



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Efecto del cambio climático sobre la producción de soja y maíz en Azul-BA, Argentina



*Adriana Confalone¹; Miguel Navarro²; Carlos Vilatte³; Laura Aguas⁴;
Mónica Barufaldi⁵; Ayelén Larsen⁶; Griselda Ponce⁷.*

¹ Ing. Agr., Prof. Adj., FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina, Tel: (54) 2281-433291/93, aec@faa.unicen.edu.ar

² Ing. Agr., Prof. Aso., FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina

³ Ing. Agr., JTP, FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina

⁴ Ing. Sist., Prof. Adj., FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina

⁵ Ing. Agr., JTP, FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina

⁶ Becaria CIC BA, FCH- UNCPBA, Tandil, BA, Argentina

⁷ Técnica FA- UNCPBA, Azul, BA, Argentina

RESUMEN: El rendimiento del cultivo es el resultado de las interacciones en el *continuum* suelo-planta-atmósfera de los modelos de cultivos. El objetivo de este trabajo fue determinar los impactos del cambio climático en el rendimiento de soja y maíz en Azul, Buenos Aires, Argentina por medio de los modelos de cultivos del DSSAT previamente calibrados bajo las condiciones locales. Se utilizaron las proyecciones del modelo climático regional PRECIS bajo el escenario SRESA2 para las décadas 2020-29 y 2050-59 con el fin de obtener los rendimientos potenciales. Posteriormente, se analizaron las temperaturas máximas y mínimas desde 1988 hasta la actualidad para determinar las olas de calor que afectaron a la región. Se seleccionó la ola de calor de mayor duración e intensidad para evaluar los efectos que esas condiciones extremas de calor y sequía ejercieron sobre los cultivos en comparación con un año “normal”. En el cultivo de maíz bajo riego se observó un 27 % de aumento en el rendimiento, mientras en condiciones de secano, una disminución del 36 % debido al déficit hídrico. En el cultivo de soja, se presentaron disminuciones tanto en condiciones de riego (13 %) como de secano (19 %).

PALABRAS-CLAVE: cambio climático, ola de calor, soja, maíz.

Effect of climate change on the production of soybeans and maize in Azul-BA, Argentina

ABSTRACT: Crop yield is the result of the interactions in the soil-plant-atmosphere *continuum* of crop models. The goal of this study was to determine the impact of climate change on the yield of soybean and corn in Azul, Buenos Aires, Argentina, through DSSAT crop model previously calibrated under local conditions. Projections of regional climate model PRECIS under SRESA2 scenario for 2020-29 and 2050-59 decades for the potential yields were used. Subsequently, the maximum and minimum temperatures were analyzed from 1988 to the present to determine the heat wave events that affected the region. The heat wave of longer duration and intensity was selected to evaluate the effects that these extreme heat and drought conditions had on crops when compared with a "normal" year. The irrigated maize crop was estimated to have increased 27 % in yield, but under rainfed conditions, a decrease of 36 % due to water deficit was observed. In soybean, reductions were present both under irrigation (13 %) and rainfed (19%) conditions.

KEY WORDS: climate change, heat-wave, soybean, maize.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



INTRODUCCIÓN

El cambio climático ha afectado los sistemas agrícolas en varias regiones del mundo. Los informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático incluyen una lista de agroecosistemas con evidencias científicas de tal efecto (IPCC, 2001, 2014).

En Argentina se han detectado cambios significativos en el clima desde finales del siglo XX, que han influido en la producción de cultivos y han contribuido en el aumento de los rendimientos de secano; este cambio en las condiciones climáticas, sumado a las condiciones económicas, produjo modificaciones en el uso de la tierra, destacándose la expansión del cultivo de soja en el país, como en Brasil y Uruguay en detrimento de otros cultivos. (MAGRIN *et al.*, 2007).

