producción de trigo (además de otros cultivos) durante el siglo pasado, evaluando el impacto del cambio climático. El rendimiento potencial de trigo (sin limitaciones de agua y nutrientes o impacto de adversidades bióticas) tendió a reducirse en la región

(aproximadamente un 4%), comparando los periodos 1950-1970 y 1971-1999. Esta reducción se debió fundamentalmente a mayores temperaturas mínimas durante la primavera.

### Cambios en las fechas de últimas heladas: ¿Modificación de la fecha de siembra y la potencialidad de rinde?

Los cambios en las temperaturas también traen aparejado cambios en otras variables ambientales que restringen los ciclos de los cultivos como por ejemplo las fechas en que ocurren las heladas. En el caso particular de los cereales invernales (trigo y cebada) las fechas de últimas heladas son críticas para definir el momento en que debe ocurrir la floración del cultivo de modo de escapar a dicho riesgo y no comprometer el rendimiento del cultivo. Teniendo en cuenta las proyecciones de incrementos de temperaturas descriptas anteriormente, en el futuro es posible pensar que las fechas de ultimas heladas podrían adelantarse respecto de las fechas actuales en las que estas ocurren (Figura 2).

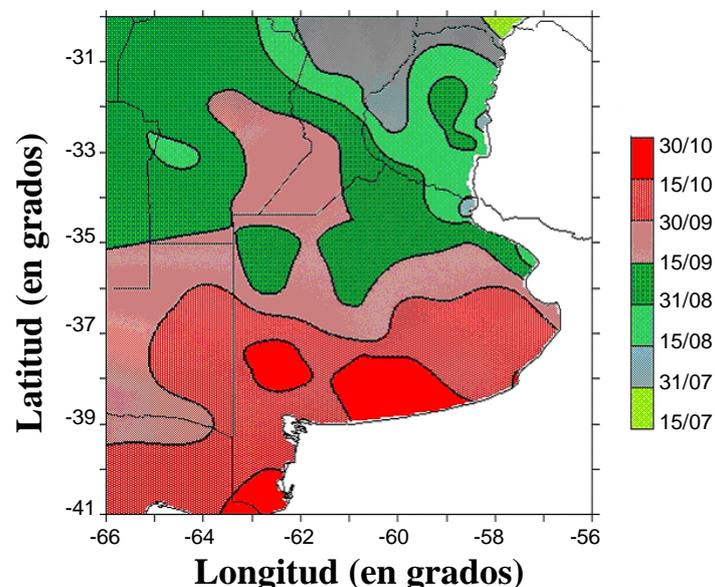


Figura 2: Fecha media de última helada en la Región Pampeana. Datos medios correspondientes a la serie histórica 1960-1992. Tomado de Instituto de Clima y Agua INTA (<http://www.intacya.org>).

Sin embargo, un trabajo realizado por Fernández Long et al (2005), relevando los cambios en las fechas de ultimas heladas en distintas localidades de la Región Pampeana, demuestra que no hay un patrón uniforme en la tendencia en el cambio de las fechas de ultimas heladas cuando se comparan las distintas décadas desde los años '70 a los años '00. Las fechas de Últimas heladas, dependiendo la localidad, han tendido a atrasarse en su ocurrencia (ejemplo Tandil y Coronel Suarez), se ha adelantado (ejemplo Tres Arroyos y Pigué), o no se han registrado cambios a lo largo de los años (ejemplo Laboulaye y San Pedro). A modo de ejemplo, en la localidad de Tandil el número de días con heladas se incrementó cerca de 20 días, mientras que en la localidad de Rio IV se redujo aproximadamente 15 días

cuando se comparan distintas décadas entre los 70 y los 00 (Figura 3). Dado estos escenarios, resulta claro que el manejo de los cultivos en lo que respecta a decisiones de cambios en las fechas de siembra será diferente en cada localidad, si se mantiene el mismo riesgo de heladas a floración. Considerando un determinado ciclo de un cultivo de trigo y/o cebada, en aquellas localidades donde las fechas de ultima heladas se han adelantado es posible adelantar la floración mientras que en aquellas localidades que registraron atrasos en la fechas de ultimas heladas se deberá atrasar la fecha de siembra de modo de evitar exponer al cultivo a riesgo de heladas en floración mayores (Figura 3).

