

SEÑALES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PROVINCIA DE SANTA FE. TENDENCIAS DEL PERÍODO 1960-2019

Toffoli, GD¹; Acetta, PM²; Mendez, LA³; Costamagna, D.⁴; Leva, PE⁵.

RESUMEN

Durante las últimas décadas se ha observado un incremento de eventos climáticos extremos, de precipitación y de noches cálidas mientras que se registra una disminución de noches frías y de días con heladas en la región central de Argentina. El objetivo del presente estudio es evaluar los índices de cambio climático derivados de la temperatura y la precipitación de mayor relevancia para la provincia de Santa Fe (Argentina), a partir de las metodologías y los índices propuestos por el equipo de expertos en detección, monitoreo e índices de cambio climático. Se utilizaron datos diarios de seis localidades de la provincia de Santa Fe en el período evaluado (1960-2019). Se hallaron tendencias anuales positivas en la cantidad de noches cálidas y tropicales, temperatura mínima diaria, días con lluvia más intensa y cantidad de precipitación anual; por otro lado, las tendencias negativas se manifestaron en la cantidad de días con heladas y en la amplitud térmica diaria. Los resultados hallados son coherentes con numerosos trabajos relacionados al estudio del cambio climático en las últimas décadas en múltiples estaciones ubicadas en Sudamérica y en el centro de Argentina.

Palabras Clave: temperatura; precipitación; eventos extremos; cambio climático.

INDICES OF CLIMATE CHANGE IN THE PROVINCE OF SANTA FE: TRENDS FOR THE PERIOD 1960-2019

ABSTRACT

During the last decades, an increase in extreme weather events, precipitation and warm nights has been observed, while a decrease in cold nights and days with frost has been recorded in the central region of Argentina. The objective of this study is to evaluate the climate change indices derived from temperature and precipitation of greatest relevance to the province of Santa Fe (Argentina), based on the methodologies and indices proposed by the team of experts in detection, monitoring and indices of climate change. Daily data from six locations in the province of Santa Fe were used in the period evaluated (1960-2019). Positive annual trends were found in the number of warm and tropical nights, minimum daily temperature, days with heavier rain, and amount of annual precipitation; On the other hand, negative trends were manifested in the number of days with frost and in the daily thermal amplitude. The results found are consistent with numerous works related to the study of climate change in recent decades in multiple stations located in South America and central Argentina.

Key words: temperature; precipitation; extreme events; climate change.

¹ Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Litoral. Correo gtoffoli@fca.unl.edu.ar

² Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Litoral. Correo: pacetta@fca.unl.edu.ar

³ Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Litoral. Correo lmendez@fca.unl.edu.ar

⁴ Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Litoral. Correo dianelacostamagna@gmail.com

⁵ Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Litoral. Correo pleva@fca.unl.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se han observado cambios en los montos y distribución de la precipitación como así también en los registros de la temperatura del aire en la región central de Argentina (LOVINO, MÜLLER Y SGROI, 2020; FERRELLI *et al.*, 2019); se evidencian además aumentos significativos en la ocurrencia de noches cálidas determinado por un aumento en la temperatura mínima (VINCENT *et al.*, 2005). Esto es coincidente con lo informado por investigadores en otras regiones del mundo (ALEXANDER *et al.*, 2006 o CAESAR *et al.*, 2006) que registraron cambios en la amplitud térmica, con tendencia a la disminución de la misma (VOSE *et al.*, 2005). Del informe sobre los estudios de los cambios climáticos observados en Argentina que se realizó para la tercera comunicación a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (CC), se desprende que el número de noches tropicales aumentó en forma estadísticamente significativa en el norte y este del país. FERNÁNDEZ LONG *et al.*, (2012) estudiaron la evolución temporal de las temperaturas máximas y mínimas en distintas localidades de las provincias de San Luis, Santiago del Estero, Córdoba y La Pampa en el período 1940-2007, indicando que la temperatura máxima tiende a la disminución mientras que la temperatura mínima va en aumento. En el período 1960-2010, la precipitación aumentó en casi todo el país y los incrementos de más de 100 mm en algunas zonas semiáridas, tuvieron un efecto importante en el proceso de *agriculturización* de esas zonas (CASTAÑEDA Y BARROS 1994; BARROS *et al.*, 2000; BARROS *et al.*, 2008; DOYLE *et al.*, 2012).

Para la provincia de Santa Fe, diferentes investigadores (VATORTA *et al.*, 2008; LEVA *et al.*, 2008; TONEATTI *et al.*, 2014; TOFFOLI *et al.*, 2016; TOFFOLI *et al.*, 2018) informaron sobre las variaciones sobre las temperaturas máxima y mínimas, del índice de temperatura y humedad y su importancia sobre la producción lechera. Así mismo, GARCÍA *et al.* (2008) para el periodo 1979-2004, presentó un informe sobre la caracterización del régimen agroclimático de heladas para la provincia de Santa Fe, indicando una disminución del período medio con heladas para las localidades en estudio, evidenciando un aumento de la temperatura mínima.

Frente a un contexto de variabilidad y cambio climático, el objetivo de este trabajo fue determinar índices climáticos y observar las tendencias que indicarían las variaciones de los elementos climáticos para la provincia de Santa Fe aplicando la metodología propuesta por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) que, a través de un equipo de expertos *Expert Team on Climate Change: Detection, Monitoring and Indices* (ETCCDMI), desarrolló un set de 27 índices climáticos útiles para la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima. Para ello se requiere de series largas e ininterrumpidas de registros para el cálculo y análisis de estos índices, con lo cual se trabajó con el período 1960-2019. La información fue suministrada por las estaciones meteorológicas de cinco (5) localidades de Santa Fe. Las mismas forman parte de una red de estaciones meteorológicas oficializadas bajo las normas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las estaciones elegidas para este estudio fueron seleccionadas teniendo en cuenta su ubicación y la información disponible para poder cubrir en su totalidad a la provincia de Santa Fe (tabla n°1). Las mismas se encuentran instaladas en su mayoría desde mediados del siglo XX, a excepción de Venado Tuerto que fue a fines del mismo siglo. Las cinco estaciones no sufrieron modificación alguna de acuerdo a su ubicación hasta la actualidad y disponen de instrumentos homologados, obteniendo los registros siguiendo normas tanto de instrumental como de observación impuestas por el SMN. Se utilizaron datos diarios de temperaturas máxima y mínima y de precipitación de un período analizado desde 1960 a 2019. Para la obtención de los índices se utilizó el módulo R-Climdex 1.0 desarrollado por el departamento de investigación climática del servicio meteorológico de Canadá y ejecutado en R versión 3.3.1 (ZHANG Y FENG, 2004).

TABLA 1.

Estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio por contar con las variables meteorológicas requeridas: precipitación (Pp), temperatura máxima (tx) y temperatura mínima (tn).

Estación	Región	Dependie nte	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Desde	Hasta	Variables meteorológicas disponibles
Ceres	Norte	SMN	-29.882	-61.947	84	1960	2019	Pp, tx, tn
Reconquista	Norte	SMN	-29.149	-59.650	21	1960	2019	Pp, tx, tn
Rafaela	Centro	INTA	-31.250	-61.486	90	1960	2019	Pp, tx, tn
Sauce Viejo	Centro	SMN	-31.768	-60.833	10	1960	2019	Pp, tx, tn
Rosario	Sur	SMN	-32.946	-60.639	24	1960	2019	Pp, tx, tn
Venado Tuerto	Sur	SMN	-33.745	-61.968	111	1989	2019	Pp, tx, tn

RClimDex realiza un control de calidad a los datos como previo al cálculo de los índices. Para ello, se deben reemplazar todos los datos faltantes (codificados como -99,9) en un formato interno que reconoce R y luego todos los valores no razonables por NA (no disponible), por ejemplo: cantidades de precipitaciones diarias menores que cero y temperaturas máximas diarias menores que las temperaturas mínimas diarias. Adicionalmente, este control de calidad también identifica valores extremos (*outliers*) en temperaturas diarias máximas y mínimas. Los valores extremos son datos diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario. Se calcularon 11 de los 27 índices climáticos anual y mensualmente, asociados al comportamiento de la temperatura mínima, máxima y de la precipitación e índices asociados a los eventos extremos de temperatura y de la lluvia (tabla n° 2). Los índices extremos fueron basados en el percentil 90, tal como lo define el ETCCDMI. Se introdujeron para el cálculo umbrales de temperatura: 25°C para temperatura máxima diaria y 20°C como umbral superior de temperatura mínima diaria. Se graficaron las series anuales, junto con las tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y regresión lineal con ponderamientos locales para evaluar las tendencias parciales y se presentaron sus estadísticas de ajuste y su significancia. Para los índices extremos de temperatura y para la amplitud térmica, además, se realizó un análisis de tendencias a escala estacional, para ello se consideraron las series promediadas para verano (diciembre-enero-febrero; DEF), otoño (marzo-abril-mayo; MAM), invierno (junio-julio-agosto; JJA) y primavera (septiembre-octubre-noviembre; SON).

TABLA 2.

Índices de cambio climático relacionados con el aumento de temperatura y anomalías de la precipitación recomendados por la ECTCCDI, utilizados en este estudio.

Indicador	Unidad	Nombre del indicador	Definición
TMINmean	°C	Temperatura mínima	Valor más bajo anual de diario temperatura mínima
TMAX mean	°C	Tmáxima más alta	Valor anual más alto de diario temperatura máxima
Tn90p	%	Porcentaje de noches cálidas	Porcentaje del tiempo en el que la Temperatura mínima supera al percentil 90 de datos diarios.
Tx90p	%	Porcentaje de días cálidos	Porcentaje del tiempo en el que la Temperatura máxima supera al percentil 90 de datos diarios.
DTR	°C	Rango de temperatura Diurna extrema Intraanual	Diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas para cada año.
FD0	Días	Días de heladas	Número de días en un año cuando Temperatura mínimo diario <0 °C
TR20	Días	Noches tropicales	Número de días en un año cuando la temperatura mínima supera los 20 °C.
SU25	Días	Días de verano	Número de días en un año cuando Temperatura máximo diario >25°C
PRCPTOT	mm	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)
RX1day	mm	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día
SDII	mm/día	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis de eventos climáticos extremos

3.1.1 Asociado al comportamiento de la temperatura mínima

Es importante destacar que un aumento de la temperatura mínima genera diferentes cambios en el ambiente, tanto negativos como positivos y afectando a los cultivos y a la producción ganadera, por ejemplo. Esto se traduce en menos horas de frío y menor duración del período con heladas, tal como lo indica GARCÍA et al. (2008), lo cual podría provocar diferentes impactos tanto para la agricultura como en el ganado lechero.

En relación a la agricultura, hay cultivos (trigo o cebada) y árboles frutales que necesitan de horas de frío o de un período de vernalización. El período de dormición o reposo se inicia a finales del otoño (CALDERÓN, 1983) y se caracteriza por la supresión temporal del crecimiento visible de cualquier estructura de la planta que contenga meristemo (LANG, 1996). GARCÍA et al. (2011) indica que las yemas de las plantas que están en un estado de dormición profunda (endo-dormición), no salen del mismo hasta tanto no hayan recibido suficiente cantidad de frío invernal. Con respecto a la ganadería, un aumento de la temperatura mínima podría verse reflejado en un incremento de las olas de calor, definido como un período por el cual, generalmente de 3 a 5 días consecutivos, la temperatura mínima es superior a 23°C y la máxima de 29°C (VALTORTA, 2011) o de acuerdo al SMN, que establece que comienza cuando se supera o iguala un umbral de temperatura que dependerá de cada localidad o región. Este umbral se toma de base al denominado Percentil 90 (P90), es decir, “la temperatura por encima de la cual uno se encuentra dentro del 10% de temperaturas más altas para ese lugar, acorde al registro histórico de cada localidad. Superado ese umbral, se considera que una temperatura es extrema” (SMN). Es necesario aclarar que, si bien las temperaturas tienen un efecto sobre los animales, no es la causa exclusiva por la cual la producción de leche podría disminuir en verano, sino que también se debe a efectos directos sobre los mecanismos fisiológicos en relación a la lactancia (VALTORTA Y LEVA, 1998). No obstante, el animal en las noches suele rumiar, un proceso importante en la producción lechera. En caso las noches sean calurosas, el animal podría encontrarse en disconfort térmico, con un aumento de la respiración (mecanismo de regulación de la temperatura corporal) y una disminución del tiempo de rumia.

