

Caracterización Agroclimática de Heladas en La Abrita, Santiago del Estero Período 1988-2020

Ing. Agr. Nelson Javier Dominguez
EEA Santiago del Estero



CARACTERIZACIÓN AGROCLIMÁTICA DE HELADAS EN LA ABRITA (SANTIAGO DEL ESTERO)

PERIODO 1988-2020

La presente publicación es generada en el marco del proyecto:

RIST I067 Red de sensores agro meteorológicos

Contribuye también a los fines de los proyectos:

PD I061 Caracterización diagnóstica de la variabilidad climática actual y de la vulnerabilidad de las producciones agropecuarias por efecto del cambio climático

PE I064 Prevención y evaluación de la emergencia y desastre agropecuario

RESUMEN

Las temperaturas condicionan los cultivos que pueden desarrollarse en un área y en especial la fecha de ocurrencia de los eventos de bajas temperaturas es un factor clave ya que el desarrollo de estos fenómenos ocasiona diversos tipos de daños que pueden ocasionar una disminución de los rendimientos o una pérdida total de las cosechas con el consecuente daño económico. Las fechas promedio de ocurrencia de primera y de última helada en una región determinada condiciona los calendarios agrícolas determinando la elección en las fechas de siembra.

Brindar un análisis de los riesgos a partir de las fechas de ocurrencia de heladas y de los períodos libres de estas a los productores, es un procedimiento útil y necesario para disminuir los peligros de heladas en la gestión agrícola.

Esta publicación tuvo como objetivo caracterizar el régimen de heladas para la localidad de La Abrita, Santiago del estero, analizando una serie de 33 años. El período medio de días con heladas meteorológicas fue de 94. El valor de mediana de la frecuencia de días al año es de 25; el valor máximo registrado en un año fue de 54 días mientras que el mínimo número de días con temperaturas iguales o por debajo de 0,0°C fue de 7. La fecha media de primera helada meteorológica es el 3 de junio (± 19 días), en tanto que la de última helada es el 4 de septiembre (± 18 días). La máxima intensidad que alcanzó una helada en el periodo de años analizado fue de -9,3°C en julio del año 1994. Los registros en abrigo correspondientes a intensidades del evento clasificados como suave a moderado (0,0°C a -3,9°C) corresponden al 82% de los días con la ocurrencia de este fenómeno.

Según los índices de peligrosidad obtenidos, las temperaturas que anteceden a la ocurrencia de las heladas tempranas y las que preceden a las tardías son relativamente altas, indicando que el fenómeno de heladas puede ocurrir en periodos de alta actividad metabólica de los cultivos, cuando éstos son más susceptibles a las bajas temperaturas.

Por otra parte, el período medio de días con heladas agrometeorológicas fue de 135, con un valor de mediana de la frecuencia de días al año de 49 días. La fecha media de primera helada de esta clase es el 11 de mayo (± 16 días), en tanto que la de última helada es el 23 de septiembre (± 17 días). La fecha extrema en que hubo temperaturas igual o por debajo de 3,0°C fue un 11 de noviembre.

INTRODUCCIÓN

La temperatura del aire es la variable climática más importante que afecta la vida vegetal. Cada especie y variedad de plantas y cada grupo de edad de las plantas tiene su temperatura límite superior e inferior. Más allá de estos límites, una planta se daña considerablemente e incluso puede morir (Mavi y Tupper, 2004).

Conocer las fechas de probables de ocurrencia de eventos de bajas temperaturas es importante en la toma de decisiones en las actividades agrícolas. Es factor crucial que rige la producción de alimentos agrícolas en términos de la sensibilidad de las plantas a las heladas requiriendo saber cuándo es más probable que ocurran los eventos de heladas y el período libre de heladas o la temporada de crecimiento climatológico (de Melo-Abreu *et al.*, 2016; Kukul e Irmak, 2018). El uso de información detallada permite a los agricultores la correcta elección de las fechas ideales de plantación, así como una correcta selección de especies y variedades adaptadas y el empleo de técnicas de cultivo óptimas (García-Martín *et al.*, 2021). Constituyendo todo esto el método de protección contra heladas más efectivo (Snyder y Melo-Abreu, 2005).

La helada es una amenaza climática que causa serios daños a los cultivos en climas templados y subtropicales (Mavi y Tupper, 2004). Las heladas son clasificadas en advectivas o radiactivas o una combinación de ellas. Las primeras ocurren como resultado de una incursión a gran escala de aire frío durante el día o la noche, a menudo de regiones polares siendo un problema de áreas agrícolas de latitudes altas, así como en áreas de alta elevación. Por otra parte, las heladas radiactivas ocurren a la noche y como resultado de un intenso enfriamiento por la pérdida de radiación de onda larga desde el suelo en condiciones atmosféricas de cielos despejados, con aire calmado y de bajo contenido de humedad (Kalma *et al.*, 1992).

Las heladas radiactivas y el daño que ellas puedan causar son de gran importancia económica. Estas son el principal tipo de heladas que ocurren en la primavera tardía o el otoño temprano en latitudes templadas (WMO, 1963).

Las heladas tempranas en el otoño pueden dañar directamente las frutas, cultivos en estado avanzado de su fase crecimiento o verduras maduras, mientras que las heladas tardías en la primavera pueden dañar la germinación, los brotes o las flores, lo que puede provocar la pérdida de la cosecha y también pueden dañar las hojas o los tallos de las plantas leñosas, lo que da como resultado daños o la muerte de las plantas (Lamichhane, 2021).

El daño inducido sobre los órganos sensibles por las heladas tardías en la primavera, al afectar el crecimiento, la salud y la habilidad competitiva de las plantas, causan importantes pérdidas económicas (Potop *et al.*, 2014, Lamichhane, 2021). En el caso de cultivos que desarrollan su ciclo en el invierno como el trigo, la ocurrencia de heladas en fechas durante el desarrollo reproductivo ocasiona pérdidas de rendimiento (Barlow *et al.*, 2015, Zheng *et al.*, 2015, Martino y Abbate, 2019), es decir, el daño está relacionado con el estado de crecimiento del cultivo antes del desarrollo de estos eventos, además de otros factores ambientales (Wang *et al.*, 2020).

La primera y la última fecha promedio de heladas son representativas del inicio y final de una estación fría. El período comprendido entre la última helada en la primavera y la primera helada en el otoño se conoce como período libre heladas, una pauta tradicional para plantear cultivos de verano (Kunkel *et al.*, 2004; Masaki, 2021).

Se dice que ha ocurrido una helada meteorológica cuando la temperatura mínima del aire registrada mediante termómetro de mínima dentro de un abrigo meteorológico apropiado, es igual o inferior a 0,0°C (Webb y Snyder, 2013)

ubicado el bulbo del termómetro a 1,5 metros sobre el suelo.

Por otra parte, las denominadas heladas agrometeorológicas son las que se contabilizan cuando la temperatura mínima registrada en abrigo meteorológico es igual o inferior 3,0°C (Fernández Long y Barnatán, 2013 citados en Fernandez Long *et al.*, 2016), lo que equivaldría a 0,0°C o menos a la intemperie, sobre la superficie del suelo. Se la conoce también como helada agronómica. Fagnani y Pinto (1981) citados en Rozante *et al.*, 2020, indican que la diferencia media entre la temperatura del aire en un refugio meteorológico y la temperatura de la hierba en las noches heladas puede alcanzar unos 5,6°C.

