

ISSN N°1850-4086
N°1598 Marzo 2024

Boletín Meteorológico del INTA Santiago del Estero Informe del Año Calendario 2023

Domínguez, Nelson

Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero

INTA | Ediciones

Colección
Divulgación

El objetivo de este boletín es el de presentar el comportamiento de las principales variables meteorológicas durante el transcurso del año calendario 2023 en comparación con los registros históricos tomados en el observatorio agrometeorológico convencional durante más de treinta años y que conforman la serie de datos denominada “La María”.

Contar con información fidedigna de series de datos climáticos de periodos de tiempo extensos es importante para así poder contrastar correctamente el estado del tiempo actual y poder transmitir información aseverada al público en general.

El sitio de observación está ubicado en el predio del Campo Anexo Ing. Agr. Francisco Cantos, de la Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero (Lat. S: 28.02, Long. O: 64.23', 169m s.n.m.) localidad de La Abrita, dpto. Silípica. Se especificará cuando el análisis haya tenido en cuenta datos de la estación automática Vantage Pro II de Davis®. Los datos históricos se analizaron mediante el empleo del software libre R.

Los datos generados por INTA pueden visualizarse a través de los siguientes enlaces:

- ✦ <https://ema.inta.gob.ar/>
- ✦ <http://siga.inta.gov.ar/>

El presente boletín es generado en el marco del proyecto:

RIST I067 Red de sensores agro meteorológicos

Contribuye también a los fines del proyecto:

PD I091 Adaptación a la variabilidad y al cambio global: herramientas para la gestión de riesgos, la reducción de impactos y el aumento de la resiliencia de socioecosistemas.

Resumen: El presente año arrojó un valor de temperatura media anual que se cataloga como superior al normal y que se ubica como el nuevo valor medio anual más alto. Con relación a los valores extremos mensuales de temperaturas máximas diarias, en el mes de enero se registró un valor (46,0°C) que es ahora el más alto para dicho mes y para todo el año. Además, diciembre también registró un nuevo valor mensual alto. Respecto a la mínima diaria, en el mes de diciembre se ha registrado un valor que es ahora el más alto del set de datos para ese mes. En el mes de febrero, por el contrario, se ha registrado una nueva marca mínima mensual. Además, los meses de octubre y noviembre tuvieron un registro ubicado entre los más bajos también. Se han registrado veinticinco días con temperaturas mayores a 40,0°C. Ha ocurrido un evento de “ola de calor”. Con respecto al inicio y fin del registro de heladas meteorológicas, estas se presentaron en fechas cercanas al promedio, ocurriendo por once días posteriores al registro medio de la fecha de primera helada mientras que la última helada se registró cuarenta y seis antes que la fecha promedio. Se registraron ocho heladas meteorológicas, mientras que fueron contabilizados 25 días con la ocurrencia de las denominadas heladas agrometeorológicas. El día que se registró la temperatura mínima (-4,0°C) más baja del año en el abrigo meteorológico, se registraron -5,7°C en intemperie a 5cm sobre el suelo, presentando el evento una duración menor a las nueve horas. Solamente han ocurrido cuatro eventos categorizados como de intensidad “fuerte”. Se ha acumulado una cantidad de 286 horas de frío. El martes 13 de junio se ha

producido la primera helada agronómica del año, de ocurrencia tardía. Además, se puede indicar que en esta temporada ha ocurrido una helada agrometeorológica tardía.

La precipitación acumulada anual fue de 534,5mm, valor un 11% por debajo del promedio de la serie de datos y superior al registrado en el año 2022. El valor acumulado anual ubica a este año en la decimocuarta posición (ordenados de menor a mayor) de la serie de datos completa. Se han contabilizado 64 días con eventos de precipitación de los cuales 34 días corresponden a registros iguales o mayores a 1mm.

La humedad relativa del ambiente estuvo por debajo del valor promedio en los meses de enero, febrero, marzo, agosto y septiembre. En enero y desde agosto a octubre, se presentó más del 20% del tiempo con valores de humedad menores al 40%. Respecto al índice ITH, un día se ha alcanzado el valor de 98. Las dos primeras décadas de enero y la primera década de diciembre presentaron más de un 40% del tiempo con valores del índice por encima del umbral de 84, en la categoría clasificada como de estrés severo.

El valor de viento medio fue inferior al promedio a lo largo de casi todos los meses del año, comparado al valor medio de la serie, excepto el mes de noviembre. Los vientos provinieron predominantemente de la dirección Nornoreste en los meses de enero, marzo y diciembre, desde el Norte en septiembre, octubre y noviembre, mientras que la componente principal fue Sudoeste en los restantes meses.

TEMPERATURA

Finalizado el año 2023, el valor medio, tomado como promedio de las temperaturas máximas y mínimas de cada día se considera superior al normal¹, siendo mayor en 2,1°C al valor medio de la serie.

Se puede apreciar en la Figura 1 que los valores medios mensuales de temperatura mínimas fueron superiores al promedio en la mayoría de los meses, excepto en el mes de febrero, mientras que respecto a los valores medios mensuales de temperaturas máximas se encontraron por encima del promedio en la mayor parte del año, con excepción al mes de abril.

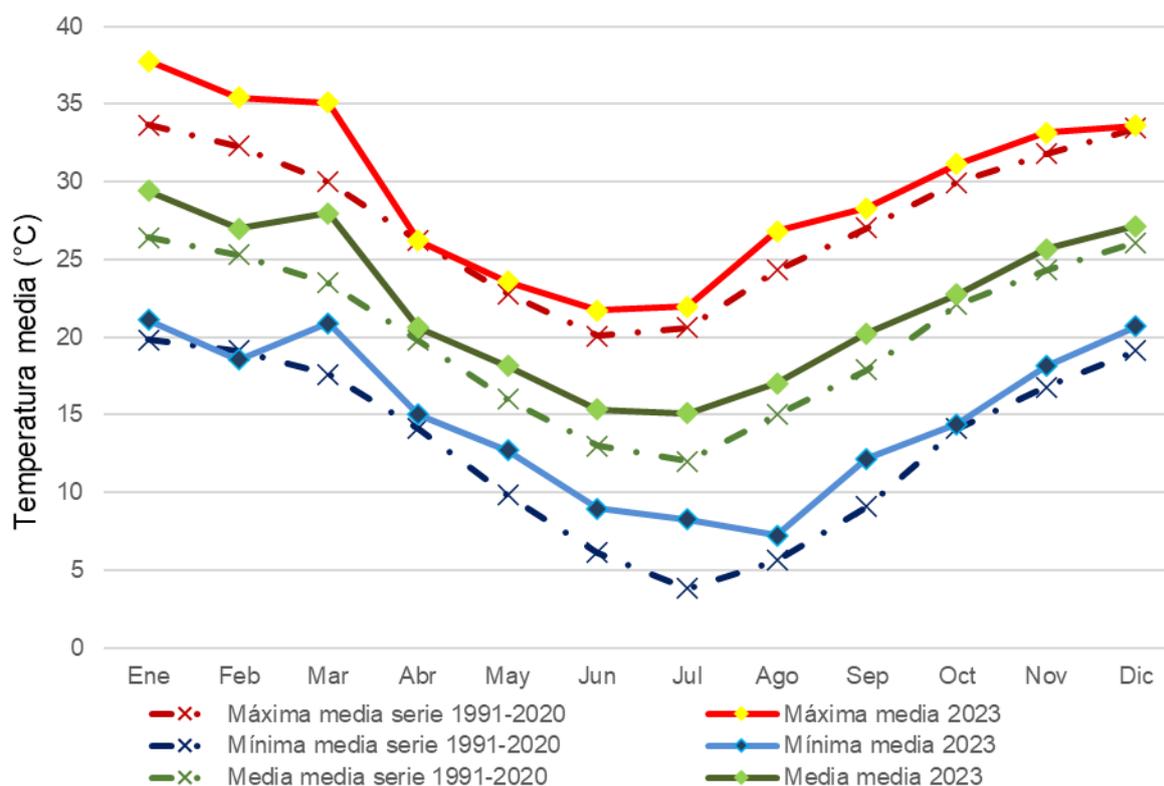


Figura 1. Valores de temperaturas promedio mensuales (°C) de los valores máximos, mínimos y medios, año 2023 y serie histórica “La María” 1991-2020.

El valor² de temperatura media del año 2023 (22,2°C) es ahora el nuevo valor más alto de nuestra serie de datos (Figura 2).

¹ Para la temperatura, se puede considerar que el valor normal implica valores de aproximadamente 0,5°C por debajo o por encima del valor promedio. Valores por debajo o por encima de ese rango serían temperaturas inferiores o superiores a la normal, respectivamente.

² Dado la falta de datos de temperatura extrema diaria de muchos días (por falta de personal) y solamente con motivo de poder mostrar con fines informativos el comportamiento de la temperatura se emplean los datos registrados por la estación meteorológica automática cuando estos falten de la estación meteorológica convencional (se indican los días y datos empleados en los correspondientes boletines mensuales). No se recomienda mezclar las series de datos de ambas fuentes a los fines normales, dado el ruido que puede generar en el análisis estadístico de los datos históricos con fines de investigación climatológica.

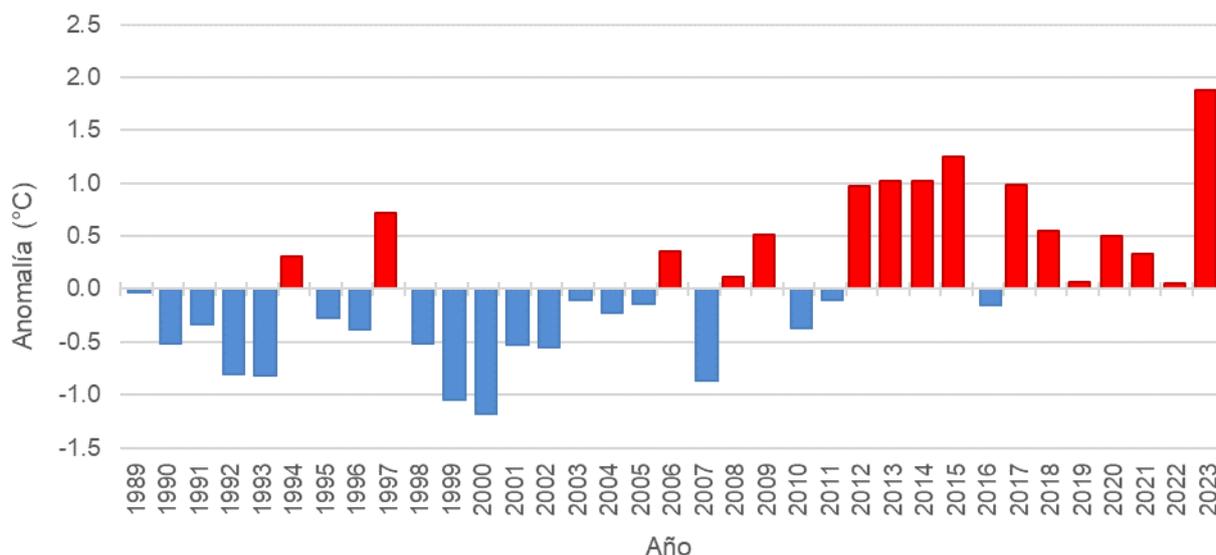


Figura 2. Anomalía de temperatura media anual (°C).

En referencia al valor medio de temperatura máxima dentro de cada mes, para enero se calculó un valor que es lo ubica como el segundo más cálido. Febrero, marzo y abril se ubicaron como el tercer valor de acuerdo con nuestro set histórico de datos. Por otro lado, con relación al valor medio de temperatura mínima de cada mes, enero, julio y septiembre presentaron un valor que es ahora el segundo más alto

Con relación a las temperaturas extremas mensuales (Figura 3), en los meses de febrero, marzo, junio, julio, septiembre y diciembre se registraron marcas térmicas máximas en cada mes que se ubican entre los cinco valores más altos en cada uno de ellos. También enero y noviembre registran un nuevo valor extremo. Particularmente, el día 20 de enero se registró una marca térmica de 46,0°C, que es el nuevo valor más alto para el mes de enero y para la serie³ toda, reemplazando a la marca anterior registrada el 01 de enero de 2022 con 45,5°C.

Con respecto a los valores extremos mínimos, en febrero se ha registrado una nueva marca mínima, siendo el registro de 8,0°C para el día 18 de febrero. Además, los meses de octubre y noviembre tuvieron al menos un registro diario que se encuentra entre los cinco más bajos en cada uno de esos meses.

Si ahora analizamos los valores máximos diarios más bajos, nos encontramos con que en el mes de diciembre se ha registrado un valor de temperaturas máxima diaria que se ubica como el nuevo valor más bajo de ese mes. Si ahora revisamos los valores diarios mínimos más altos de cada mes, podemos ver que se presentaron valores que se ubicaron entre los más altos del set de datos en los meses de febrero, marzo, junio, febrero, abril y noviembre. Además, el mes de diciembre presentó un valor de temperatura mínima diaria (27,8°C el día 13) que es ahora la más alta del set de datos para ese mes.

³ Serie de datos analizada para la variable temperatura extrema diaria: desde el año 1989 al año 2023.

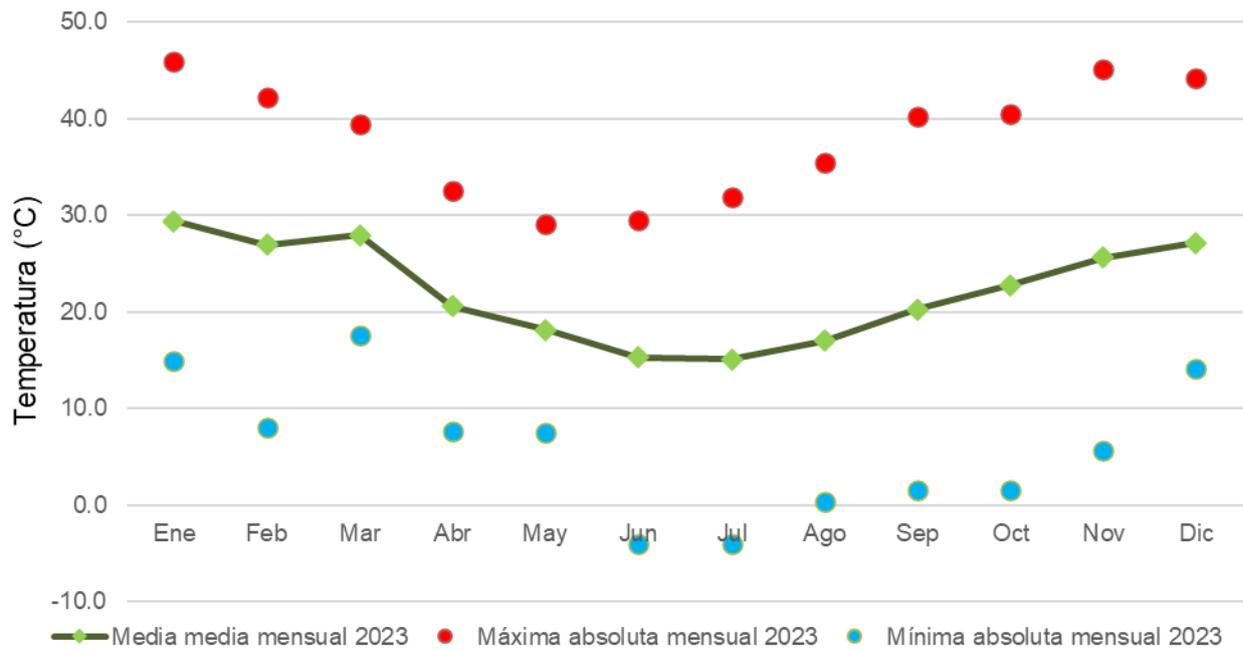


Figura 3. Temperatura media mensual (°C) año 2023 y valores extremos diario de temperatura máxima y mínima mensual (°C) del año 2023.

Enero, febrero, marzo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre presentaron también al menos un valor de temperatura media diaria que se ubicó entre los cinco valores más altos del archivo de datos para esos meses, mientras que, en los meses de febrero y marzo ocurrieron valores medios que se posicionan entre los más bajos de esos meses.

En la Figura 4 se muestra la marcha diaria del valor promedio tanto de temperaturas máximas como mínimas diarias (del periodo 1991-2020) y los valores puntuales de cada día para el presente año. Se puede apreciar que en la primera parte del año las temperaturas mínimas diarias se encontraron por encima del respectivo promedio y hacia el segundo semestre los valores se encuentran más dispersos alrededor del promedio.

