

# PRONÓSTICO DE RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS DE GRANOS EN LA REGIÓN PAMPEANA A TRAVÉS DEL USO DE MODELOS DE SIMULACIÓN AGRONÓMICA

*A. Rocha<sup>1</sup>, F. E. Bert<sup>1,2</sup>, M. M. Skansi<sup>3</sup>, H. Veiga<sup>3</sup>, G. P. Podestá<sup>4</sup>, F. Ruiz Toranzo<sup>5</sup>, M. González<sup>6</sup>*

<sup>1</sup> Cátedra de Cerealicultura, Facultad de Agronomía, UBA, Buenos Aires, Argentina.

E-mail: [rocha@agro.uba.ar](mailto:rocha@agro.uba.ar)

<sup>2</sup> CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas), Argentina

<sup>3</sup> SMN (Servicio Meteorológico Nacional), Argentina

<sup>4</sup> Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Sciences, University of Miami, USA

<sup>5</sup> AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola), Argentina

<sup>6</sup> CIMA (Centro de investigaciones del Mar y la Atmósfera) y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, Buenos Aires, Argentina.

## RESUMEN

Dada su importancia para la economía argentina, existe interés en predecir el rendimiento de soja y maíz. En este trabajo se describe y evalúa un esquema para pronosticar rendimientos de soja y maíz en distintas zonas de la Región Pampeana. El rendimiento se pronostica en diferentes momentos a lo largo del ciclo de un cultivo. El esquema se basa en modelos agronómicos que simulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos en función de (a) condiciones meteorológicas experimentadas hasta el momento del pronóstico y (b) escenarios de posibles condiciones climáticas para el resto del ciclo, desde el momento del pronóstico hasta la cosecha. Los escenarios climáticos se basan en series climáticas históricas o, alternativamente, en pronósticos estacionales asociados a el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur. El esquema se probó en Junín (Bs. As.), núcleo agrícola de la Región Pampeana, durante la campaña 2011/12. Los pronósticos realizados a lo largo del ciclo de cultivo mostraron que la distribución posible de rendimientos de soja y maíz variaron en respuesta a la evolución de las condiciones climáticas (principalmente lluvias). El esquema permitió estimar rendimientos con un error < 15% hasta dos meses antes de la cosecha. La inclusión de pronósticos estacionales permitió obtener pronósticos más precisos con mayor anticipación (≈15 días).

*Palabras clave: soja, maíz, pronóstico de rendimiento, ENSO, servicio climático.*

# CROP YIELD FORECASTS IN THE PAMPAS REGION USING AGRONOMIC MODELS

## ABSTRACT

Given its importance for the Argentinean economy, there is interest in predicting soybean and maize yields. This article describes and assesses a framework to predict soybean and maize yields for different areas within the Pampas region. Yields are forecasted at different times throughout the crop cycle. The framework relies on agronomic models that simulate crop growth and development based on: (a) actual meteorological conditions up to the forecast date and (b) scenarios of possible climate conditions for the rest of the cycle, from the forecast date until harvest. The climate scenarios are based on the historical climate records or, alternatively, on seasonal forecast associated to El Niño/Southern Oscillation phenomenon. The framework was tested in Junín, the agricultural core of the Pampas, during the 2011/12 cropping season. Various forecasts performed throughout the cropping cycle showed that the distribution of likely soybean and maize yields varied according to the evolution of climate conditions (mainly rains). The framework was capable of predicting soybean and maize yields with an error < 15% with a lead time of 2 months before harvest. The use of seasonal forecast allowed more accurate predictions and with larger lead times.

*Key-words: soybean, maize, yield forecast, ENSO, climate service.*

## 1. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola extensiva es una de las principales actividades económicas y el principal uso de la tierra en Argentina. La producción de cultivos de granos (soja, maíz, trigo y girasol) constituye la principal actividad agrícola representando alrededor del 90% del área total agrícola sembrada (INDEC; resultados provisorios del Censo Nacional Agropecuario 2008). Dentro de los cultivos de granos se destacan los cultivos de soja y maíz. En el año 2009, las exportaciones de los complejos de soja y maíz (como grano y productos derivados) representaron el 26% del valor total de las exportaciones argentinas (INDEC, 2011). A su vez, la Región Pampeana concentra la mayor parte de la producción de granos de nuestro país, representando un 87% de la superficie implantada con cereales y oleaginosas en Argentina (elaboración propia en base a datos del Censo Nacional Agropecuario 2008).

Dada la importancia que tiene la producción de granos en nuestro país, existe un gran interés por estimar anticipadamente su volumen y posibles variaciones. La posibilidad de anticipar la producción de granos sería de utilidad a diversos actores que operan a diferentes escalas espaciales como entidades estatales, comerciales y productores (Chipanshi, Ripley et al. 1997)

Predecir la producción de granos requiere predecir la superficie sembrada con cada cultivo y su rendimiento (Duchon 1986; Doraiswamy, Moulin et al. 2003). La predicción del rendimiento implica un gran desafío ya que presenta una gran variabilidad espacial y temporal a diferentes escalas (Hansen and Indeje 2004)<sup>1</sup>. Gran parte de esta variabilidad se encuentra asociada a variaciones de las condiciones climáticas, principalmente precipitaciones y temperaturas. Dado que la agricultura pampeana se realiza mayormente bajo secano, la producción está fuertemente asociada a las lluvias ocurridas antes y a medida que transcurre el ciclo de los cultivos (Bettolli, Vargas et al. 2009). A su vez, La Región Pampeana se caracteriza por una alta variabilidad climática interanual, especialmente en las precipitaciones (Calviño and Monzón 2009). Una parte considerable de esa variabilidad es explicada por el fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) (Ropelewski and Halpert 1987; Grimm, Barros et al. 2000; Travasso, Magrin et al. 2009). Dada la relación existente entre el clima y los rendimientos, las fuentes de predictibilidad climática (e.g. el ENSO) pueden ayudar a proyectar con mayor certeza el rendimiento de los cultivos de secano.