La Construcción de escenarios futuros de cambio climático por medio de modelos climáticos regionales como MM5, PRECIS y RegCM3 proyectan para la región centro y sudeste de la provincia de Buenos Aires un aumento de temperatura inferior a los 2 °C hasta la década de 2050-2060 (MARENGO *et al.*, 2009; ALVES y MARENGO, 2010; CABRE *et al.*, 2010). Si bien se han identificado los impactos potenciales del cambio climático sobre los sistemas agrícolas para varios cultivos en la región pampeana utilizando los modelos del DSSAT, los resultados presentan una gran variabilidad espacial, sumado al hecho de que los modelos no fueron calibrados localmente. Por otra parte, la estimación de los impactos potenciales del cambio incluye la credibilidad o certidumbre de los escenarios climáticos con proyecciones que fueron realizadas para un período de 10 años, lo cual impide evaluar aspectos de suma importancia para la actividad agrícola como lo es la variabilidad interanual. (MAGRIN *et al.*, 2007, TRAVASO *et al.*, 2007).

En la actualidad, existe una creciente preocupación por el efecto de los eventos extremos en la seguridad alimentaria mundial, principalmente por la alta probabilidad de aumento de frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor dadas por las proyecciones del cambio climático (MEEHL y TEBALDI, 2004). Estas suelen definirse como períodos prolongados de calor extremo, aunque no existe una definición rígida (ROBINSON, 2001).

Si bien se han realizado diversos experimentos en cámaras de cultivo y a campo para evaluar la productividad de los cultivos y la mitigación de los efectos de las olas de calor, se ha demostrado que el uso de modelos de cultivos mecanicistas es superior a otros métodos, ya que simula las respuestas biofísicas de los cultivos utilizando prácticas locales de manejo de cultivos (CHUNG *et al.*, 2014).

El objetivo de este trabajo es determinar el impacto que el clima futuro pueda tener sobre el rendimiento del cultivo de soja, utilizando las proyecciones climáticas dadas por el modelo climático regional PRECIS para las décadas 2020-29 y 2050-59, evaluando el efecto que la principal ola de calor tuvo sobre el rendimiento de los cultivos de soja y maíz en Azul, centro de la provincia de Buenos Aires.

MATERIAL Y MÉTODO

Se utilizó la base de datos agrometeorológicos diarios (radiación solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa y viento) del período 1988-2014 de la estación central de la Facultad de Agronomía de Azul-UNCPBA (latitud: 36°45'S; longitud: 59°57'W, altitud: 132 m s. n. m.) (CRAGM, 2014).

La existencia de una ola de calor fue determinada cuando las temperaturas máxima y mínima (TMAX y TMIN) superen los umbrales determinados por el percentil 90 (P₉₀) durante tres días consecutivos como mínimo. Las olas separadas por un intervalo de un día se considerarán constituyentes de la misma ola cuando una de las dos variables, TMAX o TMIN, supere su umbral en ese día intermedio; en este caso la duración de la ola será el número total de días. A partir de los valores umbrales

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

determinados por el percentil 95 (P_{95}), se establece la serie de frecuencias de las olas de calor más intensas, que estarán incluidas en la serie anterior (ROBINSON, 2001).

Se utilizaron los modelos del DSSAT v.4.5 (Decision Support System for Agrotechnology Transfer-Cropping system model) (HOOGENBOOM *et al.*, 2012), cuyos modelos de soja y maíz fueran previamente calibrados para las condiciones locales.

En el análisis del impacto del clima futuro sobre el rendimiento de los cultivos, se trabajó con los datos obtenidos del Atlas Ambiental de Buenos Aires (AABA, 2010), siguiendo la línea evolutiva SRES A2 (Special Report on Emissions Scenarios A2) (NAKICENOVIC, 2000). El escenario de emisiones de gases de efecto invernadero, denominado A2, fue generado por el Centro de Previsión del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) de Brasil a partir de la información del modelo climático regional de alta resolución PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies) desarrollado por el Hadley Centre (Reino Unido) (AABA, 2010). Considera cambios en la concentración de CO_2 , en la temperatura media anual y precipitación anual acumulada para una región de Sudamérica, que incluye la región centro de Buenos Aires. Las proyecciones para nuestra región son: 614 ppm y 820 ppm de CO_2 , 1 °C y 2 °C de aumento de temperatura para la década 2020-29 y 2050-59, respectivamente. Con respecto a la precipitación, el modelo proyecta un aumento de 3% para la década 2050-59, manteniendo sin cambios las de 2020-29. Con esos valores, se modificó el archivo estacional del DSSAT, utilizando los datos agrometeorológicos diarios del período 1988-2014 de la estación principal del Centro Regional de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de Azul (CRAGM, 2014).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizando el impacto del cambio climático sobre los cultivos en condiciones de regadío y secano (Figura 1), se puede observar un aumento en las proyecciones del rendimiento para las futuras décadas 2020-29 y 2050-59, en comparación con el clima actual para la fecha de siembra consideradas normales en la región (1 de noviembre para maíz y 12 de noviembre para soja).