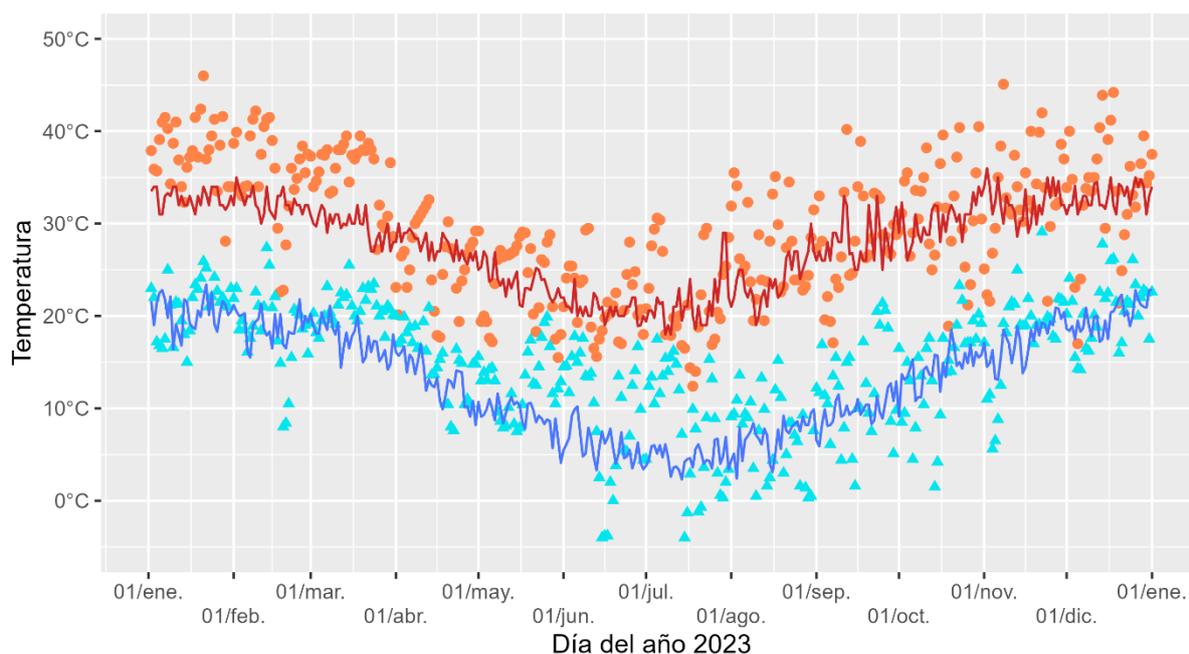


Figura 4. Valores promedio de temperatura máxima (línea roja) y mínima (línea azul) diaria (serie 1991-2020) y valores diarios de temperaturas máximas (círculos naranjas) y mínimas (triángulos celestes) diarios del 2023.

En Tabla 1 se puede observar que fueron muchos los días de este año en que las temperaturas han superado los 40°C y, como es de esperarse, ocurrieron en los meses estivales. Además, se puede apreciar que en el período comprendido entre los meses de mayo a septiembre no ocurrieron días con temperaturas mayores o iguales a 35,0°C, mientras que el año pasado, en julio ya hubo días con esos registros.

Tabla 1. Número de días en que las temperaturas máximas se encontraron por encima de un determinado umbral para cada mes del año 2023 y total de días del año 2023 en que las temperaturas máximas se encontraron por encima de un determinado umbral. Cada categoría contiene a la superior inmediata de mayor temperatura.

Mes del año 2023	$\geq 25^{\circ}\text{C}$	$\geq 30^{\circ}\text{C}$	$\geq 35^{\circ}\text{C}$	$\geq 40^{\circ}\text{C}$
Enero	31	30	24	9
Febrero	26	24	16	5
Marzo	30	26	19	0
Abril	20	7	0	0
Mayo	16	0	0	0
Junio	5	0	0	0
Julio	10	3	0	0
Agosto	16	7	2	0
Septiembre	22	9	2	1
Octubre	28	19	9	2
Noviembre	27	24	10	3
Diciembre	26	24	14	5
Total	257	173	96	25

Respecto al año 2022 hubo menor cantidad de días en que las temperaturas máximas diarias superaron los 35°C (79 días fueron los contabilizados en el año 2022) y 40°C (29 días en el año anterior).

En el mes de diciembre solamente se ha registrado una “ola de calor” de cuatro días de duración.

La mayoría de los frutales de hoja caduca adaptados a climas templados-fríos para poder florecer cada primavera deben haber acumulado durante la época invernal cierta cantidad de frío. Ese periodo de inactividad es un mecanismo que las plantas usan para proteger sus tejidos sensibles de las condiciones climáticas menos óptimas. Esta forma de adaptación les permite florecer en el momento más favorable. Este requerimiento de frío varía notablemente con la especie y la variedad. Esta cantidad de frío se contabiliza como horas de frío acumuladas. El método “horas de frío” (denominado “*Chilling Hours*” en inglés) es utilizado ampliamente por ser de fácil comprensión e intuitivo⁴ y considera el período de tiempo durante el cual la temperatura se encontró entre los 0,0°C y los 7,2°C^{5 6 7}, ya que se considera que este rango de temperaturas afecta la finalización de la latencia. Mientras las temperaturas por debajo de 0°C no contribuyen debido a que los procesos biológicos son ralentizados o directamente no ocurren, mientras que las temperaturas por arriba de 7,2°C no se consideran lo suficiente mente bajas como para afectar la finalización de la latencia⁸. Tomando en cuenta los datos brindados por la estación meteorológica automática (incluyendo los períodos con valores por debajo de 0,0°C), se acumularon **286,0 horas** durante el período comprendido entre el 1 de mayo y el 30 de septiembre, inferior a las 654,4 horas del año pasado.

Se registraron 8 heladas meteorológicas (Tabla 2), veintitrés menos que las registradas en el año 2022, y 25 heladas agrometeorológicas (Tabla 5) (treinta siete registros menos que los del año anterior). La primera helada meteorológica del año se registró el miércoles 14 de junio, siendo la fecha media de ocurrencia de primera helada⁹ el 3 de junio (criterio de Pascale y Damario, 2004, citados en Fernández Long *et al.*, 2016¹⁰). La variabilidad de la fecha de primera helada es de aproximadamente 19 días, lo que significa que la ocurrencia de la primera helada suele suceder entre el 15 de mayo y el 22 de junio¹¹, estando la de este año dentro de lo “normal”.

⁴ Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: a review. *Scientia Horticulturae*, 144, 218-229.

⁵ Bennett, J. (1949). Temperature and bud rest period: Effect of temperature and exposure on the rest period of deciduous plant leaf buds investigated. *California Agriculture*, 3(11), 9-12.

⁶ Darbyshire, R., Webb, L., Goodwin, I., & Barlow, S. (2011). Winter chilling trends for deciduous fruit trees in Australia. *Agricultural and forest meteorology*, 151(8), 1074-1085. doi:10.1016/j.agrformet.2011.03.010

⁷ Rahemi, A., Fisher, H., Dale, A., Taghavi, T., & Kelly, J. (2021). Bud dormancy pattern, chilling requirement, and cold hardiness in *Vitis vinifera* L. ‘Chardonnay’ and ‘Riesling’. *Canadian Journal of Plant Science*, 101(6), 871-885.

⁸ Fadón, E., Herrera, S., Guerrero, B. I., Guerra, M. E., & Rodrigo, J. (2020). Chilling and heat requirements of temperate stone fruit trees (*Prunus* sp.). *Agronomy*, 10(3), 409.

⁹ Período de datos considerado: 1988-2020.

¹⁰ Fernández-Long, M. E., Barnatán, I., Dominici, C., & Murphy, G. (2016). Información agroclimática de las heladas en la Argentina: generación y uso. *Meteorológica*, 41(2), 7-31.

¹¹ Más información: <https://inta.gob.ar/documentos/caracterizacion-agroclimatica-de-heladas-en-la-abrita-santiago-del-estero-periodo-1988-2020>.

La última helada meteorológica del año se registró el jueves 20 de julio, con un registro de $-0,7^{\circ}\text{C}$, siendo la fecha media de ocurrencia de última helada el 4 de septiembre. La variabilidad de la fecha de última helada es de aproximadamente 18 días, lo que significa que el periodo de alta probabilidad de ocurrencia de la última helada se extiende desde el 17 de agosto al 22 de septiembre, por lo que se puede indicar que este año han finalizado anticipadamente el período de heladas. La fecha extrema de última helada es el 30 de septiembre, hecho ocurrido en los años 1995 y 2009, con $-0,9^{\circ}\text{C}$ y $-2,9^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

Tabla 2. Mes y día de ocurrencia en el año 2023 de helada meteorológica, temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) registrada en abrigo meteorológico a 1,5m de altura y, duración del período¹² (hh:mm) en que las temperaturas fueron iguales o se encontraron por debajo de $0,0^{\circ}\text{C}$ tomados a intervalos de 15 minutos a partir de los registros de la estación automática, con sensores en abrigo a 1,5m de altura.

Mes	Día	Registro mínimo ($^{\circ}\text{C}$)	Duración	Horario del período
Junio	14	-4,0	08:45	Desde las 00:30 hasta las 09:15
	15	-3,8	09:30	Desde las 23:45 hasta las 09:15
	16	-3,8	08:30	Desde las 00:45 hasta las 09:15
	18	0,0	00:15	Desde las 08:15 hasta las 08:30
Julio	14	-4,0	08:15	Desde las 01:15 hasta las 09:30
	15	-1,3	03:15	Desde las 05:45 hasta las 09:00
	19	-1,2	01:45	Desde las 06:00 hasta las 07:45
	20	-0,7	02:45	Desde las 06:15 hasta las 09:00

Se analizó también en función a la severidad de la temperatura mínima alcanzada clasificando las heladas por intervalos de clases térmicas: muy severas (menores a -10°C), severas ($-8,0$ a $-9,9^{\circ}\text{C}$), muy fuertes ($-6,0$ a $-7,9^{\circ}\text{C}$), fuertes ($-4,0$ a $-5,9^{\circ}\text{C}$), moderadas ($-2,0$ a $-3,9^{\circ}\text{C}$) y suaves ($0,0$ a $-1,9^{\circ}\text{C}$) (Da Motta, 1961¹³). Aproximadamente el 85% de las heladas totales corresponden a la categoría de “suaves” o “moderadas”. El mes de agosto presenta la mayor frecuencia de heladas. A diferencia del año anterior, no se han registrado heladas que se pudieran clasificar como “severa” (Tabla 3).

Tabla 3. Frecuencia de heladas meteorológicas de la temporada invernal 2023, clasificadas por categorías según criterio de Da Motta y porcentaje total de cada categoría. (---) indica que no hubo eventos en esa categoría.

Categoría	Junio	Julio	Total	%
Suaves	1	3	4	50
Moderadas	2	---	2	25
Fuertes	1	1	2	25
Muy Fuertes	---	---	---	0
Severas	---	---	---	0
Muy Severas	---	---	---	0
Total	4	4	8	

¹² La hora de inicio corresponde al inicio del periodo de 15 minutos en que ocurre el descenso de la temperatura por debajo de los $0,0^{\circ}\text{C}$, mientras que el fin del periodo se indica por la hora del periodo en el cuál la temperatura ha ascendido por encima de los $0,0^{\circ}\text{C}$

¹³ Da Motta, F. (1961). Geadas da primavera no Rio Grande do Sul. *Cir. Inst. Agron. S. Pelotas*. Brasil. Pág. 1-15.

Siguiendo el mismo criterio para la categorización del valor de temperatura, pero en este caso en función del tiempo en que los registros de la estación automática se han encontrado en cada intervalo es que se ha elaborado la Tabla 4.

Tabla 4. Duración (horas y minutos) del período para los rangos definidos (siguiendo el criterio de Da Motta) para la marcha de la temperatura (°C) para los días en que se registró helada meteorológica, tomados a intervalos de 15 minutos a partir de los registros de la estación automática, con sensores en abrigo a 1,5m de altura.

Mes	Día	0,0 a -1,9	-2,0 a -3,9	-4,0 a -5,9	-6,0 a -7,9	-8,0 a -9,9
Junio	14	03:45	05:00	00:30	///	///
	15	03:30	06:00	///	///	///
	16	04:45	03:45	///	///	///
	18	00:15	///	///	///	///
Julio	14	04:30	03:45	///	///	///
	15	03:15	///	///	///	///
	19	01:45	///	///	///	///
	20	02:45	///	///	///	///

A medida que el sol desciende hacia el horizonte comienza a recibirse menos energía, lo que reduce el calor disponible para calentar el suelo. Hacia finales de la tarde, la superficie del suelo comienza a perder más energía de lo que recibe por lo que se empieza a enfriar, mientras que las capas de aire por encima se calientan. A menudo se produce un gradiente de incremento de la temperatura con el incremento de la altura hasta cierto nivel. A este incremento de la temperatura con la altura se lo denomina inversión térmica o de temperatura.

Este tipo de inversión de temperatura suele producirse en las capas de la atmósfera que están en contacto con la superficie terrestre, durante noches despejadas y frías, y en condiciones de calma o de vientos muy suaves. Superada esta capa de inversión térmica, la temperatura comienza a disminuir nuevamente con la altura, restableciéndose el gradiente normal de la troposfera.

Las condiciones ideales para un gradiente de inversión fuerte son: aire en calma, noches largas, aire seco y sin nubes. Una noche sin viento es esencial para una fuerte inversión por radiación, debido a que una fuerte brisa tiende a mezclar el aire más frío con el aire más caliente que se encuentra por encima. En noches con calma el aire frío, más denso, tiende a quedarse abajo inhibiendo la mezcla y favoreciendo el enfriamiento. Este comportamiento es típico de noches con helada. Es por ello por lo que a pesar de no registrarse las denominadas “heladas meteorológicas” en el abrigo a 1,5m de altura, en los niveles inferiores cercanos al suelo pueden ocurrir heladas agronómicas. Justamente es en estos niveles en donde se encuentra la altura de los cultivos, por lo que se registra la temperatura mínima de radiación terrestre nocturna con termómetro de mínima en intemperie. La temperatura mínima en intemperie más baja registrada este año fue de (-10,2°C) (Tabla 5).

Tabla 5. Mes y día de ocurrencia en el año 2023 de helada agronómica, temperatura mínima (°C) registrada en abrigo meteorológico a 1,5m de altura, temperatura mínima nocturnas en intemperie (°C) a 0,05m de altura y duración del período en que las temperaturas fueron iguales o se encontraron por debajo de 0,0°C tomados a intervalos de 15 minutos a partir de los registros de la estación automática, con sensores en abrigo a 1,5m de altura.

Fecha	Registro mínimo en abrigo (°C)	Registro mínimo en intemperie a 5cm sobre superficie (°C)	Horario del período	
Junio	13	2,5	0,5	Desde las 08:15 hasta las 09:00
	14	-4,0	-5,7	Desde las 21:45 hasta las 09:15
	15	-3,8	-5,1	Desde las 21:15 hasta las 09:30
	16	-3,8	-5,4	Desde las 21:45 hasta las 09:30
	17	2,0	S/D	Desde las 23:15 hasta las 08:30
	18	0,0	-1,4	Desde las 04:45 hasta las 09:00
Julio	14	-4,0	-5,0	Desde las 00:15 hasta las 10:00
	15	-1,3	-3,0	Desde las 03:45 hasta las 09:30
	16	2,9	S/D	Desde las 06:00 hasta las 06:15
	19	-1,2	-3,6	Desde las 03:30 hasta las 09:00
	20	-0,7	-4,4	Desde las 23:45 hasta las 09:15
	26	3,0	0,8	Desde las 07:45 hasta las 08:00
	27	0,6	-0,3	Desde las 01:15 hasta las 09:00
	28	0,3	-2,2	Desde las 02:15 hasta las 09:00
29	2,0	1,0	Desde las 07:00 hasta las 08:45	
Agosto	09	0,5	0,8	Desde las 04:30 hasta las 09:00
	13	1,6	S/D	Desde las 02:15 hasta las 08:45
	14	2,5	0,4	Desde las 05:30 hasta las 06:15
	19	3,0	2,4	Desde las 06:30 hasta las 06:45
	25	1,6	0,9	Desde las 07:00 hasta las 08:30
	27	1,4	S/D	Desde las 06:15 hasta las 08:30
	28	0,3	-1,4	Desde las 02:30 hasta las 08:15
	29	0,5	-0,6	Desde las 04:45 hasta las 07:00
Septiembre	14	1,6	-1,5	Desde las 01:45 hasta las 07:45
Octubre	13	1,5	-1,5	Desde las 06:00 hasta las 07:45

La fecha media¹⁴ de ocurrencia de primera helada¹⁵ agrometeorológica es el 11 de mayo siendo la variabilidad de la fecha de primera helada de 16 días, lo que significa que la ocurrencia de la primera helada suele suceder entre el 25 de abril y el 27 de mayo. El martes 13 de junio fue el primero del año en que la temperatura ha descendido por debajo del umbral arriba mencionado siendo de esta manera un inicio tardío.