La campaña agrícola 2011-12 es un claro ejemplo de la dependencia de la producción agrícola de las condiciones climáticas, en especial las lluvias. La baja recarga de agua durante el invierno y primavera y las escasas precipitaciones caídas durante noviembre y diciembre en gran parte de la región Pampeana resintieron de forma notable y generalizada los rendimientos de soja y, principalmente, de maíz. A medida que avanzaba la campaña y el déficit hídrico se acrecentaba, fueron surgiendo numerosas estimaciones (con diferentes metodologías, en general subjetivas) y especulaciones acerca del impacto de la sequía en los rendimientos de los cultivos estivales y, por ende, en la economía nacional.

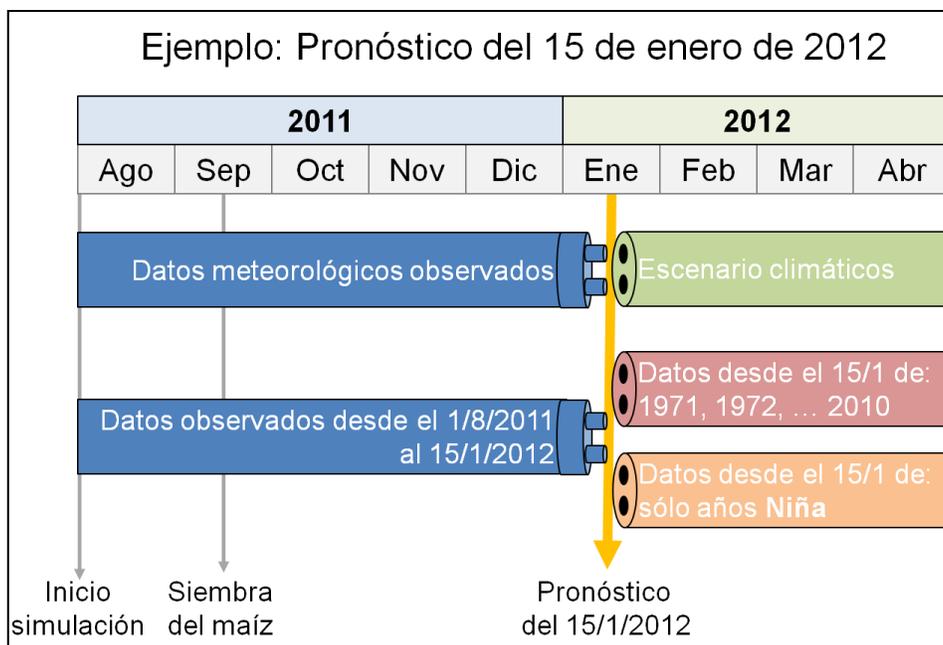
En este contexto, el objetivo del presente trabajo fue desarrollar y evaluar un esquema que permita pronosticar, objetiva y operativamente, el rendimiento de los cultivos de grano para diferentes regiones productivas de la Argentina. La predicción se basó en el uso de modelos de simulación agronómica y se realizó para los cultivos de maíz y soja. En este trabajo presentamos un ejemplo del funcionamiento de la herramienta de pronóstico de rendimiento durante la campaña 2011-12 en la localidad de Junín. En primer lugar se describe brevemente el funcionamiento del pronóstico de rinde y luego se presentan y discuten resultados para un caso de estudio.

## 2. BASES DEL FUNCIONAMIENTO DEL PRONÓSTICO DE RINDE

El esquema desarrollado para pronosticar el rinde se basa en el uso de modelos agronómicos de simulación que reproducen el crecimiento y desarrollo del maíz y la soja. Los modelos se corren de manera periódica a lo largo del ciclo de los cultivos. En cada corrida (i.e., fecha) se utilizan los registros meteorológicos observados hasta ese momento y un conjunto de posibles escenarios climáticos para el resto del ciclo (Figura 1). Asimismo, las simulaciones se realizan bajo distintas condiciones (de suelo, de manejo, etc.) representativas de los diferentes sistemas productivos pampeanos.

---

<sup>1</sup> La estimación de la superficie sembrada con cada cultivo es también un proceso complejo que no se aborda en este trabajo.



**Figura 1.** Esquema conceptual de la construcción de los datos climáticos utilizados en los modelos de simulación. En este caso, se ejemplifica con un pronóstico de rinde de maíz realizado el 15 de enero de 2012. Notar que los datos climáticos se pueden construir a través de la combinación de los datos meteorológicos observados (hasta el 15/1), con datos (desde el 15/1) de todos los años de la serie histórica ó con datos de los años Niña solamente.

