

CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD TÉRMICA PARA LOS CULTIVOS DE LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA¹

MARÍA ELENA FERNÁNDEZ LONG; IRENE BARNATÁN; L. SERIO y G. MURPHY*

Recibido: 12/09/08

Aceptado:29/010/08

RESUMEN

Se analizaron los cambios ocurridos en las temperaturas máximas y mínimas diarias durante los últimos 80 años, en 12 localidades de la Región Pampeana argentina; donde se concentra la mayor producción de cultivos agrícolas del país. Se observó que la temperatura media anual aumentó en casi todas las estaciones arrojando un incremento regional de $0,43^{\circ} \text{ C}/100\text{años}$. Las temperaturas máximas y mínimas presentaron un comportamiento inverso; mientras que la mínima sufrió fuertes aumentos en los últimos años, la máxima disminuyó en casi todas las estaciones analizadas, produciendo una fuerte disminución de la amplitud térmica diaria, y un leve aumento de la temperatura media. Este aumento de la temperatura mínima y disminución de la temperatura máxima, no fue uniforme a lo largo del año ni de la región.

Los meses de octubre y febrero fueron los que presentaron mayores cambios. En octubre se registró un fuerte aumento de la temperatura mínima, un leve aumento de la máxima, dando como resultado un aumento de la temperatura media de octubre en la totalidad de las localidades estudiadas. En febrero la temperatura media disminuyó debido fundamentalmente a una muy fuerte disminución de la temperatura máxima, y un leve aumento y hasta disminución de la temperatura mínima en ese mes.

La mayor disponibilidad térmica durante octubre y noviembre, tiene influencia sobre las primeras etapas de cultivos como el girasol, maíz y soja, y sobre la espigazón y floración de los cereales de invierno, cuya producción puede ser afectada por esta circunstancia. La disminución de la temperatura media en enero y febrero, momento en el cual se produce la floración de la mayoría de los cultivos de la cosecha gruesa, podría producir cambios en el comportamiento fenológico y posibles variaciones en los rendimientos de los cultivos de verano.

Palabras clave. Cambio climático, tendencias, temperatura máxima, temperatura mínima.

CHANGES IN THE THERMAL AVAILABILITY FOR THE VEGETATION OF THE PAMPAS REGION (ARGENTINA)

SUMMARY

The changes happened in the daily maximum and minimum temperatures during the last 80 years were analyzed, in 12 locations of the Argentinean Pampa region, where the greater production of grain cultures of the country is concentrated.

It was observed that the annual average temperature increased in almost all the stations throwing a regional increase of $0.43^{\circ} \text{ C}/100\text{years}$. The maximum and minimum temperatures displayed an inverse behavior, to each other: whereas the minimum underwent strong increases in the last years, the maximum diminished in almost all the analyzed stations, producing a strong diminution of the daily thermal amplitude, and a slight increase of the average temperature. This increase (diminution) of the minimum (maximum) temperature is neither uniform throughout the year nor of the region.

¹ Trabajo premiado en las Primeras Jornadas Interdisciplinarias de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático (PIUBACC) 14 al 16 de noviembre de 2007.

*Cátedra de Climatología Agrícola. Facultad de Agronomía, UBA. flong@agro.uba.ar

The months of October and February are those that have presented the greatest changes. In October a strong increase of the minimum temperature and a slight increase of the maximum were registered, giving as result an increase of the average temperature in all the studied localities. In February the average temperature diminished fundamentally due to a very hard diminution of the maximum temperature, and a very slight increase or diminution of the minimum temperature.

The greater thermal availability during October and November has influence on the first stages of summer crops like sunflower, maize and soybean, and on the flowering of winter cereals, whose production can be affected by this circumstance. The diminution of the average temperature in January and February, moment in which the flowering of most of the summer cultures takes place, could produce changes in the phenologic behavior and possible variations in the grain yields.

Key words. Climate change; temperature maximum and minimum; trend.

INTRODUCCIÓN

El cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) establece que el calentamiento del sistema climático es inequívoco, como lo evidencian las observaciones de los incrementos en las temperaturas medias del aire y del océano, el derretimiento generalizado del hielo y de la nieve, y la elevación del nivel medio del mar en el mundo. La temperatura superficial media mundial aumentó, sobre todo, a partir de aproximadamente 1950. La tendencia actualizada de 100 años (1906-2005) fue de $0,74\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$, mayor que la tendencia encontrada en la época del tercer informe (1901-2000), de $0,6\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, debido a los años cálidos adicionales (IPCC, 2007).