La fecha media de última helada es el 23 de septiembre y que según la desviación estándar resultante de la fecha promedio de última helada de esta clase, el periodo de alta probabilidad de ocurrencia se extiende desde el 07 de septiembre hasta el 09 de octubre, por lo que se puede indicar que este año ha ocurrido una heladas agronómica por fuera de lo

¹⁴ Igual forma de cálculo que el de las heladas meteorológicas.

¹⁵ Período de datos considerado: 1988-2020.

mayormente esperado, catalogándose como evento tardío, pero sin alcanzar la fecha extrema que es el día 05 de noviembre, hecho ocurrido en el año 1992.

Precipitación

Durante el año 2023 sólo los meses de marzo, abril, mayo y octubre registraron acumulados mayores al valor medio (Figura 5). En el año 2023 fueron los meses de junio, agosto, septiembre y noviembre los que habían acumulado registros mayores al promedio.

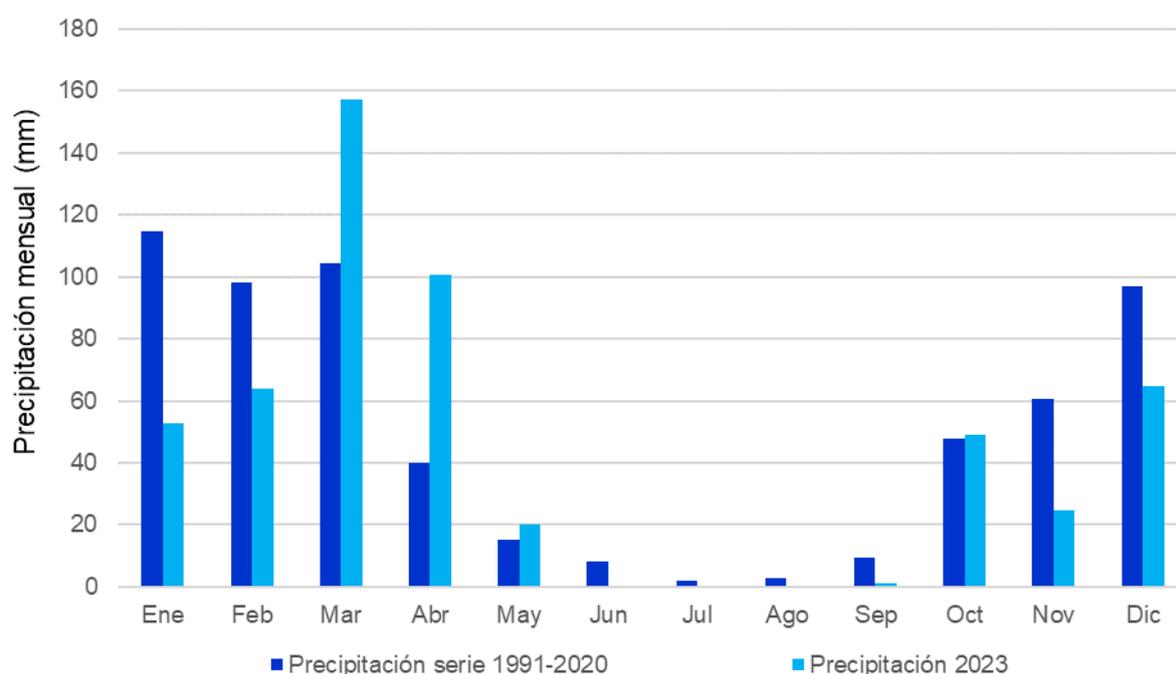


Figura 5. Precipitación mensual acumulada (mm) año 2023 y precipitación mensual acumulada promedio (mm) serie histórica “La María” 1991-2020.

El valor acumulado de precipitación del año 2023 fue de 534,5mm (325,3mm fue el acumulado del año 2022), un valor 11% inferior al promedio del conjunto histórico de datos de precipitación de la serie “La María”¹⁶. Ordenando todos los valores anuales de la serie, este año se coloca en la decimocuarta posición entre los valores acumulados anuales más bajos (serie de datos completa período 1981-2023) (Figura 6). El valor acumulado de precipitación del año 2022 fue de 325,3mm y se ubicó ese año en la segunda posición, pero ordenados los valores de manera decreciente.

En el mes de abril, el cumulado de 100,6mm se convirtió en el nuevo valor extremo mensual.

¹⁶ Serie de datos analizada para la obtención de los estadísticos para la variable precipitación: 1991-2020.

Considerando que las precipitaciones son un fenómeno discontinuo temporal y espacialmente, una mejor descripción se obtiene con el uso de la Mediana, que es una medida estadística de posición central de los datos, informándonos un valor que indica que existe un número igual de datos inferiores y superiores a este valor. Este valor anual es de 580mm. En referencia a ello se puede indicar que este año presentó un valor “normal”.

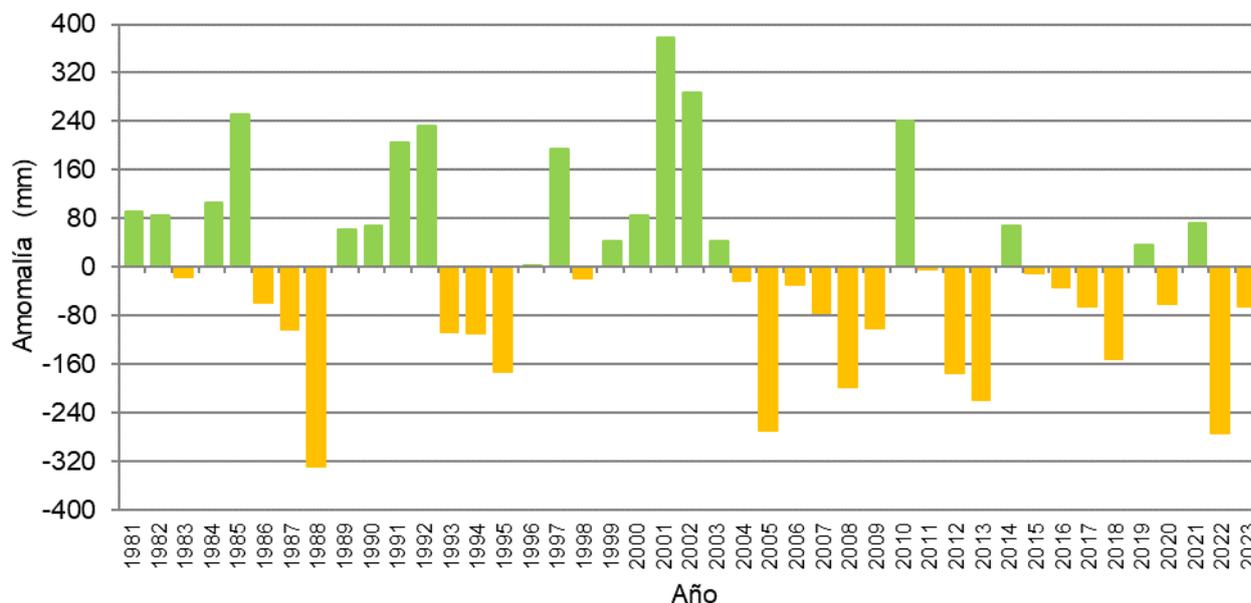


Figura 6. Anomalia de precipitación acumulada anual (mm).

En la siguiente figura consideramos los días en que hubo precipitación¹⁷ y estas fueron mayores a 0,0mm (Figura 7). Los meses de octubre, noviembre y diciembre superaron el promedio de días.

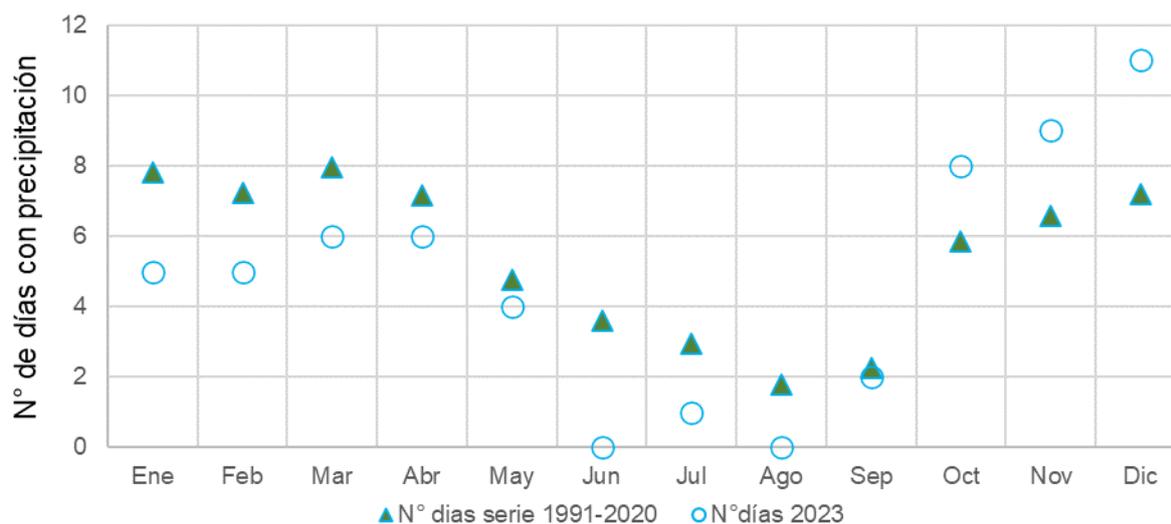


Figura 7. Número de días con precipitación medible (mayor a 0,0mm) en cada mes del año 2023 y valor promedio del número de días con precipitación medible serie “La María” 1991-2020.

¹⁷ Precipitaciones registradas como día pluviométrico mediante pluviómetro tipo “B” y medida mediante probeta oficial de 50mm. Solamente se contabilizan precipitaciones con valores mayores a 0,0mm. Puede ocurrir precipitación, pero no con la cuantía suficiente para producir un registro.

El 24 de marzo se registró el mayor acumulado en un día pluviométrico con 104mm.

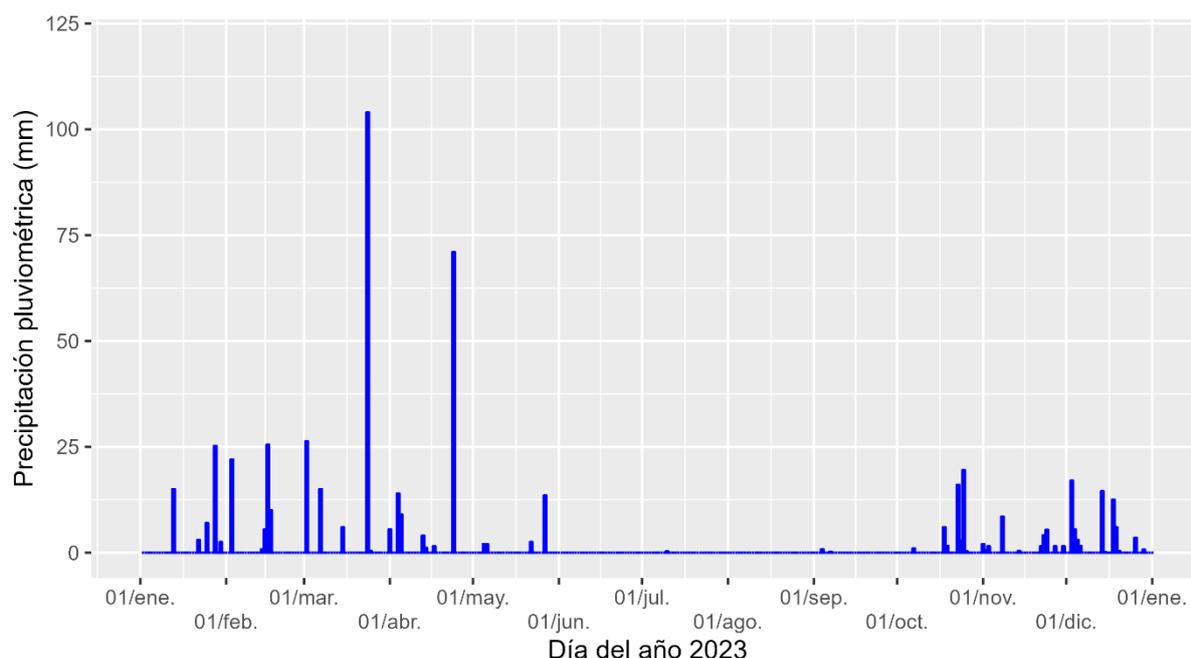


Figura 8. Distribución de la precipitación diaria (cómo día pluviométrico) del año 2023.

En la Tabla 6 se puede apreciar que durante este año la mayoría de las precipitaciones registradas en períodos de 24 horas fueron de escasa cuantía, siempre circunscribiéndonos a los datos de la estación y el área sobre la que son representativos. Fueron 64 días en que se registró precipitación, de los cuales 59 fueron valores medidos a los que se le suman 5 días que se anotaron como acumulado en un registro que corresponde en realidad a dos días, pero que no fueron discriminados para la confección de la Tabla 6. A su vez, 34 presentaron valores mayores a 1mm (41 días habían sido el año pasado).

Tabla 6. Número de días en que las precipitaciones se encontraron por encima de un determinado umbral (mm) para cada mes del año 2023 y total de días del año 2023 en que las precipitaciones se encontraron por encima de un determinado umbral. Cada categoría contiene a la superior inmediata de mayor cuantía.

Mes del año 2023	≥ 1	≥ 5	≥ 10	≥ 50	≥ 100	≥ 150
Enero	5	3	2	0	0	0
Febrero	4	4	3	0	0	0
Marzo	5	5	3	1	1	0
Abril	6	3	2	1	0	0
Mayo	4	1	1	0	0	0
Junio	0	0	0	0	0	0
Julio	0	0	0	0	0	0
Agosto	0	0	0	0	0	0
Septiembre	0	0	0	0	0	0
Octubre	7	3	2	0	0	0
Noviembre	7	2	0	0	0	0
Diciembre	8	5	3	0	0	0
Total	46	26	16	2	1	0

Se contabilizaron cinco días con registros inapreciables, es decir, ha ocurrido un evento de precipitación, pero no la cuantía suficiente para producir un registro en el instrumental.

Se realizó un análisis de los valores de precipitación registrados a lo largo de la serie histórica 1981-2020 y se obtuvieron los 5 quintiles¹⁸ de precipitación de cada mes. Se ubicó el valor de precipitación acumulada de cada mes del año 2023 en el quintil correspondiente (Tabla 7).

Tabla 7. Quintil al que pertenece la precipitación acumulada durante cada mes del año 2023 de acuerdo con la serie “La María” 1981-2020.

Mes del Año 2023	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Quintil	1	2	5	5	5	1	2	1	2	4	1	2

Igual cálculo se efectuó sobre los totales de cada año del archivo de datos, ubicándose en consecuencia el año 2023 en el 2° quintil, es decir, entre el total de años analizados, el actual período estuvo entre el 40% de los años con menor cuantía acumulada.

Para finalizar la sección dedicada al comportamiento de las lluvias, se muestra en la Figura 9 las precipitaciones acumuladas en donde se visualiza, con respecto al valor promedio acumulado de la serie histórica, cómo se fueron acumulando los milímetros caídos a lo largo del año 2023. Se aprecia gran parte del año con coloración en marrón debido al déficit permanente a lo largo del año, observándose en abril un área de color verde y que arrastra el valor acumulado por encima del promedio hasta septiembre.

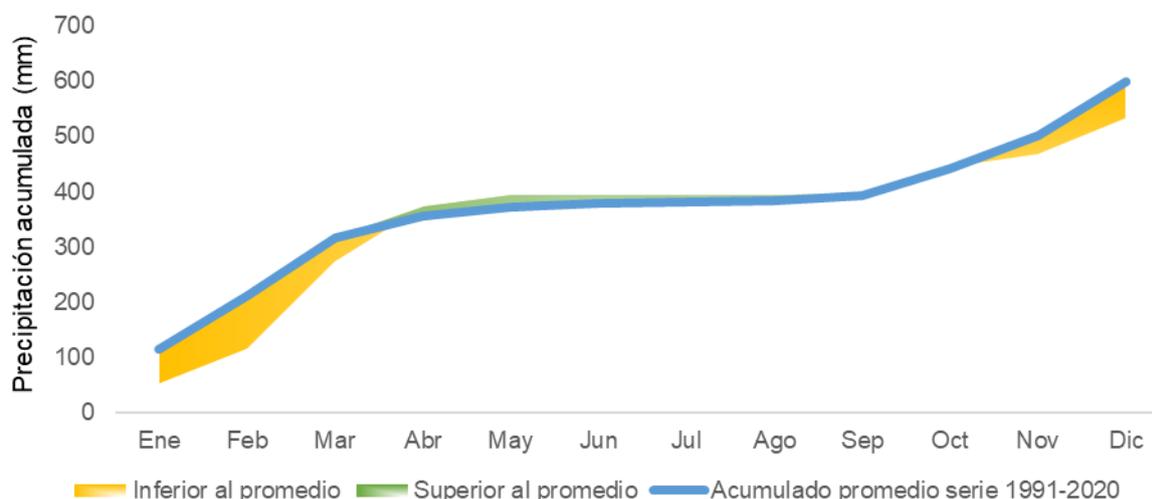


Figura 9. Precipitación acumulada promedio (mm) en año calendario de la serie “La María” 1991-2020 y precipitación acumulada (mm) año 2023. Referencias: colores verdes (superávit) y naranjas (déficit) indican la diferencia entre el valor acumulado promedio y el valor acumulado del año 202.