La principal ventaja de la utilización de modelos de cultivos para pronosticar rindes en relación a otras metodologías generalmente usadas (e.g. estimación por expertos o referentes) es la objetividad de los resultados; los modelos de simulación se basan en relaciones matemáticas funcionales ampliamente probadas y aceptadas en la literatura (Bouman 1995). Asimismo, los modelos también permiten incluir - a través de los escenarios climáticos que se suministran como entrada - escenarios que reflejen las condiciones climáticas más esperables (e.g., un pronóstico estacional). De esta manera, el pronóstico de rinde se basa no sólo en las condiciones climáticas ocurridas hasta el momento de pronosticar, sino que también incorpora posibles escenarios futuros. Adicionalmente, los modelos pueden ser operados por una o pocas personas rápidamente, lo que permite la realización de pronósticos de rendimiento sistemáticamente a través del ciclo de los cultivos<sup>2</sup>. Sin embargo, el uso de modelos implica el uso de gran cantidad de información edáfica, cultural y climática actualizada que limita en parte su uso. Otra limitación de los modelos se asocia a los errores (de distinto tipo) que los mismos puedan incorporar; los modelos son una simplificación de la realidad de un sistema productivo.

### 2.1. DATOS Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Para su funcionamiento, los modelos de simulación agronómica, requieren de datos diarios de temperatura máxima y mínima, radiación y precipitaciones durante todo el ciclo del cultivo. De esta manera, en cada pronóstico, se combinan *datos meteorológicos observados* hasta la fecha del pronóstico con diferentes *escenarios climáticos* construidos en base a las series climáticas históricas (Figura 1). Notar que el término *escenario climático* hace referencia a los valores de temperaturas, radiación y lluvias que se utilizan desde la fecha de pronóstico hasta el fin del ciclo del cultivo.

Una opción para la construcción de los escenarios climáticos es utilizar todos los años de la serie histórica. De esta manera, si se cuenta con una serie de 40 años por ejemplo, los modelos se corren con 40 escenarios climáticos diferentes y se obtienen 40 datos de rendimientos posibles. Por ejemplo, si el pronóstico se está realizando el 15 de enero, se realizan 40 corridas (que resultan en 40 rendimientos) utilizando los registros meteorológicos observados hasta el 15 de enero y, desde ahí en adelante, cada uno de los 40 años de la serie histórica (Figura 1). De esta manera, se obtiene como resultado una distribución de rendimientos predichos según la variabilidad esperable desde la fecha de pronóstico hasta el fin del ciclo del cultivo (Chipanshi, Ripley

<sup>2</sup> Las técnicas basadas en opiniones de expertos o referentes usualmente requieren un gran esfuerzo de coordinación en la recolección y organización de la información.

et al. 1997). La utilización de series climáticas largas garantiza la adecuada caracterización de la variabilidad climática de un sitio (Quiring and Legates 2008). Sin embargo, la gran variabilidad climática interanual que existe en la Región Pampeana, podría generar rangos de rendimientos predichos demasiado amplios como para generar información de utilidad.

Con el objetivo de reducir la incertidumbre (i.e. acotar el rango de condiciones climáticas posibles de ocurrir y por ende la distribución de rindes simulados) se evaluó, como alternativa, incluir el fenómeno ENSO –fuente de variabilidad y predictibilidad climática en la región- en la construcción de los escenarios climáticos. De esta manera, los escenarios climáticos se construyen usando sólo los años de la serie histórica consistentes con las condiciones climáticas pronosticadas. Por ejemplo, si al momento de realizar el pronóstico de rinde resulta clara la ocurrencia de una determinada fase del ENSO, se usan sólo los años de la serie histórica correspondientes a dicha fase. Para el caso de la campaña 2011-12, se experimentó utilizando los datos climáticos correspondientes a los años clasificados como Niña (según la JMA; Japan Meteorological Agency), dado que la ocurrencia de dicha fase había sido anticipada desde inicio de la campaña.

El trabajo fue realizado en colaboración con el SMN (Servicio Meteorológico Nacional). Este organismo brindó, para cada sitio de estudio, series climáticas históricas y datos meteorológicos actualizados durante la campaña.

## **2.2. SIMULACIONES**

Los modelos de simulación agronómica son herramientas compuestas por una combinación de ecuaciones matemáticas y lógicas que representan un sistema de producción agrícola de manera simplificada (Ritchie 1990). Para este trabajo se seleccionaron los modelos incluidos dentro de la carcasa de DSSAT (Decision Support System For Agrotechnology Transfer) (Jones, Hoogenboom et al. 2003). Los programas incluidos dentro de DSSAT (CROPGRO para soja, CERES-Maize para maíz) son modelos de simulación funcionales dinámicos, de paso diario, sensibles a variaciones en las características del suelo, el clima y las decisiones de manejo (Mercau, Dardanelli et al. 2007).

Los modelos de simulación que forman parte del DSSAT han sido calibrados y validados para la Región Pampeana (Travasso and Delécolle 1995; Travasso and Magrin 1998; Calviño, Sadras et al. 2003; Salvagiotti, Castellarín et al. 2003; Mercau, Dardanelli et al. 2007). En diferentes evaluaciones realizadas ambos modelos han mostrado un error promedio cercano al 17% en la predicción de rendimientos a nivel de lote bajo condiciones de campo (Guevara, Meira et al. 1999; Mercau, Satorre et al. 2001).

