

CAMBIOS EN EL CLIMA Y RENDIMIENTO DE MAÍZ EN AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

M. Carolina Miranda del Fresno¹, Laura Aguas², Fabricio Bongiorno², Carlos Vilatte² y
Adriana Confalone^{2,3}

Resumen

El rendimiento de un cultivo es resultado de las interacciones en el *continuum* suelo-planta-atmósfera a largo del tiempo. La comprensión de esta interacción, así como la descripción de los efectos del clima sobre el rendimiento demanda un esfuerzo continuo para reducir los impactos negativos del cambio climático y preservar la seguridad alimentaria. El objetivo de este trabajo es analizar la serie de rendimientos del cultivo de maíz desde 1988 a 2015 y determinar el efecto que en ellos han tenido las variables agrometeorológicas en el Partido de Azul, provincia de Buenos Aires. Los resultados muestran que, al eliminar el aumento provocado por los avances tecnológicos, los rendimientos caen en la última década entre un 1,5% y 23% y la variabilidad aumenta, pasando de 25-28% (en el período 1988-2004) a 40-43% (en el período 2005-2015), según la serie analizada, siendo explicados por la disminución de la cantidad de precipitaciones registradas en Azul y por el aumento en la variabilidad de las mismas. El rendimiento potencial alcanzable por el maíz, aumentó 3% en la última década debido a aumentos en la radiación global y modificaciones en las temperaturas.

Introducción

El clima y los rendimientos de los cultivos están estrechamente relacionados. La agricultura es una de las actividades humanas más dependientes y sensibles a las variaciones que presenta el clima por lo que son necesarios estudios adicionales con datos a largo plazo, como así también estudios sobre el rendimiento de un lugar o una región para comprender mejor estas relaciones (Llano & Vargas, 2015). En Argentina se han detectado cambios significativos en el clima desde finales del siglo XX (Magrín *et al.*, 2007). En este sentido, los informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático incluyen una lista de agroecosistemas con evidencias científicas del efecto de estas modificaciones en distintas regiones del mundo (IPCC, 2014).

Dentro del análisis de la variabilidad en los cultivos, uno de los factores estudiados es la tecnología. La misma se ha venido utilizando en la agricultura desde la Segunda Guerra Mundial, para alcanzar altos niveles de rendimiento en los cultivos (García *et al.*, 1987). Además del clima, los rendimientos están afectados por diferentes factores, tales como la calidad del suelo, la genética de las semillas y las diferentes técnicas de gestión en la producción. Desde la segunda mitad del siglo XX se han adaptado nuevas tecnologías para el desarrollo de la agricultura, llevando a lo que produjo que los niveles de rendimiento asciendan en forma considerable, como mejoras en las variedades de cultivos e incrementos en las tasas de fertilización (Thompson, 1986).

¹ Becaria CIC-PBA. CINEA, FCH-UNCPBA. cmdelfresno@fch.unicen.edu.ar.

² Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). laguas@faa.unicen.edu.ar, fbongiorno@faa.unicen.edu.ar, c.vilatte@faa.unicen.edu.ar.

³ Investigador asociado a CIC-PBA. aec@faa.unicen.edu.ar.

En el partido de Azul, desde el punto de vista climático, analizando la serie 1931-2006, el incremento de la temperatura media anual del partido fue de 0,9 °C, a una tasa de 0,012 °C/año, y mostró un quiebre de tendencia en las anomalías térmicas entre 1967-1968 sin que la variabilidad anual se haya modificado, por lo que ese incremento no se debe a fluctuaciones propias en la variabilidad climática sino a un aumento sostenido en el balance de ondas largas (Navarro *et al.*, 2011). Algunos índices de variabilidad climática interanual del centro de la provincia de Buenos Aires, muestran características diferentes del resto de la región pampeana. Fernández Long *et al.* (2011) encontraron en la zona norte de la región pampeana, un fuerte impacto del índice ENOS sobre el rendimiento del maíz, mientras que en el centro-sudeste de la provincia de Buenos Aires el impacto se mostró débil, evidenciando un comportamiento diferente que en el resto de la región, con valores de correlación negativos. Trabajos previos también habían demostrado que la señal del ENOS sobre las precipitaciones de la región pampeana se debilitaba hacia el sur (Barros & Silvestri, 2002) y en trabajos recientes, Vilatte *et al.* (2017) demuestran que el ENOS no está correlacionado con la variabilidad de precipitación en Azul, centro de la provincia de Buenos Aires, lo que hace más necesario el estudio del clima en esta región.

El maíz es uno de los principales cultivos de verano, después de la soja, que mayor superficie ocupa en la región Pampeana y su grano representa para Argentina y la mayoría de los países del mundo, el ingrediente más utilizado como suplemento energético en la alimentación del ganado bovino (SIIA, 2015). El mismo se cultiva en Azul en condiciones de secano (sin riego y recibiendo sólo el aporte de la precipitación).

