Vol 41 Nº2 (2016) 7 – 31

Meteorologica

INFORMACIÓN AGROCLIMÁTICA DE LAS HELADAS EN LA ARGENTINA: GENERACIÓN Y USO

María Elena Fernández-Long[1,2], Irene Barnatán[1,2], Claudia Dominici[1] y Guillermo Murphy[1]

[1] Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, CABA, Argentina.
[2] Servicio Meteorológico Nacional, 25 de Mayo 658, CABA, Argentina.

(Manuscrito recibido el 6 de enero de 2015, en su versión final el 6 de noviembre de 2015)

RESUMEN

La información climática es una herramienta cada vez más utilizada al momento de la toma de decisiones tanto en el campo de la agronomía como en otras áreas. Su uso supone el diagnóstico del elemento a analizar, mediante el conocimiento de las condiciones medias y su variabilidad, y su posterior pronóstico, definiendo previamente el nivel de riesgo que se desea asumir. Las fechas de ocurrencia de primeras y últimas heladas son de fundamental importancia en la programación del calendario agrícola, y existen distintas metodologías para su estimación que conducen a resultados diferentes. El propósito de este trabajo es, en primer lugar, presentar una definición y metodología de determinación de fechas de primera y última heladas aplicable a la Argentina. En segundo lugar, calcular y describir las principales variables agroclimáticas de heladas (fecha media de primera y última helada, período con heladas, frecuencia de días con helada, etc.), para dos umbrales: 0 °C (helada meteorológica) y 3ºC (helada agrometeorológica).Y, por último, generar una base de datos confiable y de fácil acceso e interpretación, que se encuentre disponible para diferentes usuarios.

Palabras clave: heladas, datos agroclimáticos, probabilidades, Argentina

GENERATION AND USE OF FROST INFORMATION IN ARGENTINA

ABSTRACT

Climate information is an increasingly used tool to take decisions in agriculture and other areas. Diagnosis of the element, the knowledge of their average conditions and variability, and subsequent prognosis, with predefined risk levels, are different aspects of its use. The dates of occurrence of first and last frosts are really important to plan agricultural calendar, and there are different methodologies to obtain them that lead to different results. So, the objective of this paper, first of all, is show the definitions and methodology to determinate first and last frost dates applicable to Argentina. Then, calculate and describe the main agro-climatic variables frost (average date of first and last frost, frosty period, frequency of days with frost, etc.) to two thermal thresholds: 0ºC (meteorological frost) and 3ºC (agrometeorological frost). Finally, create a reliable database, easy to access and interpret, to be used by different users.

Keywords: frost, agro-climatic database, probability, Argentina

Dirección Electrónica: flong@agro.uba.ar

1. INTRODUCCIÓN

La estimación anticipada de la producción agrícola constituye una herramienta de vital importancia para todos los sectores de la economía de un país. La variabilidad climática genera la mayoría de las fluctuaciones interanuales en los rendimientos de cultivos que representan una proporción importante de la alimentación básica de la humanidad (FAO, 1974). El conocimiento del clima es un poderoso instrumento que contribuye a la planificación y la gestión de todas las actividades socioeconómicas que apuntalan el desarrollo sostenible (Martínez y otros, 2010). El uso de información climática es crucial en la toma de decisiones y en la gestión efectiva del riesgo climático (Goddard y otros, 2010).

En la Argentina numerosos autores han analizado el impacto del uso de la información climática en el sector agropecuario (Rivarola y otros, 2002/03; Vinocur y otros, 2004; Bert y otros, 2006; Barsky y otros, 2008). Esta información se compone, en líneas generales, de tres herramientas claves: climatología (promedios históricos), diagnóstico y pronóstico (Podestá, 2012). Respecto de la primera, es fundamental conocer las condiciones medias o climatológicas, basadas en registros históricos de 20/30 años para entender cuál es la condición más frecuente en una región, y sus rangos de variabilidad. Sobre esta base se puede calcular la probabilidad de ocurrencia de ciertas situaciones y en función de los resultados, planificar y definir estrategias.