Es de suma importancia recordar que las fechas de primera y últimas heladas suelen condicionar los calendarios agrícolas y determinar en muchos casos la elección en las fechas de siembra de muchos de los cultivos que se realizan en nuestro país (Fernandez Long *et al.*, 2016).

Brindar un análisis de los riesgos a partir de las fechas de ocurrencia de heladas y de los períodos libres de estas a los agricultores, de una manera que ellos entiendan y aprecien, es un procedimiento muy útil para disminuir los peligros de heladas en la gestión agrícola. La información sobre las heladas, junto con la información sobre las condiciones del clima, el suelo y el agua, puede ayudar a los agricultores a gestionar mucho mejor sus actividades agrícolas (Rahimi *et al.*, 2007).

Esta publicación tuvo como objetivo caracterizar el régimen de heladas para la localidad de La Abrita, Santiago del estero, en una serie de 33 años.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó la base de datos de la serie “La María” para el periodo 1988-2020, obtenido por instrumental que se encuentra instalado en el predio de la estación agrometeorológica convencional del Campo Anexo Ing. Agr. Fco. Cantos (denominado anteriormente como “La

María”) (Lat. S: 28.02, Long. O: 64.23’ y a una altura de 169m s.n.m) dependiente de la Estación Experimental Agropecuaria INTA Santiago del Estero, localizado en La Abrita, departamento Silípica, centro oeste de la provincia de Santiago del Estero.

El área productiva en la que se emplaza es una zona de agricultura bajo riego, dentro del denominado sistema de riego del Río Dulce. Está compuesta de cultivos frutihortícolas, algodón, alfalfa, trigo, maíz, sorgo, pasturas, etc. El 50% de la superficie total está ocupada por explotaciones de menos de 50 hectáreas (Barembaum y Anastasio, 2005).

El emplazamiento en el actual sitio data del 01/04/1988. De acuerdo a los registros del observatorio agrometeorológico que se emplazaba en el sitio de la antigua Estación Experimental de I.N.T.A. en el departamento Banda, hasta el primero de abril de 1988 no se habían registrado temperaturas bajas de interés. Como indica Torres Bruchmann (1981), debido a la configuración del terreno en todo el territorio provincial, no se observan variaciones o decrecimientos de temperatura apreciables debido al factor altitud y, dada la cercanía geográfica entre ambos emplazamientos, es que se incluye en el análisis el año 1988 considerado como completo para el propósito de esta caracterización.

Se utilizó la serie histórica de registros de temperaturas mínimas obtenidas con termómetro de mínima ubicados en abrigo meteorológico a 1,5 m de altura. Los datos fueron obtenidos siguiendo normas de operación establecidas (O.M.M., 2017). El control de calidad de los datos de temperatura mínima se realizó utilizando el módulo “quality control” de la librería RCLimDex (Zhang y Yang, 2004). Las fechas fueron expresadas como días julianos (días consecutivos contados a partir del primero de enero de cada año) para facilitar el procesamiento y análisis estadístico de los datos (Potop *et al.*, 2014). Se tuvo en cuenta la fecha de ocurrencia de primera y última helada de cada año, empleándose el criterio que tiene en consideración las fechas de primera helada de

cada año siempre que estas hayan ocurrido antes del día juliano 196 (15 de julio), de lo contrario, en ese año en particular no habrá ocurrido el evento. De igual manera se efectuó el tratamiento para la fecha de última helada de cada año, siempre y cuando la misma ocurra después del día 196 (Pascale y Damario (2004) citados en Fernández Long *et al.*, 2016); para el particular de nuestra estación, siempre ha ocurrido la primera helada de cada año antes de esa fecha, así como la última de cada año posterior a la fecha mencionada. En base a ese criterio se establecen las fechas promedio de primera y última helada de la serie considerada. Esto permite determinar también el período libre de

heladas, es decir el periodo promedio del año en que no se espera la ocurrencia de estos eventos.

Se ha empleado un código con lenguaje R ejecutado mediante el software RStudio, el cual es un entorno de desarrollo integrado para R, para así obtener los días en que se ha registrado una helada meteorológica. Se han obtenido todos los días que cumplían esta condición y a partir del día inicial y final del periodo de heladas de cada año se han obtenido las medidas resúmenes de los datos.

Igual procedimiento se ha empleado en el análisis de las heladas agrometeorológicas.

Para la confección de la Figura 1 y de la

Heladas agrometeorológicas (temperatura menor)

Se indica la primera helada agrometeorológica del año.
 Se indica la última helada agrometeorológica del año.
 Se indican días con heladas agrometeorológicas.

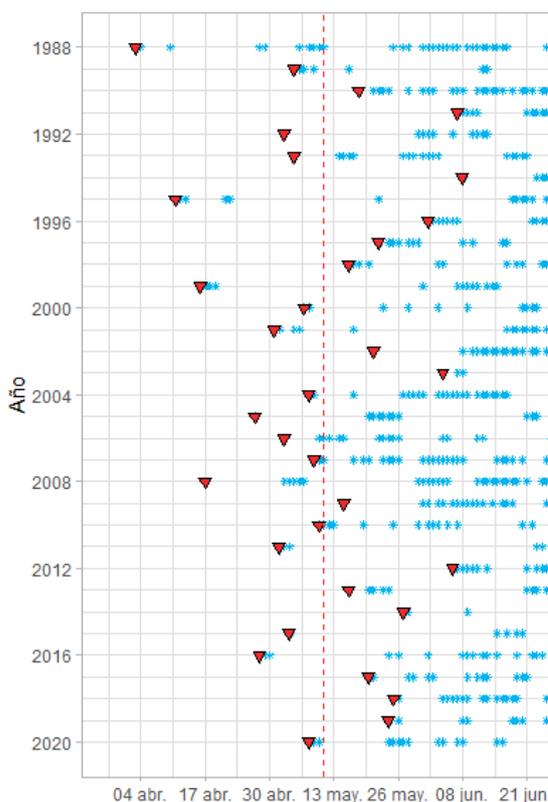


Figura 3 se ha adaptado el código en lenguaje R creado por Horvat, (2020). Para caracterizar el régimen de heladas de ambos tipos se calcularon los parámetros de:

- Frecuencia de heladas anuales (número de eventos de heladas producidos en un año determinado) y, el valor de la mediana (medida estadística de posición central de los datos, siendo un valor que indica que existe un número igual de datos inferiores y superiores a este valor) de las frecuencias de toda la serie de datos.

- Fecha media de primera y última helada con sus correspondientes desvíos estándar (muestra cuanta variación o dispersión de los datos existe respecto del valor medio).

- Fecha extrema de primera y última helada de toda la serie.

- Periodo medio con heladas: se calculó como el número de días entre la fecha media de primera helada y la fecha media de última helada.

- Período libre de heladas.
- Temperatura mínima absoluta (temperatura más baja que se registra) de cada mes a lo largo de los años analizados.

- Temperaturas mínimas medias de los meses invernales, pero en este caso se tuvo en cuenta años con todos los meses, por lo que la serie de referencia en este caso es 1989-2020.

