



## CAMBIO CLIMÁTICO EN CONCORDIA. UNA MUESTRA DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA REGIÓN

Sergio RAMOS<sup>1</sup>, Rubén GARIN<sup>1</sup>

### RESUMEN

El cambio climático es una realidad en nuestra región y para confirmarlo se utilizaron un conjunto de 27 índices de extremos climáticos (ETCCDMI) aplicados a la serie de registros diarios de temperatura y precipitación del observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia (1967 a 2023). Se determinaron los índices anual y mensualmente y su tendencia. En promedio la temperatura máxima media, la temperatura máxima extrema y la amplitud térmica aumentaron en 0,02 °C ( $p < 0,001$ ), 0,036 °C ( $p < 0,01$ ) y 0,013 °C ( $p < 0,01$ ) por año respectivamente. Mientras que los días de verano (su30 y 25), los días calurosos, las noches tropicales y las olas de calor aumentaron en  $\sim 5/10$  ( $p < 0,001$ ),  $\sim 4/10$  ( $p < 0,01$ ),  $> 1/10$  ( $p < 0,01$ ),  $> 1/10$  ( $p < 0,1$ ),  $\sim 1/10$  ( $p < 0,1$ ) respectivamente. El único índice que disminuyó fue el de noches frescas  $\sim 1/10$  ( $p < 0,01$ ). La lluvia anual acumulada y la intensidad aumentaron en promedio 4,9 mm ( $p < 0,1$ ) y 0,054 mm.día<sup>-1</sup> ( $p < 0,01$ ) por año respectivamente. Además, aumentaron significativamente los días muy húmedos y los días con lluvias mayores a 20 mm en  $> 2/10$  ( $p < 0,1$ ) y  $1/10$  ( $p < 0,1$ ) respectivamente. Los cambios detectados en las condiciones medias de temperatura y precipitaciones no se revertirán en el corto plazo y afectan particularmente a las actividades agropecuarias lo que exige medidas de adaptación a las nuevas condiciones.

**Palabras clave:** *temperaturas, sequías, heladas, inundaciones*

### 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático (CC) se define como una variación del estado del clima (valores medios y/o variabilidad) que persiste durante un período prolongado, independientemente de sus causas (IPCC, 2013). La Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la convención marco de Naciones Unidas sobre cambio climático (2015) reportó un aumento de hasta 1 °C y 200 mm de precipitación en algunas regiones del país para el decalustro 1960-2010.

Un esfuerzo internacional que reúne un equipo de expertos "Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices" (ETCCDMI) desarrolló un conjunto de 27 índices climáticos útiles para la detección y el monitoreo de cambios en los registros extremos del clima (Zhang & Yang, 2004).

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el cambio climático en Concordia a través del análisis temporal de la temperatura y precipitación e índices derivados utilizando registros meteorológicos locales.

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó la base de datos de temperatura y precipitación diarias del observatorio agrometeorológico de la EEA INTA Concordia desde 1969 a 2023. Se calcularon los 27 índices de extremos climáticos (ETCCDMI). Algunos se basan en umbrales fijos y son los mismos para todas las estaciones, otros índices se basan en umbrales que varían de un lugar a otro ya que se definen como un percentil de la serie de datos. Para el cómputo se utilizó el programa ClimDex desarrollado en R (Zhang & Yang, 2004), que calcula los índices anuales y, en algunos casos mensualmente, y determina la significancia de su tendencia.

Se realizaron análisis complementarios entre los grados-día y las heladas; la distribución estacional de los milímetros y los días de lluvia; la duración e intensidad de las sequías mediante el índice estandarizado de precipitación de tres meses (SPI-3) y su relación con la temperatura.