En este contexto, las variables relacionadas con el régimen de heladas tales como, las fechas de comienzo y fin del período con heladas, son de fundamental importancia en la programación del calendario agrícola (Fernández Long y Barnatán, 2013).Thom y Shaw (1958) plantearon las bases para la predicción climatológica de las primeras y últimas heladas. Más adelante, Thom (1959) ideó una técnica analítica para utilizar cuando los umbrales de temperatura seleccionados no ocurrieran todos los años que luego fue modificada por Vestal (1971). Esta metodología fue ampliamente utilizada en Estados Unidos y recomendada por el Centro Climático de Datos (NCDC: National Climatic Data Center) de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) sobre todo, para regiones templadas (Koss y otros, 1998).

El sur de Sudamérica, caracterizado por su gran variabilidad climática (Garreaud y otros, 2009) y por fuertes irrupciones de aire frío que se manifiestan en algunos años en particular (Müller y otros, 2005; Müller and Ambrizzi, 2006; Müller 2007), determina que no todos los años se presenten heladas. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de analizar la probabilidad de la no ocurrencia del evento, siendo de gran importancia a la hora de caracterizar las fechas de primeras y últimas heladas. Sin embargo, en muchos trabajos esto no es tenido en cuenta, o no se aclara la metodología utilizada, observándose importantes diferencias en los resultados obtenidos, lo cual podría llevar a decisiones incorrectas.

En Argentina, Damario y otros (1996) realizaron las cartas climáticas de fechas de primera y última helada para el período 1961-1990 con datos estimados según la metodología propuesta por Papadakis (1952) y luego modificada por Damario y Pascale (1984, 1993/94); la cual se basa en la utilización de los valores climáticos de las "temperaturas mínimas mensuales medias" de por lo menos 20 años, que a través de un método gráfico determina las fechas medias de primera y última helada. Con anterioridad, Hirschhorn (1939) analizó la dispersión de las fechas medias de primeras y últimas heladas y, más adelante, el régimen de las temperaturas mínimas con las observaciones disponibles hasta 1948, publicando luego el Atlas Agroclimático Argentino que reprodujo Burgos (1963), basado también en una metodología gráfica. Existen también numerosos trabajos que caracterizan las heladas para distintos sitios (Monterubbianesi y Cendoya (2001) en Balcarce; Orta y Federighi (1996) en Villa Mercedes (San Luis); Costa y Abregú (2002) en Chaco; Navarro y otros, (2003)

en Azul; Fernández Long y otros, (2001) en la Ciudad de Buenos Aires y conurbano Bonaerense; Fernández Long y otros, (2004, 2005) en la región Pampeana), en muchos de los cuales no se aclara la metodología utilizada.

El objetivo de este trabajo es, en primer lugar presentar una definición y metodología de cálculo de fechas de primera y última heladas clara y aplicable a la Argentina. En segundo lugar, calcular y describir las principales variables agroclimáticas de heladas (fecha media de primera y última helada, período con heladas, frecuencia de días con helada, etc.), para dos umbrales: 0 °C (helada meteorológica) y 3°C (helada agrometeorológica) (Fernández Long y Barnatán, 2013).Y, por último, generar una base de datos confiable y de fácil acceso e interpretación, que se encuentre disponible en la web.