Se espera que el Cambio Climático impacte también sobre los extremos climáticos. Pequeños cambios en las condiciones medias pueden conducir a grandes cambios en la frecuencia de extremos (Kats y Brown, 1992). Algunos estudios de modelado climático sugieren que el aumento de los gases de efecto invernadero provocará incrementos sobre los eventos extremos, particularmente sobre los extremos de temperatura y precipitación (Nicholls, 1995; Karl y Knight, 1998). Ya se han documentado cambios de significación global ocurridos durante el siglo XX, registrándose una clara tendencia en extremos de baja temperatura en algunas áreas muy distantes unas de otras (Nicholls *et al.*, 1996; Frich *et al.*, 2002).

Estos cambios observados sobre la temperatura media global y sobre los valores extremos llevaron a cuestionarse sobre el posible impacto que generó el

Cambio Climático sobre la agricultura, dado que la misma está estrechamente vinculada con el comportamiento del sistema climático (Sivakumar y Motha, 2007). Numerosos estudios han documentado cambios en variables climáticas relacionadas directamente con la agricultura. Easterling (2002) encontró en Estados Unidos de Norteamérica disminución en la frecuencia anual de heladas con excepción de la región sudeste donde se registró un aumento no significativo. En Canadá, Bonsal *et al.* (2001) encontraron disminución en el número de días anuales con helada, resultado similar al obtenido en el norte de Europa por Heino *et al.* (1999). En Nueva Zelanda, Salinger y Griffiths (2001), registraron una disminución de heladas de entre 5 y 15 días en el período 1951-1998.

También se han registrado cambios en la duración de la estación de crecimiento ("growing season" GS), observándose en general un alargamiento en la duración de la misma; relacionado con el incremento en la temperatura del aire (Myneni *et al.*, 1997; Tucker *et al.*, 2001; Moonen *et al.*, 2002; Walther *et al.*, 2002; Shen *et al.*, 2005; Schwartz *et al.*, 2006). En Sudamérica, Vincent *et al.* (2005) documentaron cambios no consistentes en índices basados en la temperatura máxima, mientras que encontraron tendencias significativas en índices basados en la temperatura mínima. En la Argentina Rusticucci y Barrucand (2004) estudiaron el cambio producido en las temperaturas extremas en el período 1959-1998, registrando tendencias positivas en la temperatura mínima media de los inviernos. Igualmente, Pascale y Damario (1993-1994), mostraron una disminución de la amplitud térmica diaria, así como un aumento de las temperaturas invernales

y una leve disminución de las temperaturas estivales desde 1901 a 1991 confirmando posteriormente las mismas tendencias en los valores absolutos de las temperaturas máximas y mínimas mensuales para numerosas estaciones de la Argentina (Damario *et al.*, 2002). Fernández Long *et al.* (2005) registraron una disminución en el período con heladas en una gran región de la pampa húmeda, a excepción de una zona del sur de la provincia de Buenos Aires. El mismo patrón se encontró en el comportamiento de la frecuencia de días con heladas en el período 1964-2003 (Fernández Long y Müller, 2006).

El objetivo de este trabajo es estudiar los posibles cambios producidos en las temperaturas máximas, mínimas y medias a nivel mensual en el período 1925-2007; de manera de identificar cambios en la disponibilidad térmica para las distintas etapas fenológicas de los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron 12 estaciones meteorológicas de la Región Pampeana argentina; una de las principales superficies de producción agrícola del mundo (Hall *et al.*, 1992), para el período 1925-2007 (Fig. 1 y Cuadro 1), provistas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Las estaciones fueron elegidas por poseer un extenso período de datos, no haber registrado cambios en la ubicación y por presentar un bajo efecto de isla de calor.

Se trabajó con los datos diarios de temperatura mínima (T_{\min}) y máxima (T_{\max}) registrados en abrigo meteorológico. La temperatura media (T_{med}) fue calculada como $(T_{\max} + T_{\min})/2$. A partir de los datos diarios se calcularon los promedios mensuales de cada una de las variables antes mencionadas. En los casos en que el número de datos faltantes fuera superior al 20% del total de ese mes (6 datos), el dato mensual no fue incluido en el análisis.

La mayoría de las estaciones poseen registros desde 1931 (Cuadro 1) excepto una de ellas (Pilar, Córdoba) la cual permitió calcular las tendencias para más de 80 años. Se estudió la evolución temporal de las series mensuales de T_{\max} , T_{\min} y T_{med} de cada una de las estaciones meteorológicas a partir de las tendencias lineales. La significancia estadística se realizó mediante las pruebas de Mann-Kendall y Spearman (WMO, 1966).