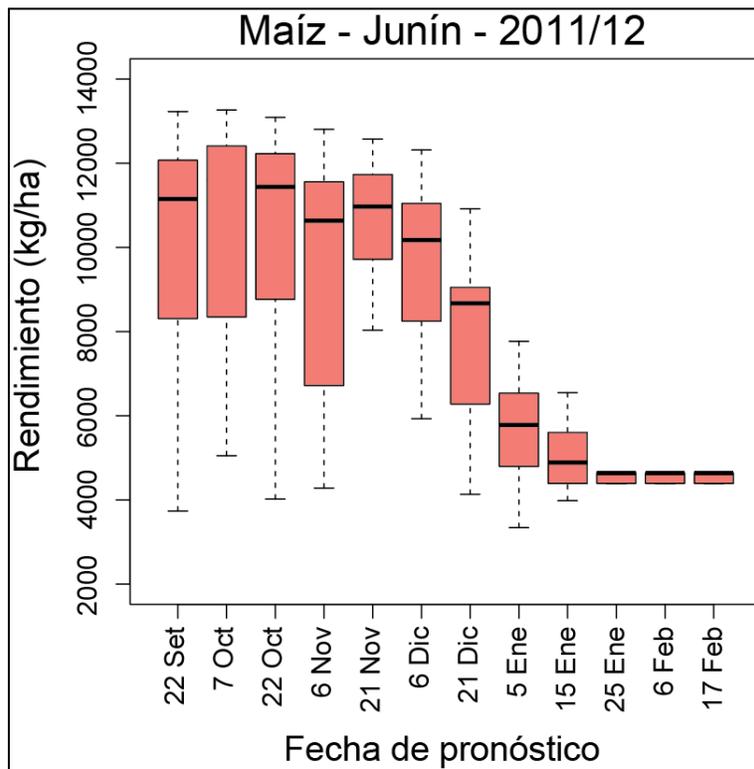
La información de suelo requerida para el funcionamiento de los modelos se determinó en base a los tipos de suelos predominantes en cada localidad. La selección de los suelos predominantes se basó en la información disponible en el Instituto de Suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Las simulaciones se iniciaron desde el 1<sup>o</sup> de agosto de 2011 (45 y 92 días antes de la siembra de maíz y soja, respectivamente) para reproducir de manera más ajustada la cantidad de agua almacenada al momento de la siembra, variable importante en la definición del rendimiento (y asociada con las lluvias previas al inicio del ciclo del cultivo). A su vez, se determinó un manejo característico de cada cultivo en cada región.

El pronóstico de rinde fue desarrollado para 5 localidades distribuidas dentro de la Región Pampeana: Azul, (Buenos Aires) Junín (Buenos Aires), General Pico (La Pampa), Pilar (Córdoba) y Paraná (Entre Ríos). A modo de ejemplo, aquí solo se presentarán algunos de los resultados obtenidos en la localidad de Junín (Bs. As.) para la campaña agrícola 2011/12.

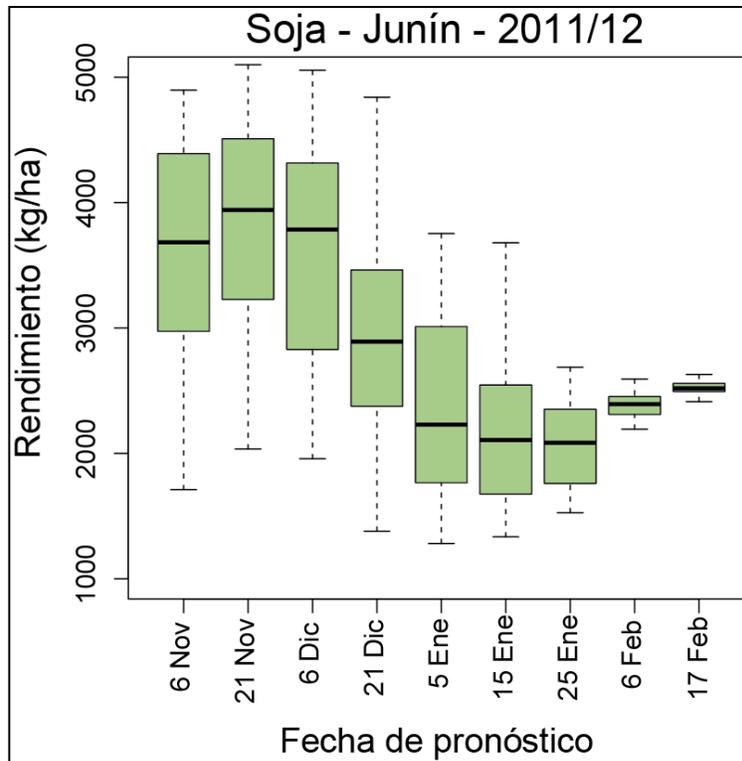
## **3. RESULTADOS**

La variabilidad (y por lo tanto incertidumbre) del rinde pronosticado va disminuyendo a lo largo de las sucesivas simulaciones, tanto para soja como para maíz (Figuras 2 y 3). Esto es esperable dado que cada nueva simulación agrega datos meteorológicos observados (reemplazando datos históricos) que reducen el rango de variación esperable para lo que resta del cultivo. Por ejemplo, para las simulaciones cercanas a la siembra de maíz, el rinde varía entre 4000 y 13000 kg/ha (Figura 2). La utilidad de este pronóstico puede ser relativa dado el gran rango de variación. Sin embargo, la misma se reduce y, 50 días antes de la cosecha, la variación es solamente de 400 kg/ha. Por otro lado, en algunos casos, la variabilidad de un pronóstico puede aumentar con respecto al anterior. Esto ocurre, por ejemplo, entre los pronósticos de maíz del 21 de noviembre y 6 de diciembre donde, con la

incorporación de 15 días sin lluvias (Figura 4), se generan combinaciones de condiciones climáticas (observado más escenario climático) que aumentan la variabilidad de los resultados. El momento a partir del cual se alcanza un pronóstico con incertidumbre aceptable podría variar entre diferentes campañas, ya que las condiciones climáticas particulares de cada año pueden influir sobre la variabilidad de los rendimientos esperados. Por ejemplo, un año donde la recarga de humedad de los perfiles y las precipitaciones en las primeras etapas del cultivo sean altas, la sensibilidad del cultivo a las lluvias en el resto del ciclo será menor y, por lo tanto, podrán obtenerse pronósticos estables más temprano.