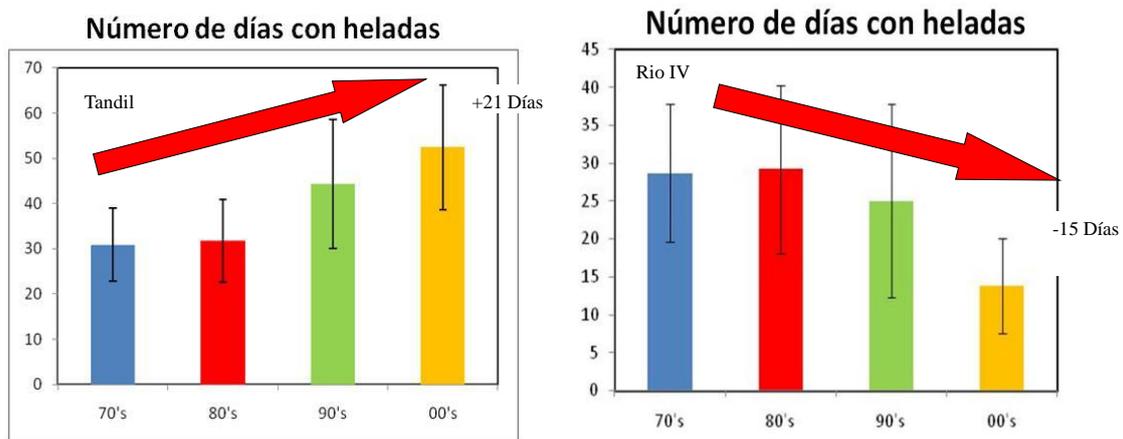


Figura 3: Número de días con heladas en las localidades de Tandil y Rio IV a lo largo de distintas décadas. Las barras verticales indican el desvío estándar del número de días con heladas para las distintas décadas (Miralles et al., 2011- Congreso A Todo Trigo 2011).

Frente a estos escenarios, surge la pregunta de cómo los mismos afectaran los rendimientos de los cereales de invierno. En este caso, los modelos de simulación son una herramienta interesante para poder evaluar la respuesta de los cultivos a los cambios en las fechas de floración como consecuencia de cambios en las fechas de últimas heladas. Utilizando un modelo CERES-wheat se simuló un cultivo de trigo de ciclo intermedio largo de amplia difusión en Argentina (Baguette 11) sometido a cambios en las fechas de floración con el objetivo de tomar el mismo riesgo de fecha de ultima helada en las localidades de Tandil y Rio IV, retrasando y adelantando la fecha de floración, respectivamente; sobre la base la información climática antes descripta. Los resultados mostraron que atrasos en la fechas de floración para la localidad de Tandil, donde las fechas de ultimas heladas se retrasaron en los últimos años, podría producir perdidas de rendimiento de entre 113 y 563 Kg/ha como consecuencia de retrasos en la fecha de floración de entre 7 y 18 días, respectivamente; respecto de las fechas de floración que podrían posicionarse en los años '70 (Figura 4).