¹⁸ Quintil es una medida estadística que se utiliza para indicar el valor por debajo del cual se encuentra un determinado porcentaje de observaciones. Cada porción representa un 20% hasta llegar a 100%, siendo 100% el total de los datos analizados. El valor de estos se obtiene separando en cinco partes iguales los datos precipitación acumulada, ordenados de menor a mayor en cada mes. Es decir, por ejemplo, si para el mes de enero los quintiles obtenidos del análisis de los datos históricos hubieran sido Q1(11), Q2(40), Q3(75), Q4(92) y el Q5(138) y hubieran llovido 82mm, correspondería que ese mes se ubique en el quintil 4.

Humedad relativa

En la Figura 10 se puede observar que en la primera parte del año el valor se encontró por debajo del promedio y el resto del año se encontró cerca al mismo. En la misma figura se presentan también los valores medios teniendo en cuenta el valor máximo y mínimo de humedad relativa (HR) a partir de los registros de la estación automática.

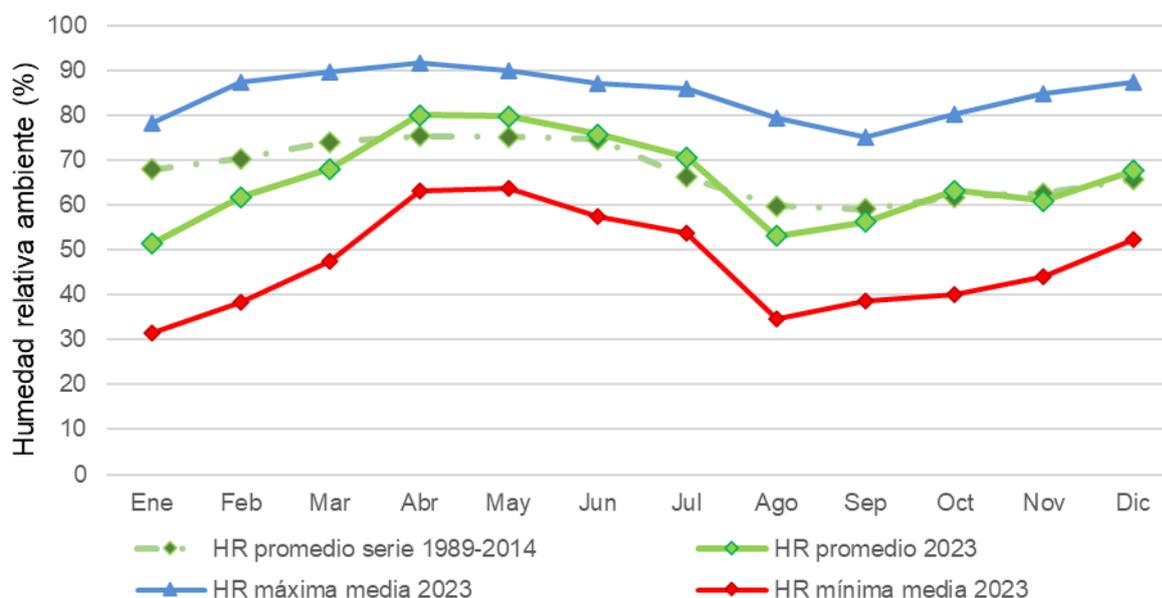


Figura 10. Humedad Relativa (HR) (%) mensual promedio de la serie “La María” 1989-2014, valor medio de HR mensual del año 2023 y, valores medios mensuales de HR máximas y mínimas mensuales (%) del año 2023.

En la Figura 11 se muestra la duración en horas expresadas como porcentaje del tiempo mensual en que se registraron valores de humedad relativa ambiente dentro de cada clase de clasificación, obtenidos a partir de los registros de la estación meteorológica automática.

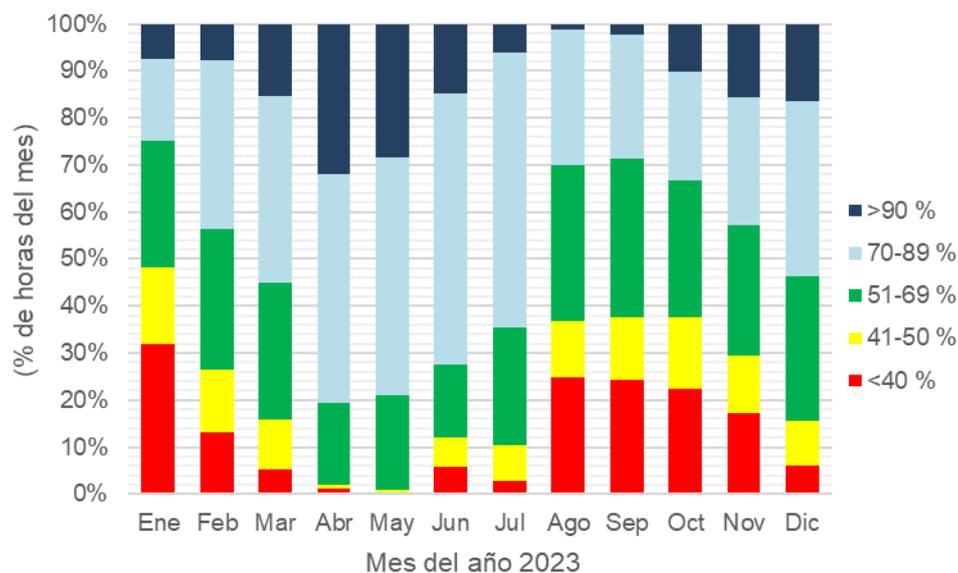


Figura 11. Duración de cada clase de clasificación de la humedad, expresada como porcentaje de horas del día en base al registro de la estación automática.

Se ha registrado un menor porcentaje (12,9%) del periodo de tiempo en que la humedad se ha encontrado por debajo del umbral del 90% respecto al año pasado (22,6%).

En los meses invernales y en principios de la primavera, las precipitaciones son escasas o nulas y, junto a las bajas temperaturas, se propicia la presencia de material vegetal seco (mayormente vegetación de estrato herbáceo), que se constituye en un “combustible fino” que es donde generalmente se inician los fuegos. La humedad relativa del aire es un factor de importancia clave en el comportamiento del fuego, influenciando directamente el contenido de agua del combustible, que su vez controla el proceso de combustión. Una humedad relativa ambiente igual al 40% es un umbral clave: por debajo de este valor, los combustibles finos quemar fácilmente y desde allí el fuego se propaga a otros estratos vegetales¹⁹.

Índice Temperatura Humedad

El índice de Temperatura Humedad o ITH, conjuga los efectos combinados de la temperatura y de la humedad relativa ambiente, más precisamente es la temperatura ambiente ajustada por variaciones en la presión de vapor. Es una adaptación del índice de disconfort desarrollado por Thom en 1959, existiendo diversa bibliografía que propone variaciones en los parámetros de la fórmula empleada. La combinación de elevadas temperaturas con altos porcentajes de humedad relativa del ambiente genera estrés por calor produciendo cambios fisiológicos en los animales, disminuyendo así su eficiencia productiva.

El valor de ITH obtenido en la fórmula se considera como la intensidad de las condiciones de estrés por calor a la que se encuentra expuesto el animal. Esta intensidad se categoriza en bovinos para carne como normal cuando los valores son menores a 75, alerta (leve) para valores de ITH mayores o iguales a 75, peligro (moderado) para valores de ITH mayores o iguales a 79 y emergencia (severo) cuando se alcanzan valores de ITH superiores a 84²⁰. Dichos valores se obtienen mediante la fórmula:

$$ITH = ((1,8 * T[°C]) + 32) - \left(0,55 - \left(0,55 * \left(\frac{HR}{100} \right) \right) \right) * ((1,8 * T[°C]) - 26)$$

Aunque el conocimiento del índice por si solo es beneficioso por permitir determinar el estrés por calor, ajustar este índice por el efecto de la velocidad del viento y la radiación solar incidente resultaría más preciso para evaluar cómo se ve afectado el bienestar animal²¹. Es así,

¹⁹ Fuego en los ecosistemas argentinos. 2003. Kunst C., Bravo S. & J. Panigatti, eds. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Est. Exp. Agropecuaria Santiago del Estero, 2003. ISBN 987-521-084-6.

²⁰ Armendano J.I., Odeón A.C., Callejas S.S., Echarte L. & Odriozola E.R. 2015. Estrés térmico y síndrome distérmico en bovinos para carne de la provincia de Buenos Aires. 9nas Jornadas Internacionales de Veterinaria Práctica. Mar del Plata.

²¹ Mader, T. L., Davis, M. S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712-719.

que se emplean estos parámetros en la fórmula a continuación, empleando el valor de ITH calculado con la fórmula presentada previamente, ajustando de esta manera el valor del índice:

$$ITH_{vr} = 4,51 + ITH - \left(1,992 * \text{Viento} \left(\frac{m}{s}\right)\right) + \left(0,0068 * \text{Radiación} \left(\frac{W}{m^2}\right)\right)$$

Para el cálculo de la fórmula se emplean el valor medio de temperatura (T), la humedad relativa ambiente (HR), el viento y la radiación de cada período de 15 minutos obtenidos a partir de la estación meteorológica automática, promediándose luego para cada hora el valor del índice. La figura fue confeccionada mediante el software “R”²². Valores menores a 75 se presentan de color gris oscuro en las figuras, resaltando así aquellas horas en las que el valor del índice fue mayor a este umbral. En los meses de enero y abril existen “blancos” por falta de datos en esos momentos.

En la Figura 12 y en la Figura 13 se muestran los valores que alcanzó el índice en cada hora, de manera diaria, para todos los meses del año 2023.

El valor mayor valor del índice, 99, se alcanzó el día 27 de febrero a las 14:15h.

²² R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Índice "ITHvr" horario, anual 2023

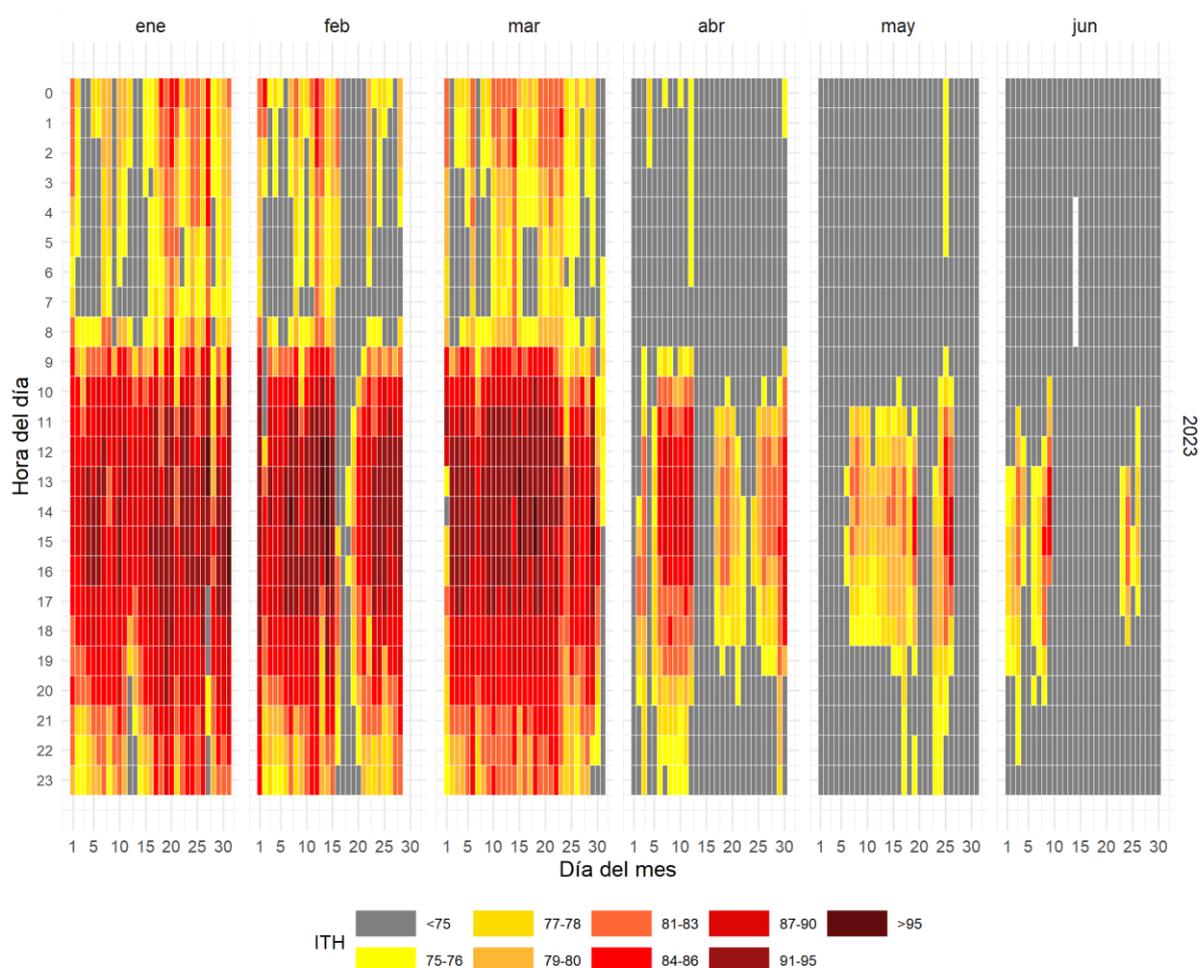


Figura 12. Índice Temperatura Humedad (ITH) (modificado por viento y radiación) calculado de manera horaria para cada día de los meses del primer semestre del año 2023.

Mayormente en los meses de enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre es dónde se presentaron los valores más altos del índice. Especialmente en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, aún durante las primeras horas de la noche, el índice continuó en valores catalogados como “peligro” e incluso de “emergencia” para el confort animal.

Índice "ITHvr" horario, anual 2023

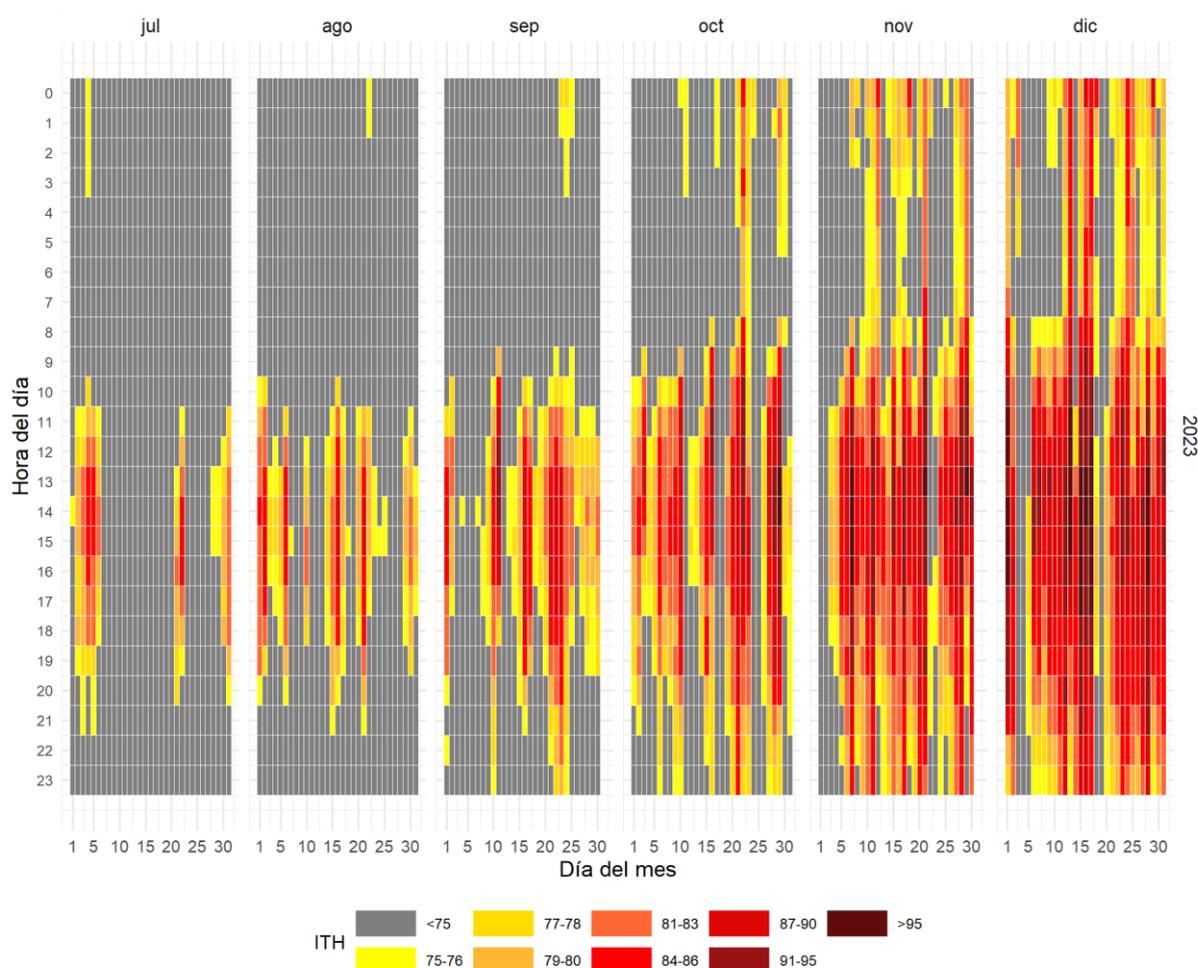


Figura 13. Índice Temperatura Humedad (ITH) (modificado por viento y radiación) calculado de manera horaria para cada día de los meses del segundo semestre del año 2023.