En las últimas décadas del siglo XX se produjeron incrementos en los rendimientos de los cultivos de verano en la región pampeana, debido a los aumentos en las precipitaciones y en menor medida a los cambios en la temperatura (Magrin *et al.*, 2005). En el período de vegetación de las plantas, las condiciones climáticas (como la precipitación y temperatura) afectan el crecimiento y rendimiento del maíz provocando variaciones en los mismos. La descripción de los efectos del clima demanda un esfuerzo continuo para mejorar la tecnología en la agricultura y generar una estrategia de gestión que reduzca los impactos negativos del cambio climático, aumente el rendimiento de maíz (Hu & Buyanovsky, 2003) y preserve la seguridad alimentaria (IPCC, 2014). Por eso, se plantea como objetivo de este trabajo analizar la serie de rendimientos del cultivo de maíz desde 1988 a 2015 y determinar el efecto que en ellos ha tenido el clima de Azul, provincia de Buenos Aires.

Materiales y Métodos

1. Los datos agrometeorológicos utilizados son temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), precipitación (pp) y radiación global (RG) ya que constituyen los principales elementos que regulan el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Se utiliza la serie 1988-2015 por ser el período que el Centro Regional de Agrometeorología de la Facultad de Agronomía de Azul (CRAM) presenta datos propios. Si bien estrictamente se denomina clima al promedio de los elementos meteorológicos de un período de 30 años, en el presente trabajo se utilizan datos de 27 años y se compara la última década (con los años anteriores de la serie).

2. Como variable que identifica a los cultivos se utiliza el rendimiento, el mismo está expresado en unidades de kilogramo por hectárea y refleja lo ocurrido en cada campaña para el total del partido, dichos datos fueron obtenidos a partir de las estadísticas del Sistema Integral de Información Agropecuaria (SIIA, 2015).

Con el fin de eliminar de la serie de rendimientos la tendencia al aumento, producido por el avance en la tecnología (nuevos híbridos, mejoras en niveles de fertilización, sistemas de siembra, etc.), se probaron distintos modelos de ajuste (lineal, polinomio de grado 2, etc.). Diversos autores sugieren eliminar la tendencia presente en las series de rendimiento ya que la asocian a los avances en tecnología, mientras que las variaciones interanuales las relacionan con las

fluctuaciones climáticas. (Hazell, 1985; Rocca da Cunha *et al.*, 1999; Hu & Buyanovsky, 2003). De esta forma, se expresa el rendimiento sin tendencia de la siguiente manera:

$$R_{ci} = R_i - [R(x_i) - R(x_0)] \quad (1)$$

Donde,

R_{ci} = rendimiento corregido en el año i .

R_i = rendimiento original del año i .

$R(x_i)$ = rendimiento del año i estimado por el ajuste (lineal, polinomio de 2º grado, etc.).

$R(x_0)$ = rendimiento del año inicial estimado por el ajuste.

3. Como metodología alternativa para eliminar los efectos de diferentes tecnologías y suelos y determinar el elemento que mayor influencia ha tenido en la formación del rendimiento de los cultivos, se utilizó el modelo Ceres-maíz del paquete DSSAT v.4.6 (Hoogenboom *et al.*, 2012). Los cambios en los rendimientos de la última década respecto de años anteriores de la serie fueron correlacionados con cambios en los elementos agrometeorológicos de los meses del ciclo del cultivo (noviembre a marzo). Los modelos de simulación del crecimiento DSSAT permiten la unificación de los formatos de datos de entrada y salida. Los datos requeridos son los relacionadas con:

a) el clima (Tmax, Tmin, pp y RG) que conforman el archivo climático estándar (*.WTH) y que fue cargados con datos agrometeorológicos del CRAGM (2015);

b) el suelo (propiedades físicas y químicas de cada horizonte del perfil) que conforman el archivo de suelo estándar (*.SOIL) y que fue cargado con perfiles de suelos reales (Pazos, 2009);

c) el manejo (residuos, fechas de siembra, fertilización, riego) considerados en el archivo (*.X). En el modelo se consideró la fecha de siembra habitual para el maíz en el centro de la provincia de Buenos Aires: 1 de noviembre;

d) los coeficientes genéticos de los cultivares. Todas las variables de estado de los modelos son calculadas diariamente y se visualizan en las salidas de las simulaciones (*.OUT).

Además, el modelo simula los componentes del rendimiento, cuantificando y graficando el crecimiento diario del cultivo hasta el estadio de madurez fisiológica y de cosecha. La subrutina de desarrollo del cultivo utiliza diferentes ecuaciones así como diferentes valores de temperaturas base, óptima y máxima en función del subperíodo fenológico considerado. Esta subrutina genérica funciona para diferentes especies y cultivares. Las características genéticas de un cultivo están consideradas en los parámetros o coeficientes genéticos contenidos en tres archivos: especie (*.SPE), ecotipo (*.ECO) y cultivar (*.CUL) (Hoogenboom *et al.*, 2012).