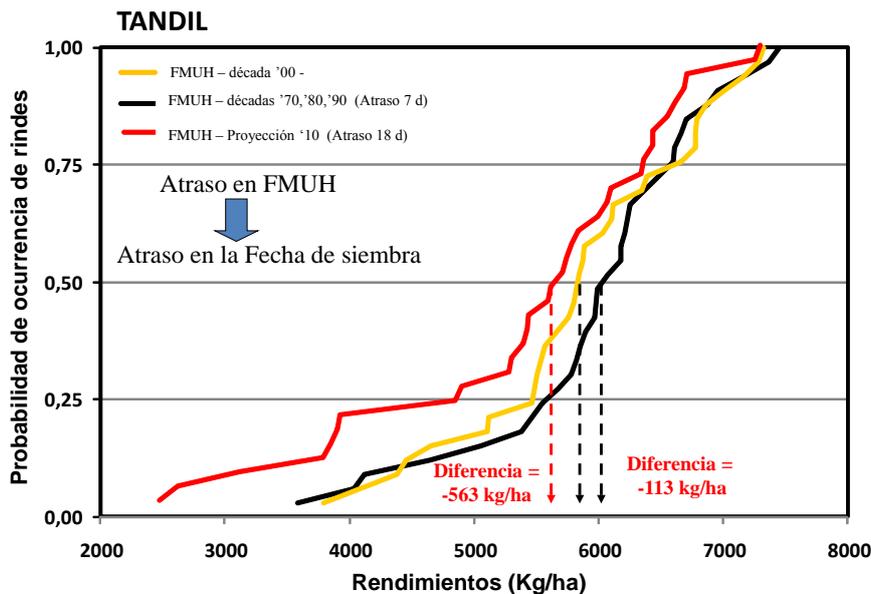


Figura 4: Probabilidad acumulada de rendimientos para el cultivar Baguette 11 en la localidad de Tandil para distintas fechas de floración mediante cambios en la fechas de siembra para tomar el mismo riesgo de fechas de ultima heladas para los años 70,80, 90 y 00. Datos generados usando el modelo CERES-wheat. (Miralles et al., 2011 - Congreso A Todo Trigo 2011).

Como contrapartida, los resultados de la simulación para adelantos en la fecha de siembra en la localidad de Rio IV mostraron leves ganancias en los rendimientos (aprox. 60 Kg/ha) (Figura 5). Es importante resaltar que dichos cambios en el ciclo de los cultivos debido a los cambios en las fechas de ultimas heladas no deben considerarse solo en el contexto de los cultivos de cebada y trigo ya que debe considerarse el impacto sobre el doble cultivo trigo (o cebada)/soja. Así, retrasos en la fechas de floración y seguramente en el momento de cosecha en localidades como Tandil tendrán no solo impactos negativos en el rendimiento del trigo y/o de la cebada sino también en el rendimiento del cultivo de soja donde en dichas latitudes (más extremas) las pérdidas de rendimiento de soja pueden llegar hasta casi 60 Kg/ha por cada día de retraso en la fecha de siembra respecto de su fecha óptima (Calviño et al., 2003). De este modo, el retraso en el ciclo del cultivo antecesor al cultivo de soja tendrá un doble efecto negativo: perdidas en el rendimiento del trigo y/o cebada y perdidas sobre el cultivo de soja debido a un retraso en la implantación de este cultivo.