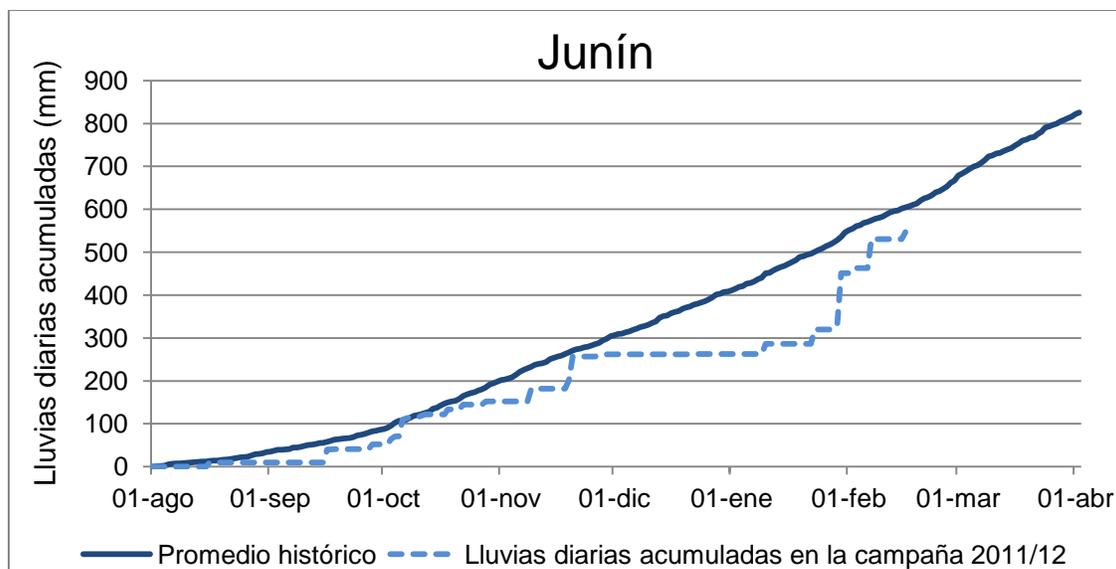


**Figura 2.** Pronóstico de rendimiento de maíz en Junín en distintas fechas de la campaña 2011/12. Boxplots elaborados en base a 40 valores de rendimiento simulados en cada fecha de pronóstico (i.e. un valor de rendimiento por cada año de la serie climática histórica).



**Figura 3.** Pronóstico de rendimiento de soja en Junín en distintas fechas de la campaña 2011/12. Boxplots elaborados en base a 40 valores de rendimiento simulados en cada fecha de pronóstico (i.e. un valor de rendimiento por cada año de la serie climática histórica).

Los niveles o valores de rinde pronosticado entre distintas fechas no siempre tienen la misma tendencia: por ejemplo, en una determinada fecha los niveles de rinde pronosticado pueden disminuir y luego aumentar. Estas variaciones se relacionaron, principalmente, con la marcha de las precipitaciones durante el ciclo. Por ejemplo, para la soja los rindes pronosticados, aumentaron en noviembre, disminuyeron entre fines de noviembre y mediados de enero, y luego volvieron a aumentar a partir de la segunda quincena de enero (Figura 3). Esto coincide con las lluvias de noviembre, la sequía de diciembre/enero y el regreso de las precipitaciones hacia finales de enero y febrero (figura 4). Por otro lado, en el caso de maíz, las lluvias de fines de enero y febrero no tuvieron impacto sobre los rendimientos esperados, ya que para ese momento el rinde se encontraba definido. De esta manera, el esquema resulta útil para cuantificar el efecto de las condiciones meteorológicas que van ocurriendo a lo largo del ciclo en la formación del rinde. Sin embargo, debido a la alta variabilidad entre e intra-pronósticos, las primeras estimaciones no resultan de utilidad práctica.