<sup>1</sup> Estación Experimental Agropecuaria INTA Concordia. Ruta prov. 22 y FFCC 3200, Concordia, Entre Ríos. E-mail: [ramos.sergio@inta.gob.ar](mailto:ramos.sergio@inta.gob.ar)



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados mostraron una tendencia creciente significativa para la temperatura, motivado principalmente por las temperaturas máximas. En cuanto a las precipitaciones, si bien hubo una tendencia creciente la confianza estadística es baja (Cuadro 1)

En promedio la temperatura máxima media, la temperatura máxima extrema y la amplitud térmica aumentaron en 0,02, 0,036 y 0,013 °C por año respectivamente. Mientras que los días de verano (su30 y 25), los días calurosos, las noches tropicales y las olas de calor aumentaron en ~5/10, ~4/10, >1/10, >1/10, ~1/10 respectivamente. El único índice que disminuyó fue el de noches frescas en ~1/10.

Por el lado de las lluvias el acumulado anual y la intensidad aumentaron en promedio 4,9 mm y 0,054 mm.día<sup>-1</sup> por año respectivamente, aunque con un nivel de confianza bajo. Además, aumentaron significativamente los días muy húmedos y los días con lluvias mayores a 20 mm en >2/10 y 1/10 respectivamente.

**Cuadro 1.** Índices de extremos climáticos. Valores de pendiente, desvío estándar (DS) y valor *p* del estadístico Mann-Kendall. Serie histórica del observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