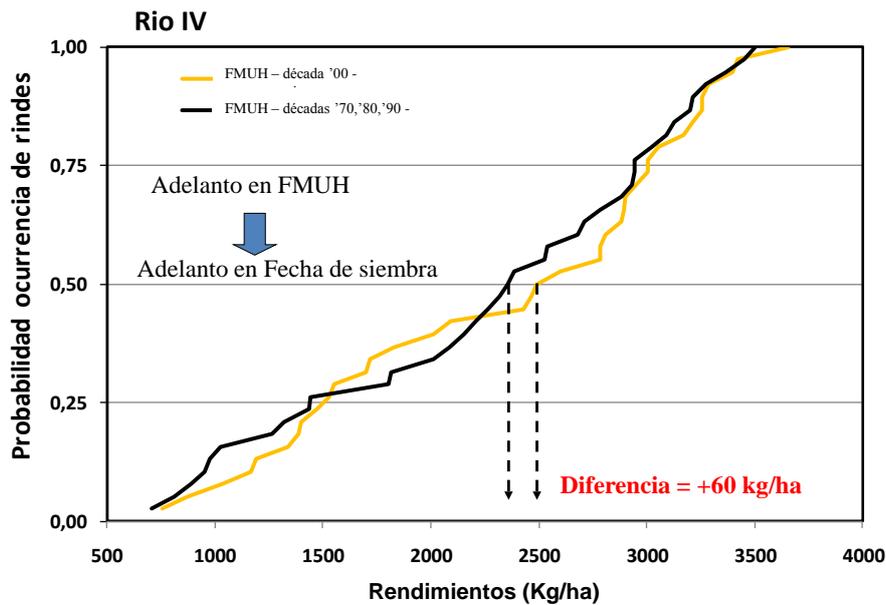


Figura 4: Probabilidad acumulada de rendimientos para el cultivar Baguette 11 en la localidad de Rio IV para distintas fechas de floración mediante cambios en la fechas de siembra para tomar el mismo riesgo de fechas de ultima heladas para los años 70,80, 90 y 00. Datos generados usando el modelo CERES-wheat. (Miralles et al., 2011 - Congreso A Todo Trigo 2011).

Resumiendo, el impacto de las temperaturas sobre los cultivos de invierno a través de i) una mayor exposición de los cultivos a mayores temperaturas durante su ciclo acortando en días calendario su duración, lo que generaría reducciones en el rendimiento principalmente a través de reducciones en el numero de granos, ii) cambios en las fechas de heladas, sin que exista un único patrón entre las localidades de Argentina y ii) una mayor exposición a aumentos de “golpes de calor” dados por aumentos de temperaturas extremas hacia el verano, es decir durante el llenado de los granos, reduciendo el peso de los granos y posiblemente la calidad comercial de los cultivos.

### Períodos de intensas precipitaciones: consecuencias en los cultivos de invierno

Tal como fue indicado al comienzo de este artículo, el cambio climático impactará sobre los regímenes de precipitaciones, aunque lo hará en diferentes sentidos (incrementando y/o reduciendo las mismas) dependiendo del área del mundo que se considere. Los datos proyectados prevén para América del Sur una tendencia positiva en el incremento de las precipitaciones. Teniendo en cuenta la mayor probabilidad de ocurrencia de eventos extremos, la posibilidad de períodos de intensas lluvias con el consecuente anegamiento del suelo es mayor. Del mismo modo, no se descarta la ocurrencia de episodios de déficit hídrico durante el ciclo de los cultivos de invierno.

Focalizándonos en el exceso hídrico, a escala mundial, entre 10 y 15 millones de hectáreas de trigo (ca. 10% del área destinada al cultivo) sufren anegamiento ocasional o frecuentemente cada año, limitando fuertemente los rendimientos obtenidos bajo condiciones productivas. El anegamiento temporario del suelo ocurre como consecuencia de una

saturación total o parcial de los poros de aire en el perfil, los que son reemplazados por agua. El origen más frecuente de este fenómeno es cuando las precipitaciones o el agua de riego se acumulan en la superficie del suelo por un período dado, como consecuencia de deficiencias en la capacidad de infiltración del perfil. En estos casos se produce un desbalance entre la cantidad de agua aportada al suelo en un tiempo determinado y la capacidad de pérdida de agua del sistema, ya sea horizontalmente (escurrimientos) o verticalmente (evapotranspiración, infiltración, etc.). En Argentina uno de los eventos más recientes y difundidos de anegamiento ocurrió en la campaña 2012, donde buena parte de los cultivos de invierno sufrieron los efectos negativos del anegamiento, principalmente en la Pampa Deprimida y Ondulada y en Litoral, tal como se muestra en la Figura 5. Las etapas del cultivo más afectadas por los excesos de agua abarcaron desde inicios de elongación de tallo hasta comienzos del llenado de granos.