La asignación de las categorías clasificatorias es relativamente arbitraria ya que el estrés por calor va a depender no solamente de la combinación de los parámetros meteorológicos, sino también de las prácticas empleadas para manejar el estrés en los animales, las que establecen microclimas puntuales, así como también de la raza del animal (que determina cuán adaptado esté al clima de una región) y de su estado fisiológico²³.

En la Figura 14 se muestra la duración en horas expresadas como porcentaje del tiempo en cada década²⁴ de los meses del año 2023 en que se registraron valores del índice ITH dentro de cada clase de clasificación, obtenidos a partir de los registros de la estación meteorológica automática. Se presentó una importante cantidad del tiempo con valores del índice que indican estrés en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre

²³ Tao & Xin 2003, Dikmen & Hansen 2009 y Ajakaiye *et al.* 2011 citados en Lallo, C.H., Cohen, J., Rankine, D., Taylor, M., Cambell, J., & Stephenson, T. 2018. Characterizing heat stress on livestock using the temperature humidity index (THI)—prospects for a warmer Caribbean. *Regional environmental change*, 18(8), 2329-2340.

²⁴ Década: cada uno de los tres intervalos de 10 días en los que se subdivide el mes (1 al 10, 11 al 20 y 21 al 28/29-30-31).

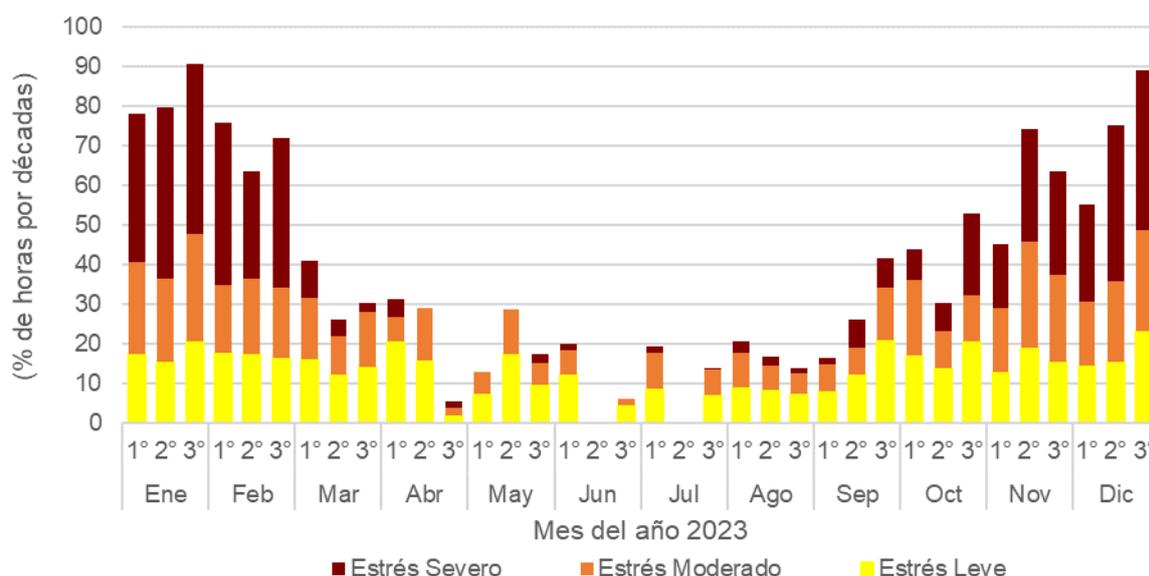


Figura 14. Duración de cada clase de clasificación del índice ITH (modificado por viento y radiación), expresado como porcentaje de horas del día en base al registro de la estación automática para cada una de las tres décadas de cada mes del año 2023.

En las tres décadas del mes de enero, y en dos décadas de febrero, noviembre y diciembre más del 50% del tiempo los valores del índice se encontraron entre las categorías de estrés moderado o severo. Particularmente, las dos décadas últimas de enero y la última de diciembre presentaron más de un 40% del tiempo con valores del índice por encima del umbral de 84. Fue menor la cantidad de tiempo respecto al año anterior en que los valores se encontraron en la categoría de estrés moderado/severo.

Insolación

El término heliofanía representa la duración del brillo solar u horas de sol (insolación), y está ligado al estudio de la determinación del tiempo durante el cual un lugar ha recibido radiación solar directa, registrado mediante un heliofanógrafo, tipo *Campbell-Stokes*, en nuestro caso.

Por otra parte, la heliofanía teórica astronómica es el máximo período de tiempo (expresado en horas) durante el cual se podría recibir radiación solar directa, independientemente de las obstrucciones causadas por fenómenos meteorológicos o relieves topográficos, para un lugar y fecha determinada.

Por lo antes mencionado es que siempre la insolación recibida por un área (heliofanía efectiva) es siempre menor a la esperada, sumada a otros factores que puedan interferir en el registro del haz de luz solar por parte del instrumental registrador.

La heliofanía relativa es el cociente entre la heliofanía efectiva (la que efectivamente fue registrada por el instrumental) y la heliofanía teórica astronómica y se expresa en

porcentaje. En la Figura 15 se puede notar que solo en enero y mayo el valor fue menor al valor promedio de heliofanía²⁵ relativa.

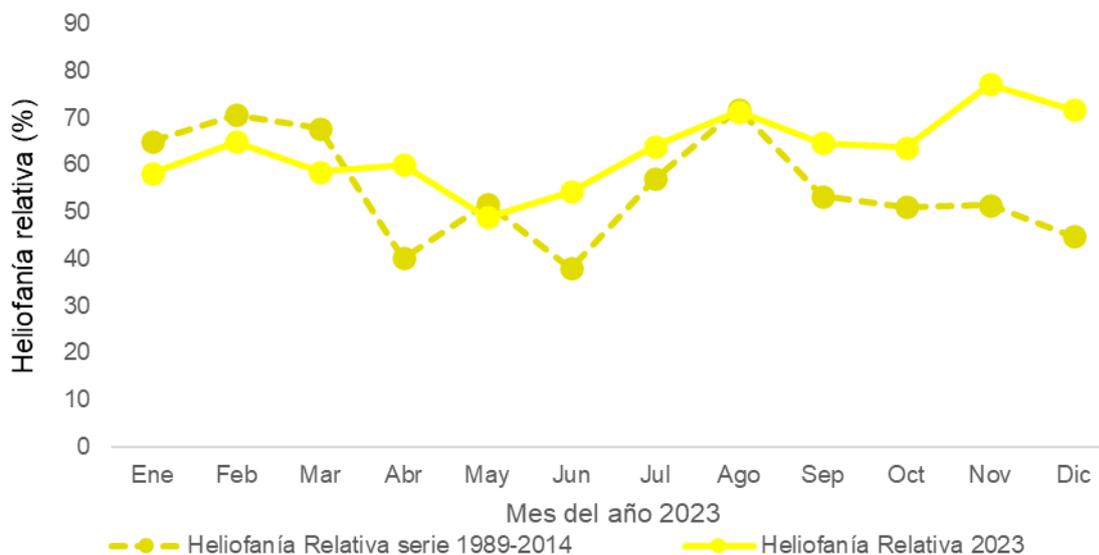


Figura 15. Heliofanía relativa (%) mensual de la serie “La María” 1989-2014 y heliofanía relativa (%) mensual del año 2023

Radiación global

La radiación solar es uno de los principales factores ambientales que afectan la vida en nuestro planeta. La cantidad de energía radiante que incide en una superficie por unidad de tiempo es un aspecto biológicamente significativo.

Mientras que con la insolación hacemos referencia a la radiación solar directa, no teníamos en cuenta la radiación difusa del cielo, que es la radiación que proviene de la atmósfera, por reflexión y dispersión de parte de la radiación solar en ella.

Podemos decir entonces que la radiación global es el total de la suma de la radiación directa y de la difusa recibida por unidad de área de una superficie horizontal.

En la Figura 16 se muestran los valores diarios de radiación global (W/m^2) que han sido registrados por el sensor de la estación automática.

²⁵ Se hace la aclaración de que faltaron los valores de 8 días en enero, 5 en febrero, 6 en marzo, 12 en abril, 12 en mayo, 9 en junio, 11 en julio, 10 en agosto, 6 en septiembre, 8 en octubre, 6 en noviembre y 7 días en el mes de diciembre.

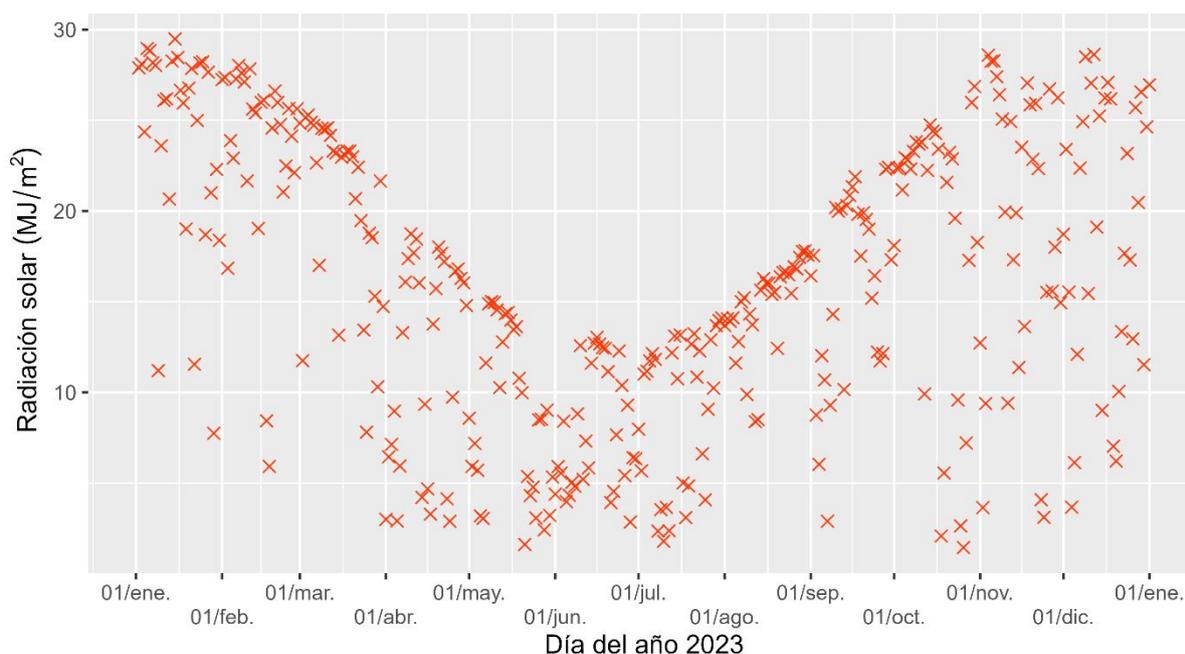


Figura 16. Valores diarios de radiación solar global (W/m^2) del año 2023.

En la Tabla 8 se presenta el valor promedio de radiación global de cada mes. En el mes de noviembre se aprecia un menor valor de radiación promedio comparado al mes previo, en consonancia con la mayor cantidad de días con precipitaciones a diferencia de otros meses como el de febrero, debido al efecto de la nubosidad al reducir el aporte que la radiación solar directa hace en el cálculo de la radiación solar global.

Tabla 8. Valor medio de la radiación solar global (W/m^2) durante cada mes del año 2023.

Mes del Año 2023	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiación Global	24,2	23,4	19,7	12,0	8,7	8,0	9,3	14,9	16,0	18,5	19,5	18,8

Viento

Con respecto al valor promedio de cada mes del viento medio diario²⁶ se puede indicar que, durante todo el año, los valores medios mensuales²⁷ fueron inferiores al promedio de la serie histórica (Figura 17).

²⁶ Consideramos el viento medio diario como un promedio de 24 horas entre dos observaciones diarias consecutivas. En el caso de una estación agrometeorológica es medido a 2m de altura a las 09:00h.

²⁷ Se hace la aclaración de que faltaron los valores de 12 días en enero, 14 en febrero, 11 en marzo, 14 en abril, 16 en mayo, 13 en junio, 15 en julio, 12 en agosto, 14 en septiembre, 10 en octubre, 17 en noviembre y 20 días en el mes de diciembre.

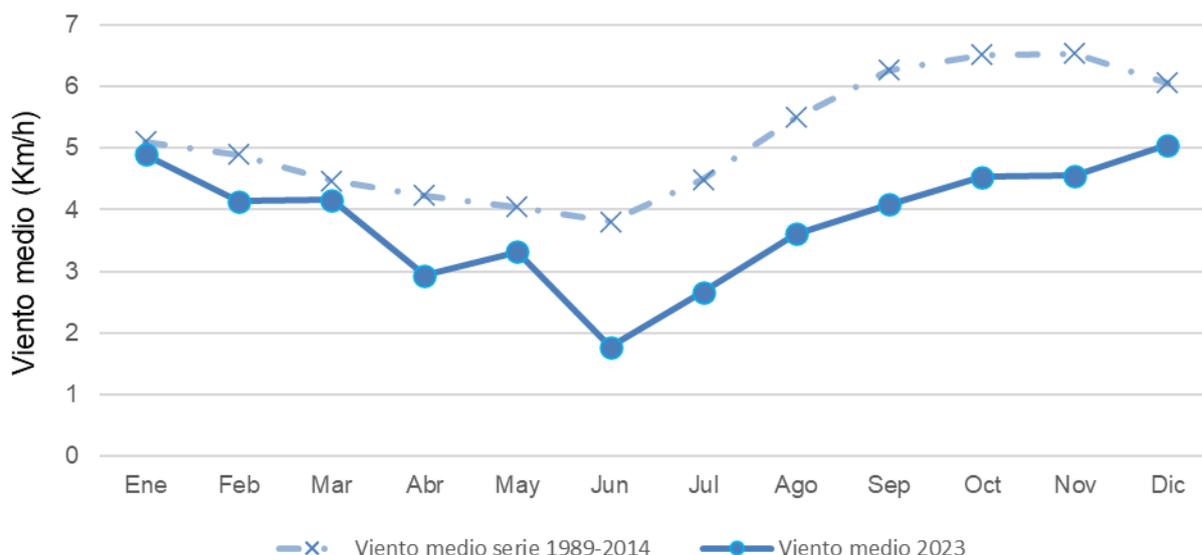


Figura 17. Valores de viento medio mensual (km/h) serie “La María” 1989-2014 y valores de viento medio mensual (km/h) del año 2023.

El viento máximo del presente año registrado por la estación automática, a 2m sobre el nivel del suelo, fue de 62,8 km/h en la madrugada del 16 de febrero, proviniendo desde el Sudeste (Figura 18).