Ante esto, es clave analizar y monitorear la temperatura mínima y los índices relacionados a ella.

En ese sentido, analizamos tres índices: valor medio anual de la temperatura mínima (TMINmean), noches tropicales (TR20) y porcentaje de noches cálidas (TN90p).

En la figura N°1 podemos observar la variación interanual de la temperatura mínima y su tendencia estacional (tabla n°3).

TABLA 3.
Tendencia estacional de la temperatura mínima.

	VERANO (DEF)	OTOÑO (MAM)	INVIERNO (JJA)	PRIMAVERA (SON)
Ceres	+	+	=	+
Reconquista	+	+	+	+
Rafaela	+	+	=	+
Sauce Viejo	+	+	+	+
Venado Tuerto	+	+	+	+
Rosario	+	+	+	+

Para el valor medio anual de la *temperatura mínima* (TMINmean), se observan aumentos significativos ($p < 0,05$) (figura n°2) del orden de 0,82 a 1,06 °C, para las localidades de Rafaela 0,82

°C; en Ceres 0,9°C y de 1,06 °C en Venado Tuerto, y un importante incremento al este de la provincia del orden de 1,19 a 1,69 °C, en Reconquista 1,19 °C, Sauce Viejo 1,27 °C y 1,69 °C en Rosario.

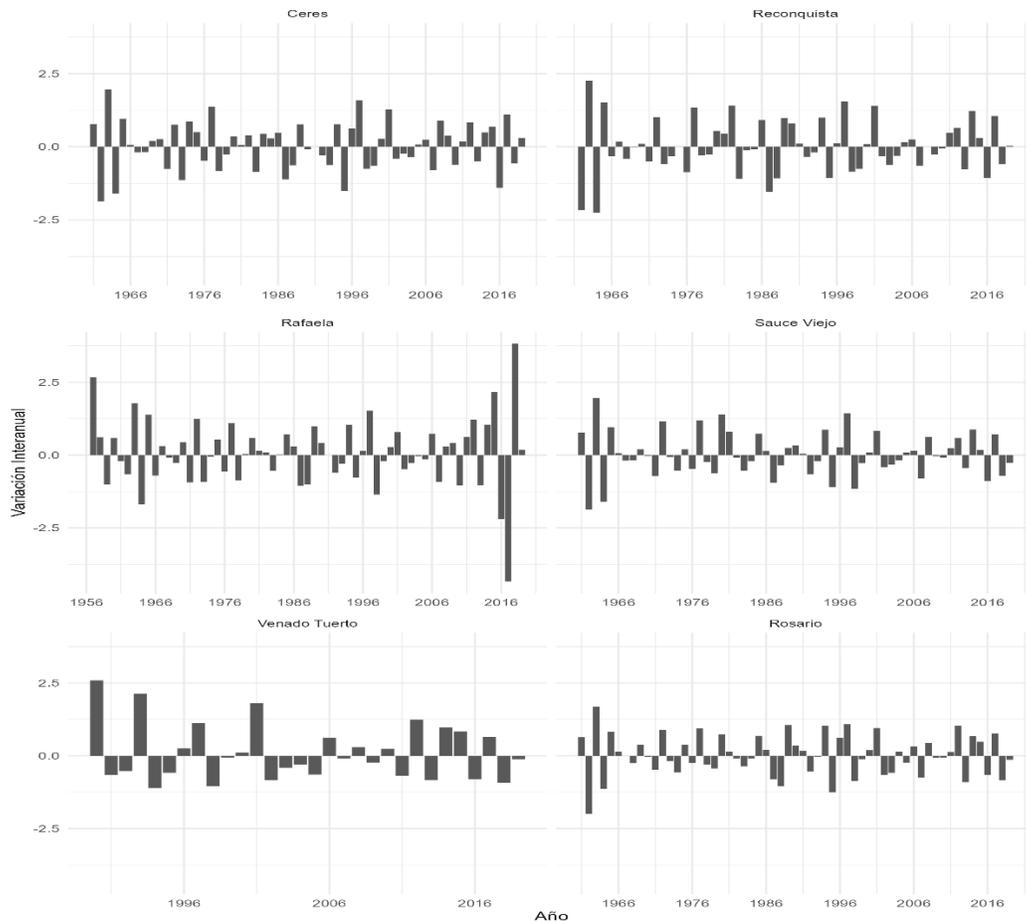
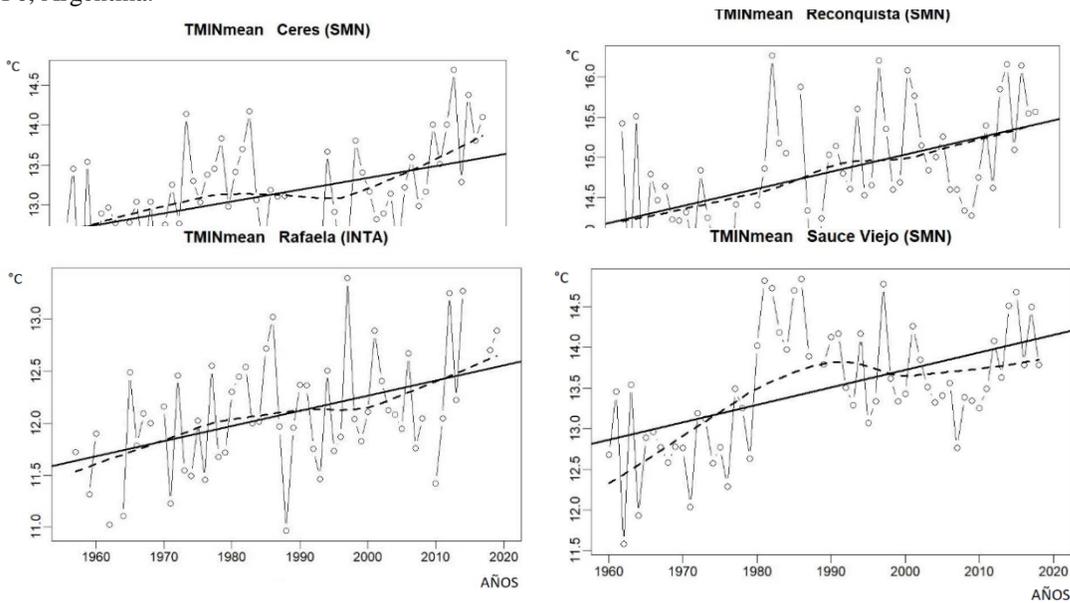


FIGURA 1. Variación interanual de la temperatura mínima de las distintas localidades de la provincia de Santa Fe, Argentina.



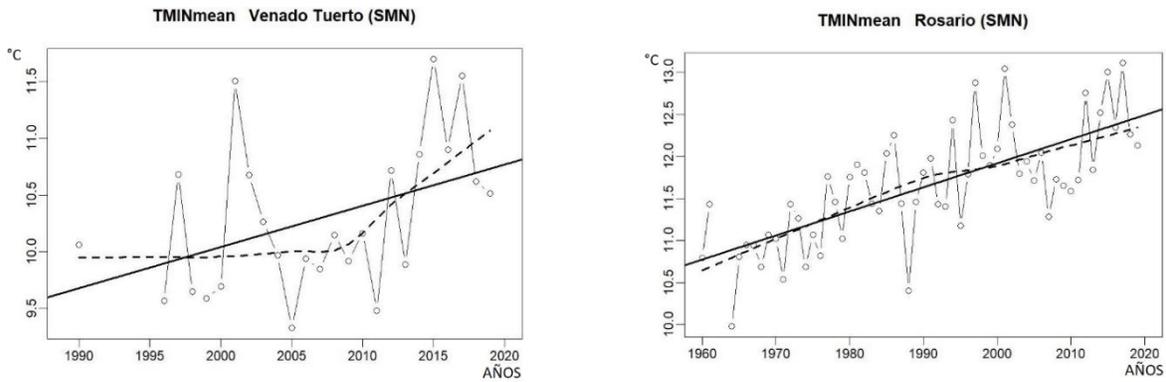
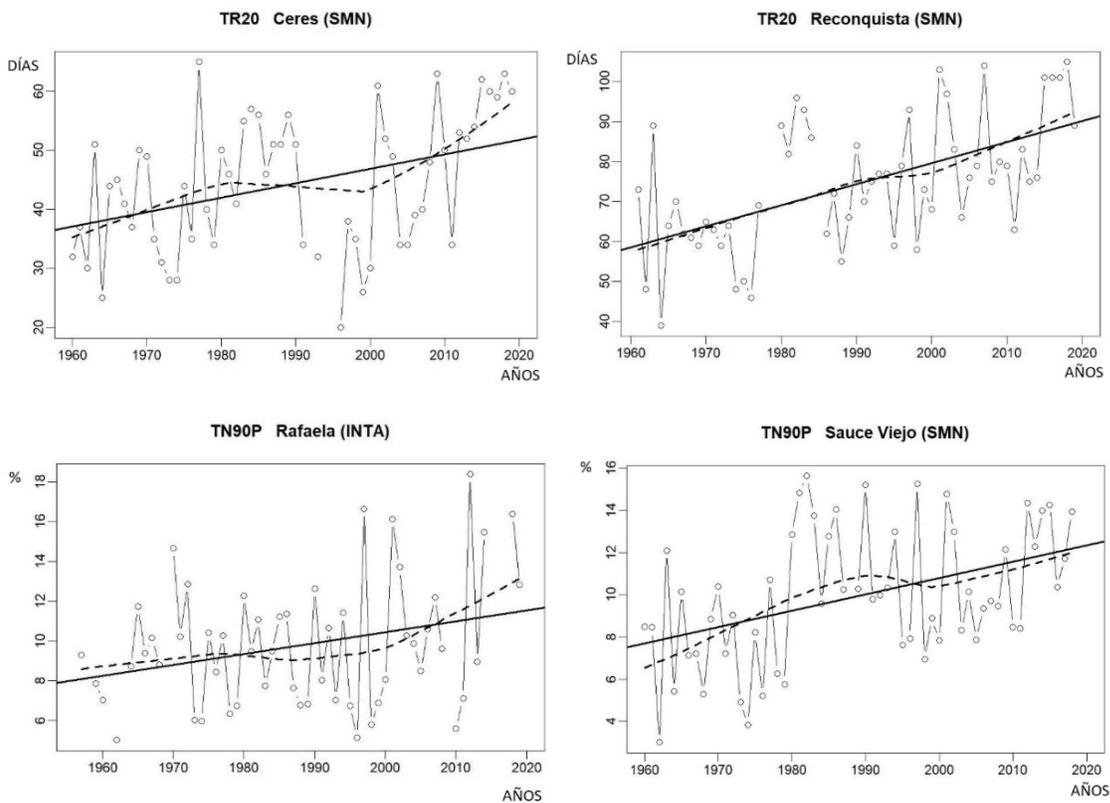


FIGURA 2. Variación y tendencia de la temperatura mínima. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

Al analizar los datos de días en un año de TR20, se observó una tendencia positiva con un grado de significancia ($p < 0,05$) en todas las estaciones seleccionadas en la provincia. Los mayores aumentos (figura n°3) se dieron en Reconquista que pasó de tener 59 a 89 días (incremento de 30 días) mientras que Rosario, de 13 a 39 días (incremento de 26 días), Sauce Viejo, de 40 a 60 días (incremento de 20 días), Ceres de 37 a 51 días (incremento de 14 días), Rafaela de 20 a 32 días (incremento de 12 días) y Venado Tuerto, considerando la serie 1990-2019, de 5 a 12 días (incremento de 7 días).