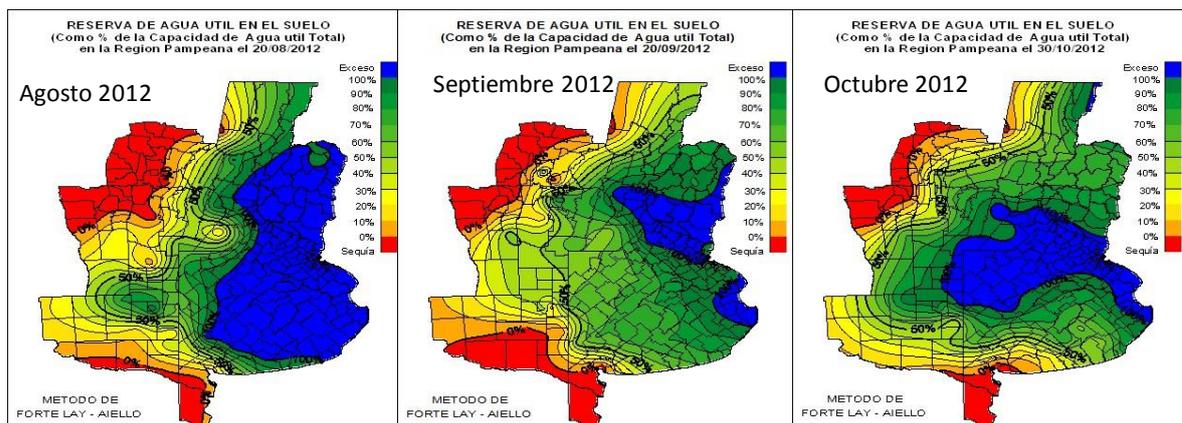


Figura 5: Reserva de agua útil en el suelo entre los meses de Agosto a Octubre de 2012 en la área pampeana de Argentina. Se observa en color azul los excesos de agua en gran parte de la pampa ondulada. Tomado de [www.inta.gob.ar](http://www.inta.gob.ar).

El efecto negativo del anegamiento para las plantas se asocia principalmente a disminuciones en la concentración de oxígeno en suelo, ya que la difusión de gases en el agua disminuye drásticamente (5000-10000 veces) bajo estas condiciones. De esta manera, la respiración de las raíces y los microorganismos aeróbicos agotan rápidamente el oxígeno y el suelo se vuelve hipóxico y luego anóxico en pocas horas induciendo una serie de alteraciones metabólicas, fisiológicas y morfológicas en las plantas relacionadas con su supervivencia bajo condiciones anaeróbicas. Las condiciones de anoxia debido a anegamiento causan también el cierre estomático, reducciones en la concentración de CO<sub>2</sub> de las hojas y, consecuentemente, una disminución en la tasa de fotosíntesis, reduciendo la biomasa del cultivo y por ende el rendimiento.

## ¿Cuál es la etapa del cultivo más sensible a la pérdida de rendimiento debida al anegamiento en trigo y cebada?

Una gran cantidad de trabajos han mostrado los efectos fisiológicos del anegamiento sobre los cultivos de invierno. Sin embargo, los mismos se han concentrado en evaluar dicha restricción en las primeras etapas del cultivo, mientras que muy pocos trabajos se han concentrado en analizar los efectos negativos del anegamiento durante las distintas etapas del cultivo. Por ello, una pregunta frecuente vinculada al anegamiento es en qué etapa del cultivo resulta más crítica la pérdida de rendimiento debida a este estrés abiótico. Estudios recientes llevados a cabo por de San Celedonio et al (2014) en la FAUBA mostraron que en los cereales de invierno no todas las etapas del cultivo tienen la misma sensibilidad al anegamiento. En dicho estudio se sometió a dos cultivares, uno de trigo y otro de cebada, a condiciones de anegamiento por 15 días desde las primeras etapas del cultivo hasta luego de la floración.