Ensayos de campo

Previo a la utilización de este modelo, el mismo fue calibrado para las condiciones locales. Para eso, se sembraron durante tres años consecutivos híbridos de ciclo intermedio de maíz, ya que son los materiales genéticos que habitualmente se utilizan en la región. El maíz creció en condiciones de riego y de secano y sin limitantes desde el punto de vista nutricional, en un suelo Argiudol típico profundo (USDA, 2014; SAGyP-INTA, 1990), característico de la región agrícola del partido. En el cultivo irrigado, el suelo se mantuvo próximo a la capacidad de campo, determinado con el método de Cassel & Nielsen (1986). El contenido de humedad en el suelo fue monitoreado semanalmente según el método gravimétrico (Gardner, 1986). La lámina de agua aplicada diariamente como complemento de la precipitación en el cultivo irrigado fue distribuida por medio de un sistema de riego por goteo y fue calculada mediante la metodología recomendada por la FAO (Allen *et al.*, 1998). Las distintas fases fenológicas del cultivo se determinaron siguiendo la clave de Ritchie *et al.* (1998). Cada 10-15 días fueron determinados el índice de área foliar (IAF) y el peso seco de 0,5m² de cultivo que fue particionado en estructuras vegetativas y reproductivas. Posteriormente a la cosecha, las plantas fueron llevadas a estufa a una temperatura de 65 °C, hasta peso constante. El IAF se midió con un analizador de dosel (LAI

2000, LI-COR, inc). La cosecha final para determinar la producción de granos se realizó sobre las dos hileras centrales de cada parcela.

La calibración se realizó con los datos provenientes de los dos primeros años de cultivo y se dejaron los datos del tercer año para la validación. Más detalles de la parametrización en Confalone *et al.* (2016).

Resultados y Discusión

1.-Características del área de estudio. Datos del partido de Azul.

El partido de Azul se localiza en el centro de la provincia de Buenos Aires, a una distancia de 299 km de la Capital Federal. El mismo se dispone en forma SW-NE, siguiendo la dirección del arroyo Azul que desemboca en el Canal 11, construido con el fin de drenar las aguas de este cauce y de otros arroyos hacia la Bahía de Samborombón para reducir el impacto de inundaciones. Su red vial la posiciona en un sitio de importante conectividad, donde confluyen rutas provinciales y nacionales (Fig. 1).

La cuenca del A° Azul se encuentra dominada por una extensa área llana (cuenca baja con pendientes de $< 0,5\%$), y una restringida zona serrana (cuenca alta con pendientes de $0,1$ a 5%), donde se sitúan las nacientes del A° Azul, ambas áreas conectadas por una zona pedemontana semiplana (cuenca media, con pendientes de $0,5$ a $0,8\%$) (Usunoff *et al.*, 2000).