Solamente para las heladas meteorológicas se ha analizado, además:

- Intensidad de las heladas: para definir la intensidad se analizó en función a la temperatura mínima alcanzada en cada evento, clasificando las heladas por intervalos de clases térmicas en: muy severas (menores o iguales 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°C), moderadas (-2,0 a -3,9°C) y suaves (0,0 a -1,9°C) (Da Motta, 1961).

○ Peligrosidad de las heladas: El Índice Crikindinoscópico (ICK), propuesto por Burgos, nos habla acerca de la peligrosidad de las heladas expresando en un valor numérico el peligro de las heladas, vinculando el valor de la fecha media de ocurrencia, su dispersión y el estado de evolución de las plantas (Burgos, 1947 citado en Belmonte y Páez, 2015). El índice está relacionado con la sensibilidad de las plantas al momento de ocurrencia de las heladas, cuanto mayor es la actividad vegetativa de las plantas más daño provocan, ya que los tejidos tiernos, con mayor contenido de agua, son más vulnerables al daño por heladas. A su vez el grado de actividad vegetativa de las plantas está relacionado con la temperatura media de la época, ya que mayores temperaturas medias suponen una mayor actividad vegetativa. Al respecto de esto hay autores que determinaron que cuando la temperatura mínima es mayor a 10°C las plantas estivales comienzan a tener actividad vegetativa, y se dice que son temperaturas activas (Burgos, 1963 citado en de Souza Formoso, 2015). Se tuvo en cuenta para el

cálculo el valor de probabilidad de tabla $X=0,84$ para una probabilidad del 20%, dicho de otro modo, la probabilidad de que ocurra una vez cada cinco años. Por otra parte, el valor medio de temperatura de un mes, es asignado al día quince, por lo que para obtener el valor de temperatura correspondiente a la fecha del ICK se tiene en cuenta la fracción de temperatura que corresponde a partir de la diferencia del valor medio del mes que contiene al día obtenido con el mes anterior o siguiente dependiendo de si la fecha es mayor o menor al día 15.

RESULTADOS

HELADAS METEOROLÓGICAS

Se han contabilizado un total de 808 heladas meteorológicas para el periodo de datos analizados.

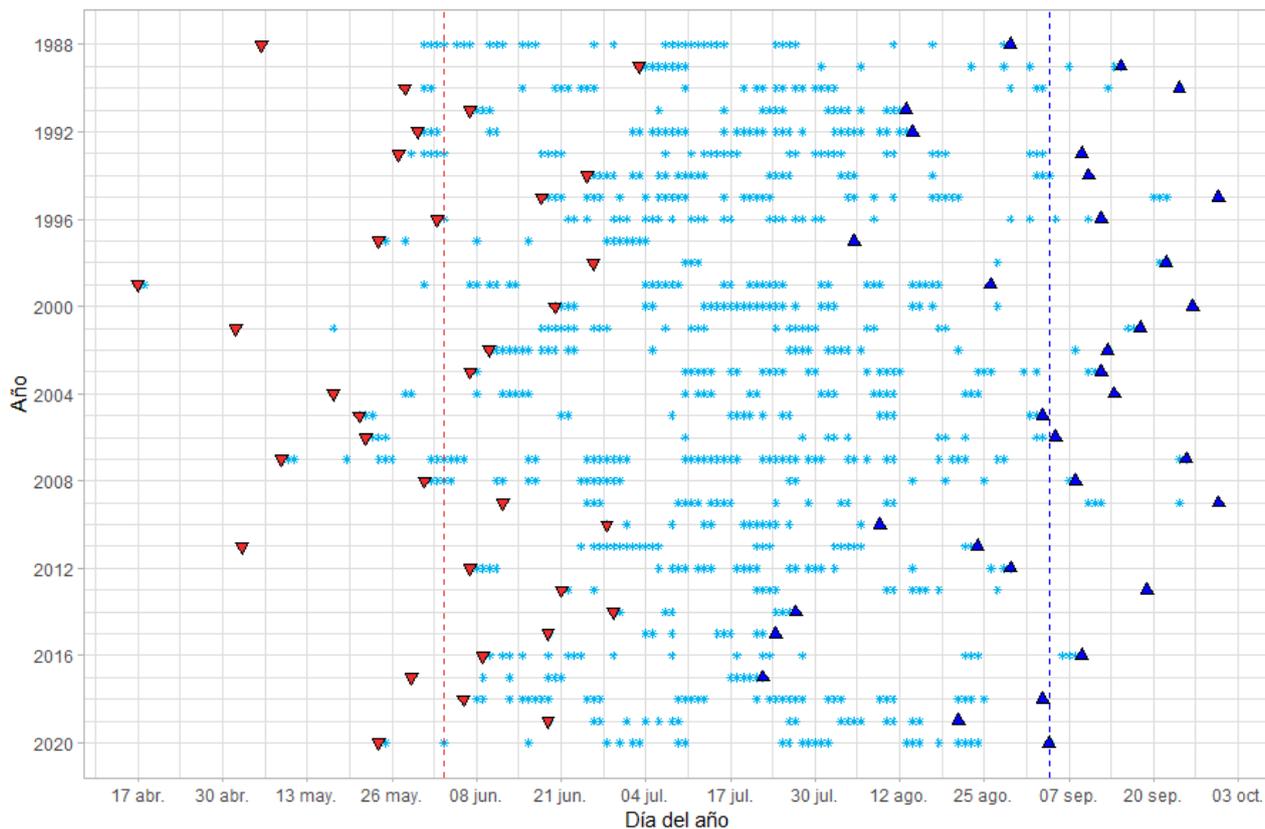
En la Figura 1 se muestran todos los días en que han ocurrido heladas meteorológicas en la serie histórica, remarcando el primero y último día de cada año, que fueron las fechas que permitieron determinar las medidas resúmenes de los datos.

Heladas meteorológicas (temperatura menor o igual a 0,0°C), serie de datos “La María”

Se indica la primera helada meteorológica del año.

Se indica la última helada meteorológica del año.

Se indican días con heladas meteorológicas.



Criterio de Pascale & Damario (2004), citados en Fernandez-Long et al.,2016

Figura 1. Días en que se han registrado heladas meteorológicas en la serie de datos 1988-2020, remarcándose la primera (triángulos rojos) y última helada (triángulos azules) de cada año. En líneas punteadas se muestra la fecha media de primera (rojo) y última helada (azul).

La fecha media de primera helada meteorológica presenta una desviación estándar (D.E.) de ≈ 19 días, por lo tanto, la primera helada

presenta una alta probabilidad de ocurrencia entre el 15 de mayo y el 22 de junio (

Tabla 1). En 5 años de la serie estudiada, la primera helada ocurrió antes de esta fecha (Tabla 3).

Tabla 1. Valores de fechas extremas, de mediana, media y D. E. de la fecha de ocurrencia de primera helada meteorológica.

Fecha extrema mínima	Fecha promedio	D.E.	Fecha extrema máxima
17/04/1999	03/06	18,81	03/07/1989

Según la desviación estándar resultante de la fecha promedio de última helada, el periodo de alta probabilidad de ocurrencia de este

fenómeno se extiende desde el 17 de agosto hasta el 22 de septiembre (

Tabla 2).

Tabla 2. Valores de fechas extremas, de mediana, media y D. E. de la fecha de ocurrencia de última helada meteorológica.