2. DATOS Y MÉTODOS

2.1. Datos

Se utilizaron datos diarios de temperatura mínima de 124 estaciones meteorológicas de la Argentina, correspondientes al período 1950-2012. Esta información fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA). Las temperaturas mínimas diarias (Tmin) utilizadas fueron previamente consistidas y corregidas según normativas vigentes en ambas instituciones y de acuerdo con las pautas establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 1984). Los datos de Tmin cuentan con diversos controles tanto en tiempo real como en tiempo diferido. Cuando el mensaje SYNOP de 0 y 12 UTC (que es el que trae los datos de temperaturas máximas y mínimas) ingresa a la Base de Datos en tiempo real, bajo ambiente Oracle, se realizan controles automáticos respecto de las temperaturas horarias (la Tmin no puede ser superior a cualquier temperatura horaria del período), y de la temperatura de 5 cm sobre el suelo (se sospecha cuando la diferencia entre ambas es superior a 5°C). Además, otra de las consistencias muestra como sospechosa la temperatura mínima que difiere en más de 2°C respecto de la temperatura horaria menor del período. En estos casos, se ratifica o rectifica el dato consultando con el observador de la estación meteorológica en el momento. Luego, una vez completado un año de información se realizan otros controles como: chequeo de temperatura mínima menor que -15°C o mayor que 30°C y chequeo del fenómeno de ocurrencia de helada. En el Tabla I se presenta la ubicación de las estaciones y el período de años disponibles, y en la Figura 1 se muestra la distribución geográfica.

Para la determinación de las heladas se trabajó con dos definiciones diferentes. Se denominó helada meteorológica a toda temperatura mínima igual o inferior a 0 °C; y helada agrometeorológica a toda temperatura mínima igual o menor a 3 °C, ambas medidas en abrigo meteorológico (Fernández Long y Barnatán, 2013).

Las series de fecha de primera helada (FPH) y fecha de última helada (FUH) se definieron mediante el criterio de Pascale y Damario (2004), que determinada que la serie FPH queda conformada como el primer día juliano del año en el que se registra una helada, siempre y cuando la misma ocurra antes del día juliano 196 (15 de julio), de lo contrario, en ese año en particular no habrá ocurrido el evento. Análogamente, la serie FUH se define como el último día juliano en el que se registra una helada, siempre y cuando la misma ocurra después del día 196; y, al igual que en la serie anterior, es posible la no ocurrencia del evento. De esta manera, es posible tener primera helada y no última y viceversa. En los años en que la FPH y/o la FUH se determina como faltante, en esos casos PER también es considerado dato faltante.

Además, se obtuvo la temperatura mínima absoluta (Tabs: temperatura más baja que se registra a lo largo de un año determinado), la frecuencia de días con heladas (FH:número de eventos de heladas producidos en un