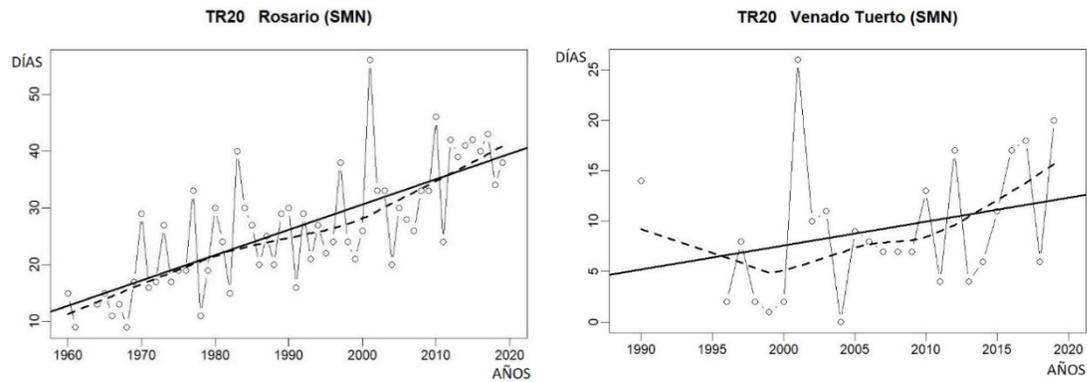
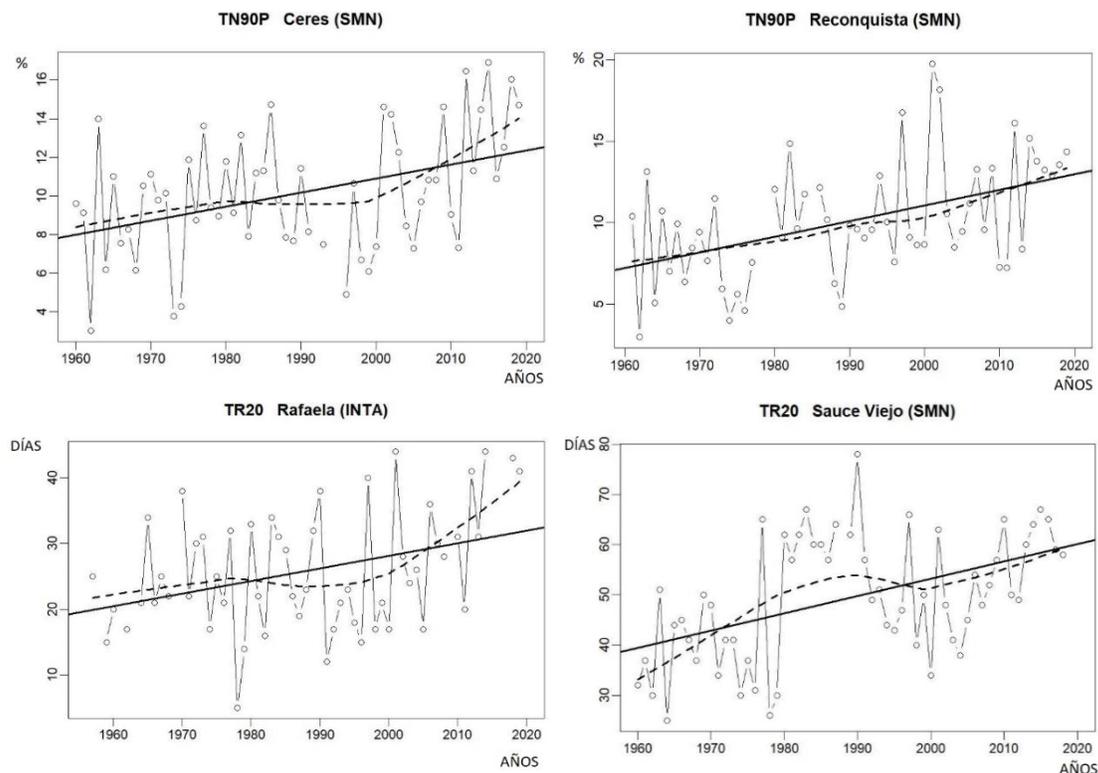


FIGURA 3. Variación y tendencia de noches tropicales. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

El **porcentaje de noches cálidas (TN90p)** o días con temperaturas mínimas superiores al percentil 90, también presentan incrementos significativos ($p < 0,05$) para todas las localidades durante toda la serie de años analizada (figura n°4) y su tendencia estacional (tabla n°4). Los valores fueron 3,4; 3,9; 4,7; 5,6; 6,5; 10,3 para las localidades de Rafaela, Venado Tuerto, Sauce Viejo, Reconquista, Rosario y Ceres respectivamente. Este evento es sumamente perjudicial para el ganado lechero ya que no permite que los animales puedan disipar el calor interno acumulado durante el día. Esto genera que el animal destine energía para disipar el calor y no para la producción de leche, provocando una rebaja en la leche cruda extraída en los tambos, especialmente en la estación estival.



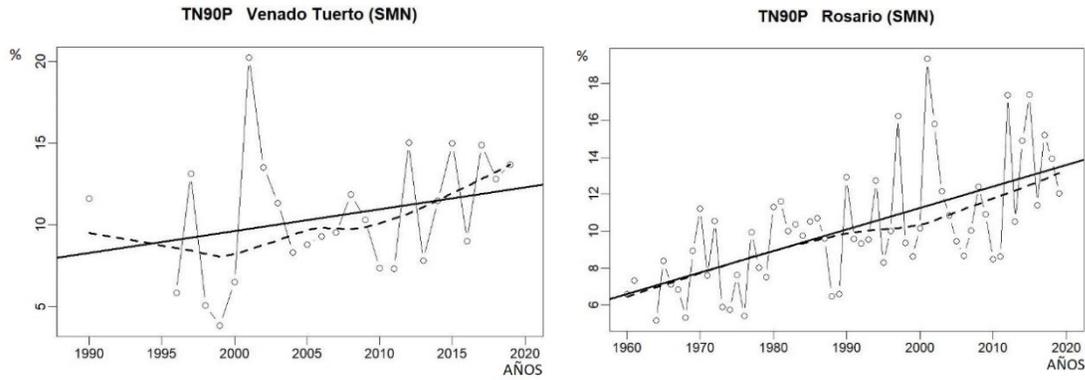
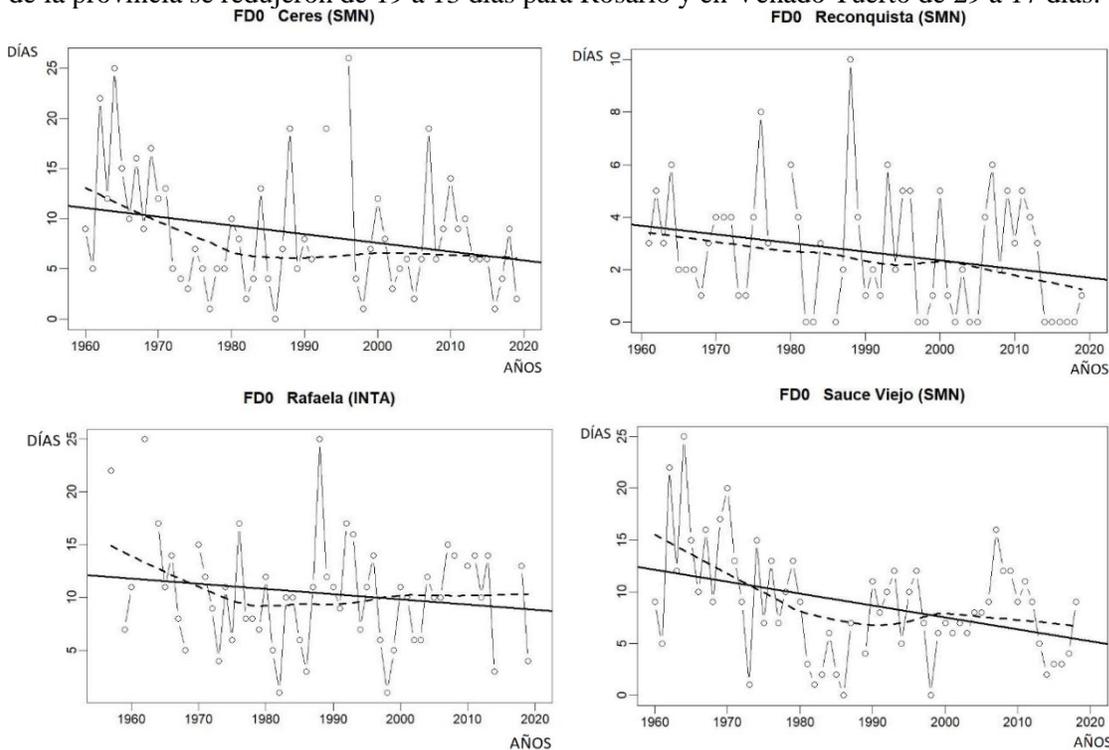


FIGURA 4. Variación y tendencia de la amplitud térmica. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

Tabla N° 4. Tendencia estacional de noches cálidas

	VERANO (DEF)	OTOÑO (MAM)	INVIERNO (JJA)	PRIMAVERA (SON)
Ceres	+	+	=	+
Reconquis	+	+	+	+
Rafaela	+	+	+	+
Sauce	+	+	+	+
Venado	+	+	-	=
Rosario	+	+	=	+

El **índice día con heladas (FD0)** (figura n°5) presentó tendencias negativas significativas ($p < 0,05$), disminuyendo la cantidad de días con heladas en la provincia de Santa Fe. Para Ceres la reducción fue de 11 a 6 días, de 4 a 2 días para Reconquista, (casi desapareciendo las heladas para esta localidad), en Rafaela pasó de 11 a 9 días y de 12 a 5 días en Sauce Viejo, mientras que para la sur de la provincia se redujeron de 19 a 13 días para Rosario y en Venado Tuerto de 29 a 17 días.