Con la finalidad de obtener un comportamiento a nivel de la Región Pampeana, se promediaron las tendencias de

las 12 estaciones meteorológicas, a nivel mensual y anual para cada una de las variables estudiadas.

RESULTADOS

Se analizaron, en primer lugar, las tendencias registradas por la temperatura mínima a nivel mensual y anual para las 12 localidades, y se realizó un promedio regional de las mismas (Cuadro 2). Puede observarse que, en lo referente a la temperatura mínima anual, se registró un aumento promedio en la región de $2,0^{\circ} \text{ C}/100$ años. Solamente dos estaciones (Ceres y Laboulaye) presentaron tendencias no significativas, pero en todos los casos los valores fueron positivos. Río Cuarto y San Luis fueron las estaciones con máximos valores de incremento ($3,3$ y $3,1^{\circ} \text{ C}/100$ años, respectivamente).

A nivel mensual, las invernales fueron las que presentaron menores cambios, en especial julio, donde varias de las estaciones presentaron valores negativos que, aunque no llegaron a ser significativos, denotaron un comportamiento diferente al resto del año. Fernández Long (2005), ya había presentado un resultado similar para otras localidades. Sin embargo, Río Cuarto, Pilar y San Luis continuaron con tendencias positivas significativas, inclusive en estos meses. En promedio, los meses de máximo cambio para toda la región, fueron octubre y abril, con $3,1$ y $2,8^{\circ} \text{ C}/100$ años, respectivamente. El valor máximo registrado fue de $4,6^{\circ} \text{ C}/100$ años en el mes de octubre en San Luis.

El patrón de comportamiento de la temperatura máxima (Cuadro 3) fue muy diferente al de la temperatura mínima. El promedio regional de las tendencias anuales mostró un valor negativo de $-1,2^{\circ} \text{ C}/100$ años, indicativo de la disminución de las temperaturas máximas en el período de años analizado. Ya otros autores habían revelado resultados similares (Pascale y Damario, *op. cit.*, Damario *et al.*, *op. cit.*; Vincent *et al.*, 2005). Laboulaye ($-2,2^{\circ} \text{ C}/100$ años), Monte Caseros ($-2,2^{\circ} \text{ C}/100$ años) y Ceres ($-2,1^{\circ} \text{ C}/100$ años) fueron las estaciones con tendencias más fuertes. Solamente Rosario presentó un valor positivo ($0,2^{\circ} \text{ C}/100$ años) de tendencia que no llegó a ser significativo.

A nivel mensual, la temperatura máxima presentó una fuerte disminución en los meses de verano,