Fecha extrema máxima	Fecha promedio	D.E.	Fecha extrema mínima
30/09/1995-2009	04/09	17,76	25/07/2015

En 6 años de la serie analizada la fecha de última helada ocurrió en fechas posteriores al periodo de alta probabilidad de ocurrencia. Se considerarían heladas tempranas aquellas que

ocurren antes de la fecha media de primera helada menos un D.E. y, como tardías, aquellas que se presentan después de la fecha media de última helada más un D.E (

Tabla 3). Las heladas tardías fueron suaves en general, con solamente una de ellas clasificada como moderada.

Tabla 3. Fecha en que ocurrieron heladas tempranas y tardías y valor mínimo registrado.

Fecha helada temprana	Temperatura mínima (°C)	Fecha helada tardía	Temperatura mínima (°C)
05/05/1988	-0,3	24/09/1990	-1,0
17/04/1999	-0,8	30/09/1995	-0,9
02/05/2001	-0,9	25/09/2000	-1,4
09/05/2007	-1,3	25/09/2007	-0,4
03/05/2011	-0,2	30/09/2009	-2,9
		25/09/2013	0,0

Para la fecha de extrema de primera helada el valor registrado fue de $-0,8^{\circ}\text{C}$ mientras que para la fecha extrema de última helada los valores fueron de $-0,9^{\circ}\text{C}$ y $-2,9^{\circ}\text{C}$ en los años 1995 y 2009 respectivamente.

Se determina que el periodo con heladas es de 94 días en promedio (con un D.E. de ≈ 27 días), siendo de 139 días el periodo más extenso en los años 2001 y 2007 y, de 28 días el más corto en el 2014. El promedio del periodo libre de heladas es de 271 días, similar a los informado por Morello *et al.*, (2012) quienes indican un rango de 265-280 días para el departamento Silípica.

En la Figura 2 se ha indicado la frecuencia de días con heladas meteorológicas que han ocurrido en cada año. Fue 2007 el que presentó la mayor cantidad contabilizando 54 registros con valores iguales o menores a $0,0^{\circ}\text{C}$, mientras que los años 1998 y 2014 presentaron la menor cantidad con 7 y 8 registros respectivamente. El valor de la mediana de la cantidad de días con registros de heladas de este tipo es de 25. En 18 de los 33 años analizados, se presentó una frecuencia mayor al valor promedio que es de 24 (Figura 2).

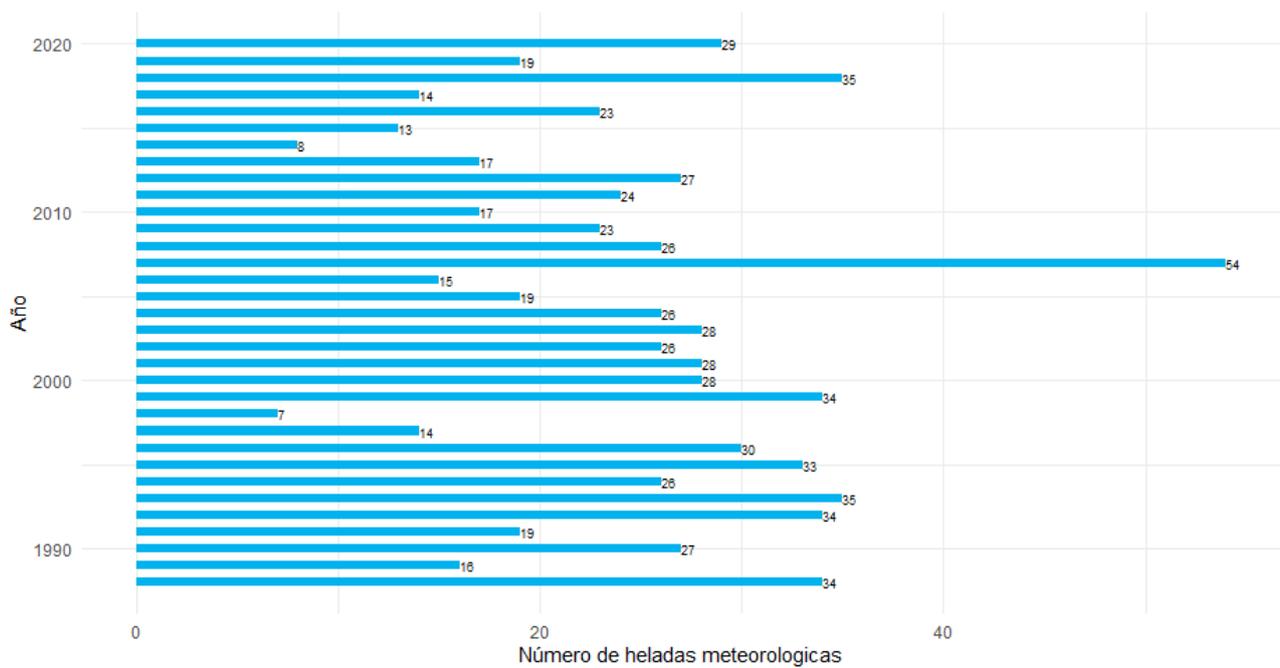


Figura 2. Frecuencia de días con ocurrencia de heladas meteorológicas.

Se ha observado una reducción en la frecuencia promedio de heladas de los últimos 10 años en comparación al restante periodo de años previos analizado, en consonancia con lo manifestado por Müller *et al.*, (2021), que, en un análisis sobre la región de Pampa Húmeda

que incluía nuestra provincia, encontró una reducción en el número de días con heladas.

Es el mes de julio el que presenta en promedio la mayor frecuencia de heladas meteorológicas. El mes de septiembre tiene incluso en promedio, un mayor número de heladas de esta clase que el mes de mayo (meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo durante el periodo analizado.

Tabla 4). No se registraron heladas de este tipo en abrigo meteorológico durante los

Tabla 4. Frecuencia promedio de días con ocurrencia de heladas meteorológicas.

Mes	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Frecuencia	0	1	6	10	6	2

En la

Tabla 5, se presentan las fechas de primera y última helada de cada año expresadas en fecha convencional y valor de día juliano, y el periodo de días transcurridos entre la fecha de primera y última helada de cada año y, el número de días sin la ocurrencia de ellas.

Tabla 5. Fechas de ocurrencia de primera y última helada meteorológica de cada año expresadas en fecha gregoriana y en días juliano y, número de días del periodo con y sin heladas de cada año.