En los cultivos irrigados, se prevén aumentos de 9 % y 22 % para la década 2020-29, mientras que para la década 2050-59 las proyecciones de esos aumentos son de 16 % y 26 % para maíz y soja, respectivamente. En condiciones de secano, los incrementos en el rendimiento son de 19 % y 25% (década 2020-29) y 26% y 27% (década 2050-59) en comparación con el rendimiento actual para maíz y soja, respectivamente. La soja, por ser una especie C_3 , presenta mayores incrementos por el efecto fertilizante y potenciador del CO_2 .

Otros trabajos han previsto aumentos en el rendimiento de diversos cultivos en la región pampeana utilizando versiones anteriores del DSSAT y el modelo regional MM5-CIMA bajo el mismo escenario SRES A1 (MAGRIN *et al.*, 2007; MURGIDA *et al.*, 2014).

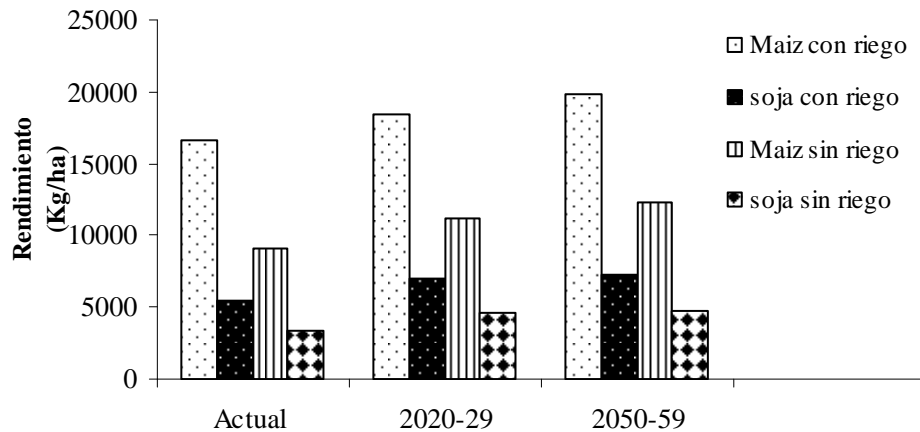


Figura 1. Rendimiento potencial de los cultivos de maíz para el clima actual y las proyecciones de las décadas futuras.

El atraso en la fecha de siembra muestra un aumento en los rendimientos (15 días de atraso provoca un aumento del 3-4 % para el clima futuro en soja y 34-63 % en maíz). Los cambios de temperatura proyectados, permitirían desplazar el ciclo del cultivo de maíz hacia condiciones térmicas más favorables, sin correr riesgos de heladas. Estos resultados, muestran que el cultivo de soja sería poco afectado por los escenarios climáticos futuros por lo que existe una gran probabilidad de que la tendencia en la expansión del cultivo continúe.

En el análisis de las olas de calor registradas en Azul, los umbrales indicados por el percentil 90 para toda la serie, que incluye 1643 casos, fueron 33,1 °C y 18,0 °C para las TMAX y TMIN, respectivamente. Esto arrojó un número total de 8 eventos de olas de calor detectadas entre enero de 1988 y enero de 2014, de las cuales sólo la última, que se generó entre el 15 y 18 de enero de 2014 ha sido intensa. La duración y valores promedios de temperatura puede verse en la Tabla 1.

Se puede observar que la ola de calor de mayor duración (9 días) es la que se presenta en diciembre de 2013, verificándose una segunda ola en el mes de enero que, aunque de corta duración (4 días), resultó ser la de mayor temperatura máxima de todo el registro. Ambas olas, forman parte del ciclo de cultivo 2013/14 para maíz y soja y están incluidas en el archivo de datos agrometeorológicos para evaluar el impacto biofísico de estos eventos extremos.