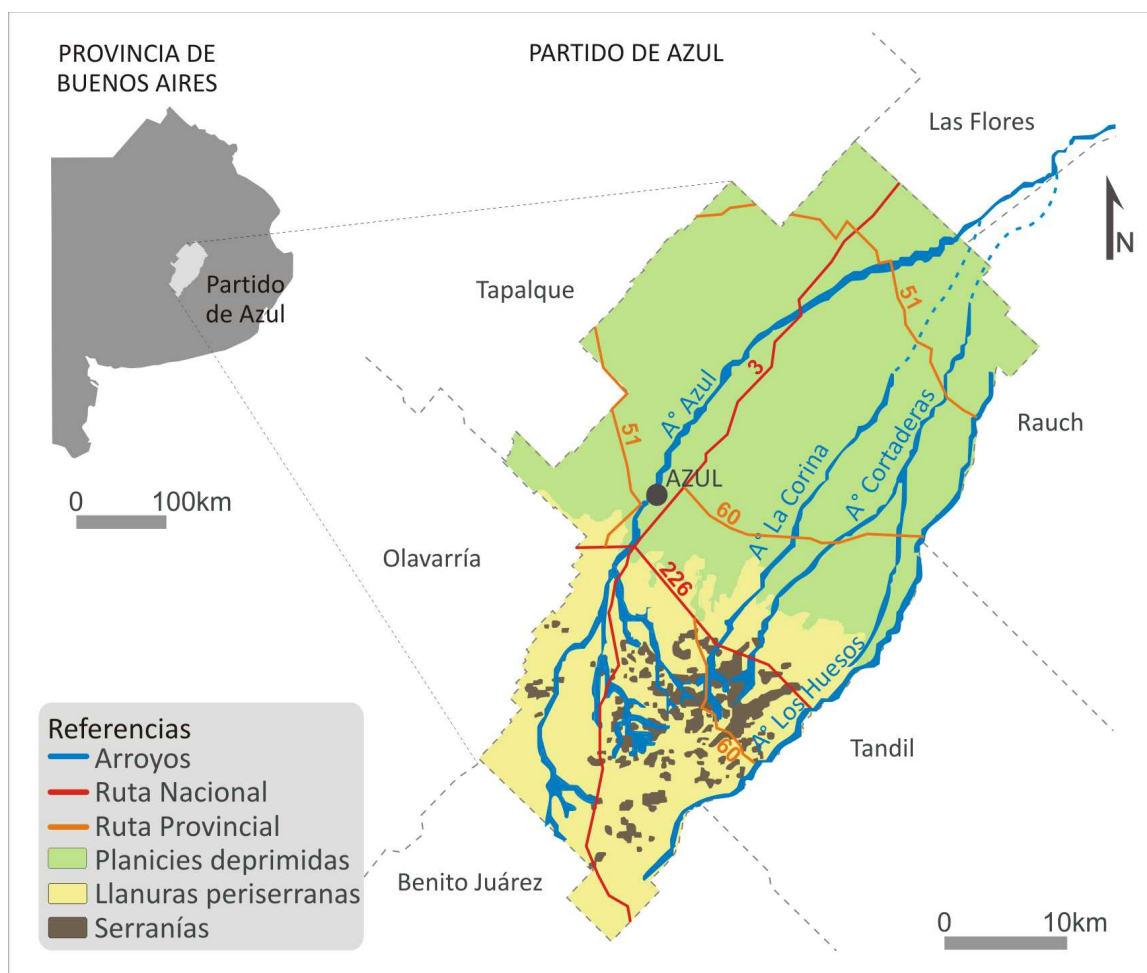


Figura 1. Situación relativa, rutas, hidrografía y geomorfología

Fuente: Vázquez *et al.* (2016)

En relación a sus características climáticas, el partido de Azul posee un clima templado húmedo con influencia oceánica, del tipo Cfb (Köppen, 1931), característico de la región centro-este de la provincia de Buenos Aires. La radiación global, posee una amplia disponibilidad de energía radiante ya que durante cinco meses desde mediados de octubre a mediados de marzo recibe una cantidad igual o superior a 22 Mj/m².d —límite inferior para esperar altas producciones cerealeras u otro tipo de producción vegetal— (Navarro *et al.*, 2011).

La temperatura media anual es de 13,9 °C, siendo de 21,3 °C la del mes más cálido y 7,4 °C la del mes más frío. Las precipitaciones de la región se enmarcan en un régimen de tipo Isohigro, es decir, con una distribución más o menos uniforme a lo largo del año, siendo un poco mayores en los meses estivales, —período en el que el balance hídrico presenta déficits del orden de 20 a 40mm—. Los datos agrometeorológicos diarios (radiación solar, temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa y viento) provienen de la estación del CRAGM (latitud: 36°45' S; longitud: 59°50' W, altitud: 132 m). En la Fig. 2 se pueden ver los valores mensuales de la precipitación acumulada (en barras) y de la temperatura máxima y mínima (líneas) promedio de toda la serie.

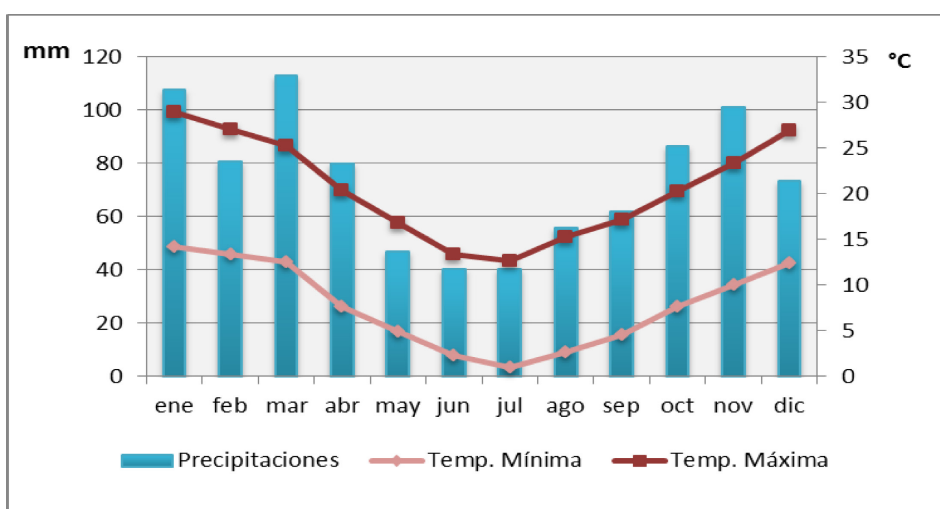


Figura 2. Precipitaciones acumuladas y Temperatura máxima y mínima

Fuente: CRAGM (2015)

2.-Requerimientos del maíz

El maíz para poder crecer requiere una temperatura media de 25 °C a 30° C, así como bastante incidencia de luz solar, es por este motivo que en climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 °C a 20 °C, puede llegar a soportar temperaturas mínimas de hasta 8 °C, y a partir de los 30 °C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes minerales y agua. En la etapa de floración se requieren temperaturas de 20 °C a 32 °C. Las precipitaciones son muy necesarias en el periodo de crecimiento, puesto que el maíz es un cultivo exigente en agua en el orden de unos 5 mm al día, sin embargo las necesidades hídricas van variando a lo largo de la campaña. Cuando las plantas comienzan a nacer se requiere menos cantidad de agua pero sí es necesario mantener una humedad constante. Durante la etapa de la floración es cuando más cantidad de agua demanda, ya que esta etapa es el periodo más crítico porque de ella va a depender principalmente la cantidad de producción. Por último, en la etapa de maduración la cantidad de agua requerida disminuye (Llano & Vargas, 2015).