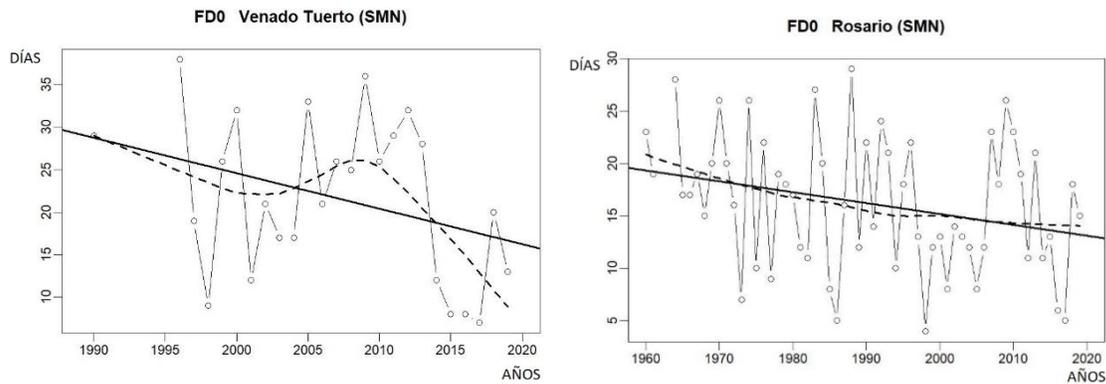


FIGURA 5. Variación y tendencia de días con heladas. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

Todos estos resultados obtenidos en relación al comportamiento asociados a la temperatura mínima concuerdan con trabajos realizados por DAMARIO Y PASCALE (1994), GARCIA *et al.*, (2002), VINCENT *et al.* (2005), ALEXANDER *et al.* (2006) y CAESAR (2006) quienes informan una disminución de la amplitud térmica anual como consecuencia del aumento de la temperatura mínima media. Con respecto a los días con heladas, coinciden con varios trabajos llevados a cabo en la región centro del país que afirman que hubo una disminución progresiva de la cantidad de días con heladas (BARRUCAND y RUSTICUCCI, 2001; VARGAS *et al.*, 2006, FERNÁNDEZ LONG *et al.*, 2005, GARCIA *et al.*, 2008).

3.1.2 Asociado al comportamiento de la temperatura máxima

Al igual que un aumento de la temperatura mínima, los animales y los cultivos se ven comprometidos ante los cambios registrados en la temperatura máxima y de los índices calculados derivados de ella. Las variaciones de todo esto, pueden influir en el comportamiento de la población. Por ejemplo, las altas temperaturas registradas en los veranos provocaron un aumento del consumo de la energía eléctrica. En varios barrios de las ciudades de Rosario y Santa Fe, entre otras localidades, han sufrido cortes del suministro eléctrico ante los récords de consumo (DI SALVATORE, 2018). En los espacios rurales también el consumo se ve comprometido, ya que muchos tambos tienen una estructura con ventiladores y aspersores para disminuir el calor ambiental mientras los animales son ordeñados. Las altas temperaturas pueden tener un impacto significativo en la agricultura de varias maneras. Cuando las mismas alcanzan niveles excesivos, generan estrés térmico en las plantas, lo que a su vez disminuye su crecimiento y rendimiento (WAHID *et al.*, 2007). El estrés por calor afecta la tasa de desarrollo de los cultivos, que se acelera hasta cierto punto y se reduce después de cierto nivel y controla en gran medida la fenología de las plantas. Además, la respuesta varía según la etapa fenológica, el cultivo y los diferentes genotipos. Los efectos también dependen si el estrés por calor se debió a altas temperaturas nocturnas y diurnas (WAHID *et al.*, 2007).

En la figura N°6 podemos observar la variación interanual de la temperatura máxima. La misma presenta un incremento en el centro y oeste de la provincia (Ceres y Rafaela) mientras que las demás, se observa una menor variabilidad debido a la cercanía al río Paraná.

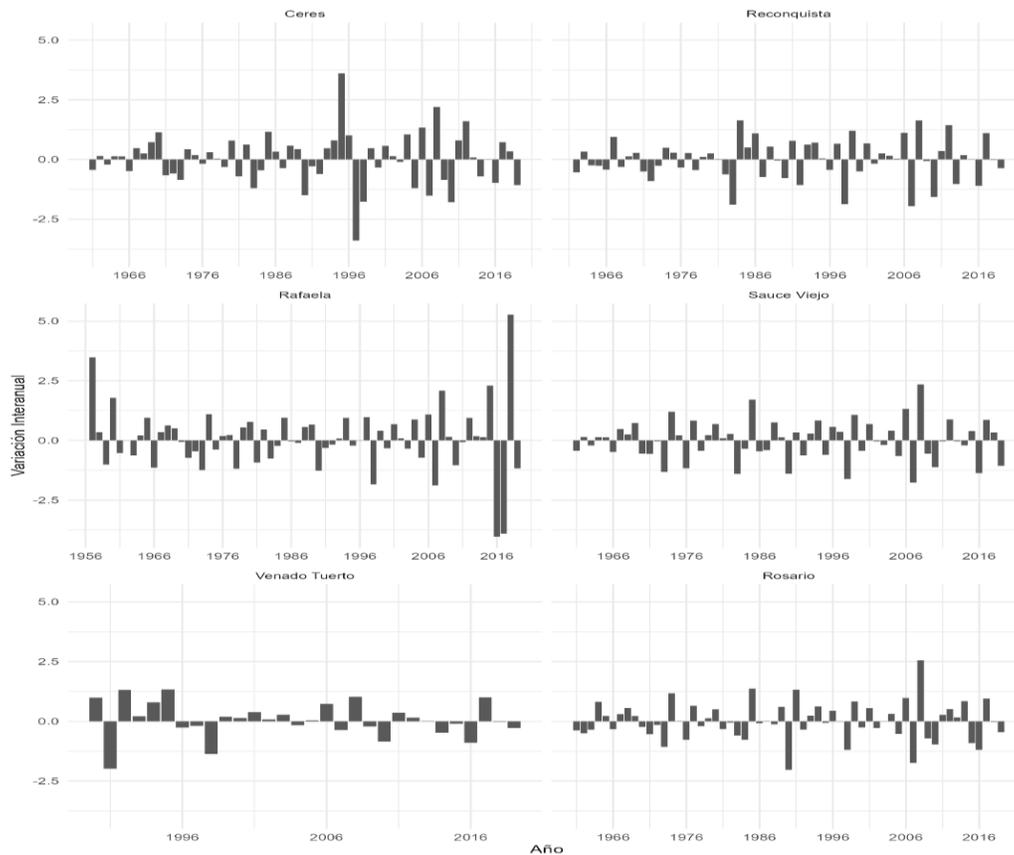
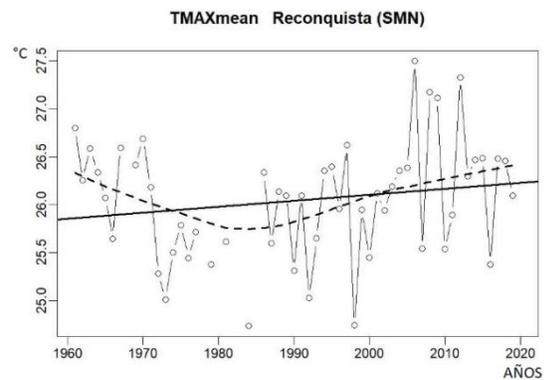
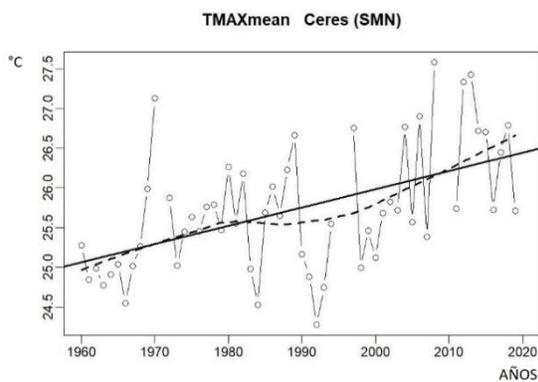


FIGURA 6: Variación interanual de la temperatura máxima de las distintas localidades de la provincia de Santa Fe, Argentina.

Los índices analizados son TMAXmean o valor medio anual de la temperatura máxima, SU25 o días de verano y TX90P o porcentaje de días calientes. Con respecto al primer índice (figura n°7), muestra una tendencia positiva pero no significativa en la localidad de Reconquista ($0,36\text{ }^{\circ}\text{C}$) y con diferencias significativas ($P<0,05$) en Ceres ($0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$), Rosario ($0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$) y Venado Tuerto ($1,26\text{ }^{\circ}\text{C}$). Por el contrario, en Rafaela tiende a disminuir ($-0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$) y Sauce Viejo no se observa variación (ambos no significativas). En la tabla n°6 se muestra la variación estacional de la temperatura máxima.



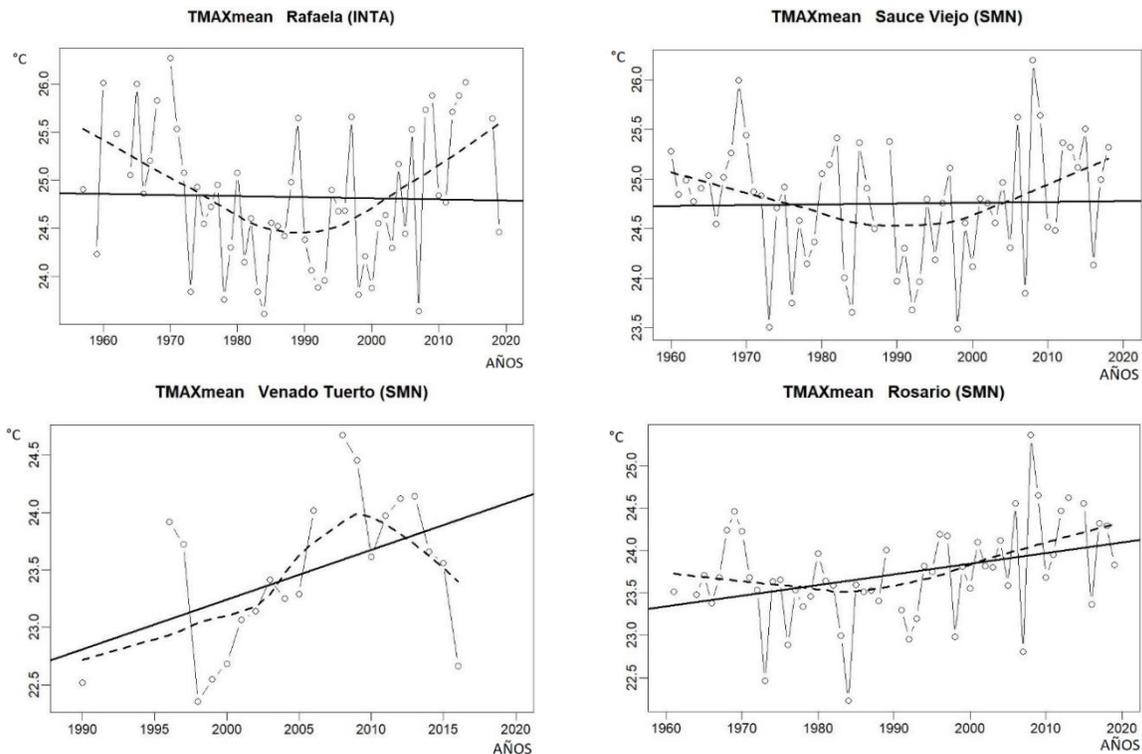


FIGURA 7. Variación y tendencia de la temperatura máxima. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

TABLA 6.
Tendencia estacional de noches cálidas

	VERANO (DEF)	OTOÑO (MAM)	INVIERNO (JJA)	PRIMAVERA (SON)
Ceres	+	=	+	+
Reconquista	=	=	=	+
Rafaela	-	-	=	+
Sauce Viejo	-	-	=	+
Venado Tuerto	+	+	+	+
Rosario	=	=	+	+

Como **días de verano (SU25)** (figura n°8) se define al número de días en un año cuando la temperatura máxima diaria fue mayor a 25°C. Los resultados muestran que las localidades del sur y norte de la provincia presentan tendencia positiva: Rosario (pasó de 151 a 174 días) y Ceres (de 191 a 218) siendo significativos ambos ($p < 0,05$); Venado Tuerto (144 a 175 días) y Reconquista (209 a 217 días) no significativos. Por otro lado, para la región centro (Rafaela y Sauce Viejo) la cantidad de días de verano no hubo variaciones, ambos con 184 días con temperatura máxima por encima de 25°C.