Estas altas temperaturas, sumadas a la sequía ejercen un efecto biofísico notable y diferencial sobre la fisiología de los dos cultivos.

Tabla 1. Eventos “ola de calor” en el período 1988-2014 estación central CRAGM-FAA

año	fecha	Nºdías	TMAX	TMIN
1989	1-7 ene	7	35,3 ± 3,0	18,1 ± 2,0
1997	23-28 ene	6	33,0 ± 1,2	18,7 ± 1,1
2003	13-17 ene	5	33,7 ± 3,1	19,3 ± 1,3
2004	27-29 ene	3	34,2 ± 1,9	19,8 ± 0,7
2005	31 dic-3 ene	4	33,6 ± 1,1	18,8 ± 0,8
2010	26-29 ene	4	34,7 ± 0,8	19,1 ± 0,4
2013	22-30 dic	9	34,6 ± 1,8	18,7 ± 2,5
2014	15-18 ene	4	37,5 ± 1,9	19,1 ± 2,3

En el mes de enero ocurre la fase crítica (prefloración) en maíz, con temperaturas máximas de 38 °C y un déficit hídrico de 50 mm.

En la Figura 2 se contrasta el aumento en la materia seca de granos de un año “normal”, como fue el año de crecimiento 2000/2001 *versus* el período 2013/2014. En el cultivo de maíz bajo riego hay un 27 % de aumento en el rendimiento, porque en Azul las temperaturas de crecimiento reproductivo se encuentran normalmente en un rango subóptimo para una especie C₄. No obstante, en condiciones de secano, se verifica una disminución drástica del rendimiento (36%), debido al déficit hídrico. En el cultivo de soja, se presentan disminuciones tanto en condiciones de riego como de secano (13 % y 19 % menos). El aumento de temperatura para una misma concentración de CO₂, no es beneficioso para una especie C₃.

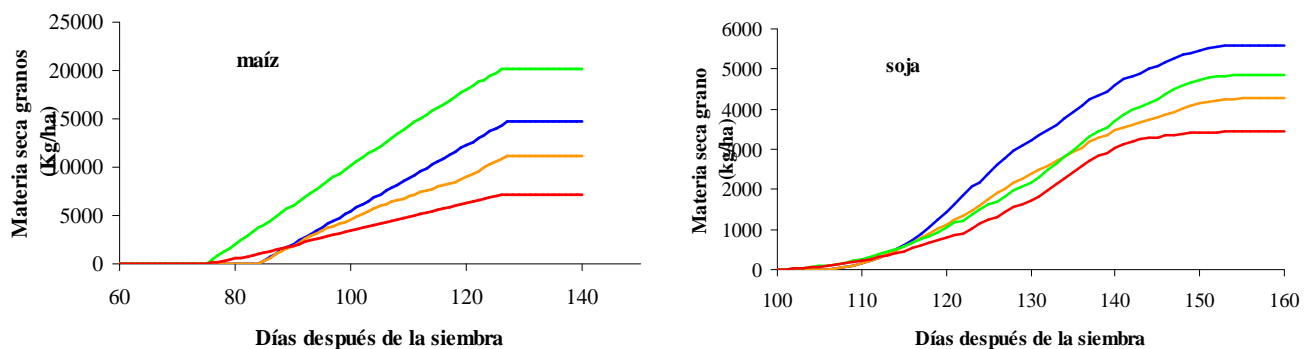


Figura 2. Llenado de granos en cultivo de maíz (izquierda) y soja (derecha) mostrando el efecto de la ola de calor (2013/14) en comparación con un año normal (2000/01).

—: cultivo con riego, año 2000/01; —: cultivo con riego, año 2013/14; —: cultivo sin riego, año 2000/01); —: cultivo sin riego 2013/14.

Lo encontrado se relaciona con lo informado por otros autores quienes expresan que la disponibilidad de agua durante los meses de diciembre-enero, alrededor de la fecha de floración del cultivo de maíz está fuertemente relacionada con los rendimientos y con la respuesta al agregado de fertilizante, mientras que el estrés hídrico afecta la sincronía entre la producción de polen y estigmas, así como la fijación de los granos en las espigas polinizadas (HALL *et al*, 1982; SADRAS *et al*, 1985). Si bien la soja indeterminada tiene mayor posibilidad de escape ante presencia de déficit hídrico, está demostrado que la alta temperatura en condiciones de secano reduce la partición reproductiva, lo que reduce el rendimiento (MOLINO, 2001).