3.-Variables agrometeorológicas

En la Fig. 3, se muestran las diferencias en las variables agrometeorológicas mensuales en la última década con respecto de años anteriores y considerando los valores promedios para los

meses más importantes en el crecimiento del maíz (noviembre-marzo), se observa que el principal elemento del clima, RG, aumenta un 1,7% en promedio. En cuanto a la Tmax, se mantiene relativamente constante al comparar el promedio de los meses de crecimiento, aumentando sólo 0,7%. La Tmin en cambio, disminuyó 10% en la última década. Y en cuanto a la precipitación acumulada la disminución fue del 6 % en los meses de crecimiento comparado con los años previos de la serie.

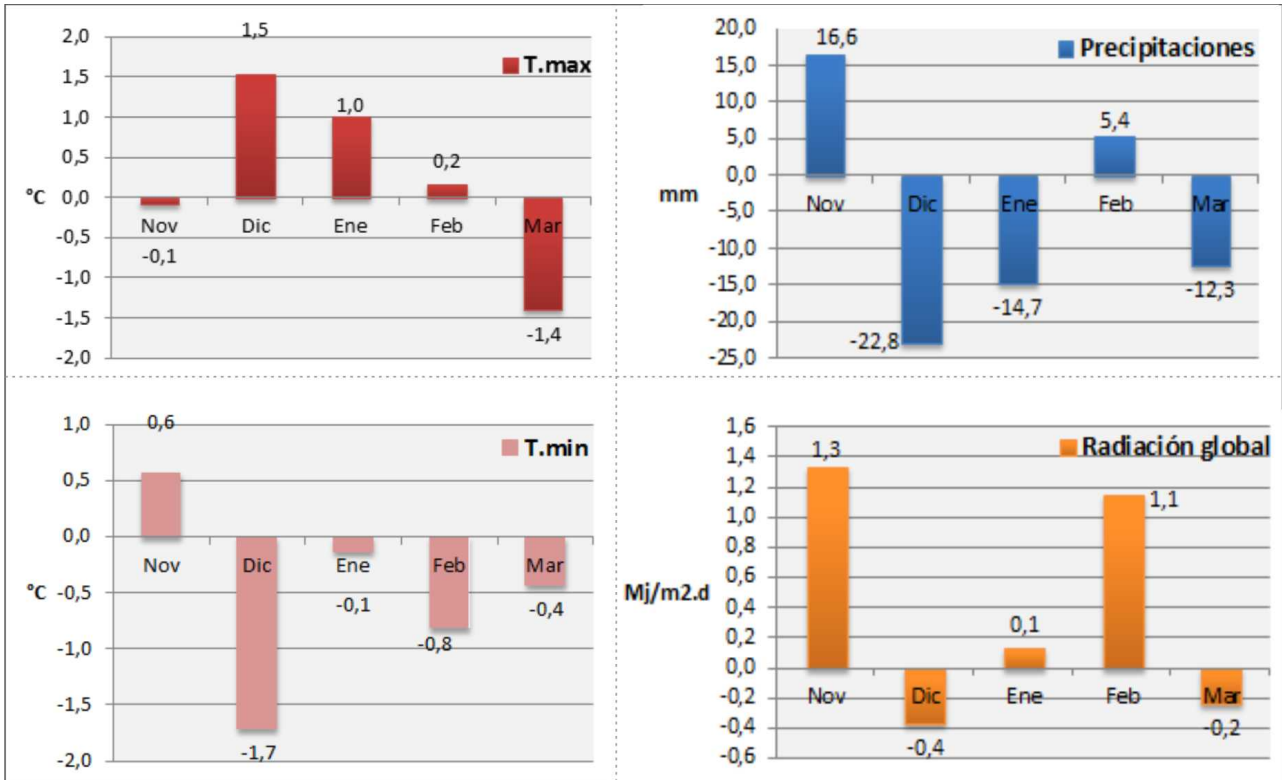


Figura 3. Diferencia entre la última década y los años previos de la serie analizada

En base a los datos obtenidos de las estadísticas de Minagri para la serie de rendimientos del maíz, se exploraron dos ajustes (lineal y cuadrático), optándose por el ajuste lineal (Ec. 1) dado las probabilidades asociadas a los coeficientes lineal y cuadrático fueron 0,8973 y 0,0017, respectivamente. En la Fig. 4 se pueden ver la serie sin corregir y la serie corregida. El avance en la tecnología (nuevos materiales genéticos, sistema de siembra, etc.) produce en Azul un aumento del rendimiento de 28%. Este efecto queda eliminado al ser corregida la serie por la ec. 1.