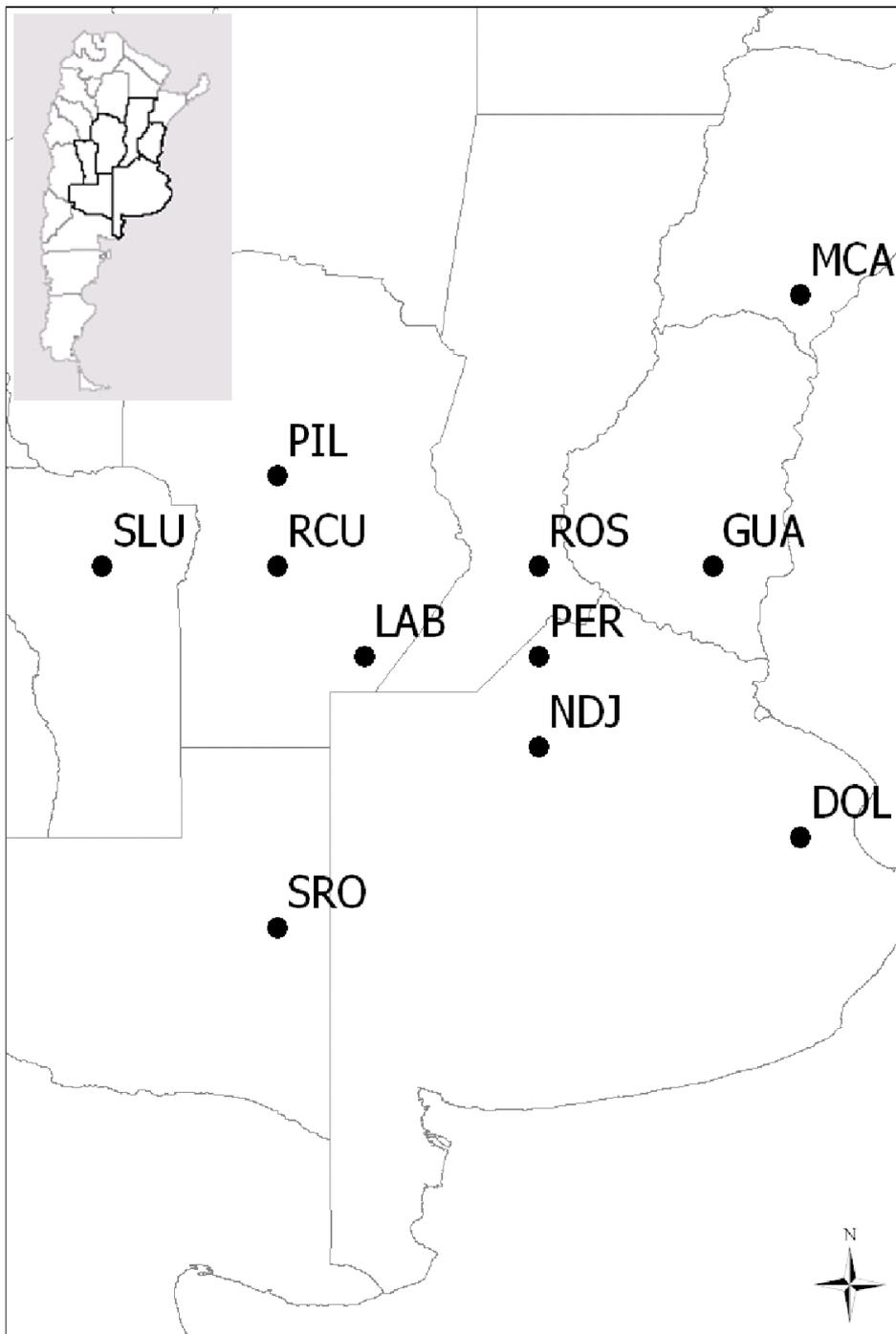


FIGURA 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas.

CUADRO 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas y período de las series analizadas.

CÓDIGO	ESTACIÓN	LAT	LON	ALTURA	PERÍODO
CER	CERES AERO	-29.88	-61.95	88	1931-2007
DOL	DOLORES AERO	-36.35	-57.73	9	1931-2007
GUA	GUALEGUAYCHU AERO	-33.00	-58.62	21	1931-2007
LAB	LABOULAYE AERO	-34.13	-63.37	137	1939-2007
MCA	MONTE CASEROS AERO	-30.27	-57.65	54	1931-2007
NDJ	NUEVE DE JULIO	-35.45	-60.88	76	1931-2007
PER	PERGAMINO INTA	-33.93	-60.55	65	1931-2007
PIL	PILAR OBS.	-31.67	-63.88	338	1925-2007
RCU	RIO CUARTO AERO	-33.12	-64.23	421	1931-2007
ROS	ROSARIO AERO	-32.92	-60.78	25	1935-2007
SLU	SAN LUIS AERO	-33.27	-66.35	713	1931-2007
SRO	SANTA ROSA AERO	-36.57	-64.27	191	1937-2007

CUADRO 2. Tendencias de las temperaturas mínimas ($^{\circ}$ C/100años) para las 12 estaciones meteorológicas analizadas y para el promedio regional (PROM). (x: significativo al 95%, xx: significativo al 99%, no: no significativo).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Annual
CER	0,2 no	-0,2 no	1,2 no	2,3 xx	-0,1 no	0,0 no	-0,1 no	0,6 no	-0,2 no	1,7 x	1,0 no	0,4 no	0,6 no
MCA	2,4 xx	1,6 xx	2,4 xx	3,5 xx	1,2 no	1,0 no	1,6 no	2,4 xx	1,4 no	3,2 xx	2,7 xx	2,6 xx	2,2 xx
PIL	1,6 xx	1,3 xx	1,9 xx	2,5 xx	2,6 xx	2,1 x	2,3 x	2,5 xx	2,4 xx	3,9 xx	2,5 xx	2,7 xx	2,4 xx
ROS	3,4 xx	2,3 xx	3,0 xx	2,9 xx	0,5 no	0,5 no	0,4 no	1,9 x	1,7 x	4,3 xx	4,1 xx	3,9 xx	2,6 xx
GUA	3,0 xx	3,0 xx	2,8 xx	3,1 xx	1,6 no	0,5 no	0,9 no	2,1 xx	1,5 x	2,8 xx	3,2 xx	2,9 xx	2,1 xx
RCU	2,9 xx	2,6 xx	3,6 xx	4,1 xx	3,3 xx	3,5 xx	2,9 xx	3,7 xx	3,2 xx	4,3 xx	3,5 xx	3,7 xx	3,3 xx
SLU	2,0 xx	2,1 xx	3,2 xx	3,7 xx	3,0 xx	3,3 xx	2,7 xx	3,9 xx	3,3 xx	4,6 xx	2,8 xx	2,5 xx	3,1 xx
PER	3,1 xx	2,3 xx	1,7 x	3,2 xx	0,9 no	0,7 no	0,7 no	1,7 x	1,5 x	3,1 xx	3,7 xx	3,6 xx	2,4 xx
LAB	0,3 no	-0,6 no	1,2 no	1,4 no	-0,4 no	0,3 no	-0,7 no	0,1 no	-0,6 no	1,2 no	1,0 no	1,0 no	0,3 no
NDJ	2,6 xx	2,1 xx	2,3 xx	3,1 xx	1,8 x	1,6 no	0,9 no	2,8 xx	2,1 xx	2,8 xx	2,8 xx	2,7 xx	2,4 xx
DOL	2,3 xx	1,1 no	0,9 no	1,6 no	0,0 no	0,0 no	-0,3 no	0,8 no	-0,1 no	1,1 no	1,4 x	2,1 xx	1,0 x
SRO	1,6 x	1,4 x	3,6 xx	3,5 xx	1,6 no	1,6 no	1,4 no	3,2 xx	2,3 xx	2,9 xx	2,1 xx	1,6 x	2,3 xx
PROM	2,1	1,6	2,2	2,8	1,4	1,3	1,1	2,1	1,5	3,1	2,6	2,6	2,0