Estos resultados muestran que trabajar con las proyecciones de los modelos regionales sin tener en cuenta la variabilidad, puede llevar a resultados erróneos.

CONCLUSIONES

Para Azul, centro de la provincia de Buenos Aires, los rendimientos potenciales previstos para décadas futuras van en aumento (16 % para soja y 26 % para maíz, en la década 2050-59). Si bien otros autores han documentado incrementos para toda la región pampeana, la variabilidad impuesta por las olas de calor, indica que la soja y el maíz sufrirían en esos eventos una fuerte reducción en el rendimiento, con disminuciones que llegan a 19 % en soja y 36 % en maíz.

Se demuestra la importancia que tiene la utilización de datos agrometeorológicos diarios en este tipo de estudios, así como la necesidad de contar con más investigaciones sobre los efectos de fenómenos extremos para la seguridad alimentaria.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AABA. **Atlas Ambiental de Buenos Aires**. 2010. Disponible en: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar>. (Fecha de consulta: 16/12/2014).
- ALVES, L; MARENGO, J. 2010. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America. **Theoretical and Applied Climatology**. v.100, p. 337-350. 2010.
- CABRE M. *et al.* Creating regional climate change scenarios over southern South America for the 2020's and 2050's using the pattern scaling technique: validity and limitations. **Climatic Change**. v.98, p. 449-469. 2010.
- CHUNG, U. *et al.* Modeling the effect of a heat wave on maize production in the USA and its implications on food security in the developing world. **Weather and Climate Extremes**. v.14, p. 67-77. 2014.
- CRAGM. Centro Regional de Agrometeorología. **Boletín Agrometeorológico del Centro-Sur de la Provincia de Buenos Aires** (serie 1988-2014). Facultad. Agron. Azul, Buenos Aires. 2014.
- HALL, A. *et al.* 1982. The effects of water stress and genotype on the dynamics of pollen-shedding and silking in maize. **Field Crops Res.** v.5, p.349-363.
- HOOGENBOOM, G. *et al.* DSSAT: Decision Support System for Agrotechnology Transfer, version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii. 2012.
- IPCC. Intergovernmental Panel on climate change. 2001. McCarthy, J.; Canziani, O.; Leary, N.; Dokken, D.; White, K. (ed). **Climate Change. Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. 2001, 45p.
- IPCC. Intergovernmental Panel on climate change 2014. **Report: Climate Change 2014**. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>. (Fecha de consulta: 20/09/2015).
- MAGRÍN, G. *et al.* **Latin-America Climate Change 2007: impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, UK. 2007, 34p.
- MARENGO, J. *et al.* Future change of temperature and precipitation extremes in south America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **Int J Climatol**. v.29, p.2241-2255. 2009.
- MEEHL, G.; TEBALDI, C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. **Science**, v.305, p.994-997. 2004.
- MOLINO, J. **Estrés térmico por alta temperatura en soja (*Glycine max (L.) Merr.*): análisis de la dinámica de producción y fijación de vainas y su efecto sobre la determinación del rendimiento**. 2001. 66p. Tesis presentada para optar al grado de Magíster de la Universidad de Buenos Aires. Área Producción Vegetal. Buenos Aires, Argentina. 2001.
- MURGIDA, A. *et al.* **Evaluación de impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en la Argentina**. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 2014. 70 p. (Serie Medio Ambiente y Desarrollo, N° 155).
- NAKICENOVIC, N. *et al.* **Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, U.K. 2000. 599 p.
- ROBINSON, P. On the definition of a heat wave. **Journal of Applied Meteorology** v.40, p.762-775. 2001.
- SADRAS, V. *et al.* Kernel set in the uppermost ear in maize. II. A simulation model of the effects of water stress. **Maydica**, v.30, p. 49-66. 1985.
- TRAVASSO, M. *et al.* Climate change impacts on regional maize yields and possible adaptation measures in Argentina. **International Journal of Global Warming**. v.1, p. 201-213. 2007.