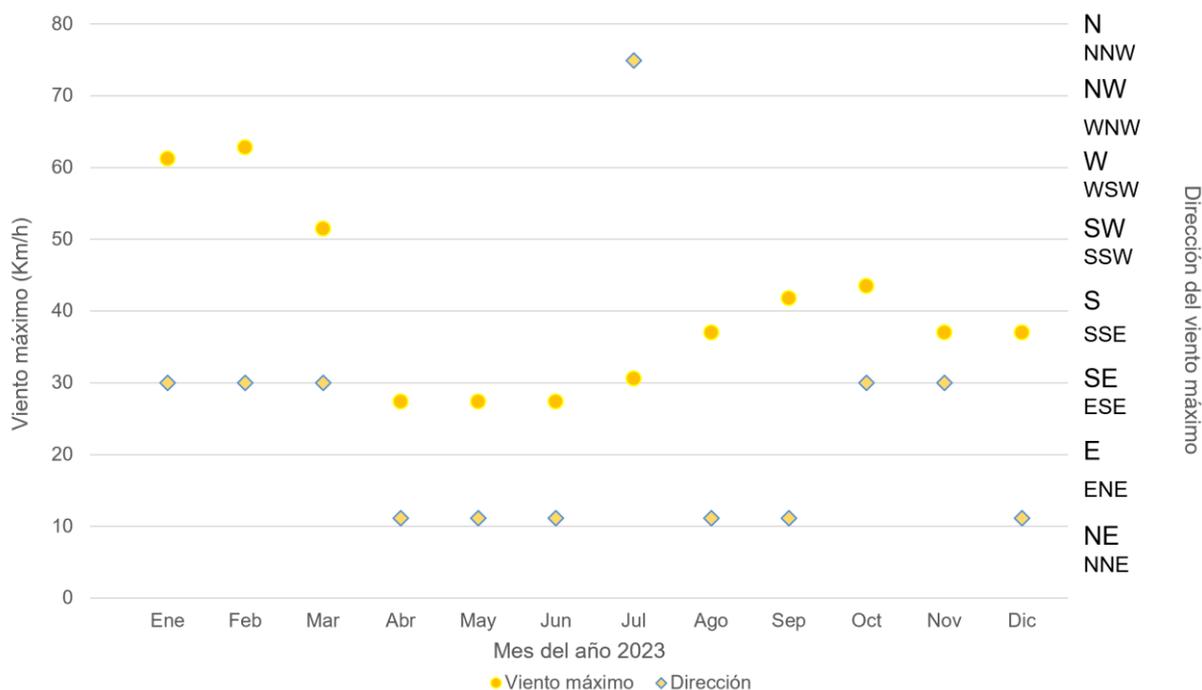


Figura 18. Viento máximo mensual (km/h) y dirección de este a partir de registros de estación automática (año 2023).

En Figura 19 se categoriza para cada día la mayor velocidad que alcanzó el viento y se muestra también un vector de la dirección media de los vientos fuertes a partir de los registros

de cada periodo de quince minutos de la estación automática. Las tres figuras a continuación fueron confeccionadas mediante el software “R”, con el empleo del paquete “Open Air”²⁸.

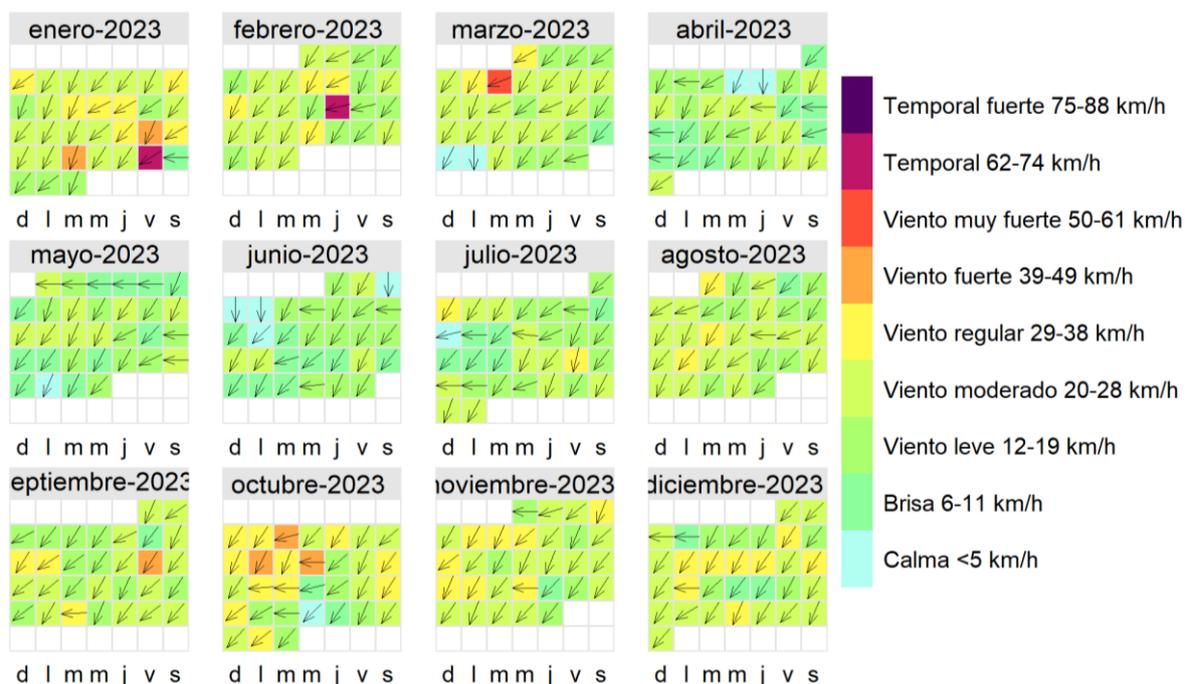


Figura 19. Calendario de la velocidad instantánea del viento máxima diaria (en intervalos definidos) y vector de dirección media diaria de los vientos máximos de cada periodo de 15 minutos, para el año 2023.

“Vientos fuertes” se han registrado en los meses de enero, febrero, marzo, septiembre y octubre.

En la Figura 20 se analiza la velocidad media (km/h) del viento de los períodos de 15 minutos, con su correspondiente dirección prevalente del viento en cada periodo, agrupándose luego las direcciones prevalentes provenientes de los 35.040 períodos²⁹ que componen al año, como porcentajes del total³⁰ y a su vez, la proporción de cada intervalo de velocidad en cada uno de los 16 rumbos³¹ posibles de orientación de la dirección del viento ilustrándose todo en un gráfico de coordenadas polares. A diferencia de la figura anterior la dirección prevalente que se alude es la dirección media del viento promedio y no el promedio de la dirección del viento más fuerte de cada periodo solamente.

²⁸ Carslaw, D. C. & K. Ropkins (2012). Openair - an R package for air quality data analysis. Environmental Modelling & Software. Volume 27-28, 52-61.

²⁹ Faltan datos de periodos en los meses de mayo, julio, noviembre y diciembre por fallas en la alimentación eléctrica de la estación.

³⁰ Total de periodos distintos de Calma, es decir, velocidades medias mayores a 0,0km/h.

³¹ En glosario, al final del documento, ver “Rosa de los Vientos”.

Año 2023

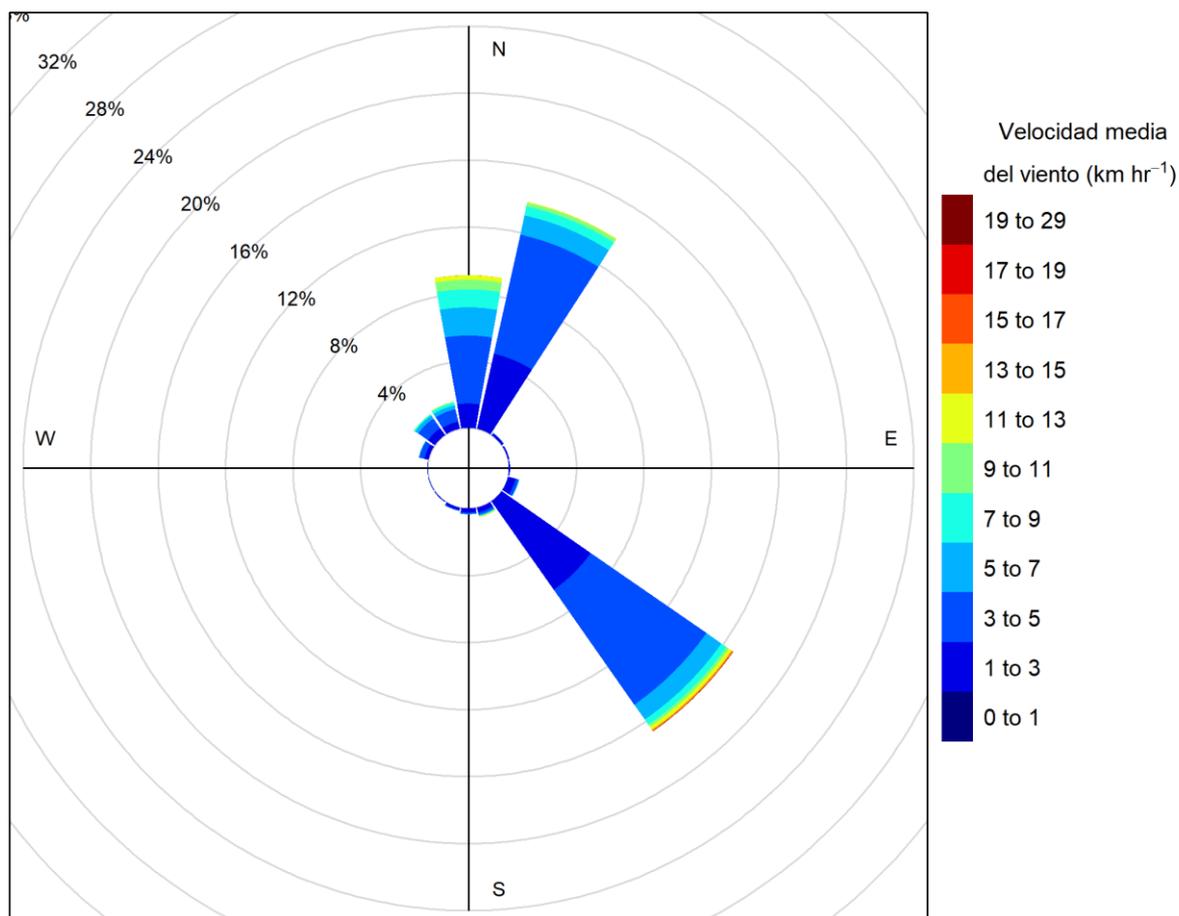


Figura 20. Diagrama de Rosa. Porcentaje de la dirección del viento prevalente en 16 rumbos y, porcentaje de cada intervalo de velocidad para cada dirección del viento, para el año 2023.

Los vientos en mayor medida provinieron de la dirección Sudeste con 5.867 periodos, seguido por la Noreste con 4861 periodos y la Norte con 3198 periodos. Se registró un 54% de períodos con viento en calma, es decir, velocidades medias iguales a 0,0km/h. La dirección prevalente proveniente del Oeste fue la que menos periodos registró con 11. La mayor proporción de vientos ocurrió en el intervalo de 3-5km/h. La mayor velocidad media en un periodo de 15 minutos fue de 29,0km/h en la mañana del 16 de febrero, con dirección Sureste, esto último se aprecia en la Figura 20.

Además, similar análisis se hizo para cada mes de este año de manera individual (Figura 21). En los meses de abril y diciembre la dirección predominante posee componente Norte, mientras que en los meses de junio y julio la mayor cantidad de vientos provienen del Sudeste; en los restantes meses es más equilibrado entre las componentes principales desde donde sopla el viento.

Año 2023

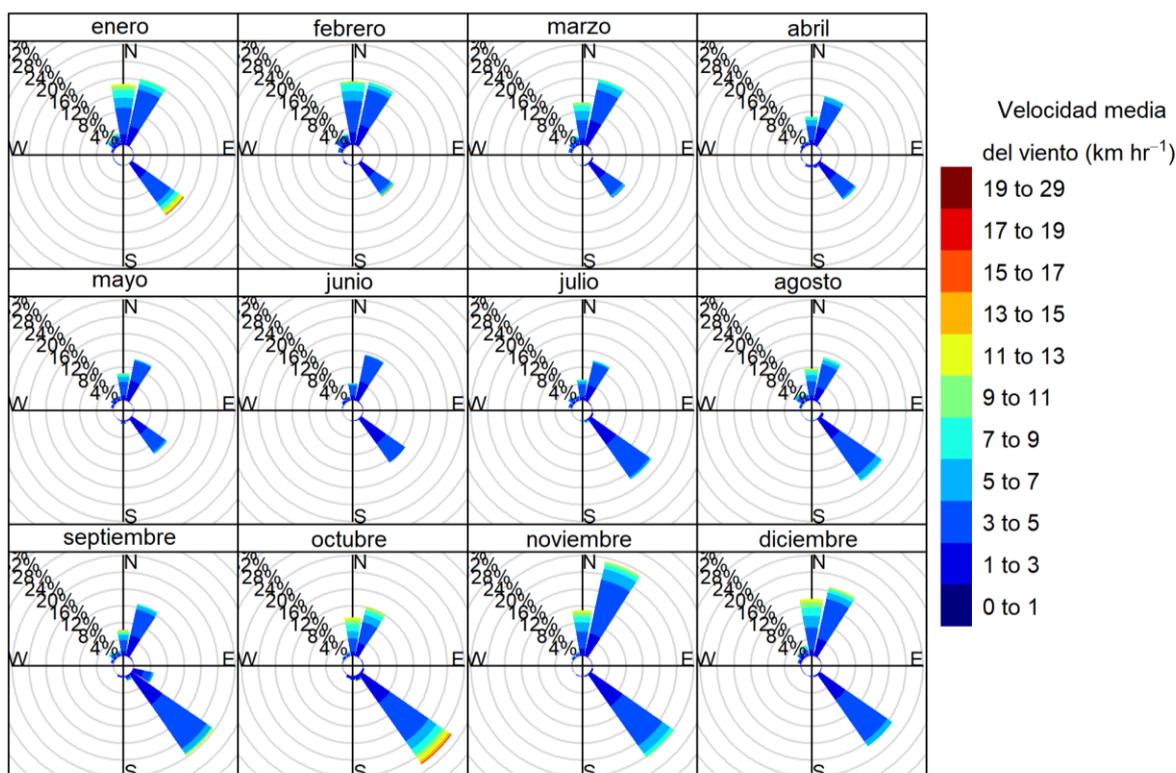


Figura 21. Diagramas de Rosa. Porcentaje de la dirección del viento prevalente en 16 rumbos y, porcentaje de cada intervalo de velocidad para cada dirección del viento, para cada mes del año 2023.

Los vientos provinieron predominantemente de la dirección Nornoreste hasta el mes de abril y luego en el mes de noviembre. Mientras que, fue del Sudeste en los restantes meses.

Temperatura media del suelo

La temperatura del suelo varía a lo largo del tiempo en respuesta a cambios en los procesos de intercambio de energía que tienen lugar a través de su superficie, siendo esta energía principalmente aportada por la radiación solar. La temperatura del suelo influye fuertemente los procesos biológicos que ocurren dentro de este, como la germinación de la semilla, la emergencia y crecimiento de las plántulas y el desarrollo de las raíces³².

Por otra parte, la temperatura del suelo influye fuertemente los procesos biológicos que ocurren dentro de este, como la germinación de la semilla, la emergencia y crecimiento de las plántulas y el desarrollo de las raíces³³. Suelos cálidos promueven una emergencia uniforme y un rápido desarrollo de los cultivos en los estados iniciales.

³² Hillel, D., 2005: Thermal properties and processes. In: *Encyclopedia of Soils in the Environment*. D. Hillel, J.H. Hatfield, D.S. Powlson, C. Rosenzweig, K.M. Scow, M.J. Singer, & D.L. Sparks, Eds., vol. 4. Elsevier/Academic Press, pp. 156-163.

³³ Hillel, D. 2005. Thermal properties and processes. In: D. Hillel, J.H. Hatfield, D.S. Powlson, C. Rosenzweig, K.M. Scow, M.J. Singer, & D.L. Sparks, Eds. *Encyclopedia of Soils in the Environment*, vol. 4. Elsevier/Academic Press, pp. 156-163.

Se muestra a continuación el valor medio de temperatura de suelo a 10cm de profundidad como promedio móvil³⁴ de los valores anotados en la observación de las 09:00 horas³⁵, para lo cual se empleó el paquete “zoo”³⁶ haciendo uso del software “R” (Figura 22).

Los valores medidos oscilaron entre los 32,4°C registrado el 20 de enero y un mínimo de 7,2°C alcanzado el 15 de junio, un día después del primer registro más bajo del año en abrigo meteorológico.