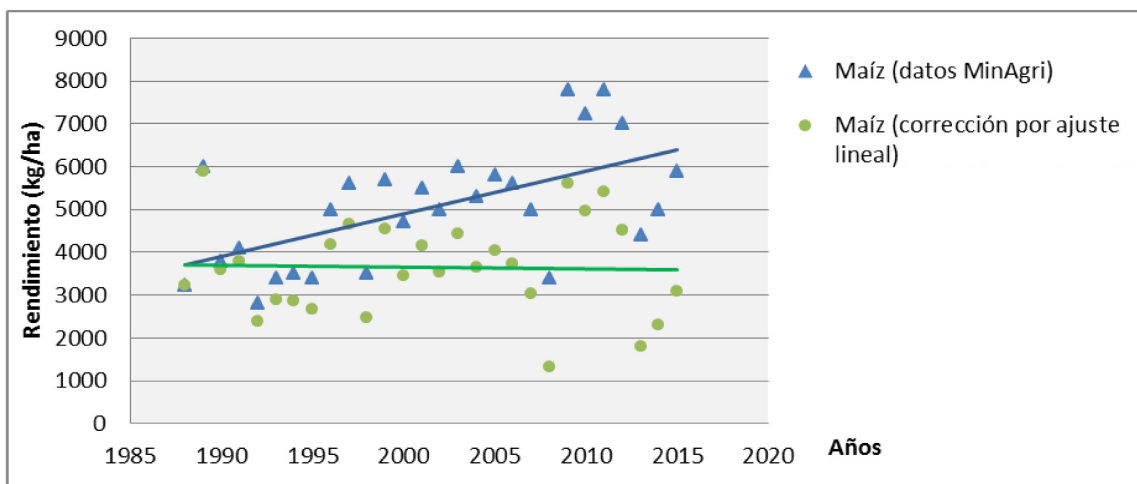


Figura 4. Series de rendimiento de maíz (Minagri). Datos sin corregir (color azul) y corregidos (color verde) con sus líneas de tendencia

En la serie de rendimientos de Minagri (datos corregidos) se observa que en la última década los rendimientos caen un 1,5% con respecto de los años previos, puesto que el promedio 1998-2004 es de 3.668,76 kg/ha y el de 2005-2015 desciende a 3.615,52 kg/ha. Se puede ver también que la variabilidad de los rendimientos aumenta, pasando de 25% (período 1988-2004) a 40% (última década). Estos datos muestran que, cuando el efecto del avance tecnológico es eliminado de las series estadísticas, no se produce un aumento en el rendimiento, sino que por el contrario se observa una leve disminución. Se debe tener en cuenta que la producción de maíz en el partido de Azul se realiza en condiciones de secano.

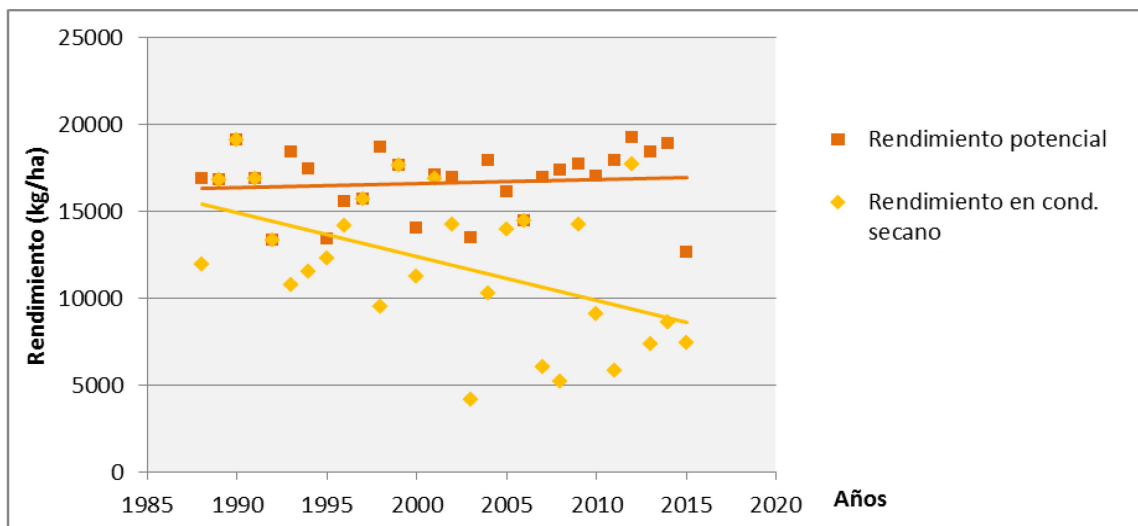


Figura 5. Series de rendimiento de maíz (Ceres-maíz) potencial y en secano con sus líneas de tendencia

En la siguiente Tabla, se presenta el promedio de los Rendimientos (kg/ha) obtenidos a partir de los datos de Minagri y de simulaciones con el modelo Ceres-maíz, comparando la última década (2006-2015) con los años previos de la serie analizada (1988-2005).

Tabla 1. Promedio de Rendimientos, última década y años previos

	Promedio del Rendimiento (Última década)	C.V. (%)	Promedio del Rendimiento (Años previos)	C.V. (%)
Minagri corregido (sin efecto de tecnología)	3.615	40	3.669	25
Ceres				
Secano	10.001	43	13.320	28
Potencial	16.971	8	16.425	11

Cuando observamos la salida del modelo Ceres-maíz (Tabla 1 y Fig. 5), se puede ver que el rendimiento potencial aumenta un 3% en la última década (siendo el promedio del período 1988-2004 de 16.425 kg/ha y de 16.971 kg/ha en la última década), lo que estaría mostrando un beneficio dado probablemente por los elementos del tiempo y el clima relacionados con la energía (RG y temperatura). En cambio, en condiciones de secano se puede ver una reducción en el rendimiento del 25% provocado por el estrés hídrico (resultado el promedio del período 1988-2004 de 13.320 kg/ha y de 10.001 kg/ha en la última década) y un aumento lógico en la variabilidad, pasando de 11% en condiciones potenciales a 28% en condiciones de secano.