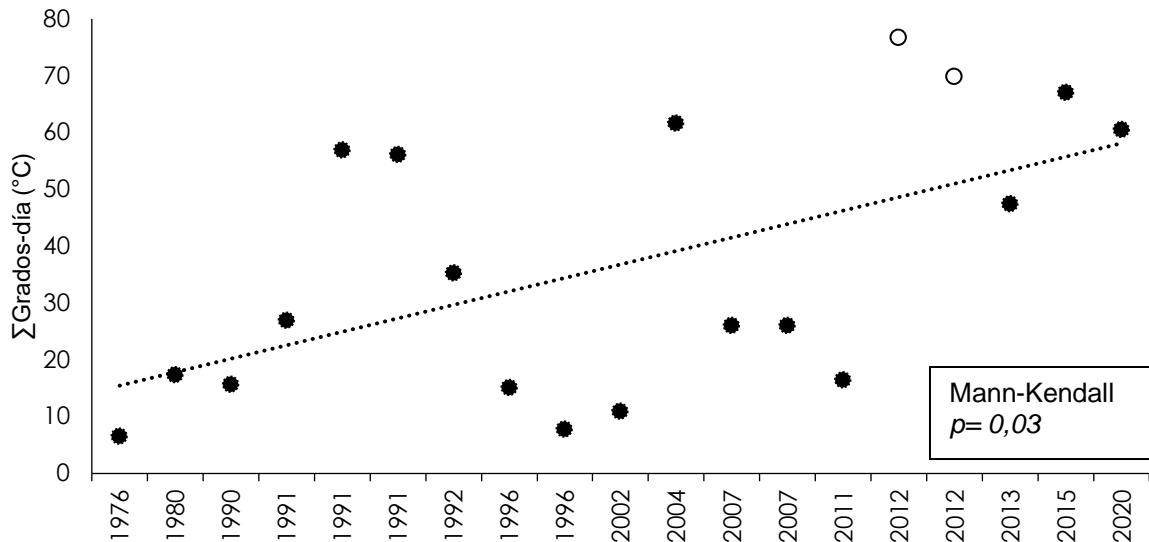
	Índices	Unidades	Pendiente	DS	Valor <i>p</i>	
<b>TMAXmean</b>	Temperatura máxima media anual	°C	<b>0,02</b>	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	<b>***</b>
<b>su30</b>	Días de verano (T° max diaria > 30°C)	n° días	<b>0,47</b>	<b>0,102</b>	<b>0,000</b>	<b>***</b>
<b>tx90p</b>	Días calurosos (T° max diaria > percentil 90)	n° días	<b>0,136</b>	<b>0,028</b>	<b>0,000</b>	<b>***</b>
<b>su25</b>	Días de verano (T° max diaria > 25°C)	n° días	<b>0,373</b>	<b>0,119</b>	<b>0,003</b>	<b>**</b>
<b>txx</b>	Temperatura máxima extrema anual	°C	<b>0,036</b>	<b>0,012</b>	<b>0,003</b>	<b>**</b>
<b>tx10p</b>	Días frescos (T° max diaria < percentil 10)	n° días	<b>-0,07</b>	<b>0,023</b>	<b>0,004</b>	<b>**</b>
<b>dtr</b>	Amplitud térmica media mensual	°C	<b>0,013</b>	<b>0,005</b>	<b>0,01</b>	<b>**</b>
<b>wsgi</b>	Olas de calor (días consecutivos ≥ 6 días con T° max diaria > percentil 90)	n° días	<b>0,075</b>	<b>0,04</b>	<b>0,065</b>	.
<b>tr20</b>	Noches tropicales (T° min diaria > 20°C)	n° días	<b>0,146</b>	<b>0,078</b>	<b>0,068</b>	.
tn90p	Noches cálidas (T° min diaria > percentil 90)	n° días	0,049	0,03	0,113	
<b>TMINmean</b>	Temperatura mínima media anual	°C	0,007	0,005	0,133	
tn10p	Noches frías (T° min diaria < percentil 10)	n° días	-0,034	0,024	0,156	
tnn	Temperatura mínima extrema	°C	-0,012	0,011	0,29	
csdi	Duración de los períodos fríos (días consecutivos T° max diaria < percentil 10)	n° días	-0,018	0,018	0,335	
tnx	Temperatura mínima más alta	°C	0,01	0,012	0,419	
txn	Temperatura máxima más baja	°C	0,007	0,013	0,569	
fd0	Días con helada (T° min diaria < 0°C)	n° días	0,018	0,038	0,65	
gsl	Estación de crecimiento	n° días	-0,001	0,004	0,804	
<b>sdi</b>	<b>Índice simple de intensidad diaria (cociente entre precipitaciones acumuladas y número de días con lluvia)</b>	<b>mm. día<sup>-1</sup></b>	<b>0,054</b>	<b>0,02</b>	<b>0,008</b>	<b>**</b>
<b>r95p</b>	<b>Días muy húmedos (días con ppt &gt; percentil 95)</b>	<b>n° días</b>	<b>2,696</b>	<b>1,403</b>	<b>0,06</b>	.
<b>r20mm</b>	<b>Días con lluvia mayor a 20 mm</b>	<b>n° días</b>	<b>0,1</b>	<b>0,053</b>	<b>0,064</b>	.
<b>prcptot</b>	<b>Precipitación total anual</b>	<b>mm</b>	<b>4,952</b>	<b>2,723</b>	<b>0,075</b>	.
r10mm	Días con lluvia mayor a 10 mm	n° días	0,104	0,067	0,13	
cdd	Días secos consecutivos (días consecutivos sin ppt < 1mm)	n° días	-0,054	0,05	0,292	
rx5day	Precipitación máxima en 5 día	mm	0,453	0,563	0,425	
rx1day	Precipitación máxima en 1 día	mm	0,177	0,286	0,54	
r99p	Días extremadamente húmedos (días con ppt > percentil 99)	n° días	0,429	0,799	0,593	
cwd	Días húmedos consecutivos (días consecutivos con ppt > 1mm)	n° días	0,008	0,018	0,656	
R100mm	Días con lluvia mayor a 100 mm	n° días	0,002	0,006	0,788	

Significancia: \*\*\* <0,001; \*\* <0,01; \* <0,05; , <0,1



El aumento generalizado de la temperatura acelera los procesos fisiológicos que son la base del crecimiento y desarrollo de las plantas, sin embargo, al mismo tiempo que aumentan las tasas de crecimiento de los vegetales también se ven favorecidas la multiplicación de insectos plaga y el rango de su distribución espaciotemporal al correrse los umbrales.