CUADRO 3. Ídem Cuadro 2 para las temperaturas máximas.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
CER	-4,0 xx	-4,0 xx	-1,6 no	-2,5 xx	-2,6 xx	-1,3 no	-1,8 no	-0,9 no	-1,0 no	-0,1 no	-2,2 x	-3,7 xx	-2,1 Xx
MCA	-3,1 xx	-4,4 xx	-2,5 xx	-1,7 x	-2,2 x	-1,0 no	-1,6 no	-0,6 no	-1,6 x	-0,5 no	-2,5 xx	-3,3 xx	-2,2 Xx
PIL	-3,3 xx	-4,0 xx	-1,7 no	-1,0 no	0,2 no	-0,2 no	-0,3 no	0,6 no	0,4 no	1,4 no	-0,8 xx	-2,6 xx	-1,2 xx
ROS	0,3 no	-1,9 x	0,5 no	0,6 no	-0,9 no	-0,1 no	-0,4 no	1,6 no	0,4 no	2,3 xx	0,8 no	-0,5 no	0,2 no
GUA	-1,2 no	-1,7 no	0,7 no	0,7 no	0,1 no	0,5 no	0,4 no	1,9 x	0,7 no	1,5 x	-0,2 no	-1,2 no	0,0 no
RCU	-5,2 xx	-5,6 xx	-2,2 xx	-1,5 no	-1,0 no	-0,8 no	-1,8 no	-0,1 no	-0,4 no	0,1 no	-2,2 x	-3,7 xx	-1,9 xx
SLU	-1,4 no	-2,0 x	-0,9 no	-0,4 no	-0,2 no	1,1 no	0,0 no	1,1 no	1,0 no	1,7 no	-0,3 no	-0,6 no	-0,2 no
PER	-0,7 no	-2,9 xx	-0,7 no	0,2 no	-0,6 no	-0,5 no	-0,3 no	1,3 no	1,0 no	1,7 x	0,3 no	0,5 no	-0,4 no
LAB	-4,7 xx	-5,1 xx	-1,7 no	-2,7 x	-1,7 no	-0,5 no	-1,3 no	-0,2 no	-0,5 no	-0,8 no	-2,6 x	-3,9 xx	-2,2 xx
NDJ	-3,6 xx	-4,2 xx	-1,3 no	-1,1 no	-0,3 no	-0,5 no	-0,9 no	0,9 no	0,0 no	-0,2 no	-2,1 x	-2,4 xx	-1,4 xx
DOL	-1,2 no	-2,1 x	0,3 no	0,5 no	-0,2 no	-0,2 no	-0,3 no	1,4 x	0,7 no	1,2 x	-0,8 no	-0,5 no	-0,1 no
SRO	-3,1 xx	-2,5 x	0,1 no	-0,7 no	-0,5 no	0,6 no	0,1 no	0,5 no	0,6 no	-0,4 no	-1,9 no	-3,0 xx	-0,9 x
PROM	-2,6	-3,5	-1,0	-0,8	-0,8	-0,3	-0,7	0,6	0,1	0,8	-1,1	-2,0	-1,2