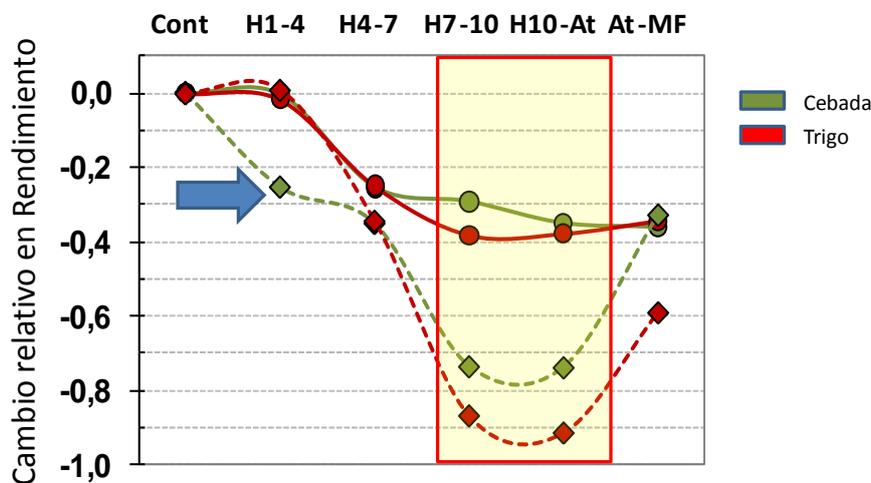


Figura 6: Cambios relativos en el rendimiento de los cultivos de trigo y cebada, respecto del control sin anegar, sometidos a condiciones de anegamiento en diferentes momentos del ciclo y en dos fechas de siembra: Temprana (línea llena) y tardía (línea punteada). El rectángulo indica el periodo crítico donde el anegamiento tiene el mayor impacto negativo sobre el rendimiento. Cont= control sin anegamiento, H1-4: Anegado entre hojas 1 y 4, H4-7: anegado entre 4-7 hojas, H7-10=anegado entre 7 y 10 hojas, H10-Ant=anegado entre la hoja 10 y la antesis y At-MF=anegado durante el llenado de granos (adaptado de de San Celedonio et al 2014).

Los resultados mostraron que ambos cultivos (trigo y cebada) pueden recuperarse de condiciones de anegamiento temporario si este ocurre durante las etapas tempranas y/o tardías del ciclo del cultivo, es decir antes de mediados de encañazón y/o luego de la floración el cultivo, aunque la capacidad de recuperación parecería ser mayor cuando el cultivo sufre dicho estrés al inicio del cultivo (Figura 6). Los efectos más negativos del anegamiento sobre el rendimiento se producen cuando dicho estrés se ubica en el periodo inmediatamente anterior al momento de la floración (es decir lo que se conoce como periodo crítico para la generación del rendimiento) (Figura 6). Por otro lado, el momento más crítico de pérdida de rendimiento parecería ser el mismo tanto para trigo como para cebada, aun cuando la cebada en términos

visuales se vea más afectada que trigo cuando se inicia el anegamiento. El primer efecto negativo del anegamiento se produce a nivel radical ya que una proporción importante de las raíces muere durante los primeros días de anegamiento tal como lo muestra la Figura 7. Si bien la reducción de la biomasa radical no puede ser observado a simple vista es el responsable de la pérdida de la biomasa aérea, que se evidencia a través de amarillamiento de las hojas debido a la pérdida de clorofila, con la consecuente pérdida en la capacidad fotosintética del cultivo lo que determina una importante reducción en la biomasa aérea y en el rendimiento.



Figura 7: Reducciones del sistema radical como consecuencia del anegamiento en el periodo cercano a la floración. Fotos tomadas luego de 15 días de anegamiento en los cultivos de trigo y cebada en el periodo crítico de pérdida de rendimiento por anegamiento (Fotos: R. de San Celedonio, 2012).