Año	Primera helada		Última helada		Período con heladas (N° días)	Período libre de heladas (N° días)
	Fecha	Día Juliano	Fecha	Día Juliano		
1988	5/may	126	28/ago	241	115	251
1989	3/jul	184	15/sep	258	74	291
1990	28/may	148	24/sep	267	119	246
1991	7/jun	158	13/ago	225	67	298
1992	29/may	150	13/ago	226	76	290
1993	27/may	147	9/sep	252	105	260
1994	25/jun	176	10/sep	253	77	288
1995	18/jun	169	30/sep	273	104	261
1996	1/jun	153	11/sep	255	102	264
1997	24/may	144	5/ago	217	73	292
1998	26/jun	177	22/sep	265	88	277
1999	17/abr	107	26/ago	238	131	234
2000	19/jun	171	25/sep	269	98	268
2001	2/may	122	18/sep	261	139	226
2002	10/jun	161	13/sep	256	95	270
2003	7/jun	158	12/sep	255	97	268
2004	16/may	137	13/sep	257	120	246
2005	21/may	141	3/sep	246	105	260
2006	22/may	142	5/sep	248	106	259
2007	9/may	129	25/sep	268	139	226
2008	30/may	151	7/sep	251	100	266
2009	12/jun	163	30/sep	273	110	255
2010	28/jun	179	5/sep	248	69	296
2011	3/may	123	24/ago	236	113	252
2012	6/jun	158	29/ago	242	84	282
2013	21/jun	172	25/sep	268	96	269
2014	29/jun	180	27/jul	208	28	337
2015	19/jun	170	25/jul	206	36	329
2016	8/jun	160	8/sep	252	92	274
2017	29/may	149	14/ago	226	77	288
2018	6/jun	157	3/sep	246	89	276
2019	19/jun	170	21/ago	233	63	302
2020	23/may	144	3/sep	247	103	263

Índice Crikindinoscópico

En referencia a registros en abrigo meteorológico, para la fecha de primera helada se obtuvo un ICK (

Tabla 6) de 13,1°C, este valor representa la temperatura normal del aire para el día 18 de

mayo, fecha antes de la cual es probable que ocurran heladas en 1 de cada 5 años. Para la

última helada, el 18 de septiembre es la fecha después de la cual es probable que ocurran heladas en uno de cada cinco años, el ICK obtuvo un valor de 18,3°C. De acuerdo a los ICK obtenidos, las temperaturas que preceden a las heladas son relativamente altos, esto significa

Tabla 6. Cálculo del ICK.

	Fecha Media	D.E.	Prob.	x	Fecha ICK	Valor de Temperatura
Primera helada	03Jun =154	18,81	20%	0,84	$154-(0,84*18,81)=138$ =>18May	13,1°C
Última helada	04 Sep =247	17,76	20%	0,84	$247+(0,84*17,76)=261$ =>18Sep	18,3°C

Intensidad

Aproximadamente el 50% de las heladas totales corresponden a la categoría de “suaves”. El mes de julio presenta la mayor frecuencia de heladas, contabilizándose seis heladas en la categoría de severas, para toda la serie de datos. Los meses de junio y agosto presentan frecuencias similares en los diferentes intervalos de clasificación planteados. En el mes de septiembre, un 25% de las veces, los

Tabla 7). Las heladas severas, como las que ocurren en el mes de julio, aunque con baja frecuencia, pueden ocasionar en especies de

que el fenómeno de heladas puede ocurrir en periodos de alta actividad metabólica de los cultivos, cuando éstos son más susceptibles a las bajas temperaturas, presentando un mayor riesgo las últimas heladas de la temporada invernal.

descensos térmicos ocurridos se clasifican en la categoría de intensidad “moderada”, algo a tener en cuenta dado el riesgo de que estas ocurran en los momentos de floración o rebrote de las especies frutales o en las etapas tempranas de los cultivos anuales estivales, especialmente cuando se hace una siembra temprana de ellos, retrasando el desarrollo, disminuyendo los rendimientos o incluso obligando a una reposición del stand de plantas (

cítricos la caída de frutos, una defoliación parcial o total y eventualmente la muerte del árbol (Micheloud *et al.*, 2016).

Tabla 7 Frecuencia de heladas meteorológicas mensuales, clasificadas por categorías según criterio de Da Motta.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Total	%
Suaves	2	33	93	133	98	43	402	49,8
Moderadas	0	5	66	113	61	15	260	32,2
Fuertes	0	2	25	53	21	2	103	12,7
Muy Fuertes	0	1	5	26	5	0	37	4,6
Severas	0	0	0	6	0	0	6	0,7
Muy Severas	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Total	2	41	189	331	185	60	808	

La marca más baja que alcanzó una helada meteorológica durante la serie de años analizada ha sido de -9,3°C en el mes de julio del

año 1994. Julio es el mes que presenta el menor valor de temperatura media, le siguen agosto y junio (

Tabla 8). En el mes de septiembre del año 1995 se ha registrado un valor mínimo de -5,1°C.

Tabla 8. Valor mínimo absoluto de cada mes por año y, promedio mensual de temperaturas mínimas diarias.

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
1988	---	-6,5	-5,8	-7,3	-1,8	---
1989	---	---	---	-9,1	-3,1	-1,6
1990	---	-1,1	-5,1	-6,1	-3,6	-2,0
1991	---	---	-2,4	-2,5	-7,8	---
1992	---	-2,4	-3,4	-6,1	-4,9	---
1993	---	-3,6	-3,7	-8,3	-6,8	-5,0
1994	---	---	-6,7	-9,3	-3,7	-2,3
1995	---	---	-6,5	-5,4	-3,5	-5,1
1996	---	---	-6,9	-3,7	-2,2	-3
1997	---	-1,6	-4,3	-5,5	-3,1	---
1998	---	---	-0,2	-1,7	-1,7	-3,3
1999	-0,4	-1,2	-3,1	-3,8	-6,9	---
2000	---	---	-3,7	-7,9	-2,2	-1,4
2001	---	-0,9	-5,8	-7,9	-1,4	-1,8
2002	---	---	-3,9	-3,2	-6,2	-1,3
2003	---	---	-0,4	-4,9	-3,2	-3,2
2004	---	-1,7	-5,9	-3,7	-3,6	-1,4
2005	---	-2,4	-1,6	-2,9	-3,8	-2,9
2006	---	-1,8	---	-1,4	-3,1	-1,1
2007	---	-3,4	-4,6	-8,7	-6,4	-3,4
2008	---	-5,9	-4,8	-1,0	-3,0	-2,5
2009	---	---	-2,6	-5,5	-2,0	-2,9
2010	---	---	-3	-7,3	-5,0	0,0
2011	---	-0,2	-5,7	-5,8	-4,5	---
2012	---	---	-5,8	-5,5	-3,6	---
2013	---	---	-1,0	-6	-5,4	-0,5
2014	---	---	-1,5	-5,5	---	---
2015	---	---	-3,5	-4,5	---	---
2016	---	---	-3,1	-2,0	-2,4	-3,8
2017	---	-0,3	-6,0	-6,4	0,0	---
2018	---	---	-5,5	-5,4	-4,4	-0,7
2019	---	---	-3,9	-2,8	-4,0	---
2020	---	-1,6	-2,7	-5,0	-5,5	-1,0
Promedio mensual	14,1	9,7	6,1	3,8	5,7	8,9

Heladas Agronómicas

Se han contabilizado un total de 1.571 heladas de este tipo en el periodo analizado.
En la

Heladas agrometeorológicas (temperatura menci

Se indica la primera helada agrometeorológica del año.
Se indica la última helada agrometeorológica del año.
Se indican días con heladas agrometeorológicas.