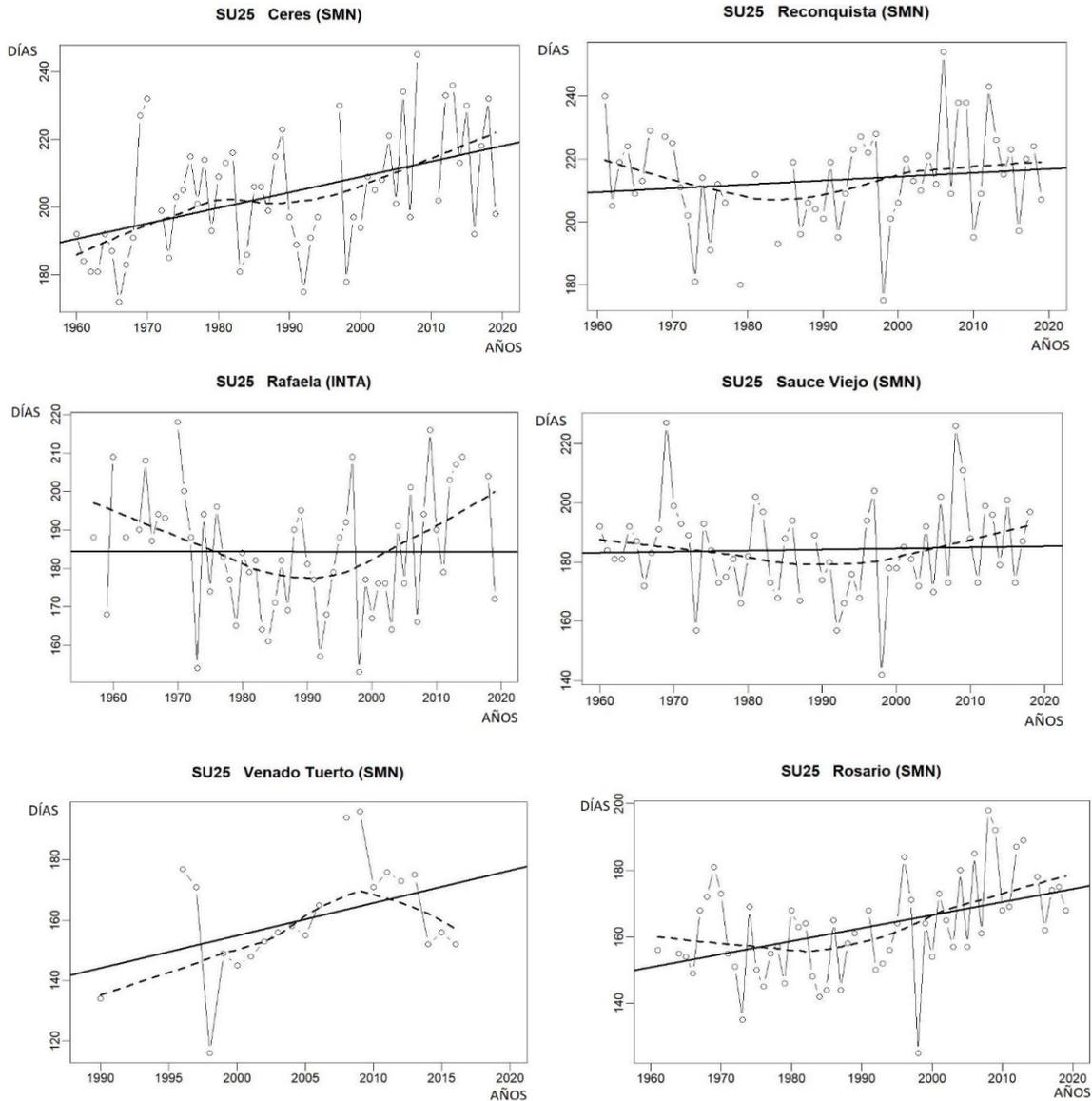


FIGURA 8. Variación y tendencia de días de verano. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

El *índice TX90P* o *porcentaje de días calientes* se define como el período por el cual la temperatura máxima fue mayor que el 90 percentil. En la figura n°9 se indican las tendencias de la provincia y en la tabla n°7, la tendencia estacional; en las localidades de Rosario y Ceres se presentan incrementos significativos ($P < 0,05$), mientras que, en Reconquista y Venado Tuerto, no hay diferencias significativas. Los valores fueron 1,8; 4,13; 5,95; 6,1 % para las localidades de Reconquista, Rosario, Venado Tuerto y Ceres respectivamente. Rafaela y Sauce Viejo, por su parte, presentan una tendencia a disminuir (-0,95 y -0,99 % respectivamente) sin diferencias significativas.

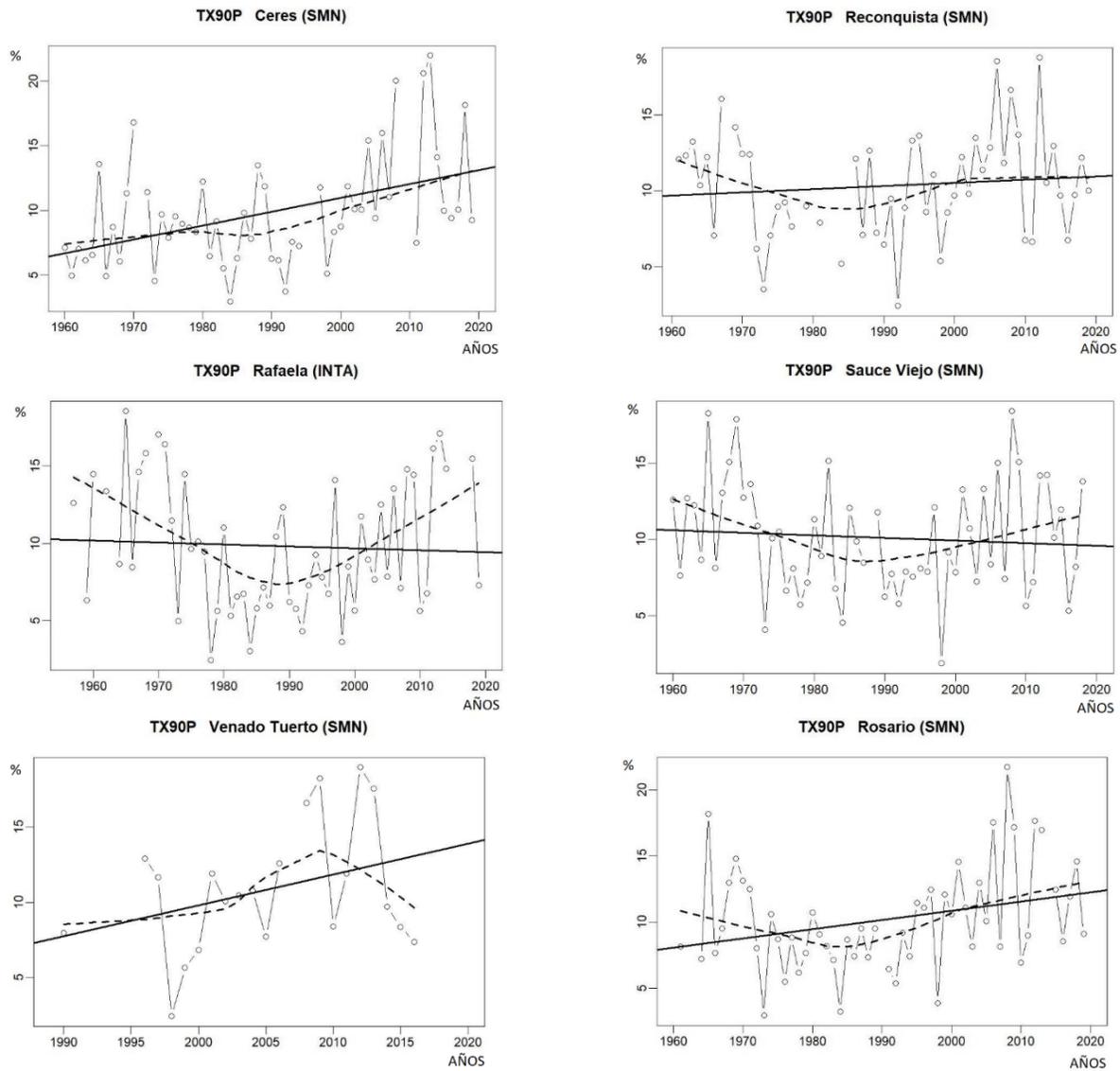


FIGURA 9. Variación y tendencia porcentaje de días calientes. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

TABLA 7.
Tendencia estacional de porcentajes de días calientes

	VERANO (DEF)	OTOÑO (MAM)	INVIERNO (JJA)	PRIMAVERA (SON)
Ceres	+	+	+	+
Reconquista	+	=	+	+
Rafaela	-	-	=	+
Sauce Viejo	-	-	=	+
Venado Tuerto	+	+	+	+
Rosario	+	+	+	+

Los resultados han demostrado que los índices en relación a la temperatura máxima, dependiendo el área que se quiera analizar, mantienen una tendencia positiva, indicando también cambios en la temperatura del aire señalado por LOVINO (2015). Este autor indica que hubo un corrimiento de las isotermas de la temperatura máxima hacia el sur, no así en el centro y norte, observándose por lo pronto, un calentamiento local de la provincia.

3.1.3 Asociado a la amplitud térmica

El índice del rango diario de temperatura (DTR) o también conocido como *amplitud térmica* (figura n°10) muestra una disminución significativa ($p < 0,05$) y su tendencia estacional (tabla n°4) de 0,92; 0,95; 1,1 y 1,27 °C para el área de Reconquista, Rosario, Rafaela y Sauce Viejo respectivamente, mientras que para las localidades de Ceres y Venado Tuerto se observa un aumento no significativo de 0,4 °C. Esto comprueba que, al disminuir la amplitud térmica de una región, la misma registraría un fenómeno de aumento de la temperatura del aire. Esto indica, de acuerdo a LOVINO (2015), un incremento en toda la provincia, “suavizando” los inviernos y calentando aún más los veranos. Esto tendría múltiples implicancias en los cultivos y en la producción ganadera.