Si bien los datos de los rendimientos provenientes de Minagri y de Ceres poseen amplias diferencias, frente a condiciones de secano, se nota en ambas series una disminución de la última década con respecto al período 1998-2004.

El análisis de correlación entre el rendimiento, con corrección por ajuste lineal, y cada elemento del clima mostró valores de correlación significativas para la precipitación ($P < 0.05$). Así el rendimiento vs. la precipitación de enero mostro un coeficiente de correlación (r) de 0,43 con una probabilidad (P) de 0,02 y la correlación entre la precipitación acumulada entre los meses de diciembre y enero mostró un $r = 0.40$ y $P < 0.01$. Otegui y López Pereira (2003) demostraron que las mayores disminuciones del rendimiento se asocian a deficiencias hídricas que ocurren durante aquellas etapas donde se definen los componentes que determinan el rendimiento y teniendo en cuenta que el cultivo de maíz habitualmente se conduce en condiciones de secano (recibiendo solamente el aporte de la precipitación), la principal limitación climática es la oferta de agua alrededor de la floración, es decir el período crítico para la fijación de grano (Tollenaar *et al.*, 1992), Este período, para las condiciones agroclimáticas de Azul, se produce hacia finales del mes de diciembre y durante el mes de enero.

Analizando las series de rendimientos y los elementos del clima, podemos ver que es la disminución en las precipitaciones y el aumento en la variabilidad de la misma lo que produce la disminución del rendimiento de la última década con respecto a años anteriores, tanto en la serie Minagri como en la serie simulada. Si consideramos el rendimiento potencial dado por el modelo Ceres, vemos que el mismo crece 3% por el aumento en la radiación global y por los cambios en la temperatura (aumento de la máxima y disminución de la mínima) ya que la cantidad de granos fijados por un cultivo de maíz está positivamente asociado con la radiación incidente e inversamente asociada con la temperatura alrededor de la floración (Otegui y López Pereira, 2003; Magrin. *et al.*, 2007). Dada la estrecha relación que existe entre el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo y las sumas térmicas, en estudios siguientes se ahondará en el conocimiento de las mismas.

Cuando se comparan los rendimientos simulados por el modelo Ceres en secano y potenciales (Tabla 1), se observa que en la última década la diferencia ha sido de 6.970 kg/ha, mientras que en los años anteriores de la serie, la diferencia era de 3.105 kg/ha. Es decir que en la última década el cultivo en secano se aleja un 41% de los rendimientos alcanzables en el agroclima de Azul, sólo por la disminución en las precipitaciones sumado al aumento en la variabilidad de las mismas. En décadas anteriores, el efecto del agua sólo explicaba el 19% de los rendimientos. Esto estaría indicando los beneficios de realizar maíz bajo riego en esta región.

Así como en las últimas décadas del siglo pasado se produjeron importantes incrementos en los rendimientos de los cultivos de verano en toda región pampeana, debido a los aumentos en las precipitaciones y en menor medida a los cambios en la temperatura (Magrin *et al.*, 2005), en Azul, en la última década se observa una disminución de los rendimientos producido por la merma en las precipitaciones y el aumento en la variabilidad de las mismas. La mejora tecnológica representa una parte de los cambios en los rendimientos de los cultivos pero la contribución de las variables del clima no fue despreciable.

Conclusiones

Si bien la mejora tecnológica representa una parte importante de los cambios en los rendimientos, se evidencian también cambio en los elementos del tiempo y el clima entre los meses de crecimiento del maíz (noviembre-marzo) de la última década en Azul, Buenos Aires, Argentina. Se observa un aumento en la radiación global recibida y modificaciones en las temperaturas La temperatura mínima y la precipitación han disminuido. El rendimiento del maíz de la última década fue influenciado por estos cambios, con disminuciones en el rendimiento. La merma en la cantidad de precipitación acumulada en los meses primavera-estivales y el aumento en la variabilidad de las mismas, constituyen el elemento que más influye en los cambios en el rendimiento del maíz en Azul.

Bibliografía

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper n° 56. FAO. Roma.

Barros, V. R., & Silvestri, G. E. 2002. The relation between sea surface temperature at the subtropical south-central Pacific and precipitation in southeastern South America. *Journal of climate*, 15(3), 251-267.

Cassel, D. & Nielsen, D. 1986. Field capacity and available water capacity. In Klute, A. (ed). *Methods of soil analysis*, Madison, ASA-SSSA, Monograph N °9. 25 p.

Confalone, A., Vilatte, C., Lázaro, L., Roca, N., Mestelan, S., Aguas, L., Navarro, M. y Sau, F. 2016. Parametrización del modelo CROPGRO-soybean y su uso como herramienta para evaluar el impacto del cambio climático sobre el cultivo de soja. *Rev. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza*. v.48, p. 49-64.