La magnitud de los efectos del anegamiento, tal como se indica en la Figura 6 varían en función de la demanda del ambiente. Si el cultivo se anega bajo condiciones de climas frescos y de baja demanda ambiental, entonces la pérdida de rendimiento es menor que la que se produciría con climas más cálidos y menor humedad relativa en el ambiente debido a que la demanda ambiental es mayor. Hay que tener en cuenta que el primer órgano del cultivo que se afecta cuando se produce un anegamiento es el sistema radical. A los pocos días de iniciado el proceso de anegamiento una alta proporción de las raíces muere por falta de oxígeno sin que se evidencien daños en la parte aérea del cultivo, los cuales se vislumbran luego que el cultivo perdió gran parte de sus sistema radical. Este proceso hace que muchas veces la recuperación del cultivo sea lenta e irreversible ya que al desaparecer parte del sistema radical activo el cultivo no puede absorber ni agua ni nutrientes haciendo imposible el mantenimiento del parte aérea. Entonces, la imposibilidad del cultivo de responder a la demanda atmosférica (si es mayor se acentúa el problema) debido a la incapacidad de absorber agua (pérdida de funcionalidad radical) genera una rápida senescencia lo que deriva en una dramática pérdida del rendimiento.

## Consideraciones finales

El cambio climático en el cono sur producirá aumentos en las temperaturas mínimas (temperaturas nocturnas), reduciendo la amplitud térmica e incrementando los eventos de golpes de calor producidos por picos de temperaturas extremas. Dichos cambios alterarán los ciclos de los cultivos invernales reduciéndolos, lo que comprometería la cantidad de radiación que podrían acumular, reduciendo la biomasa aérea y por lo tanto el rendimiento. Si bien el uso de modelos de simulación es una herramienta útil para predecir los cambios en los cultivos en los escenarios futuros es sumamente importante caracterizar en condiciones de campo que atributos del cultivo pueden ser verán modificados a los efectos de evaluar si los modelos reproducen correctamente lo que ocurre en la realidad.

Por otro lado el aumento en la frecuencia de las precipitaciones aumentará en los cultivos invernales los riesgos de anegamiento. Las consecuencias de dichos cambios para los cereales invernales será un menor rendimiento producto de un acortamiento en la duración de las etapas del ciclo ontogénico como consecuencia de los aumentos de términos y un mayor riesgo de anegamiento con consecuencias negativas si dichos eventos se ubican en las etapas inmediatamente previas a la floración de los cultivos. Es importante concentrar los estudios vinculados a los efectos del cambio climático no solo en los modelos predictivos del clima y de simulación de los cultivos sino en reproducir los cambios en las variables climáticas en cultivos reales de modo de comprender cuál es el real impacto sobre dichos cultivos en condiciones de campo y que margen de manejo existe sobre la variabilidad genotípica para poder reducir las consecuencias negativas del cambio climático en los cultivos de invierno.

## Referencias

- Cattáneo, M., 2011. Los mercados de cebada cervecera en Argentina y el mundo. In: Miralles, D.J., Benech-Arnold, R.L., Abeledo, L.G. (Eds.), Cebada cervecera. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, Argentina, pp. 275-284.
- Calviño, P. A., Sadras V.O., Andrade, F. H. 2003. Quantification of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean. *Field Crops Res.* 83: 67-77.
- de San Celedonio, R.P., Abeledo, L.G., Miralles, D.J., 2014. Identifying the critical period for waterlogging on yield and its components in wheat and barley. *Plant Soil*, 1-13.
- FAO, 2014. FAOSTAT Crops production database [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org)
- Fernández Long, M.E., Barnatán, I., Serio, L., Murphy, G., 2008. Cambios en la disponibilidad térmica para los cultivos de la Región Pampeana Argentina. *Revista Facultad de Agronomía UBA* 28, 111-120.
- Fernández Long, M.E., Barnatán, I.E., Spescha, L., Hurtado, R., Murphy, G., 2005. Caracterización de las heladas en la Región Pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Revista Facultad de Agronomía* 25, 247-257.
- IPCC, 2007. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Magrin, G., Travasso, M., Rodríguez, G., 2005. Changes in climate and crop production during the 20th century in Argentina. *Clim. Change* 72, 229-249.
- MAGyP, 2013. Sistema integrado de información agropecuaria [www.siiia.gov.ar](http://www.siiia.gov.ar).