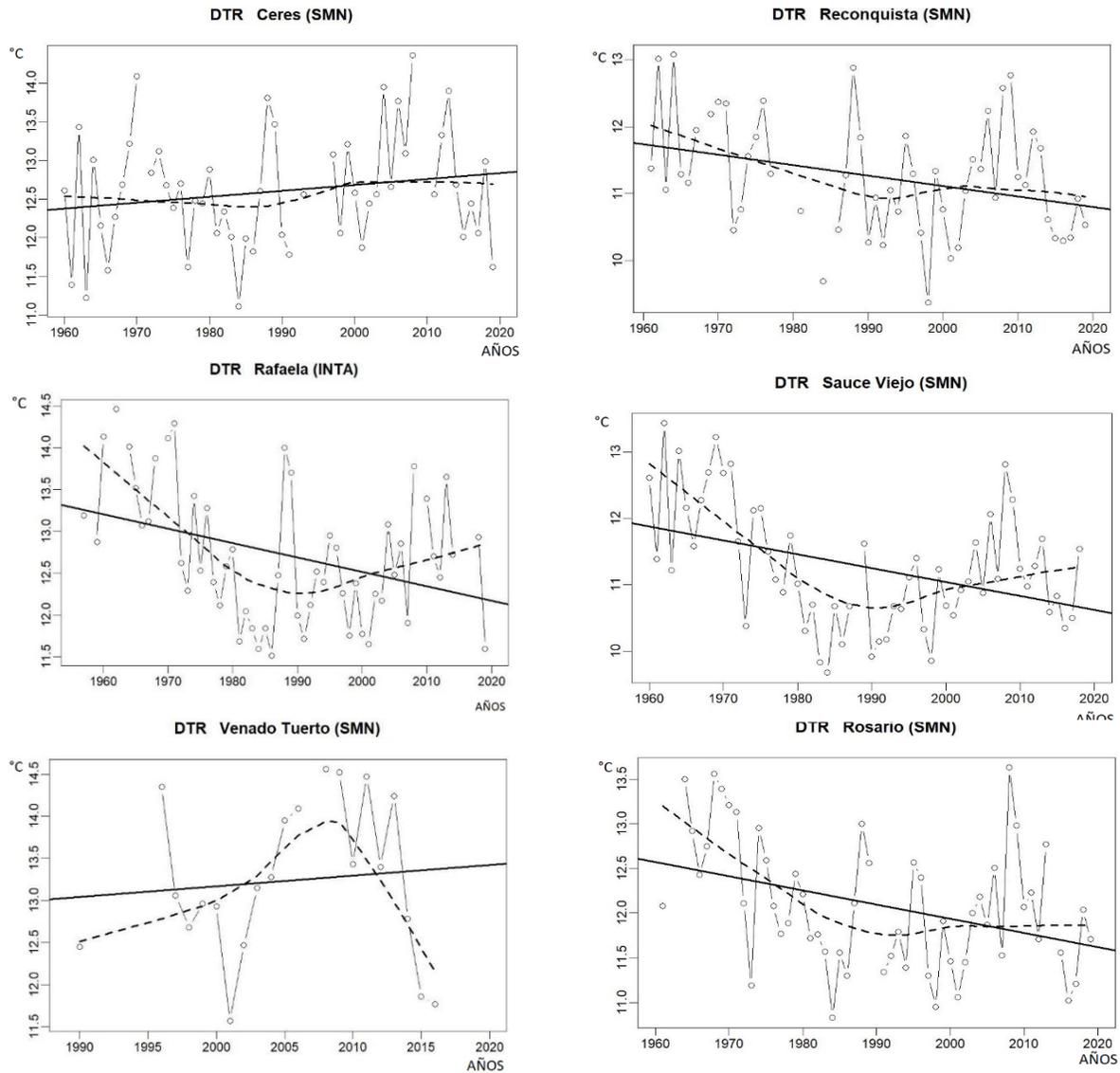


FIGURA 10. Variación y tendencia de la amplitud térmica. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

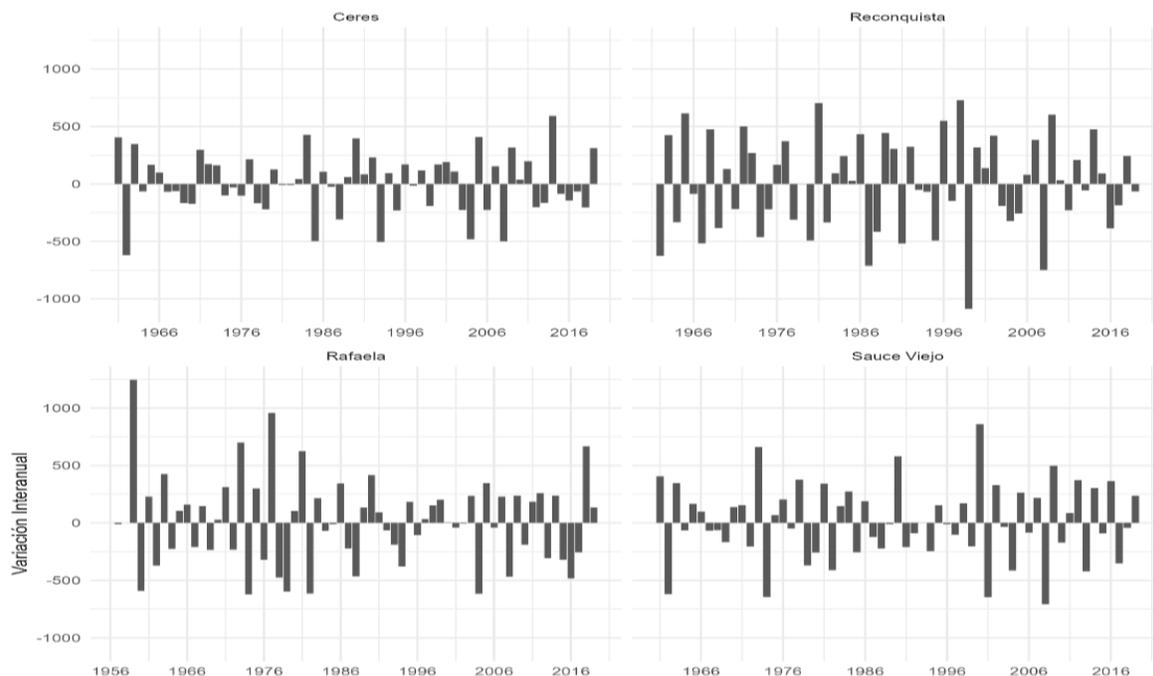
TABLA 5. Tendencia estacional de DTR.

	VERANO (DEF)	OTOÑO (MAM)	INVIERNO (JJA)	PRIMAVERA (SON)
Ceres	-	-	+	+
Reconquista	-	-	=	-
Rafaela	-	-	=	-
Sauce Viejo	-	-	-	-
Venado Tuerto	-	-	+	+
Rosario	-	-	=	-

3.1.4 Asociado al comportamiento de la precipitación

El aumento o disminución de la precipitación es importante, particularmente, para la agricultura. Los cambios o no que se podrían registrar, permite además el análisis de los eventos extremos asociados a la lluvia, tales como déficit o excesos hídricos. LOVINO, MÜLLER y SGROI (2020) indican que, en Santa Fe, la precipitación anual ha registrado un aumento a partir de 1960. Al igual que estos autores, BLANCO (2020) señala que, en el nordeste argentino, no solo aumentaron los montos pluviométricos sino también la intensidad de la misma en los últimos 50 años. En relación a esto, se registran mayores frecuencias de eventos de excesos hídricos de muy corto período, con frecuencias entre 2 y 4 años y sumado a los cambios del uso del suelo, han reducido la evapotranspiración y favorecido el escurrimiento superficial (LOVINO, MÜLLER y SGROI, 2020)

La variabilidad de la precipitación afecta a las distintas actividades productivas y a la población en general, pudiendo generar desde inundaciones a extremas sequías. En la figura N°11 se indican las variaciones interanuales de las cinco localidades, observándose una fuerte variabilidad en Reconquista y Rafaela. Las causas de ello no son simples ya que existen diferentes factores regionales y locales. La época del año, el transporte de humedad y las condiciones de humedad del suelo son todos factores que influyen en la duración e intensidad de las sequías o los excesos hídricos (LOVINO, MÜLLER y SGROI, 2020). Este tipo de análisis es fundamental para comprender las tendencias climáticas a largo plazo y para tomar decisiones informadas sobre la gestión de recursos hídricos, la agricultura y la planificación urbana, entre otras áreas.



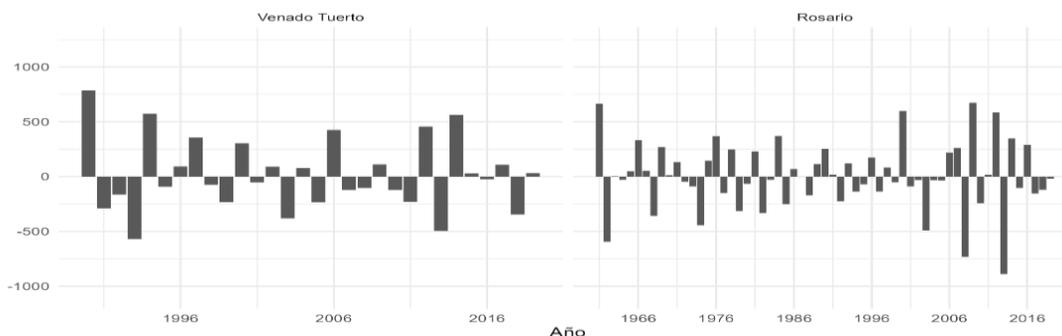
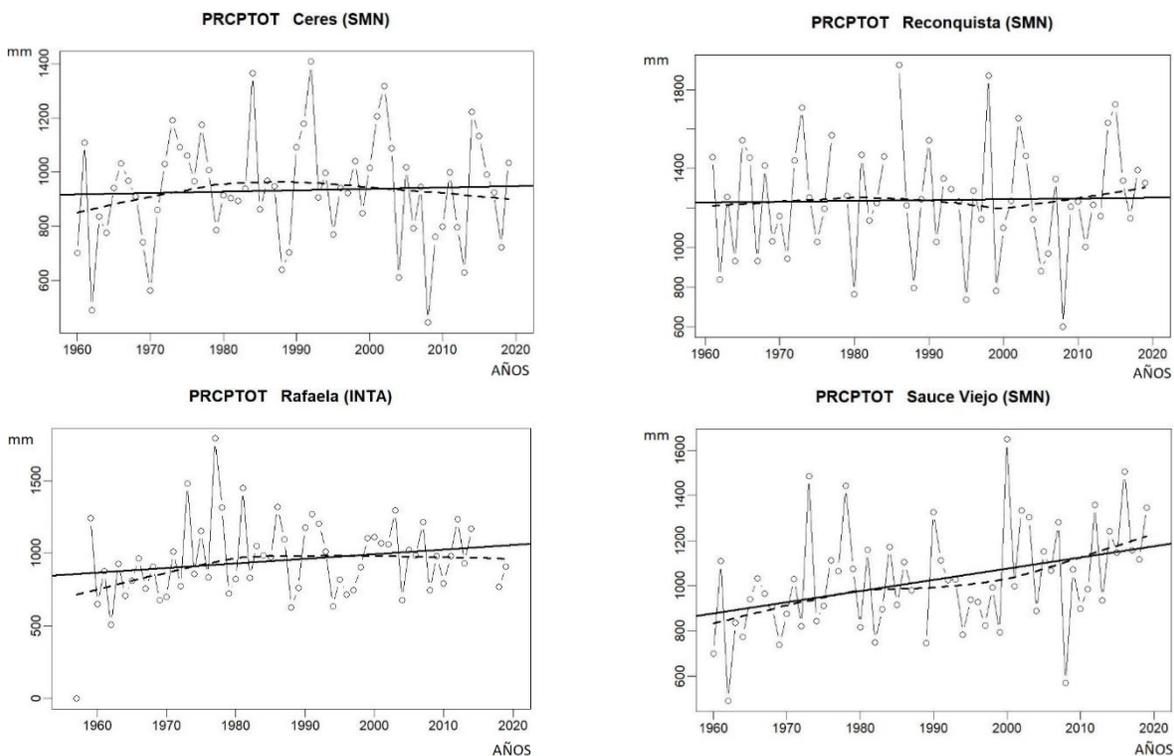


FIGURA 11: Variación interanual de la precipitación de las distintas localidades de la provincia de Santa Fe, Argentina.

El primer índice climático calculado se denomina **precipitación total anual (PRCPTOT)** y su tendencia, tal como lo indica la figura n°12, presenta un aumento para todas las localidades a excepción de Venado Tuerto, que indica una disminución de la misma (serie de años corta). Las que tuvieron mayor aumento (con diferencia significativa, $p < 0,05$) son Sauce Viejo con 291,5 mm y Rafaela con 129 mm, luego con aumentos no significativos están Rosario 99 mm, Ceres con 31 mm y Reconquista con 23 mm., mientras que Venado Tuerto indica una disminución de 86 mm.