Nombre de la estación	Provincia	Lat	Lon	asnm	Año inicial	Año Final	Nro años	Años fal.
Aeroparque AERO	Buenos Aires	-34,57	-58,42	6	1956	2012	57	1
Azul AERO	Buenos Aires	-36,83	-59,88	147	1995	2012	18	0
Bahía Blanca AERO	Buenos Aires	-38,73	-62,17	83	1956	2012	57	1
Balcarce INTA	Buenos Aires	-37,75	-58,30	130	1969	2011	43	0
Barrow INTA	Buenos Aires	-38,32	-60,25	120	1960	2011	52	1
Benito Juárez AERO	Buenos Aires	-37,72	-59,78	207	1981	2012	32	16
Bolívar AERO	Buenos Aires	-36,20	-61,07	94	1989	2012	24	4
Bordenave INTA	Buenos Aires	-37,85	-63,02	212	1960	2011	52	0
Buenos Aires OBS.	Buenos Aires	-34,58	-58,48	25	1950	2012	63	0
Castelar INTA	Buenos Aires	-34,67	-58,65	22	1951	2011	61	0
Coronel Pringles AERO	Buenos Aires	-38,02	-61,33	247	1994	2012	19	0
Coronel Suárez AERO	Buenos Aires	-37,43	-61,88	233	1950	2012	63	6
Dolores	Buenos Aires	-36,35	-57,73	9	1950	2012	63	13
El Palomar AERO	Buenos Aires	-34,60	-58,60	12	1956	2008	53	2
Ezeiza AERO	Buenos Aires	-34,82	-58,53	20	1956	2012	57	2
General Villegas INTA	Buenos Aires	-34,92	-62,73	117	1973	2011	39	16
Hilario Ascasubi INTA	Buenos Aires	-39,38	-62,62	22	1968	2011	44	1
Junín AERO	Buenos Aires	-34,55	-60,92	81	1958	2012	55	1
La Plata AERO	Buenos Aires	-34,97	-57,90	23	1961	2011	51	1
Laprida	Buenos Aires	-37,57	-60,77	212	1956	2008	53	7
Las Flores AERO	Buenos Aires	-36,03	-59,13	36	1988	2012	25	1
Mar del Plata AERO	Buenos Aires	-37,93	-57,58	21	1950	2012	63	3
Nueve de Julio	Buenos Aires	-35,45	-60,88	76	1950	2012	63	2
Olavarría AERO	Buenos Aires	-36,88	-60,22	166	1988	2012	25	0
Pehuajó AERO	Buenos Aires	-35,87	-61,90	87	1959	2012	54	1
Pergamino INTA	Buenos Aires	-33,93	-60,55	65	1950	2011	62	3
Pigüé AERO	Buenos Aires	-37,60	-62,38	304	1950	2012	63	1
Punta Indio B. A.	Buenos Aires	-35,37	-57,28	22	1957	2012	56	5
San Miguel	Buenos Aires	-34,55	-58,73	26	1950	2012	63	4
San Pedro INTA	Buenos Aires	-33,68	-59,68	28	1967	2011	45	0
Santa Teresita AERO	Buenos Aires	-36,55	-56,68	4	1988	2006	19	5
Tandil AERO	Buenos Aires	-37,23	-59,25	175	1961	2012	52	6
Trenque Lauquen	Buenos Aires	-35,97	-62,73	95	1956	2012	57	23
Catamarca AERO	Catamarca	-28,60	-65,77	454	1974	2012	39	2
Tinogasta	Catamarca	-28,07	-67,57	1201	1956	2012	57	5
Colonia Benítez INTA	Chaco	-27,42	-58,93	54	1968	2011	44	0
Las Breñas INTA	Chaco	-27,08	-61,12	102	1967	2011	45	1
Pcia. Roque Sáenz Peña	Chaco	-26,87	-60,45	90	1959	2011	53	0
Resistencia AERO	Chaco	-27,45	-59,05	52	1965	2012	48	1
Comodoro Rivadavia AERO	Chubut	-45,78	-67,50	46	1956	2012	57	2
Esquel AERO	Chubut	-42,93	-71,15	797	1961	2012	52	4
Paso de Indios	Chubut	-43,82	-68,88	460	1968	2000	33	4
Trelew AERO	Chubut	-43,20	-65,27	43	1956	2012	57	5

Tabla I: Información de las estaciones meteorológicas utilizadas. (Lat: latitud (grados y décimas); Lon: longitud (grados y décimas); asnm: altura sobre el nivel del mar en metros; Nro años: número de años analizados; Años fal: número de años faltantes).