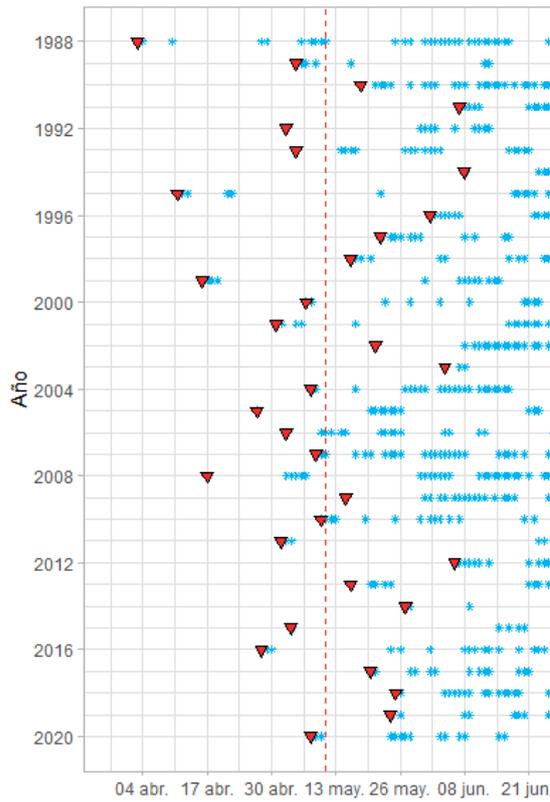


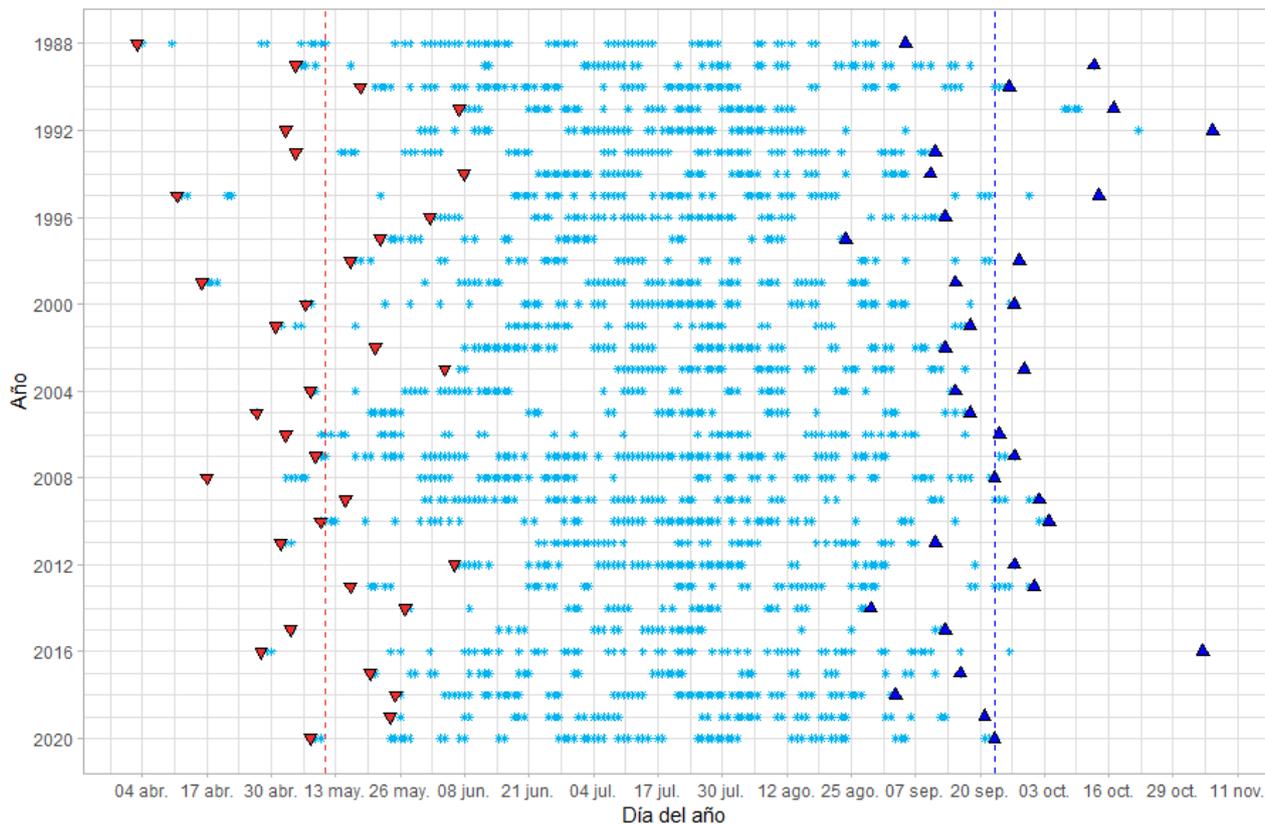
Figura 3 se muestran todos los días en que han ocurrido heladas agrometeorológicas en la serie histórica, remarcando el primero y último día de cada año, que fueron las fechas que permitieron determinar las medidas resúmenes de los datos.

Heladas agrometeorológicas (temperatura menor o igual a 3,0°C), serie de datos “La María”

Se indica la primera helada agrometeorológica del año.

Se indica la última helada agrometeorológica del año.

Se indican días con heladas agrometeorológicas.



Criterio de Pascale & Damario (2004), citados en Fernandez-Long et al., 2016

Figura 3. Días en que se han registrado heladas agrometeorológicas en la serie de datos 1988-2020, remarcándose la primera (triángulos rojos) y última helada (triángulos azules) de cada año. En líneas punteadas se muestra la fecha media de primera (rojo) y última helada (azul).

La fecha media de primera helada agrometeorológica presenta una desviación estándar de ≈ 17 días, por lo tanto, la primera helada ocurrió antes de esta fecha (Tabla 9). En 5 años de la serie estudiada, la primera helada ocurrió antes de esta fecha (

helada de esta clase presenta una alta probabilidad de ocurrencia entre el 22 de abril y el 30 de mayo (

Tabla 11).

Tabla 9. Valores de fechas extremas, de mediana, media y D. E. de la fecha de ocurrencia de primera helada agrometeorológica.

Fecha extrema mínima	Fecha promedio	D.E.	Fecha extrema máxima
02/04/1988	11/05	16,41	08/06/1994

Según la desviación estándar resultante de la fecha promedio de última helada, el periodo de alta probabilidad de ocurrencia se extiende (Tabla 10).

desde el 07 de septiembre hasta el 09 de octubre (

Tabla 10. Valores de fechas extremas, de mediana, media y D. E. de la fecha de ocurrencia de última helada agrometeorológica.

Fecha extrema máxima	Fecha promedio	D.E.	Fecha extrema mínima
05/11/1992	23/09	16,52	24/08/1997

En 5 años de la serie analizada la fecha de última helada ocurrió en fechas posteriores a este periodo (

Tabla 11).

Para la fecha extrema de primera helada de esta clase, el valor registrado fue de 0,4°C

mientras que para la fecha extrema de última helada el valor fue de 2,1°C en el año 1988 y 1992, respectivamente.

Tabla 11. Fecha en que ocurrieron heladas tempranas y tardías y valor mínimo registrado

Fecha helada temprana	Temperatura mínima (°C)	Fecha helada tardía	Temperatura mínima (°C)
02/04/1988	0,4	13/10/1989	2,7
08/06/1994	2,5	17/10/1991	2,2
11/04/1995	2,0	05/11/1992	2,1
16/04/1999	2,9	14/10/1995	2,4
16/04/2008	2,8	03/11/2016	2,8

Se determina que el periodo con heladas agronómicas es de 135 días en promedio (con un D.E. de ≈25 días), siendo de 190 días el periodo más extenso en el año 2016 y de 94 días el más corto en los años 1994, 1997 y 2014. El promedio del periodo libre de heladas es de 230 días.