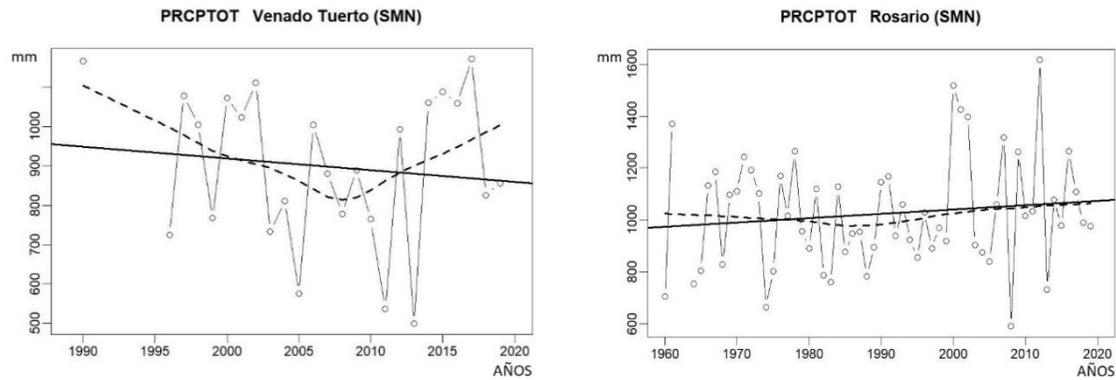
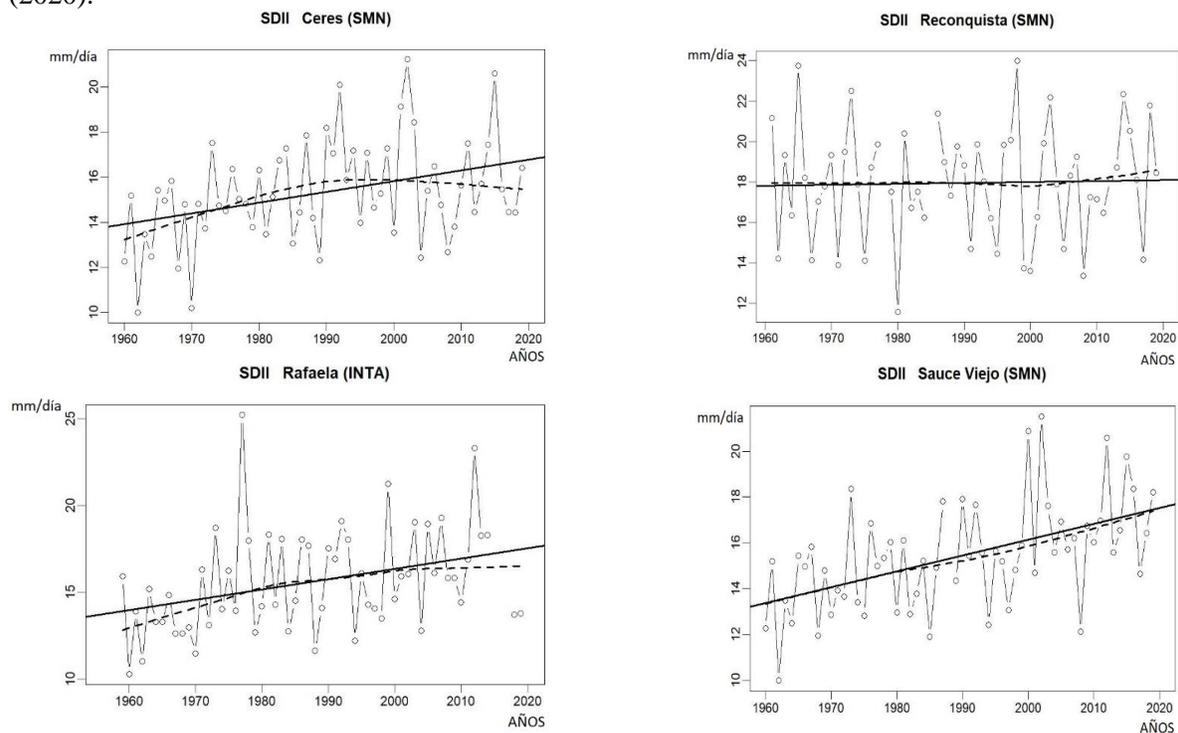


FIGURA 12. Variación y tendencia de precipitaciones. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

Otro índice asociado a la precipitación es el de **simple de intensidad diaria (SDII)** o precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (figura n°13). En todas las localidades en estudio, se presentan tendencias a aumentar la intensidad diaria, con incrementos de los valores que rondan 1,6; 4,3; 13,2; 20,1; 27,5 y 29,9 % para las localidades Reconquista, Venado Tuerto, Rosario, Ceres, Rafaela y Sauce Viejo respectivamente. Esto, de acuerdo a LOVINO (2015) y LOVINO, MÜLLER y SGROI (2020), permite detectar la variabilidad en la precipitación y su intensidad, lo cual provocaría diferentes problemáticas en los espacios rurales y urbanos. Son demasiados los eventos de inundación por precipitación de la ciudad de Santa Fe, por ejemplo, que ha sufrido en reiteradas ocasiones, inundaciones por este motivo (años 2003, 2007, 2013, 2015). En los espacios rurales, un aumento de la intensidad de la lluvia lleva a encharcamientos y complicaciones en los cultivos y producción ganadera. También se indica que existe suficiente evidencia que demuestra que los cambios en la frecuencia, intensidad, duración y extensión espacial LOVINO, MÜLLER y SGROI (2020).



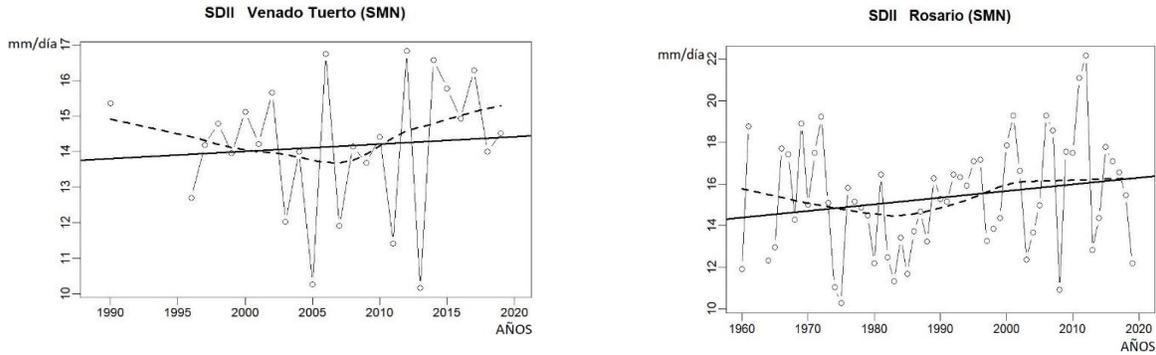


FIGURA 13. Variación y tendencia de intensidad de precipitaciones. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

Por último, los valores máximos de precipitación en un día (**Rx1day**) (figura n°14) presentan incrementos significativos ($p < 0,05$) de 29 y 54 mm en las localidades de Ceres y Sauce Viejo respectivamente. En Reconquista y Rafaela hubo aumentos no significativos de 16 y 23 mm mientras que Rosario no hubo variación y Venado Tuerto disminuyó 8 mm.

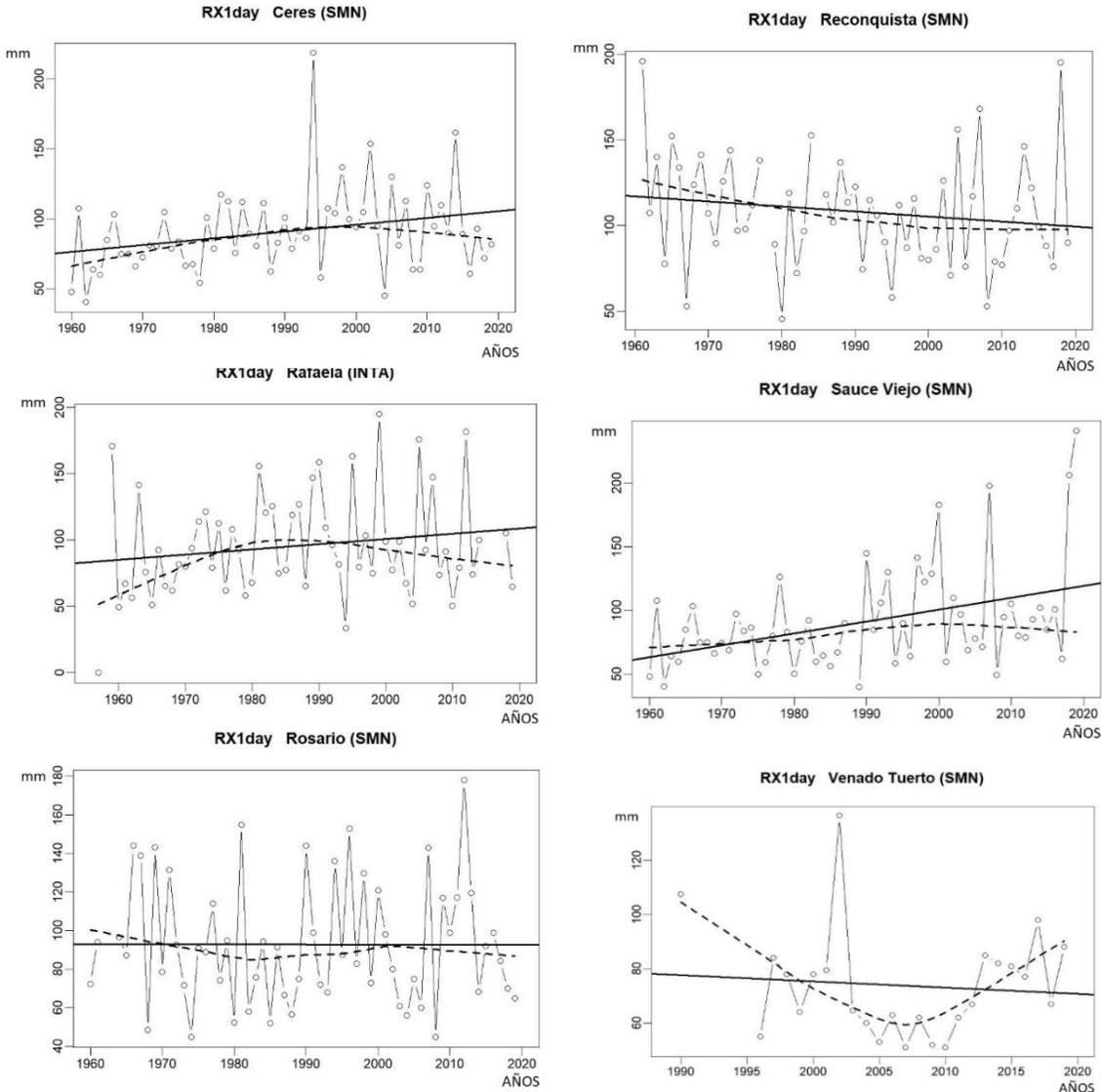


FIGURA 14. Variación y tendencia de precipitación máxima en un día. Tendencia por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida), regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada).