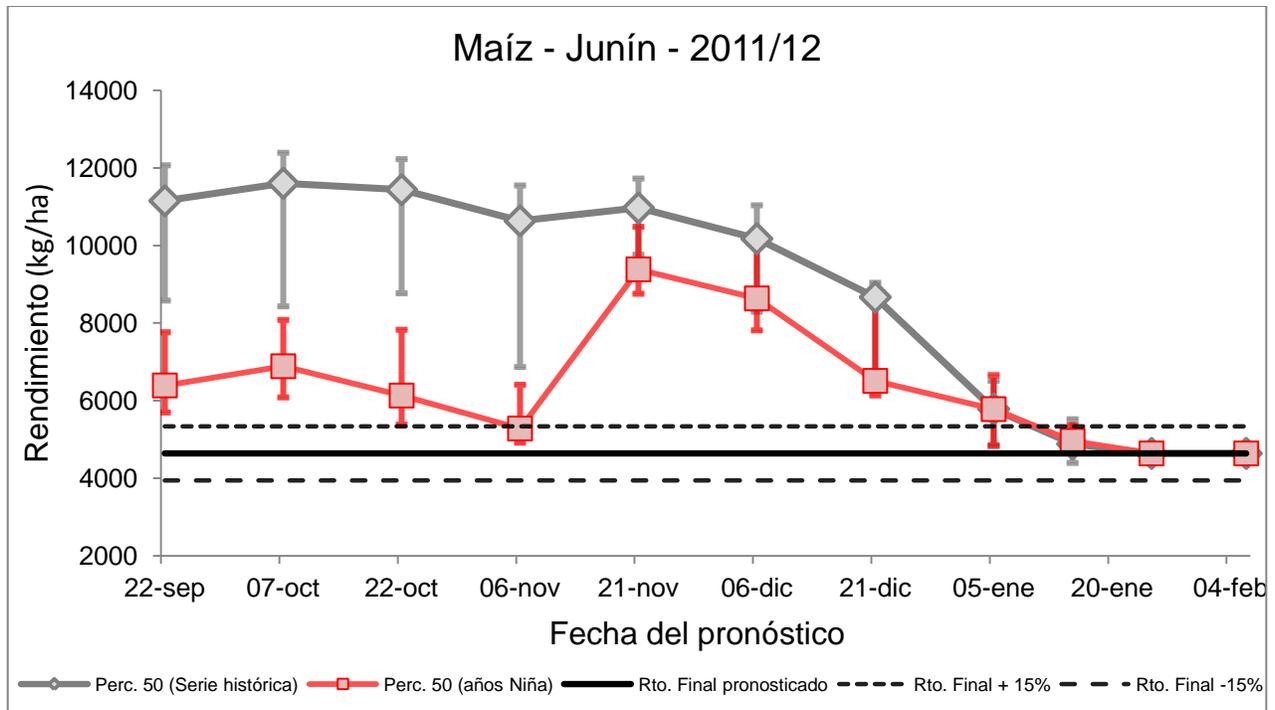


**Figura 4.** Precipitaciones diarias acumuladas para la localidad de Junín. La línea sólida muestra el promedio histórico de precipitaciones diarias acumuladas entre los años 1971 y 2010. La línea punteada corresponde a las precipitaciones diarias acumuladas entre el 1/8/2011 y el 16/2/2012.

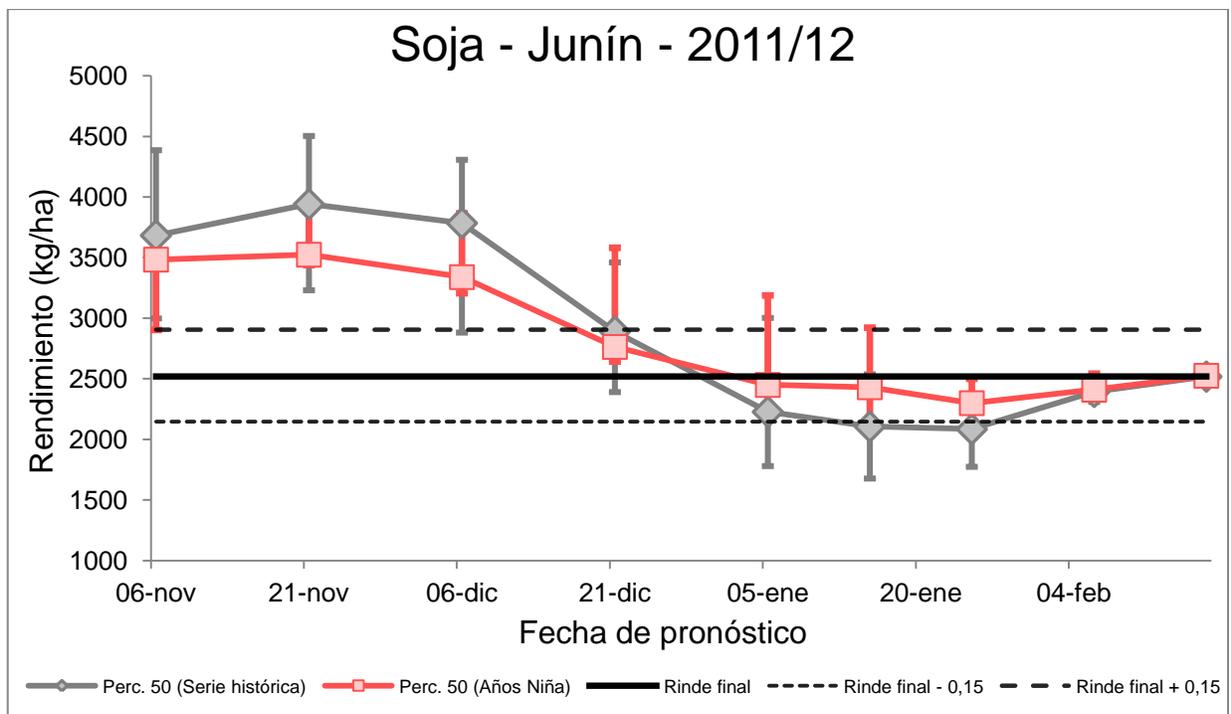
El esquema desarrollado permitió obtener pronósticos de rinde con un nivel de precisión aceptable hasta 2 meses antes de la cosecha para ambos cultivos. De manera arbitraria, se determinó como *precisión* aceptable a una diferencia menor al 15% entre el rinde mediano de cada fecha y el rinde final pronosticado (al fin del ciclo del cultivo). De la misma manera, se fijó como nivel de *incertidumbre* tolerable a un rango intercuartil (diferencia entre el percentil 75 y 25) menor al 30% del rendimiento mediano pronosticado en dicha fecha. Es decir, para un rendimiento pronosticado de 1000 kg/ha, la diferencia entre el percentil 75 y 25 de dicho pronóstico debe ser menor a 300 kg/ha. De esta forma, quedó definido como pronóstico aceptable a aquel que cumple con las condiciones de *precisión* e *incertidumbre* enunciadas, con la mayor anticipación posible. Además, todos los pronósticos subsiguientes deben cumplir con los requisitos de precisión e incertidumbre para que un pronóstico pueda ser catalogado como “pronóstico aceptable<sup>3</sup>”. Bajo estas condiciones, en maíz, se obtuvo un pronóstico aceptable a partir del 15 de enero, con un error de 245 kg/ha con respecto al pronóstico final (4639 kg/ha) y un rango intercuartil de 1128 kg/ha. Para soja, se pudo obtener un pronóstico aceptable a partir del 6 de febrero, con un error de 127 kg/ha y un rango intercuartil de 139 kg/ha. El pronóstico final para este cultivo fue de 2519 kg/ha. Las diferencias ecofisiológicas entre cultivos determinan diferencias en relación al momento en que pueden obtenerse buenas predicciones.