Una consecuencia no deseada del incremento térmico es la prolongación de la fase de crecimiento dentro del período de heladas, aumentando de esta manera el peligro de daño sobre los tejidos vegetales. Se observó un aumento de las sumas térmicas (grados-día base 10<sup>2</sup>) dos semanas antes de una helada extrema < -3°C (Gráfico 1)

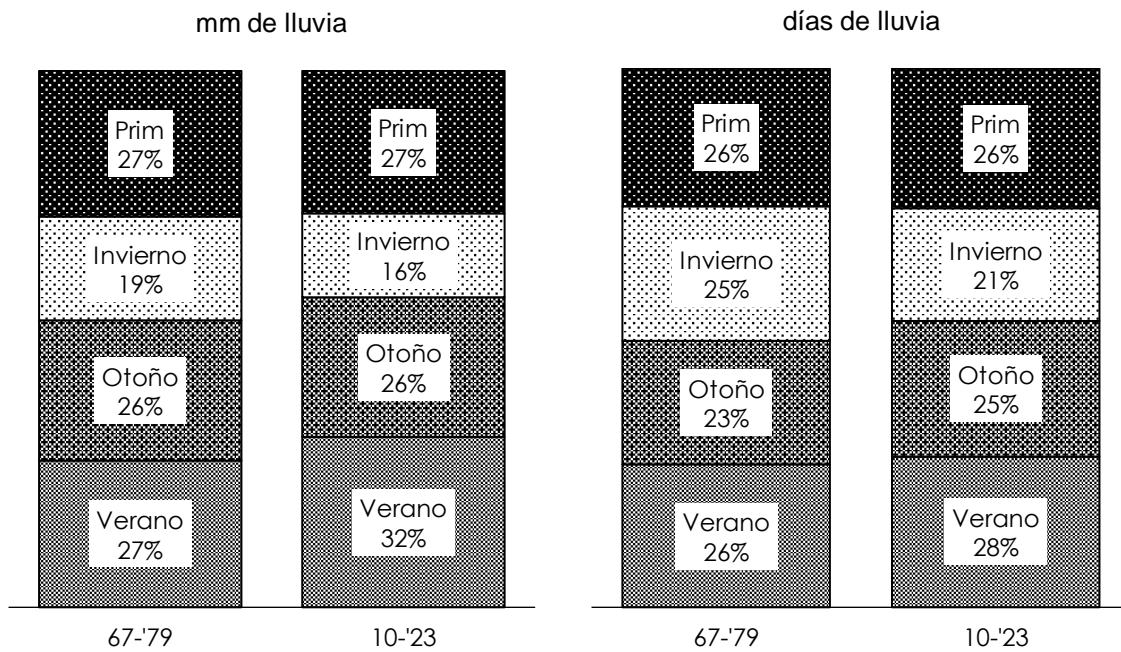


**Gráfico 1.** Suma de grados-día dos semanas previo a una helada extrema ( $\leq -3,5$  °C). Heladas invernales (●), excepto las del año 2012 que fueron a fines de otoño (○). Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

Estas tendencias fueron anticipadas por Garran y Marcó a mediados de los 2000 (Garran & Marcó, 2007). Los autores observaron un incremento de las temperaturas medias, máximas y mínimas en todos los meses, excepto mayo y julio, como también de las lluvias acumuladas mensuales, excepto el trimestre junio-julio-agosto, durante el período 1967-2006. Además, resaltaron las posibles alteraciones en el ciclo fenológico de citrus, eucaliptos y arándanos y el mayor riesgo de daños por heladas ante el comienzo anticipado de la brotación/floración y la falta de rustificación durante el período invernal