CRAGM. 2015. Centro Regional de Agrometeorología. Boletín Agrometeorológico del Centro-Sur de la Provincia de Buenos Aires (serie 1988-2015). Facultad de Agronomía-Azul, Buenos Aires.
Dardanelli, D., Collino, D., Otegui, M., Sadras, V. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: *Producción de granos. Bases funcionales para su manejo*. E.H. Satorre, R.L. Benech Arnold; G.A. Safler, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui, Savin, R. (eds.). Editorial Facultad de Agronomía-UBA cap. 16, pág. 375-440.

Fernández Long, M., Spescha, L., Hurtado, R. y Murphy, G. 2011. Impacto del ENOS sobre los rendimientos de maíz en la región pampeana argentina. *Agriscientia*, 28(1), 31-38. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2011000100004&lng=es&lng=es> (Fecha Consulta:09/07/2017).

García, P., Offutt, S.E., Pinar, M. and Changnon, S.A. 1987. Corn Yield Behavior: Effects of Technological Advance and Weather Conditions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26: 1092-1102.

Gardner, W. 1986. Water content (Ed.) *Methods of soil analysis*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, Wi. p. 493-594

Hazell, P.B.R. 1985. Sources of Increased Variability in World Cereal Production since the 1960s. *Journal of Agricultural Economics* 36: 145-159.

Hoogenboom, G., Jones, J., Wilkens, P., Porter, C., Boote, K., Hunt, L., Singh, U., Lizaso, J., White, J., Uryasev, O., Royce, F., Ogoshi, R., Gijsman, A., Tsuji, G. & Koo, J. 2012. DSSAT. Decision Support System for Agrotechnology Transfer, version 4.5 [CD-ROM]. University of Hawaii. Honolulu, Hawaii.

Hu, Q. & Buyanovsky, G. 2003. Climate Effects on Corn Yield in Missouri. *Journal of Applied Meteorology* 42: 1626-1635.

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).

Köppen, W. 1931. *Grundriss der Klimakunde*, Walter de Gruyter Co, Berlin und Leipzig. 388 p.

Llano, P. & Vargas, W.. 2015. Climate characteristics and their relationship with soybean and maize yields in Argentina, Brazil and the United States. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4439

Magrin, G., Travasso, M. and Rodríguez, G. 2005. Changes in Climate and Crop Production During the 20th Century in Argentina. *Climatic Change*. 72 (1-2): 229-249.

Magrín, G.; Gay García, C.; Cruz Choque, D.; Giménez, J.; Moreno, A.; Nagy, G.; Nobre, C. & Villamizar, A. 2007. 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 (ed. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden, C. E. Hanson), 581-615. Cambridge University Press, UK.

Navarro, M., Confalone, A., Vilatte, C. y Aguas, L. 2011. Capítulo II. Características agroclimáticas para la sustentabilidad agropecuaria en el Partido de Azul. En: Requesens, E. (coordinador). Bases agroambientales para un desarrollo sustentable del Partido de Azul. Docuprint S.A., Buenos Aires. 136 p. ISBN 978-950-658-269-2.

Otegui, M.E. y López Pereira, M. 2003. Fecha de siembra. En: Satorre, E., Benech, R., Slafer, G., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M. y Savin, R. (eds.). Producción de cultivos de granos: bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. Pág. 260-272.

Pazos, M.S. 2009. Los Phaeozem pampeanos en la WRB 2006. *Geociències*. 16: 19-22

Ritchie, J.T., Singh, U., Godwin, D. & Bowen, W. 1998. Cereal growth, development and yield. p.79-98. En Tsuji Y., Gordon, Gerrit Hoogenboom, Philip K. Thornton (Ed.) Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. ISBN 0-7923-4833-8.

Rocca da Cunha, G., Dalmago, G.A. & Estefanel, V. 1999. ENSO Influences on wheat Crop in Brazil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 7: 127-138.

SAGyP-INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina. Proyecto PNUD Arg-85/019, Buenos Aires. Dos tomos, 1600 p. 39 mapas. Available: < <http://visor.geointa.inta.gob.ar/?p=889>> [consulted: July 23, 2017]

SIIA. Sistema Integrado de Información Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Disponible en: <http://www.siia.gov.ar/series> (Fecha de consulta: 12/09/2015).

Thompson, L.M. 1986. Climatic Change, Weather Variability, and Corn Production. *Agronomy Journal* 78: 649-653.

Tollenaar, M., Dwyer, L. & Stewart, K. 1992. Ear and Kernel Formation in Maize Hybrids Representing Three Decades of Grain Yield Improvement in Ontario. *Crop. Sci.* 32: 432-438.

USDA. 2014. Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Usunoff, E., Varni, M. R., Rivas, R. E., y Weinzettel, P. A. 2000. Aspectos hidrogeológicos de relevancia de La Llanura Pampeana en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. In I Joint World Congress on Groundwater. Disponible en: <<http://digital.cic.gba.gob.ar/handle/11746/4113>> (Fecha Consulta: 20/07/2017).

Vázquez, P., Zulaica, L. y Requesens, E. 2016. Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Buenos Aires, Argentina). *Agriscientia*, 33(1), 15-26. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2016000100002> (Fecha Consulta: 20/07/2017).

Vilatte, C., Confalone, A. & Aguas, L. (en prensa). Rainfall in Azul and its relationship with the phenomenon el niño southern oscillation (ENSO). *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCuyo*.