Con el fin de reducir la incertidumbre de los pronósticos, se corrieron los modelos sólo con los años Niña (fase que desde la siembra de los cultivos se pronosticaba). Esta metodología permitió, en algunos casos, reducir la incertidumbre y mejorar la precisión de los pronósticos. De esta manera, en todas las fechas de pronóstico, las estimaciones realizadas con los años Niña estuvieron más cerca del rinde final pronosticado que las estimaciones realizadas con todos los años de la serie (Figuras 5 y 6). Esto ocurrió para los dos cultivos y con mayor diferencia en los primeros pronósticos. Por otro lado, el efecto de la inclusión de los años Niña sobre la incertidumbre de los resultados fue más variable entre fechas y cultivos. Sin embargo, en promedio, redujo la variabilidad de las estimaciones y, en soja, permitió obtener un pronóstico aceptable 12 días antes (25 de enero) (Figura 6). En maíz, el pronóstico aceptable con años Niña se obtuvo en la misma fecha que con todos los años de la serie (15 de enero).

<sup>3</sup> Por ejemplo: Si en la fecha 3 el rinde pronosticado tiene una diferencia menor al 15% (respecto al rinde final pronosticado) y una diferencia intercuartil menor al 30% (del rinde mediano de esa fecha), pero en la fecha 4 alguna de las condiciones (de precisión e incertidumbre) no se cumple, la fecha 3 no puede considerarse como pronóstico aceptable.



**Figura 5.** Rindes pronosticados de maíz para distintas fechas y escenarios climáticos. Los rombos grises indican el rendimiento mediano (percentil 50) de las simulaciones realizadas con los 40 años de la serie histórica. Los cuadrados rojos indican el rendimiento mediano de las simulaciones realizadas sólo con años Niña. Las barras de error corresponden a los percentiles 25 y 75 de la distribución de rindes de cada fecha. La línea sólida negra muestra el rendimiento final pronosticado, mientras que las líneas punteadas corresponden al rendimiento final + y - 15% (rango de precisión aceptable).



**Figura 6.** Rindes pronosticados de soja para distintas fechas y escenarios climáticos. Los rombos grises indican el rendimiento mediano (percentil 50) de las simulaciones realizadas con los 40 años de la serie histórica. Los cuadrados rojos indican el rendimiento mediano de las simulaciones realizadas sólo con años Niña. Las barras de error corresponden a los percentiles 25 y 75 de la distribución de rindes de cada fecha. La línea sólida negra muestra el rendimiento final pronosticado, mientras que las líneas punteadas corresponden al rendimiento final + y - 15% (rango de precisión aceptable).

## 4. CONCLUSIONES

Este trabajo presentó un esquema desarrollado para pronosticar el rendimiento de los cultivos de soja y maíz desde el inicio de su ciclo. El esquema propuesto presenta como ventajas la velocidad de ejecución y la objetividad de sus resultados por estar basado en modelos de cultivos validados. Además, permite considerar variables claves en la definición del rinde de los cultivos (e.g. condiciones climáticas, características del suelo, prácticas de manejo de cultivos). En el trabajo se presentaron y discutieron resultados del uso del esquema propuesto para pronosticar el rinde de soja y maíz en la localidad de Junín (Buenos Aires) durante la campaña agrícola 2011-12.

La aplicación del esquema de pronóstico de rindes mostró resultados muy promisorios: permitió entender y cuantificar el impacto de las condiciones climáticas a lo largo del ciclo de los cultivos y, en consecuencia, anticipar el rendimiento antes de la cosecha. La variación de los niveles de rinde pronosticados a través de las diferentes fechas fue consistente con la evolución de las condiciones climáticas, en especial las lluvias. En este sentido, la campaña 2011-12 se caracterizó por fuertes déficit de lluvias (principalmente en diciembre) que fueron disminuyendo progresivamente los niveles de rinde estimados. Por su parte, la variabilidad -y en consecuencia la incertidumbre- de las estimaciones fue reduciéndose en los sucesivos pronósticos (a medida que se incorporaban en las simulaciones nuevos datos climáticos observados). Así, los pronósticos iniciales serían de utilidad relativa debido a su gran variabilidad y su apartamiento respecto a los valores de rinde finales. Sin embargo, tanto para soja como para maíz, desde 2 meses antes de la cosecha se lograron obtener estimaciones de rendimiento con precisión y certidumbre aceptable. Además, el uso (en las simulaciones) de condiciones climáticas asociadas a la fase ENSO de la campaña (i.e. Niña) permitió lograr estimaciones de rinde más precisas con mayor anticipación.