en especial en febrero con un valor de tendencia de $-3,5^{\circ}$ C/100años en la región, que se debilitó durante el otoño y principio del invierno y revirtió su signo en agosto, septiembre y octubre, donde los aumentos llegaron a ser significativos en algunas localidades, principalmente en octubre y agosto; quedando de manifiesto la fuerte variabilidad intra-anual de la tendencia. Las disminuciones de temperatura máxima más fuertes se presentaron en el mes de febrero en casi todas las estaciones, llegando a $-5,6^{\circ}$ C/100años en Río Cuarto y $-5,1^{\circ}$ C/100años en Laboulaye. Hubo muy pocos casos de valores positivos significativos, concentrados en agosto y octubre, con un máximo para Rosario de $2,3^{\circ}$ C/100años.

En el caso de la temperatura media (Cuadro 4), al superponerse los comportamientos opuestos de la temperatura máxima y mínima, las tendencias presentaron valores absolutos más pequeños. En promedio en la región se observó un aumento de la temperatura media anual de sólo $0,4^{\circ}$ C/100años, valores similares a los obtenidos por Pascale y Damario (*op. cit.*). Si bien en casi todas las estaciones se registraron valores positivos de las tendencias anuales, Ceres y Laboulaye mostraron disminuciones significativas de $-0,7^{\circ}$ C/100 años y $-1,0^{\circ}$ C/100años, respectivamente; mientras que San Luis ($1,6^{\circ}$ C/100años) y Rosario ($1,3^{\circ}$ C/100años) presentaron los máximos aumentos de la temperatura media anual, seguidos por Gualeguaychú y Pergamino.

CUADRO 4. Ídem Cuadro 2 para las temperaturas medias.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
CER	-1,9 xx	-2,1 xx	-0,2 no	0,0 no	-1,4 no	-0,5 no	-0,7 no	-0,1 no	-0,5 no	0,9 no	-0,6 no	-1,8 xx	-0,7 x
MCA	-0,3 no	-1,4 x	0,0 no	1,0 no	-0,4 no	0,1 no	0,0 no	0,9 no	-0,1 no	1,3 x	0,1 no	-0,4 no	0,0 no
PIL	-1,0 no	-1,3 xx	0,5 no	1,3 no	0,6 no	0,7 no	0,8 no	1,3 x	1,3 x	2,5 xx	0,9 no	-0,3 no	0,6 x
ROS	1,8 xx	0,2 no	1,7 x	1,7 x	-0,3 no	0,3 no	0,0 no	2,0 x	1,1 no	3,1 xx	2,4 xx	1,7 xx	1,3 xx
GUA	0,9 no	0,5 no	1,9 xx	1,9 xx	0,8 no	0,5 no	0,7 no	2,1 xx	1,1 no	2,0 xx	1,5 x	0,8 no	1,1 xx
RCU	-1,2 x	-1,6 x	0,7 no	1,2 no	1,2 no	1,3 no	0,5 no	1,9 xx	1,4 x	2,2 xx	0,6 no	0,0 no	0,7 x
SLU	0,4 no	0,1 no	1,4 x	1,8 x	1,4 no	2,2 xx	1,2 no	2,5 xx	2,1 xx	3,2 xx	1,2 no	1,1 no	1,6 xx
PER	1,2 x	-0,3 no	0,4 no	1,8 x	0,0 no	0,1 no	0,1 no	1,5 x	1,3 x	2,4 xx	2,1 xx	2,0 xx	1,0 xx
LAB	-2,2 xx	-2,8 xx	-0,2 no	-0,7 no	-1,0 no	-0,1 no	-1,0 no	-0,1 no	-0,5 no	0,2 no	-0,8 no	-1,5 no	-1,0 xx
NDJ	-0,6 no	-1,1 no	0,5 no	1,0 no	0,8 no	0,6 no	0,0 no	1,9 xx	1,0 x	1,3 x	0,3 no	0,2 no	0,5 x
DOL	0,5 no	-0,5 no	0,6 no	1,1 no	-0,2 no	-0,2 no	-0,2 no	1,1 no	0,4 no	1,3 x	0,2 no	0,7 no	0,6 x
SRO	-0,7 no	-0,5 no	1,9 x	1,3 no	0,6 no	1,1 no	0,9 no	1,9 xx	1,4 x	1,2 no	0,0 no	-0,7 no	0,7 x
PROM	-0,3	-1,0	0,6	1,1	0,2	0,5	0,2	1,4	0,8	1,9	0,8	0,2	0,4