Promedios móviles de temperatura de suelo de las 09:00h a 10cm de profundidad

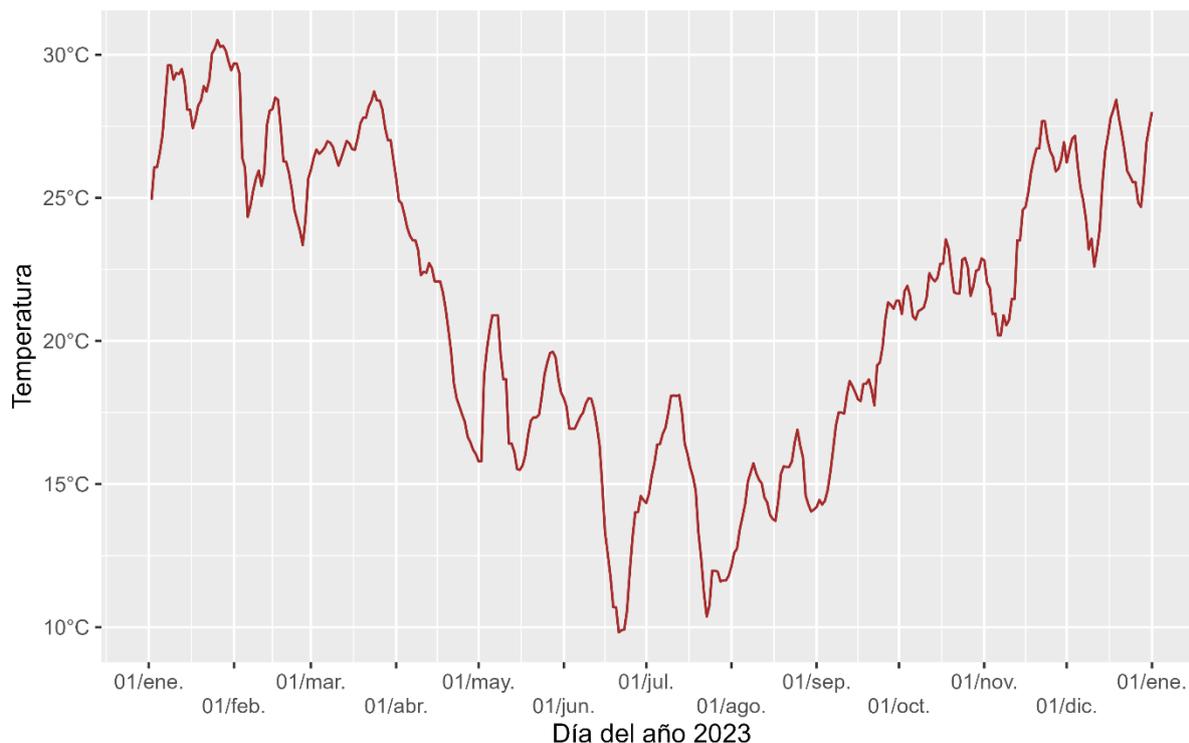


Figura 22. Promedios móviles de temperatura del suelo a 10 de profundidad a partir de los registros de las observaciones de las 09:00 horas.

Por otra parte, la temperatura es más fluctuante en las capas más superficiales del suelo. Es así que en el termómetro de 5cm de profundidad se ha observado el valor más alto en la observación de las 09:00 del día 07 de enero con 31,6°C, mientras que el valor más bajo anotado si se corresponde con el día 15 de junio con 5,0°C.

Por el contrario, a mayor profundidad es menor la fluctuación diaria y estacional. Así, a 50cm de profundidad los valores obtenidos fueron de 32,9°C el 25 de enero y un valor mínimo de 16,4°C el día 21 de julio. Se hace notar la inercia térmica en la transferencia del calor que presenta el suelo retrasándose las fechas en que se registran los valores más bajos a mayor profundidad.

³⁴ Para la ejecución del algoritmo se le indicó que tomara en cuenta los cinco días previos para efectuar el cálculo del promedio para un día dado. Con periodos de más de cinco días sin datos no realiza el cálculo, como ocurre a fines del mes de mayo.

³⁵ A lo largo del año faltan datos en 141 días.

³⁶ A. Zeileis & Grothendieck G. (2005). zoo: S3: Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software*, 14(6), 1-27.

Evapotranspiración potencial

Se conoce como evapotranspiración a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia, y se denomina ET_0 . La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas.

La evapotranspiración de referencia provee un estándar de comparación mediante el cual se puede comparar la evapotranspiración en diversos períodos del año o en otras regiones y se puede relacionar la evapotranspiración de otros cultivos. El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Los únicos factores que afectan ET_0 son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_0 es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ET_0 expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo.

Si bien se han desarrollado una gran cantidad de métodos con el fin de estimar la evapotranspiración, el método de la FAO Penman-Monteith se recomienda para el cálculo, ya que utiliza datos climáticos estándares los cuales pueden ser fácilmente medidos o derivados de datos comúnmente medidos. Existe una elevada probabilidad de que este método prediga correctamente los valores de ET_0 en una amplia gama geográfica y climática y cuenta además con previsiones para su uso en situaciones de falta de datos ³⁷.

Dada la importante falta de datos de los parámetros meteorológicos medidos en la estación convencional, se usó para el cálculo de la evapotranspiración potencial acumulada de cada mes (Figura 23) los datos generados por la estación automática, empleándose el método FAO Penman-Monteith, la que dio como sumatoria anual un valor de 1.219,4mm (1.409,4 fue el valor calculado para el año pasado).

³⁷ Allen, Richard & Pereira, L. & Raes, D. & Smith, M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 56. 300p. 92-5-304219-2.

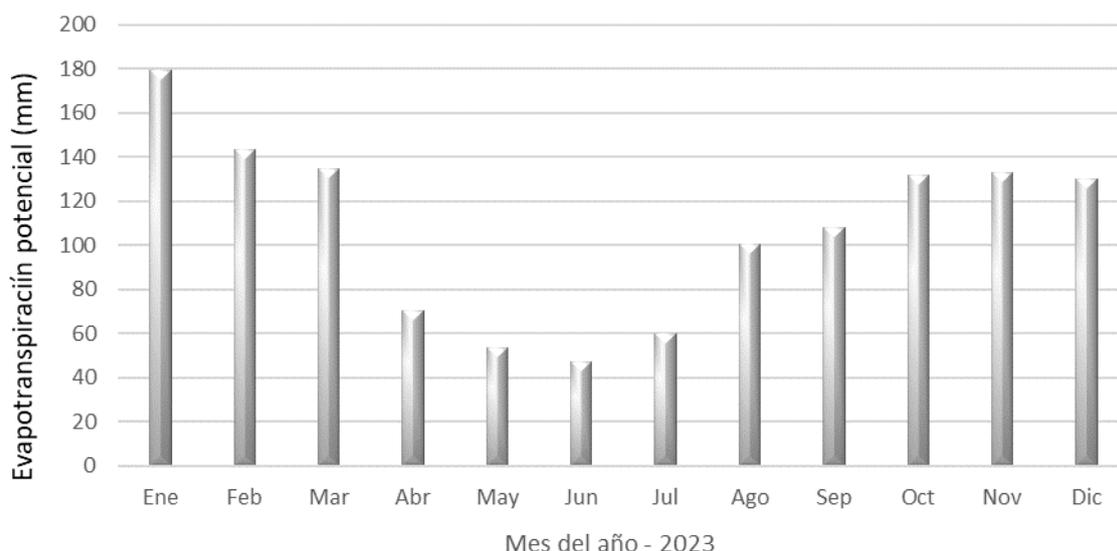


Figura 23. Valores mensuales de evapotranspiración potencial (mm) del año 2023.

En la Figura 24 se remarca, con un sombreado de color marrón claro, la diferencia entre la demanda atmosférica potencial y las precipitaciones acaecidas. El valor de la precipitación acumulada a lo largo del año no logró alcanzar la curva de la evapotranspiración acumulada, dado que las precipitaciones no alcanzan a cubrir las demandas atmosféricas de vapor de agua (especialmente en la segunda mitad del año) como sucede generalmente en los sitios donde sus climas son clasificados como pertenecientes a la región semiárida³⁸. La diferencia entre los acumulados en el presente año totaliza 758mm.

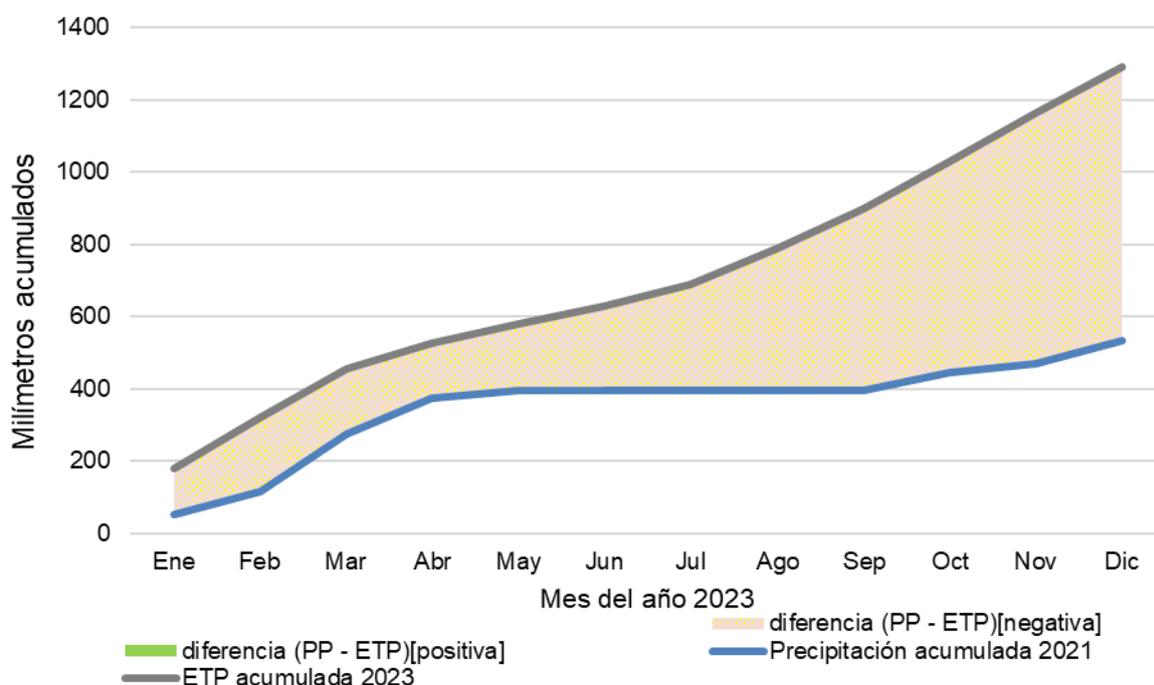


Figura 24. Precipitación acumulada (mm) y evapotranspiración potencial acumulada (mm) año 2023. Referencias: en áreas sombreadas se marca la diferencia entre ETP y PP.

³⁸ Torres Bruchman E. Climatología general y agrícola de la provincia de Santiago del Estero. 1981. p.143

Mapas provinciales

Para mostrar de manera resumida el comportamiento de las precipitaciones a nivel provincial se generaron mapas de precipitación acumulada anual y semestral, con sus correspondientes anomalías expresadas como porcentajes del promedio.

Por un lado, se eligieron 35 puntos entre estaciones convencionales, automáticas y puntos pluviométricos pertenecientes a I.N.T.A. (INTA La Maria, Jumial Grande, EEA Quimilí, Los Juríes y Malbrán), con las recientes adquisiciones gracias a proyecto FONTAGRO en Nueva Francia y Colonia El Simbolar; productores colaboradores (Reineri: Vta. de la Barranca, Udema: Bandera y Bandera RP42) y los datos recolectados por el Ing. Puig³⁹ de la A.E.R. Bandera (E.E.A. Quimilí) en los puntos de Tomas Young y RN98 Puente (Puig M.), Bandera RP13 (Ledesma L.), Tomas Young RP13 (Puig V.), Averías RP21 (Guzmán H.) y Guardia Escolta RN98 (Pistarelli J. P.). Se emplearon datos de otras instituciones como el Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) en Santiago del Estero, Termas de Río Hondo, Ceres y Villa de María del Río Seco; de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (Rapelli, Javicho, El Charco, Viclos, M Redondo, El Bobadal, Nueva Esperanza, Las Cejas e Isca Yacu) de la Provincia de Tucumán; del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Córdoba (La Rinconada y San Fco. Del Chañar) y, del Ministerio de la Producción y el Desarrollo Económico Sostenible del Chaco (General Pinedo). Estos puntos, sobre el total existente, son los que tuvieron continuidad a lo largo del presente año. Además, para el cálculo del segundo semestre del año 2023 se sumó la estación de El Palmar perteneciente a MPyDES del Chaco y, Tintina SR y establecimiento La Yaya recabados por la A.E.R. Bandera. Las capas obtenidas fueron comparadas con las capas promedio⁴⁰ de esos periodos para obtener las anomalías.

Con el empleo del software libre QGIS® se realizó la interpolación de los puntos mediante el método IDW (distancia inversa ponderada, por sus siglas en inglés) y se efectuó la diferencia entre las dos capas obtenidas (acumulado de precipitación en el año 2021 y precipitación acumulada media de la serie histórica) estilizándose luego para mostrar las anomalías de precipitación acumulada y porcentual. Lo mismo se realizó para el primer semestre de la campaña agrícola 2023-2024. La distribución de la precipitación no es continua en el espacio. La aplicación del método de interpolación permite generar resultados cartográficos que son predictivos e irreales. Pero el proceso de abstracción que supone la generación de los mapas a partir de este tipo de datos puede ser válido desde el punto de vista cartográfico, aumentando la legibilidad y claridad de la variable representada. No obstante, el valor interpolado puede no indicar la realidad de lo acontecido. El método en específico es más eficaz, cuanto mayor sea la densidad de puntos geográficos que aporten un valor confiable de precipitación.

³⁹ Conforman la red las seis agencias de extensión de la EEA Quimilí, productores, empresas, instituciones y organizaciones de las diferentes zonas, aportando en forma remota los registros de cada evento para la carga de una base datos para su posterior análisis, y construcción de mapas para la interpretación de distribución y de anomalías pluviométricas. Ver más en:

<https://inta.gob.ar/noticias/inta-quimili-puso-a-funcionar-su-red-pluviometrica-del-este-santiagueno>

⁴⁰ Ver trabajo completo en: <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9735>

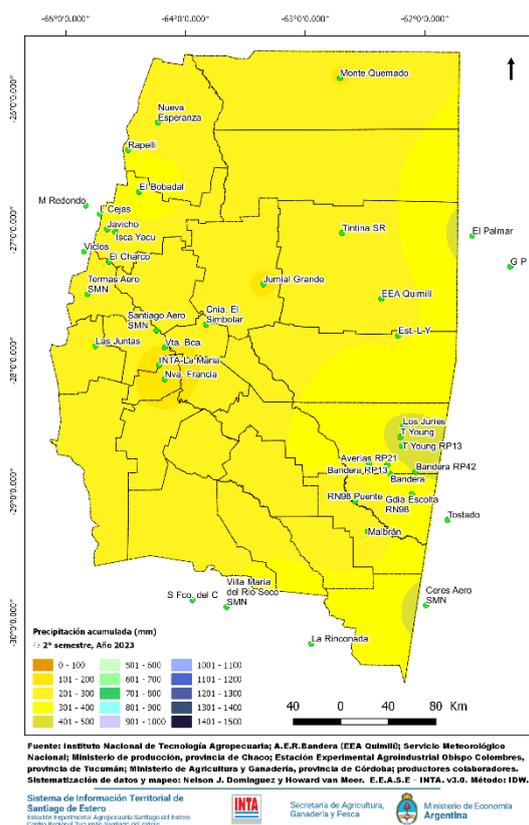


Figura 25. Precipitación acumulada (mm) observada en el semestre julio-diciembre de 2023.

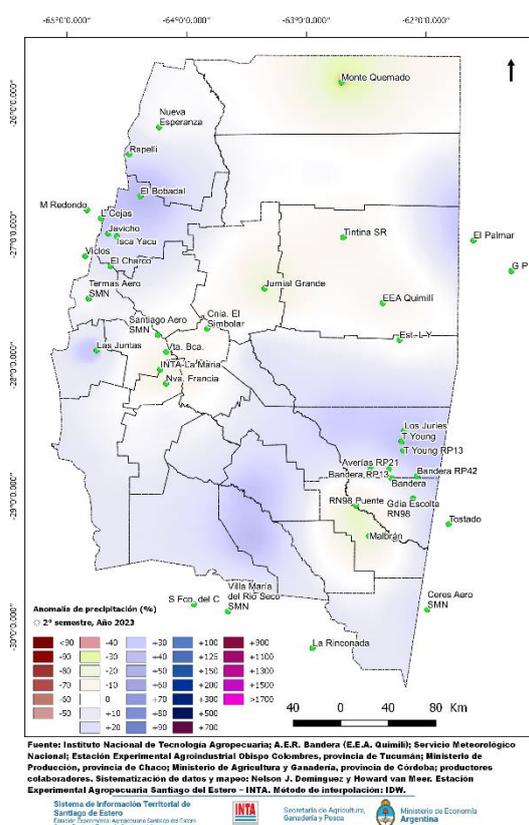


Figura 26. Anomalía de precipitación (%) contabilizada en el semestre julio-diciembre de 2023.