En la Figura 4 se ha indicado la frecuencia de días con heladas agrometeorológicas que han ocurrido en cada

año. Fue 2007 el año que presentó la mayor cantidad contabilizando 75 registros con valores iguales o menores a 3,0°C, mientras que los años 2014 y 2015 presentaron la menor cantidad con 27 y 28 registros respectivamente. El valor de la mediana de la cantidad de días con registros de heladas de este tipo es de 49. En 17 de los 33 años analizados, se presentó una frecuencia mayor al valor promedio que es de 48.

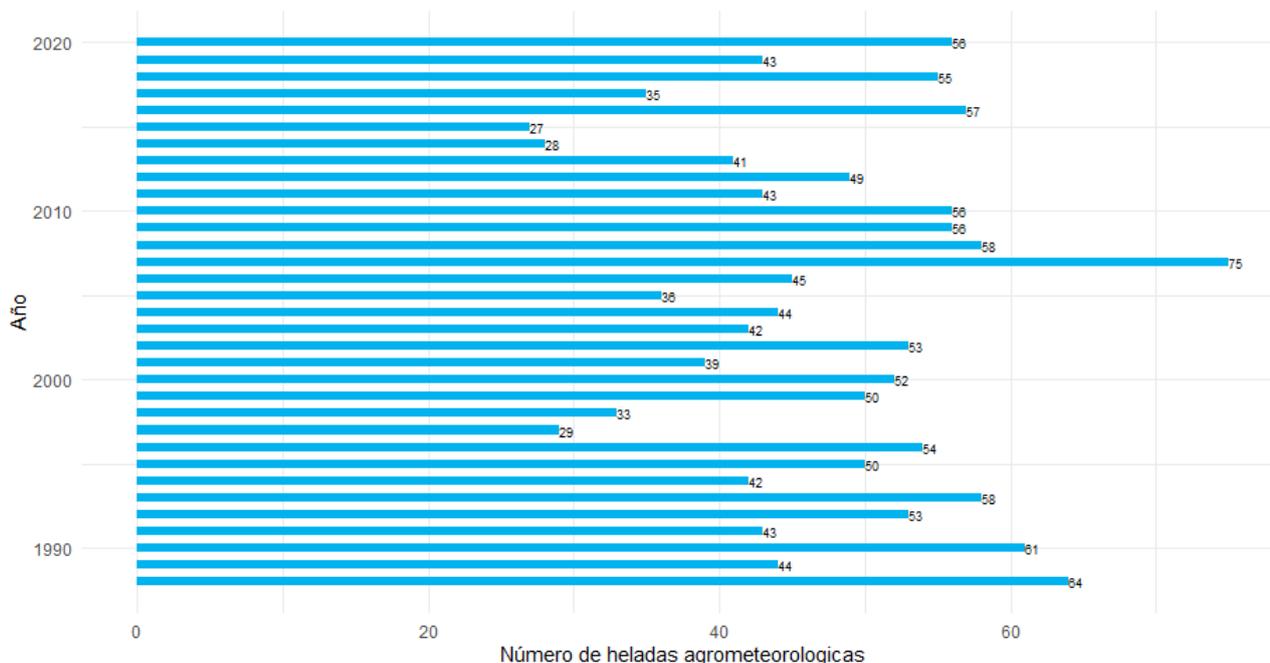


Figura 4. Frecuencia promedio de días con ocurrencia de heladas agrometeorológicas.

Es el mes de julio también el que presenta en promedio la mayor frecuencia de heladas agrometeorológicas (

Tabla 4). No se contabilizaron heladas de esta clase durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo durante el periodo analizado.

Tabla 12. Frecuencia promedio de días con ocurrencia de heladas meteorológicas.

Mes	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Frecuencia	1	4	11	15	11	5	0	0

En la

Tabla 13, se presentan las fechas de primera y última helada de cada año expresadas en fecha convencional y valor de día juliano, y el

periodo de días transcurridos entre la fecha de primera y última helada de cada año y, el número de días sin la ocurrencia de ellas.

Tabla 13. Fechas de ocurrencia de primera y última helada agrometeorológica de cada año expresadas en fecha gregoriana y en días juliano y, número de días del periodo con y sin heladas de cada año.

Año	Primera helada		Última helada		Período con heladas (N° días)	Período libre de heladas (N° días)
	Fecha	Día Juliano	Fecha	Día Juliano		
1988	2/abr	93	4/sep	248	155	211
1989	5/may	125	13/oct	286	161	204
1990	18/may	138	26/sep	269	131	234
1991	7/jun	158	17/oct	290	132	233
1992	2/may	123	5/nov	310	187	179
1993	5/may	125	11/sep	254	129	236
1994	8/jun	159	10/sep	253	94	271
1995	11/abr	101	14/oct	287	186	179
1996	31/may	152	12/sep	256	104	262
1997	22/may	142	24/ago	236	94	271
1998	16/may	136	28/sep	271	135	230
1999	16/abr	106	15/sep	258	152	213
2000	6/may	127	26/sep	270	143	223
2001	1/may	121	18/sep	261	140	225
2002	21/may	141	13/sep	256	115	250
2003	4/jun	155	29/sep	272	117	248
2004	7/may	128	14/sep	258	130	236
2005	27/abr	117	18/sep	261	144	221
2006	3/may	123	24/sep	267	144	221
2007	9/may	129	27/sep	270	141	224
2008	16/abr	107	22/sep	266	159	207
2009	15/may	135	2/oct	275	140	225
2010	10/may	130	4/oct	277	147	218
2011	2/may	122	11/sep	254	132	233
2012	5/jun	157	26/sep	270	113	253
2013	16/may	136	1/oct	274	138	227
2014	27/may	147	29/ago	241	94	271
2015	4/may	124	13/sep	256	132	233
2016	27/abr	118	3/nov	308	190	176
2017	20/may	140	16/sep	259	119	246
2018	25/may	145	3/sep	246	101	264

2019	24/may	144	21/sep	264	120	245
2020	7/may	128	22/sep	266	138	228

Conclusiones

Durante todos los años del periodo analizado se produjeron heladas. La frecuencia anual de heladas agrometeorológicas duplica prácticamente a la de heladas meteorológicas. La fecha media de primera helada agronómica presenta menor variabilidad que la fecha media de primera helada meteorológica. El mes de julio es donde se produjeron las heladas más intensas, alcanzando registros de hasta $-9,3^{\circ}\text{C}$ en abrigo meteorológico. La mayor parte de los eventos de bajas temperaturas corresponde a las categorías de suaves o moderados. Han ocurrido heladas agronómicas en una fecha extrema como el 5 de noviembre, mientras que lo más temprano fue un 2 de abril. El fenómeno de heladas puede ocurrir en periodos de alta actividad metabólica de los cultivos, cuando éstos son más susceptibles a las bajas temperaturas. Las heladas constituyen un riesgo en la zona de análisis que debe considerarse en la planificación agropecuaria para prevenir o reducir sus impactos. Deben efectuarse nuevos análisis que consideren cambios en el patrón del régimen de heladas en periodos menores y evaluaciones de los daños y pérdidas en los cultivos de interés de la zona.