El análisis mensual de la temperatura media también presentó una gran variabilidad. En general se observaron aumentos, principalmente en agosto, septiembre y octubre, apoyados por los fuertes incrementos de las mínimas y los leves aumentos de las máximas; siendo octubre el mes de mayor tendencia, $1,9^{\circ}\text{C}/100\text{años}$ en el promedio regional, seguido por agosto con $1,4^{\circ}\text{C}/100\text{años}$. Los meses de enero y, fundamentalmente, febrero registraron disminuciones de las temperaturas medias. San Luis y Rosario fueron las estaciones con mayor tendencia positiva, registrada en el mes de octubre, con $3,2^{\circ}\text{C}/100\text{años}$ y $3,1^{\circ}\text{C}/100\text{años}$, respectivamente. Las mayores tendencias negativas se registraron en febrero, en Laboulaye ($-2,8^{\circ}\text{C}/100\text{años}$) y en Ceres ($-2,1^{\circ}\text{C}/100\text{años}$).

Estas variaciones térmicas implican un cambio en la marcha anual de la temperatura media, principalmente durante el semestre cálido. Para visualizarlos, se presentaron para Pilar (Córdoba) las temperaturas medias mensuales de octubre a marzo (Fig. 2), período en el que se producen relevantes etapas del desarrollo de los cultivos de ciclo invierno-primaveral y que, además, comprende casi todo el ciclo de los cultivos de verano. Se muestran los primeros y los últimos 30 años de la serie analizada (1925-1954 y 1978-2007), poniéndose de manifiesto la mayor disponibilidad térmica durante octubre y noviembre, con influencia sobre las primeras etapas de especies como el girasol, maíz y soja, y sobre la espigazón y floración de los



FIGURA 2. Marcha de la temperatura media durante el semestre cálido en Pilar (Córdoba), para los primeros (1925-1954) y los últimos (1978-2007) treintenos analizados.

cereales de invierno, cuya producción puede ser afectada por esta circunstancia. También pudo observarse la disminución de la temperatura media en enero y febrero, momento en el cual se produce la floración de la mayoría de los cultivos de la cosecha gruesa, lo cual podría producir cambios en su comportamiento fenológico y posibles variaciones en los rendimientos.

CONCLUSIONES

- En la Región Pampeana la temperatura media anual aumentó en promedio en toda la región $0,4^{\circ}\text{C}/100\text{años}$.
- La temperatura mínima tuvo fuertes aumentos, la máxima disminuyó en casi todas las estaciones analizadas, produciendo una fuerte reducción de la amplitud térmica diaria.
- Los meses de octubre y febrero son los que presentaron mayores cambios. Octubre registró un fuerte aumento de la temperatura mínima, una muy leve disminución de la máxima, dando como resultado un aumento de la temperatura media de octubre en la totalidad de las localidades estudiadas.
- En febrero la temperatura media disminuyó debido fundamentalmente a una disminución muy fuerte de la temperatura máxima.
- El patrón de comportamiento de la temperatura máxima y mínima se mantuvo en toda la región, mientras que existieron variaciones en la distribución del cambio producido en la temperatura media anual. Se observó un aumento estadísticamente significativo en casi toda la región a excepción de una franja central con orientación norte-sur comprendida por las estaciones meteorológicas de Ceres y Laboulaye.
- Los cambios registrados en octubre y noviembre modifican fundamentalmente la disponibilidad térmica para el subperíodo crítico de espigazón - llenado de grano de los cereales de invierno y para la siembra y primeras etapas vegetativas de los cultivos de verano.
- Durante enero y principalmente febrero se registró una disminución de la disponibilidad térmica para la floración y llenado de granos de los cultivos de ciclo primavero-estival.