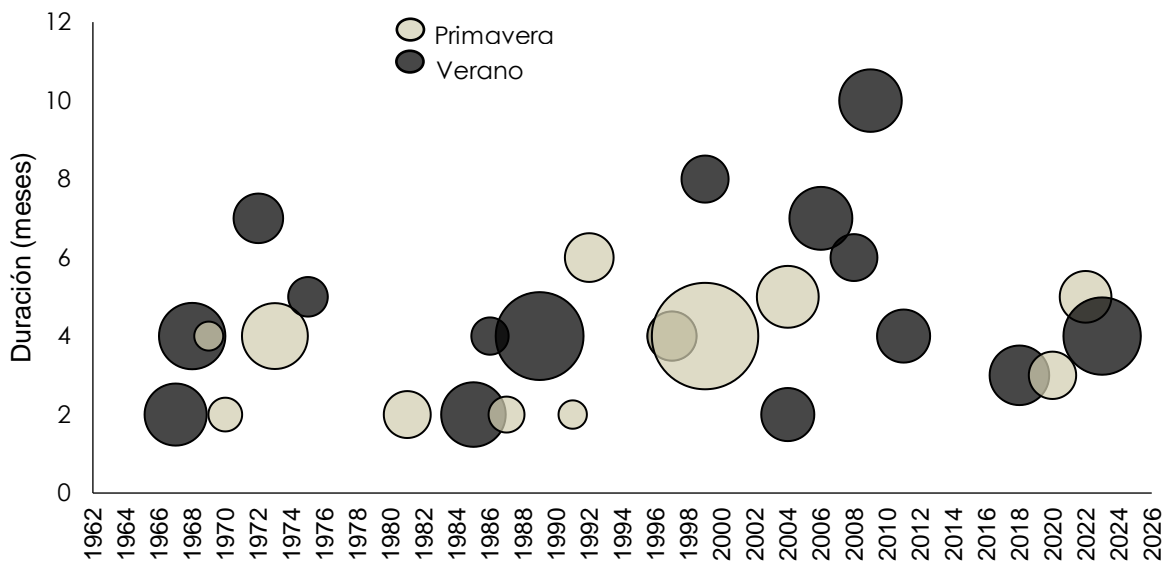
Además del incremento del acumulado anual se observó un cambio en la distribución de las precipitaciones. En primavera tanto los milímetros de agua caída como los días de lluvia se mantuvieron sin variación. En el invierno se registró una disminución casi proporcional de los milímetros y días de lluvia. En otoño se mantuvo la cantidad de milímetros distribuidos en una mayor cantidad de días. En el verano los valores de ambas variables aumentaron, aunque los milímetros aumentaron en mayor proporción que los días lluviosos, lo que explica la intensidad creciente (índice sdi) (Gráfico 2)

<sup>2</sup> Es una medida de la acumulación de calor calculado a partir de la temperatura media diaria menos un umbral por debajo del cual no hay crecimiento vegetativo (método residual). Para muchas especies incluido el eucalipto se considera un umbral de 10°C. Ver Ramos & Garin, XIX RADA 2022 (<https://bit.ly/47ctFhx>)