Los resultados obtenidos al analizar la tendencia de las precipitaciones anuales se pueden apreciar que la misma es positiva lo cual coincide con otros autores que trabajaron en Balcarce (VIDAL *et al.*, 1979), en La Banda (BOLETTA *et al.*, 1982), en el este de La Pampa, oeste de Buenos Aires (PASCALE & FASSI, 1987), BLANCO (2020) en el nordeste argentino, LOVINO (2015) en la región centro-este y LOVINO, MÜLLER y SGROI (2020) en la provincia de Santa Fe.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se calcularon y analizaron índices climáticos asociados a las temperaturas máximas y mínimas, a la precipitación y a eventos extremos de la provincia de Santa Fe entre 1960 y 2019, con el objetivo de aportar más información certera acerca de la tendencia de cambio climático en la región central Argentina.

Las tendencias anuales relacionadas a eventos extremos mostraron aumentos significativos de noches cálidas, tropicales y disminución de días con heladas, como así también de la amplitud térmica. Se debe aclarar que estos factores están asociados al comportamiento de la temperatura mínima, registrando un aumento significativo de la misma. En relación a los índices relacionados con la temperatura máxima, tres de las cinco localidades tuvieron tendencias positivas significativas.

De acuerdo a las precipitaciones anuales, si bien se observa un aumento, este no llega a ser significativo en todas las localidades. Sin embargo, se indica un incremento en la frecuencia de eventos extremos de precipitación, relacionados a la intensidad y los montos de lluvia diaria. Al mismo tiempo, al aumentar la intensidad y cantidad de precipitación máxima en un día, podría indicar un incremento en los episodios de encharcamientos o de excesos hídricos generando diferentes complicaciones tanto en los espacios urbanos como rurales de la provincia. Es importante destacar ya que, al presentarse esta situación, el Estado debe diseñar planes de gestión del riesgo que se adapten al nuevo escenario meteorológico y climático.

Los resultados hallados son coherentes con numerosos trabajos y demuestran el amplio consenso entre los autores que analizan variabilidad y cambio climático en las últimas décadas en múltiples estaciones ubicadas en Sudamérica y en el centro de Argentina. Surge la necesidad de incrementar y ser eficientes en los planes de gestión del riesgo en la provincia de Santa Fe, siendo fundamental el conocimiento y análisis de las variables climáticas y sus extremos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ALEXANDER, L., ZHANG, X., PETERSON, T., CAESAR, J., GLEASON, B., KLEIN TANK, A., HAYLOCK M., COLLINS, D., TREWIN, B., RAHIMZADEH, F., TAGIPOUR, A., RUPA KUMAR, K., REVADEKAR, J., GRIFFITHS, G., VINCENT, L., STEPHENSON, B., BURN, J., AGUILAR E, BRUNET, M, TAYLOR, M., NEW, M., ZHAI, P, RUSTICUCCI, M., Y VAZQUEZ-AGUIRRE, J. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111(D5109).
- BARROS, V., CASTAÑEDA, M. Y DOYLE, M. (2000). Recent precipitation trends in southern South America east of the Andes: An indication of climatic variability. *Southern Hemisphere Paleo and Neo-Climates*, P. P. Smolka and W. Volkheimer, Eds., Springer-Verlag, pp.187–206.
- BARROS, V., DOYLE, M. Y CAMILLONI, I. (2008). Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theor. Appl. Climatol*, 93, 19-33.
- BARRUCAND, M. Y RUSTICUCCI, M. (2001). Climatología de temperaturas extremas en la Argentina. *Variabilidad temporal y regional. Meteorológica*, 26: 85–101.

- BOLETTA, P. E., ACUÑA, L. R., ROBLES C. A. Y DE BENITEZ, C. G. (1982). Análisis del régimen de precipitaciones y probabilidades de lluvias en la Estación Experimental Agropecuaria La Banda. EEA-La Banda –INTA. 29 pp.
- CAESAR, J., ALEXANDER, L. Y VOSE, R. (2006). Large-scale changes in observed daily maximum and minimum temperatures: Creation and analysis of a new gridded data set. *J. Geophys. Res.*, 111, D05101, doi: 10.1029/2005JD006280
- CALDERÓN, F. (1983) *Fruticultura general*. Limusa. Barcelona. 779p
- CASTAÑEDA, E. Y BARROS, V. (1994). Las tendencias de la precipitación en el Cono sur de América al este de los Andes. *Meteorológica* 19: 23-32.
- DAMARIO, E. A. Y PASCALE, A. J. (1994). Disminución de la amplitud térmica en la Argentina. *Actas VI Reunión Argentina de Agrometeorología*. Córdoba. pp. 75-76.
- DI SALVATORE, G. (2018) “Ola de calor: Santa Fe está en alerta amarilla”. *Diario El Litoral*, versión online. En: <https://www.ellitoral.com/index.php/diarios/2018/01/11/metropolitanas/AREA-04.html>
- DOYLE, M., SAURRAL, R. Y BARROS, V. (2012). Trends in the distributions of aggregated monthly precipitation over the La Plata Basin. *Int. J. Climatol.*, 32: 2149–2162.
- FERNÁNDEZ LONG, M., BARNATÁN, I. Y SPESCHA, L., HURTADO, R. Y MURPHY, G. (2005). Caracterización de las heladas en la región pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. *Rev. Facultad de Agronomía*, 25(3): 247-257.
- FERNÁNDEZ LONG, M., MÜLLER, G., BELTRÁN-PRZEKURAT, A. Y SCARPATI, O. (2012). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina, *Int. J. Climatol.*, 33, 1673–1686.
- FERRELLI, F.; BRENDELI, A.; ALIAGA, V.; PICCOLO, MC. Y PERLLO, G. (2019) Climate regionalization and trends based on daily temperature and precipitation extremes in the south of the pampas (Argentina). *Cuadernos de Investigación Geográfica*. La Rioja, España. DOI: <http://doi.org/10.18172/cig.3707>
- FIELD, C. (2014). IPCC, Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad-Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- GARCÍA, M. S., LEVA, P. E., ZBRUN, M. E., VELES, M. A., GANDOLFO, J. A. Y VALTORTA, S. E. (2002). tendencias de índices meteorológicos y biometeorológicos. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias* 1 (1): 27 - 36. 2002 ISSN 1666-7719. Página 27 a 36.
- GARCÍA, M. S., LEVA, P. E. Y VALTORTA, S. E. (2008). Caracterización del régimen agroclimático de heladas para la provincia de Santa Fe durante el período 1979 - 2004. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 28, (1) p.53-62. Obtenido de: <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=rfa&d=2008Garcia>
- GARCÍA, M. S., LEVA, P. E., VALTORTA, S. E.; GARIGLIO, N. y TOFFOLLI, G. (2011) Estimación de horas de frío para la localidad de Sauce Viejo (Santa Fe, Argentina): diferentes modelos. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 10, (1) p.69-75. Obtenido de: <https://doi.org/10.14409/fa.v10i1/2.4139>
- LANG, G A. (1996) *Plant Dormancy: Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. CABInternational. Wallingford. Oxon, Reino Unido. 386p
- LEVA, P. E., GARCIA, M. S., RODRÍGUEZ, R. O., Y VALTORTA, S. E. (2008). Olas de Calor y Entregas Diarias de Leche en Tambos de la Cuenca Lechera Central Argentina. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 7(1/2), 97-103. <https://doi.org/10.14409/fa.v7i1/2.1333>
- LOVINO, M.A; MÜLLER, G.; SGROI, L. (2020) ¿Cómo ha cambiado la precipitación en la provincia de Santa Fe? *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias* 46 (2), 226-239.
- Lovino, M.A. (2020) Impacto ambiental de la variabilidad climática y los eventos extremos en la provincia de Santa Fe, en el contexto del cambio climático. Tesis de Doctorado. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral.

- PASCALE, A. Y FASSI, I. (1987). Régimen hídrico estival en la región semiárida sudoccidental pampeana durante la década del 70. IIIa Reunión Argentina de Agrometeorología. Córdoba. Actas. pp. 155-163.
- PENALBA, O. Y ROBLEDO, F. (2010). Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. *Climatic Change* 98:531- 550.
- RE, M. Y BARROS, V. (2009). Extreme rainfalls in SE South America. *Climatic Change*, 96: 119-136.
- RUSTICUCCI, M., KYSELÝ, J., ALMEIRA, G., Y LHOTKA, O. (2014). Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. In WCRP Conference for Latin America and the Caribbean, Montevideo 2014
- TOFFOLI, G.D., LEVA, P.E. Y GARCÍA, M.S. (2016). Régimen agroclimático de olas de calor en dos localidades del centro santafesino. Página 29-30. Editora: UniRio. Libro digital, PDF. ISBN 978-987-42-2098-1. XVI Reunión Argentina de Agrometeorología y VIII Reunión Latinoamericana de Agrometeorología: vientos de cambio nos impulsan, 20 al 23 de septiembre de 2016. Puerto Madryn, Chubut (Argentina).
- TOFFOLI, G.D., LEVA, P.E. Y GARCÍA, M.S. (2018). Ganado lechero en la provincia de Santa Fe: Efecto del estrés Calórico e Impacto esperado del Cambio Climático. Página 64-65. Editora: UniRio. Libro digital, PDF. ISBN 978-987-42-9620-7. XVII Reunión Argentina de Agrometeorología, 19 al 21 de septiembre de 2018. Merlo, San Luis (Argentina).
- TONEATI, I.E., TOFFOLI, G. D., GARCIA, M.S. Y LEVA, P.E. (2014). Número de días con riesgo de estrés calórico en la provincia de Santa Fe: Situación actual y el impacto esperado por el cambio Climático. Página 183-184. Editora: UniRio. ISBN 978-987-688-082-4. Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología, 1 al 3 de octubre. Piriápolis (Uruguay).
- VALTORTA, S; GALLARDO M. (2011). Producción y bienestar animal, estrés por calor en ganado lechero: impactos y mitigación.
- VALTORTA, S. E., LEVA, P. E., GARCÍA, M. S. Y RODRÍGUEZ, R. O. (2008). Régimen Agroclimático de Olas de Calor en la Provincia de Santa Fe, Argentina. *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 7(1/2), 131-136. <https://doi.org/10.14409/fa.v7i1/2.1336>
- VALTORTA, S.; LEVA, P. (1998) Características del ambiente físico. En Producción de leche en verano. Ediciones UNL, Santa Fe. Pp. 9-20.
- VARGAS, W., NAUMANN, G. Y MINETTI, J. (2006). Las Tendencias de la temperatura máxima y mínima en Series de Referencia del Sudeste de Sudamérica. Aspectos metodológicos. *Revista de Geografía*. 8 (10):67-74.
- VINCENT, L., PETERSON, T., BARROS, V., MARINO, M., RUSTICUCCI, M., CARRASCO, M., RAMÍREZ, M., ALVES, E., AMBRIZZI, T., BERLATO, M., GRIMM, A., MARENGO, J., MOLION, D., MONCUNILL, L., REBELLO, L.E., ANUNCIAÇÃO, Y., QUINTANA, J., SANTOS, J.L., BAEZ, J., CORONEL, G., GARCIA, J., TREBEJO, I., BIDEGAIN, M., HAYLOCK, M. Y KAROLY, D. (2005). Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000. *Journal of Climate*. 18 (23): 5011-5023.
- VIDAL, N. A., COUSILLAS, C. F. Y GARAY, A. F. (1979). Análisis de precipitaciones en Balcarce. I. Régimen Pluviométrico. EEA- Balcarce. INTA. pp. 23.
- VOSE, R. S., EASTERLING, D. Y GLEASON, B. (2005). Maximum and minimum temperature trends for the globe: An update through 2004. *Geophysical Research Letters*, 32 (23):1-5.
- ZHANG, X. Y FENG, F. (2004). RCLimdex (1.0). Manual de usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, J.L: CIIFEN. 22 pp.
- WAHID, A. 2007. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. *J. Plant Res.*120:219-228.