BIBLIOGRAFÍA

- BONSAL, B.R.; X. ZHANG; L.A. VINCENT and W.D. HOGG. 2001. Characteristics of daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate* 14: 1959-1976.
- DAMARIO, E.A.; A.J. PASCALE; R.O. RODRIGUEZ y M.R. ALONSO. 2002. Amplitud térmica extrema anual en la Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía* 22(2-3): 173-178.
- EASTERLING, D.R. 2002. Recent changes in frost days and the frost-free season in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 83: 1327-1332.
- FERNÁNDEZ LONG, M.E. 2005. Las heladas que afectan a los frutales de carozo en el noreste de Buenos Aires. Tesis de maestría en Meteorología Agrícola. UBA. 123 pag.
- FERNÁNDEZ LONG, M.E.; I.E. BARNATÁN; L. SPESCHA; R.H. HURTADO y G.M. MURPHY. 2005. Caracterización de las heladas en la Región Pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Rev. Fac. de Agronomía* 25: 247-257.
- FERNÁNDEZ LONG, M.E. and G.V. MÜLLER. 2006. Annual and monthly trends in frost days in the Wet Pampa. *Proceeding, 8th International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography, 24-28 April, 2006. Foz do Iguazú, Brasil.*
- FRICH, P.; L.V. ALEXANDER; P. DELLA-MARTA; B. GLEASON; M. HAYLOCK; K. TANK and T. TETERSON. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Res* 19: 193-212.
- HALL, A.J.; C.M. REBELLA; C.M. GHERSA and J.P.H. CULOT. 1992. Field crops systems of the Pampas. *In: C.J. Pearson (ed.), Field Crops Systems: Ecosystems of the World* 413-449.
- HEINO, R.; R. BRAZDIL; E. FORLAND; H. TUOMENVIRTA; H. ALEXANDERSSON; M. BENISTON; C. PFISTER; M. REBETEZ; G. ROSENHAGEN; S. ROSNER and J. WIBIG. 1999. Progress in the study of climate extremes in northern and central Europe. *Climate Change* 42(1-2): 151-180.
- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. *In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [S. Solomon; D. Qin; M. Manning, Z. enhen; M. Marquis; K.B. Averyt; M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- KARL, T.R. and R.W. KNIGHT. 1998. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States. *Bull Amer. Meteor. Soc.* 79: 231-242.
- KATS, R.W. and B.G. BROWN. 1992. Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. *Climate Change* 21: 289-302.
- MOONEN, A.C.; L. ERCOLI; M. MARIOTTI and A. MASONI. 2002. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years. *Agric Forest Meteorol* 111: 13-27.
- MYNENI, R.B.; C.D. KEELING; C.J. TUCKER; G. ASRAR and R.R. NEMANI. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386: 698-702.
- NICHOLLS, N. 1995. Long term climate monitoring and extreme events. *Climate Change* 31: 231-245.
- NICHOLLS, N.; G. GRUZA; J. JOUZEL; T.R. KARL; L.A. OGALLO and D.E. PARKER. 1996. Observed climate variability and change. *In Climate Change 1995. The Science of Climate Change: Contribution of Working Group I to the second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. 133-192.
- PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. 1993-94. Tendencia de la amplitud térmica diaria en la Argentina desde 1901 a 1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14(2): 127-138.
- RUSTICUCCI, M. and M. BARRUCAND. 2004. Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *Journal of Climate* 17: 4099-4107.
- SALINGER, M.J. and G.M. GRIFFITHS. 2001. Trends in New Zealand daily temperature and rainfall extremes. *International Journal of Climatology* 21: 1437-1452.
- SCHWARTZ, M.D.; A. REIN and A. ANTO. 2006. Onset of spring starting earlier across the northern hemisphere. *Glob Change Biol* 12: 343-351.
- SHEN, S.S.P.; H. YIN; K. CANNON; A. HOWARD; S. CHETNER and T.R. KARL. 2005. Temporal and spatial changes of the agroclimate in Alberta, Canada, from 1901 to 2002. *Journal of Applied Meteorology* 44: 1090-1105.

- SIVAKUMAR, M.V.K. and R.P. MOTH (eds). 2007. Managing weather and climate risks in agriculture. Springer Berlin Heidelberg New York. 503 pp.
- TUCKER, C.J.; D.A. SLAYBACK; J.E. PINZON; S.O. LOS; R.B. MYNENI and M.G. TAYLOR. 2001. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982-1999. *International Journal of Biometeorology* 45: 184-190.
- VINCENT, L.A.; T.C. PETERSON; V.R. BARROS; M.B. MARINO; M. RUSTICUCCI; G. CARRASCO; E. RAMIREZ; L.M. ALVES; T. AMBRIZZI; M.A. BERLATO; A.M. GRIMM; J.A. MARENGO; L. MOLION; D.F. MONCUNILL; I.E. REBELLO; Y.M.T. ANUNCIACÃO; J. QUINTANA; J.L. SANTOS; J. BAEZ; G. CORONEL; J. GARCIA; I. TREBEJO; M. BIDEGAIN; M.R. HAYLOCK; and D. KAROLY. 2005. Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate* 18: 5011-5023.
- WALTHER, G.R.; E. POST; P. CONVEY; A. MENZEL; C. PARMESAN; T.J.C. BEEBEE; J.M. FROMENTIN; O. HOEGH-GULDBERG and F. BAIRLEIN. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.
- WMO (World Meteorological Organization). 1966. Climatic Change. Technical Note N° 79. Geneva. Switzerland. 80 pp.