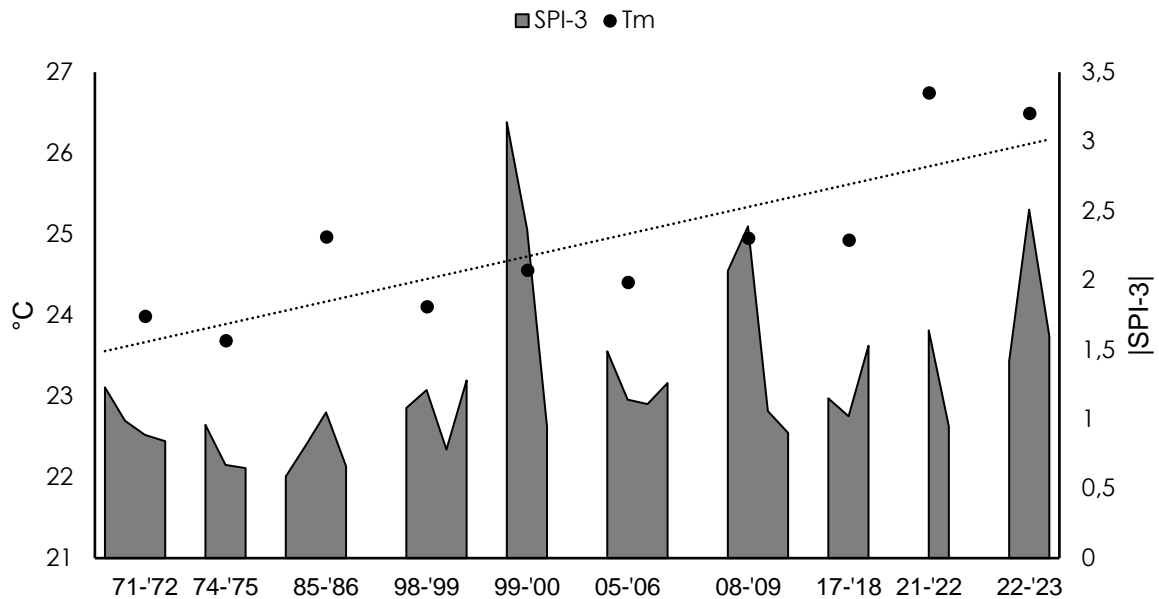
**Gráfico 2.** Distribución estacional de los milímetros y de los días con lluvia en las décadas de 1970 (primera y tercera columna) y de 2010 (segunda y cuarta columna). Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

Si bien hubo un aumento de las lluvias (en días y mm), debido a su variabilidad interanual, la proporción de días sin lluvias (75 % promedio anual) y el aumento de la intensidad, las sequías son y continuarán siendo una adversidad climática. A lo largo de la serie histórica no se observó una tendencia clara en la cantidad, duración e intensidad de las sequías (Gráfico 3).



**Gráfico 3.** Duración de las sequías primaverales y estivales según el índice estandarizado de precipitación de tres meses (abs SPI-3). El tamaño de los círculos indica la intensidad de la sequía. Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023.

Desde el punto de vista de las plantas y su crecimiento, las sequías estivales son las más perjudiciales. En este sentido se observó un aumento promedio de 2 °C en la temperatura media durante las sequías estivales desde la década del '70, lo que las convierte en cada vez más peligrosas por el aumento de la evapotranspiración y el riesgo de incendios (Gráfico 4).



**Gráfico 4.** Sequías estivales. Valores absolutos del índice estandarizado de precipitación de tres meses (SPI-3) durante los meses de verano (solo los meses con SPI-3 < a - 0.5) y temperaturas medias (Tm). Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia 1967-2023

#### 4. CONCLUSIONES

El análisis de la serie histórica 1967-2023 del Observatorio agrometeorológico de la EEA Concordia determinó una dinámica significativamente creciente de la temperatura, lo que se tradujo en un aumento de los días y noches calurosas, así como de la duración de las olas de calor. Al mismo tiempo decreció significativamente el número de días frescos.

En cuanto a las precipitaciones, se observó un aumento del acumulado anual explicado por un aumento en el número de días lluviosos y la intensidad, especialmente durante el verano en detrimento del invierno.

Eventos extremos como sequía y heladas en un contexto de temperaturas crecientes expondría a los vegetales a un mayor nivel de daño.

La irreversibilidad de estos cambios a corto y mediano plazo impone nuevos desafíos a las actividades humanas en general y a las agropecuarias en particular

#### 5. REFERENCIAS

Garran S & Marcó M. El clima de la región de Concordia y sus heladas. XXII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia 25 y 26 de Octubre de 2007.

IPCC 2013: Annex III: Glossary [Planton, S. (ed.)]. In: Climate Change 2013: The physical science basis, Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M., Tignor, S.K. Allen, J., Boschung, A., Nauels, Y., Xia, V., Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 2015. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la convención marco de Naciones Unidas sobre cambio climático. En: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/3com.-resumen-ejecutivo-de-la-tercera-comunicacion-nacional.pdf>

ZHANG, X. and F. YANG. 2004. RCLimdex (1,0) User Manual, Climate Research Branch, Environment Canada, 23 pp.