Bibliografía

- Barembaum, M. y Anastasio, M. (2005). Caracterización económica de la provincia de Santiago del Estero: evolución de la agricultura en la provincia. *Apuntes agroeconómicos*, 4(3),1-14.
- Barlow, K. M., Christy, B. P., O'leary, G. J., Riffkin, P. A., & Nuttall, J. G. (2015). Simulating the impact of extreme heat and frost events on wheat crop production: A review. *Field Crops Research*, 171, 109-119.
- Belmonte, M. L. y Páez, R. O. 2015. *Caracterización agroclimática de las heladas en Anguil (La Pampa) PERIODO 1973-2014. Publicación Técnica N°100*. EDICIONES INTA Centro Regional La Pampa-San Luis EEA INTA Anguil "Ing. Agr. Guillermo Covas", Anguil, La Pampa, Argentina.
- Da Motta, F. (1961). Geadas da primavera no Rio Grande do Sul. *Cir. Inst. Agron. S. Pelotas*. Brasil. Pág, 1-15.
- de Melo-Abreu J.P., Villalobos F.J., Mateos L. (2016) Frost Protection. In: Villalobos F., Fereres E. (eds) *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_29
- de Souza Formoso. 2015. *Contribución a la determinación del régimen agroclimático de heladas del Uruguay* [Tesis de grado no publicada]. FACULTAD DE AGRONOMÍA-UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA.
- Fernández-Long, M. E., Barnatán, I., Dominici, C., y Murphy, G. (2016). Información agroclimática de las heladas en la Argentina: generación y uso. *Meteorológica*,41(2), 7-31.
- García-Martín, A., Paniagua, L. L., Moral, F. J., Rebollo, F. J., & Rozas, M. A. (2021). Spatiotemporal Analysis of the Frost Regime in the Iberian Peninsula in the Context of Climate Change (1975–2018). *Sustainability*, 13(15), 8491. <http://dx.doi.org/10.3390/su13158491>
- Horvat, S. 2020. Weather. <https://github.com/wpbSabi/weather>
- Kalma, J.D., Laughlin, G.P., Caprio, J.M. & Hamer, P.J.C. (1992) The Occurrence of Frost: Types, Distribution and Prediction. In: *The Bioclimatology of Frost. Advances in Bioclimatology*, vol 2. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-58132-8_2
- Kukal, M.S. y Irmak, S. (2018). U.S. Agro-Climate in 20th Century: Growing Degree Days, First and Last Frost, Growing Season Length, and

- Impacts on Crop Yields. *Sci Rep*, 8, 6977. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25212-2>
- Kunkel, K. E., Easterling, D. R., Hubbard, K., & Redmond, K. (2004), Temporal variations in frost-free season in the United States: 1895–2000, *Geophys. Res. Lett.*, 31, L03201, doi:10.1029/2003GL018624.
- Lamichhane, J.R. Rising risks of late-spring frosts in a changing climate. *Nat. Clim. Chang.* **11**, 554–555 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01090-x>
- Martino, D. L., & Abbate, P. E. (2019). Frost damage on grain number in wheat at different spike developmental stages and its modelling. *European Journal of Agronomy*, 103, 13-23.
- Masaki, Y. (2021) First and last frost date determinations based on meteorological observations in Japan: trend analysis and estimation scheme construction. *Theor Appl Climatol*, 145,411–426. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03637-6>
- Mavi, H. S., & Tupper, G. J. (2004). *Agrometeorology: principles and applications of climate studies in agriculture*. The Haworth Press, Binghamton, NY.
- Micheloud, N. G., Castro, D. C., Favaro, M. A., Buyatti, M. A., Pilatti, R. A. & Gariglio, N. F. (2016). Respuesta de diferentes variedades de cítricos a los daños causados por fuertes heladas en la región central de Santa Fe. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo*, 48(2), 43-56.
- Morello, J., Rodríguez, A. y Silva, M. (2012). Ecorregión del Chaco Seco. En: J. Morello, S. Matteucci, A. Rodríguez y M. Silva (eds.), *Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos*, (pp 151-204). Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina.
- Müller, G. V., Lovino, M. A., & Sgroi, L. C. (2021). Observed and Projected Changes in Temperature and Precipitation in the Core Crop Region of the Humid Pampa, Argentina. *Climate*, 9(3), 40. <http://dx.doi.org/10.3390/cli9030040>
- O.M.M. (2017). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. OMM-N°488. Actualización de la edición 2010. Gêneve, Suiza.
- Potop, V., Zahraniček, P., Türkott, L., Štěpánek, P., & Soukup, J. (2014). Risk occurrences of damaging frosts during the growing season of vegetables in the Elbe River lowland, the Czech Republic. *Natural Hazards*, 71(1), 1-19.
- 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/>.
- Rahimi, M., Hajjam, S., Khalili, A., Kamali, G. A., & Stigter, C. J. (2007). Risk analysis of first and last frost occurrences in the Central Alborz Region, Iran. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(3), 349-356.
- Rozante, J. R., Gutierrez, E. R., da Silva Dias, P. L., de Almeida Fernandes, A., Alvim, D. S., & Silva, V. M. (2020). Development of an index for frost prediction: Technique and validation. *Meteorological Applications*, 27(1), e1807.
- RStudio Team. (2021). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC, Boston, MA. URL <http://www.rstudio.com/>.
- Snyder, R., & Melo-Abreu, J. (2005). *Frost Protection: fundamentals, practice and economics*. Vol. 2. FAO, Rome, Italy.
- Torres Bruchmann, E. (1981). *Climatología general y agrícola de la provincia de Santiago del Estero*. Universidad Nacional de Tucumán.
- Wang, S., Chen, J., Rao, Y., Liu, L., Wang, W., & Dong, Q. (2020). Response of winter wheat to spring frost from a remote sensing perspective: Damage estimation and influential factors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 221-235
- Webb, L. & Snyder R.L. (2013) Frost Hazard. In: P.T. Bobrowsky (eds), *Encyclopedia of Natural Hazards*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4399-4_148
- WMO. (1963). *Protection against frost damage, WMO-No. 133*. WMO, Geneva.
- Zhang, X. & Yang, F. (2004). RCLimDex (1.0)—User Manual. OntarioCanadaClimate Research Branch Environment Canada. Disponible en: https://www.academia.edu/28821316/RCLimDex_1.0_Manual_del_Usuario
- Zheng, B., Chapman, S. C., Christopher, J. T., Frederiks, T. M., & Chenu, K. (2015). Frost trends and their estimated impact on yield in the Australian wheatbelt. *Journal of experimental botany*, 66(12), 3611–3623. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv163>

Agradecimientos:

Se realiza un reconocimiento especial al Tec. en Agrometeorología Luis A. Acuña quién estuvo a cargo del antiguo observatorio de La Banda y del actual de La María hasta su

jubilación en el año 2014. A los observadores que colaboraron desde el año de emplazamiento actual Roldán H. M., Tévez F. y Coronel A. A Herrera O. W. quien se sumó en estos últimos tiempos de manera continuada y también un reconocimiento a quienes colaboraron en algún momento de estos últimos años en el registro de la información de la estación meteorológica: Andrada G. E., Andrada S. M., Andrada R. A., Arce J. D., Banuera C. A., Castillo G., Chávez A. J., Coronel F. A., Coronel J., Cortez R. E., Corvalán G. R., Fissolo H. M., Fissolo P. A., Gramajo O. A., Ibañez D. E., Lastra J. C., López R. E., Navarrete V. C., Oliva J. N., Rodríguez C. A., Rodríguez H. A., Silva D. E. e Ybañez G. E.