Las lluvias acumuladas durante el segundo semestre de 2023 (Figura 25) variaron desde 64mm en “RN98 Puente” hasta los 548mm en “Tomas Young RP13”. En el noreste, los acumulados rondaron entre los 214mm en Isca Yacu y los 442mm en El Bobadal. En Termas AERO se superaron los 200mm. En Las Juntas (Dpto. Guasayán) se contabilizaron 300mm. Hacia la ciudad de Santiago del Estero se acumuló poco más de 250mm mientras que hacia el sur, en Vta. de la Barranca se acumuló 175mm y en pocos kilómetros de distancia, en La Abrita se alcanzaron los 140mm y en Nueva Francia, 127mm.

En la EEA Quimilí se registraron 225mm. Hacia el sudeste, en Malbrán se sumaron 174mm, 298mm en “Guardia Escolta RN98”, 324mm en Bandera y 380mm en Los Jurés.

Si analizamos el valor acumulado del segundo semestre con relación al valor promedio histórico para igual periodo de tiempo, podemos apreciar que en la mayor parte del territorio la anomalía fue negativa significando solo el 75% de lo esperado en este periodo para el norte, centro y parte del sudeste de la provincia. Significó solo un 15% de anomalía negativa en la zona de Capital. Anomalías positivas de alrededor del 30% se evidenciaron en el noroeste y parte del sudeste provincial. En el sur y parte del este se tiene la influencia de las estaciones ubicadas en los límites de las provincias vecinas. Las restantes áreas del centro, sur y norte provincial, debido a que no se cuentan con fuente de datos en esas franjas, la confiabilidad de la representación es baja (Figura 26).

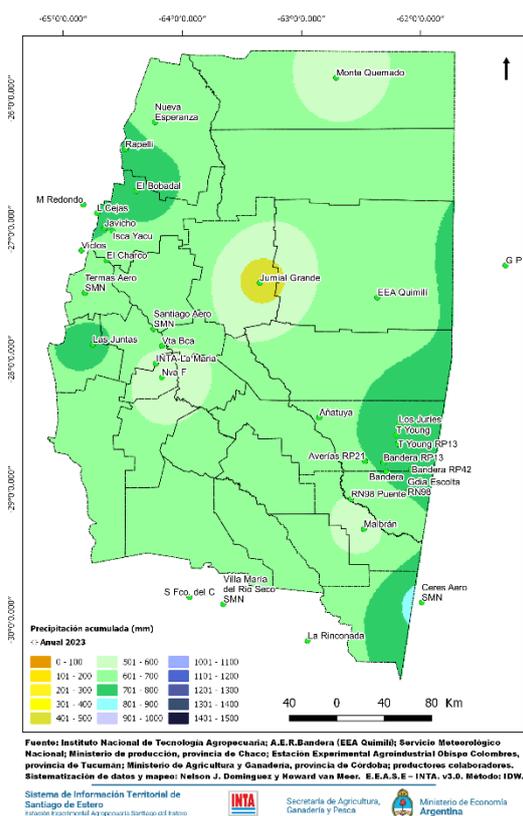


Figura 27. Precipitación acumulada (mm) observada durante el año 2023.

Considerando la precipitación acumulada durante el presente año el mapa (Figura 27) muestra que los valores oscilaron 320mm en Jumial Grande hasta poco más de 1000mm en Las Cejas En el noroeste El Charco registró 627mm, El Bobadal 775mm e Isca Yacu, 569mm. La estación de Santiago del Estero AERO presentó un valor superior a los 700mm, mientras que, INTA La María solamente registró 535mm, y Vuelta de la Barranca, intermedia entre los puntos anteriores sumó 600mm. Hacia el Sudeste provincial, “RN98 Puente” acumuló 496mm, Bandera: 653mm, Tomas Young 753mm y “Bandera RP42”, 941mm. Por otra parte, en Malbrán donde se contabilizaron 432mm. En la EEA Quimilí se sumaron 660mm. En Las Juntas (Dpto. Guasayán) se contabilizaron 843mm

No obstante, esto solo tiene en cuenta la interpolación a partir de pocos puntos, es necesario contar con una mejor densidad de registros confiables que presenten continuidad en el tiempo para lograr una mayor representatividad de lo acontecido.

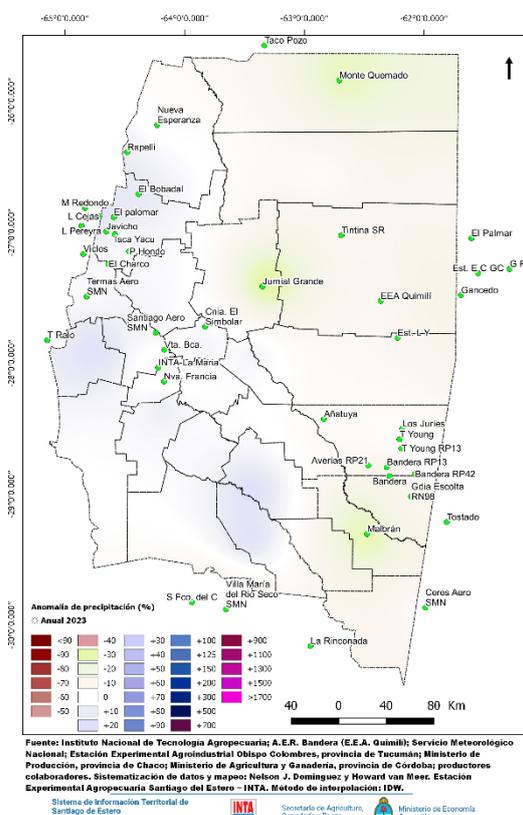


Figura 28. Anomalía de precipitación (%) contabilizada durante el año 2023.

Expresado como valores de anomalía de precipitación porcentual (%), a partir de los puntos informados, se puede indicar que todo el territorio provincial presentó valores por debajo del promedio que oscilaron entre el 25-30% en Jumial Grande y el sector norte, el 10% en EEA Quimilí y parte del sudeste. Valores cercanos al normal en la zona de Capital. Anomalías positivas se visualizan en el noroeste del territorio Las restantes áreas del centro y Norte provincial, debido a que no se cuentan con fuente de datos en esas franjas, la confiabilidad de la representación es baja (Figura 28).

Glosario

Abrigo Meteorológico: es una estructura de madera construida de acuerdo a criterios estandarizados que permite proteger el instrumental contra el sol directo, la temperatura, la precipitación y la condensación, así como contra la radiación nocturna proveniente de la tierra, pero a la vez permite que el aire circule libremente para una adecuada ventilación. Su base debe estar a una altura de 1,5 metros sobre el nivel del suelo.

Anomalía porcentual: desviación expresada como porcentaje producto de comparar el valor promedio, considerado como 100% y, el valor que toma el periodo que se quiera contrastar.

Anomalía: desviación respecto a un valor esperado como normal o regular. En el caso de las precipitaciones, la anomalía es la cantidad de lluvia de un período considerado, respecto al valor promedio pudiendo encontrarse por debajo (déficit o carencia) o por encima (exceso); se consideran valores “normales” aquellos que ocupan el tercil central de cada set de datos que se emplea, es decir, el 33% de los datos centrados en la mediana.

Día Civil: período de tiempo comprendido entre la medianoche de un día, es decir a las 00:00 horas (inclusive), hasta las 23:59 horas.

Estación Agrometeorológica: son las estaciones meteorológicas que se establecen en los sitios o parcelas localizadas preferentemente en áreas de interés agropecuario, en donde se realizan observaciones y mediciones de elementos tanto meteorológicos como biológicos. Las observaciones agrometeorológicas se refieren a los elementos físicos y biológicos del medio ambiente, que son útiles para determinar la relación entre el tiempo y la vida de las plantas y los animales. Estas sirven para la investigación, predicción y planificación de las actividades agrícolas.

Estación Meteorológica: lugar donde se procede a realizar las observaciones meteorológicas de superficie, lo cual supone la recolección de datos meteorológicos. Todas las estaciones meteorológicas deberán estar dotadas de instrumentos debidamente calibrados y deberán emplear métodos de observación y de medición adecuados y estandarizados con el fin de que esas mediciones y observaciones de los diversos elementos meteorológicos sean suficientemente precisas y se encuentren ubicadas de tal manera que los datos meteorológicos que proporcionen sean representativos de las zonas en que están situadas.

Evapotranspiración Potencial (ETP): es un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. La ETP expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas, y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo. Se muestran los resultados calculados por el método Penman que es el que emplea el sitio del “Sistema de Información y Gestión Agrometeorológica” (<http://siga2.inta.gov.ar/>) para mostrar dichos valores.

H. O. A.: hora oficial Argentina, que corresponde al uso horario GTM (-3), que es equivalente a la hora UTC (-3).

Helada Agrometeorológica: se habla de este tipo de helada cuando la temperatura mínima registrada en abrigo meteorológico es igual o inferior 3,0°C, lo que equivaldría a 0,0°C o menos a la intemperie, sobre la superficie del suelo. Se la conoce también como helada agronómica.

Helada Meteorológica: se dice que ha ocurrido una helada de este tipo cuando la temperatura mínima registrada mediante termómetro de mínima en abrigo meteorológico, ubicado a 1,5 metros sobre el suelo, es igual o inferior a 0,0°C.

Heliofanógrafo: instrumento relativamente sencillo, que detecta la luz solar cuando la energía de los rayos solares, concentrada mediante una lente especial, quema un papel especial en el que queda marcado el recorrido diario del sol a lo largo del día en la esfera celeste.

Humedad Relativa Máxima Media: obtenido como promedio de los valores máximos de humedad relativa de cada día del mes, extraídos de las fajas de registro de un termohigrógrafo o de una estación meteorológica automática.

Humedad Relativa Media: valor obtenido como promedio de la humedad relativa calculada en cada una de las tres observaciones diarias, a partir de la lectura de los termómetros del par psicrométrico.

Humedad Relativa Mínima Media: obtenido como promedio de los valores mínimos de humedad relativa de cada día del mes, extraídos de las fajas de registro de un termohigrógrafo o de una estación meteorológica automática.

Meteoro: fenómeno observado en la atmósfera o sobre la superficie de la tierra, que consiste en una suspensión, una precipitación, o un depósito de partículas líquidas, acuosas o no, o de partículas sólidas, o un fenómeno de la naturaleza de manifestación óptica o eléctrica (OMM, 1993⁴¹).

Observación Meteorológica⁴²: Las observaciones meteorológicas (así como las ambientales y geofísicas afines) se realizan por diversas razones. Se utilizan para la preparación en tiempo real de análisis meteorológicos, predicciones y avisos de tiempo violento, para el estudio del clima, para las operaciones locales sensibles a las condiciones meteorológicas (por ejemplo, operaciones locales de vuelo en aeródromos o trabajos de construcción en instalaciones terrestres y marítimas), para la hidrología y la meteorología agrícola, y con fines de investigación meteorológica y climatológica.

Observaciones Meteorológicas Principales: de acuerdo a las disposiciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las observaciones meteorológicas se efectúan al mismo tiempo en horas específicas en todas las estaciones meteorológicas del mundo. Para coordinar el momento simultáneo de la observación, se estableció al Tiempo Universal Coordinado (UTC) como guía. Como referencia se toma el meridiano de Greenwich. Las observaciones meteorológicas principales se deben efectuar a las: 0000, 0600, 1200 y 1800 UTC que de acuerdo al uso horario que adopta la República Argentina se corresponden con las 03:00, 09:00, 15:00 y 21:00 horas respectivamente. En el caso de nuestra estación agrometeorológica solamente no se mide a las 03:00 horas.

Período Libre de Heladas: lapso de días promedio en el que es posible no registrar heladas meteorológicas. Se obtiene de la diferencia entre la fecha promedio de ocurrencia de última helada y la fecha promedio de ocurrencia de primera helada.

⁴¹ Atlas Internacional de Nubes, vol. 1: Manual de observación de nubes y otros meteoros. OMM-N°407. 1993.

⁴² Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. OMM-8. 2014, actualizado 2017.

Pluviómetro Día: en meteorología se considera la precipitación ocurrida desde las 09:01 horas (H.O.A.) de un día, hasta las 09:00 horas (H.O.A.) del día siguiente, adjudicando el valor acumulado en el transcurso de esas 24 horas al primer día. Hay que prestar atención a la forma en la que se expresa las cantidades de precipitaciones, dado que, por ejemplo, las estaciones meteorológicas automáticas adjudican a un día civil el valor de precipitación acumulado dentro de ese período de 24 horas.

Precipitación Acumulada Anual: es el valor de sumar la precipitación acumulada en un año calendario, de enero a diciembre.

Precipitación Inapreciable: cuando sucede alguno de los tipos de precipitación, pero que no ocurre en cantidad suficiente para ser registrado (0,0mm).

Precipitación Registrable: precipitaciones con valores mayores a 0,0mm, medida mediante probeta oficial de 50mm.

Precipitación: se define como el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Dicho término comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la cencellada blanca, la escarcha y la precipitación de la niebla (OMM, 2014⁴³).

Psicrómetro: soporte ubicado dentro del abrigo meteorológico que contiene a los termómetros, uno de los cuáles se denomina de bulbo seco (que indica la temperatura del aire) y el otro, de bulbo húmedo, que es un termómetro de mercurio con el bulbo cubierto por una muselina de algodón atada a un hilo embebido en agua.

Rosa de los Vientos: Diagrama en forma de estrella indicando en cada punta uno de los 16 rumbos posibles de dirección del viento [Norte (N), Noreste (NE), Este (E), Sudeste (SE), Sur (S), Sudoeste (SW), Oeste (W), Noroeste (NW) y Nornoroeste (NNW)], en que se representan las frecuencias relativas de las diferentes direcciones del viento. A veces, también da las frecuencias de las velocidades del viento agrupadas según las diferentes direcciones.

Sequía Agrícola: déficit de agua para realizar las actividades agropecuarias normales, debido a sequía meteorológica y/o hidrológica.

Sequía Hidrológica: disminución de caudales en sistemas hidrológicos, producto de la deficiencia de precipitaciones.

Sequía Meteorológica: precipitaciones menores a lo normal, en un período de tiempo, y duración del periodo en que disminuye la precipitación.

Serie “La María”: para casi todas las variables registradas, el período que se analizó para obtener los valores medios mensuales comprendió al conjunto de datos desde enero del año 1991 hasta diciembre del año 2020. En el caso de cantidad de precipitación, se contaba con datos del sitio, anteriores a la instalación de la estación, por lo que la serie comprende desde enero del año 1981 hasta diciembre del 2020. En caso de emplear otro período de tiempo se

⁴³ Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos. OMM-8. 2014, actualizado 2017.

explicita en la sección correspondiente. El nombre de la serie no cambia mientras permanezca en el mismo emplazamiento, conservando la identidad de los datos generados.

Temperatura Media Diaria: tomado como promedio de los valores máximos y mínimos de cada día registrados por los termómetros de máxima y mínima, dentro del abrigo meteorológico.

Temperaturas Extremas Diarias: en meteorología se consideran las temperaturas máximas y mínimas de un día a los valores registrados por los termómetros de máxima y mínima entre las 21:01h del día anterior hasta las 21:00h de ese día. Hay que prestar atención a la forma en la que se expresa los extremos diarios dado que, por ejemplo, las estaciones meteorológicas automáticas adjudican a un día los valores extremos dentro ese día civil.

Temperaturas Medias Mensuales: promedio de los valores de temperaturas máximas, mínimas y medias de cada mes.

Viento Máximo: valor de velocidad máxima registrada en un día (km/h).

Viento Medio: valor obtenido por la diferencia de la lectura de los valores entre dos días visualizados en un anemómetro cuentavuelas totalizador y dividido entre veinticuatro para obtener el valor promedio del viento del día (se efectúa en las observaciones de las 09:00 horas). Se expresa en km/h. Se debe indicar a la altura que fue medido el viento la que dependerá del uso que se quiera dar: En el caso de una estación agrometeorológica se efectúa la medición a dos metros de altura, mientras que en estaciones sinópticas de superficie la altura de medición es de 10 metros.

*Agradecemos la valiosa colaboración, en diferentes momentos del año, de los señores
Andrada R.A., Roldán H. M. y Herrera O.W.
en la toma de los datos de la estación convencional y, a los señores
Rufail J. E. y Salinas G. del equipo del área de informática
por dar soporte a los sitios web
y, a **Gomez C.E.A.** del área de comunicación.*

*Este boletín fue confeccionado por Agrometeorología, grupo de Recursos Naturales de la
Estación Experimental Agropecuaria del INTA Santiago del Estero.*

Para más información:

Nelson Javier Dominguez: dominguez.nelson@inta.gov.ar

Howard van Meer: vanmeer.howard@inta.gov.ar