Contar con estimaciones precisas de rinde con 2 meses de anticipación podría ser de gran utilidad para diversos actores dentro de la cadena productiva. Por ejemplo, permitiría a los productores prever algunos aspectos del transporte, almacenamiento y venta de su producción. También permitiría a organismos estatales anticipar niveles de recaudación y, eventualmente, definir políticas de apoyo a productores. Sin embargo, se requiere una mejor evaluación de la herramienta para poder realizar un uso masivo de la misma. Por un lado, dada la gran variabilidad climática interanual de la región Pampeana, es necesario analizar la “habilidad” del esquema a lo largo de diferentes campañas agrícolas para entender mejor los límites de precisión y días de anticipación de los pronósticos. Por otro lado, es necesario realizar simulaciones en más puntos en el espacio para evaluar su capacidad de reproducir heterogeneidad espacial y, eventualmente, para utilizar los resultados para pronosticar producción (en este caso deberían implementarse técnicas para estimar superficie sembrada). De esta manera, en el futuro planeamos ampliar el número de situaciones productivas evaluadas (localidades, suelos, etc.).

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- Bert, F. (2007). Evaluación de oportunidades e impedimentos para el uso de información climática en sistemas agrícolas pampeanos. Cátedra de Cerealicultura. Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires: 223.
- Bert, F. E., E. H. Satorre, et al. (2006). "Climatic information and decision-making in maize crop production systems of the Argentinean Pampas." Agricultural Systems **88**: 180:204.
- Bettolli, M. L., W. M. Vargasa, et al. (2009). "Soya bean yield variability in the Argentine Pampas in relation to synoptic weather types: monitoring implications." Meteorological Applications **16**: 501:511.
- Bouman, B. A. M. (1995). "Crop modelling and remote sensing for yield prediction." Netherlands Journal of Agricultural Science **43**: 143:161.
- Calviño, P. A. and J. P. Monzón (2009). Farming Systems of Argentina: Yield Constraints and Risk Management. Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy. San Diego, California., Elsevier Academic Press: 51:70
- Calviño, P. A., V. O. Sadras, et al. (2003). "Quantification of environmental and management effects on the yield of late-sown soybean." Field Crops Research **83**(1): 67:77.
- Chipanshi, A. C., E. A. Ripley, et al. (1997). "Early prediction of spring wheat yields in Saskatchewan from current and historical weather data using the CERES-Wheat model." Agricultural and Forest Meteorology **84**: 223:232.
- Doraiswamy, P. C., S. Moulin, et al. (2003). "Crop Yield Assessment from Remote Sensing." Photogrammetric Engineering & Remote Sensing **69**(6): 665:674.
- Duchon, C. E. (1986). "Corn Yield Prediction Using Climatology." Journal of Climate and Applied Meteorology **25**(5): 581:590.
- Grimm, A. M., V. R. Barros, et al. (2000). "Climate Variability in Southern South America Associated with El Niño and La Niña Events." Journal of Climate and Applied Meteorology **13**(1): 35:58.
- Guevara, E., S. Meira, et al. (1999). Maize simulation for different environments in Argentina. International Symposium: Modelling Cropping Systems. University of Lleida, Catalonia, Spain, European Society of Agronomy: 193-194.
- Hansen, J. W. and M. Indeje (2004). "Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya." Agricultural and Forest Meteorology **125**: 143:157.
- INDEC (2011). Comercio Exterior Argentino 2010. M. d. E. y. F. públicas. Buenos Aires.
- Jones, J. W., G. Hoogenboom, et al. (2003). "The DSSAT cropping system model." European Journal of Agronomy **18**: 235:265.
- Mercau, J. L., J. L. Dardanelli, et al. (2007). "Predicting on-farm soybean yields in the pampas using CROPGRO-soybean." Field Crops Research **100**: 200:209.
- Mercau, J. L., E. H. Satorre, et al. (2001). Evaluación a campo del comportamiento del modelo Ceres en cultivos de maíz del norte de la provincia de Buenos Aires. Proceedings of VII Congreso Nacional de Maíz, Pergamino, Argentina.
- Quiring, S. M. and D. R. Legates (2008). "Application of CERES-Maize for within-season prediction of rainfed corn yields in Delaware, USA." Agricultural and Forest Meteorology **148**: 964:975.
- Ritchie, J. T. (1990). Specifications of the ideal model for predicting crop yields. Climatic Risk in Crop Production: Models and Management for the Semiarid Tropics and Subtropics. R. C. Muchow and J. A. Bellamy. Brisbane, Australia, CAB International: 97:122.
- Ropelewski, C. F. and M. S. Halpert (1987). "Global and Regional Scale Precipitation Patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation." Monthly Weather Review **115**(8): 1606:1626.
- Salvagiotti, F., J. Castellarín, et al. (2003). "El modelo de simulación CERES como herramienta en el diagnóstico de la fertilización nitrogenada en trigo." Informaciones Agronómicas del Cono Sur **17**.
- Travasso, M. I. and R. Delécolle (1995). "Adaptation of the CERES-Wheat model for a large area yield estimation in Argentina." European Journal of Agronomy **4**(3): 347:353.
- Travasso, M. I. and G. O. Magrin (1998). "Utility of CERES-Barley under Argentine conditions." Field Crops Research **57**: 329:333.
- Travasso, M. I., G. O. Magrin, et al. (2009). "The use of SST and SOI anomalies as indicators of crop yield variability." International Journal of Climatology **29**: 23:29.