Nombre de la estación	Provincia	Lat	Lon	asnm	Año inicial	Año Final	Nro años	Años fal.
Córdoba AERO	Córdoba	-31,32	-64,22	474	1956	2012	57	1
Laboulaye AERO	Córdoba	-34,13	-63,37	137	1950	2012	63	0
Manfredi INTA	Córdoba	-31,82	-63,77	292	1970	2011	42	0
Marcos Juárez AERO	Córdoba	-32,70	-62,15	114	1952	2012	61	5
Pilar OBS	Córdoba	-31,67	-63,88	338	1950	2012	63	3
Río Cuarto AERO	Córdoba	-33,12	-64,23	421	1950	2012	63	1
Villa Dolores AERO	Córdoba	-31,95	-65,13	569	1950	2012	63	1
Villa María del Río Seco	Córdoba	-29,90	-63,68	341	1951	2005	55	7
Bella Vista INTA	Corrientes	-28,43	-58,92	70	1964	2011	48	3
Corrientes AERO	Corrientes	-27,45	-58,77	62	1962	2012	51	5
Curuzú Cuatiá AERO	Corrientes	-29,78	-57,98	73	1977	2000	24	1
Mercedes INTA	Corrientes	-29,17	-58,02	100	1968	2011	44	3
Monte Caseros AERO	Corrientes	-30,27	-57,65	54	1950	2012	63	2
Paso de los Libres AERO	Corrientes	-29,68	-57,15	70	1956	2012	57	8
Concepción del Uruguay	Entre Ríos	-32,48	-58,23	21	1968	2011	44	0
Concordia INTA	Entre Ríos	-31,36	-58,12	48	1970	2011	42	8
Gualeguaychú AERO	Entre Ríos	-33,00	-58,62	21	1950	2012	63	7
Paraná INTA	Entre Ríos	-31,83	-60,52	110	1957	2011	55	1
Villaguay AERO	Entre Ríos	-31,85	-59,08	43	1962	2007	46	9
El Colorado INTA	Formosa	-26,30	-59,37	78	1962	2008	47	7
Formosa AERO	Formosa	-26,20	-58,23	60	1963	2012	50	1
Las Lomitas	Formosa	-24,70	-60,58	130	1956	2012	57	1
Jujuy AERO	Jujuy	-24,38	-65,08	905	1968	2012	45	1
Jujuy U N	Jujuy	-24,17	-65,18	1302	1987	2012	26	1
La Quiaca Obs	Jujuy	-22,10	-65,60	3459	1956	2012	57	0
Anguil INTA	La Pampa	-36,50	-63,98	165	1961	2011	51	0
General Pico AERO	La Pampa	-35,70	-63,75	145	1956	2012	57	3
Santa Rosa AERO	La Pampa	-36,57	-64,27	191	1950	2012	63	0
Chamical AERO	La Rioja	-30,37	-66,28	461	1963	2012	50	2
Chepes	La Rioja	-31,33	-66,60	658	1956	1997	42	5
Chilecito AERO	La Rioja	-29,23	-67,43	945	1989	2012	24	1
La Rioja AERO	La Rioja	-29,38	-66,82	429	1950	2012	63	8
La Consulta INTA	Mendoza	-33,73	-69,12	940	1970	2011	42	0
Malargüe AERO	Mendoza	-35,50	-69,58	1425	1958	2012	55	1
Mendoza AERO	Mendoza	-32,83	-68,78	704	1960	2012	53	1
San Martín (Mendoza)	Mendoza	-33,08	-68,42	653	1956	2012	57	3
San Rafael AERO	Mendoza	-34,58	-68,40	748	1957	2012	56	4
Uspallata	Mendoza	-32,60	-69,33	1891	1970	2009	40	21
Bernardo de Irigoyen AERO	Misiones	-26,25	-53,65	815	1988	2012	25	0
Cerro Azul INTA	Misiones	-27,65	-55,43	270	1968	2011	44	0
Iguazú AERO	Misiones	-25,73	-54,47	270	1961	2012	52	6
Oberá AERO	Misiones	-27,48	-55,13	303	1990	2012	23	1
Posadas AERO	Misiones	-27,37	-55,97	125	1956	2012	57	2

Tabla I (continuación): Información de las estaciones meteorológicas utilizadas. (Lat: latitud (grados y décimas); Lon: longitud (grados y décimas); asnm: altura sobre el nivel del mar en metros; Nro años: número de años analizados; Años fal: número de años faltantes).

Nombre de la estación	Provincia	Lat	Lon	asnm	Año inicial	Año Final	Nro años	Años fal.
Neuquén AERO	Neuquén	-38,95	-68,13	271	1958	2012	55	1
El Bolsón AERO	Rio Negro	-41,97	-71,52	337	1980	2012	33	11
Alto Valle INTA	Río Negro	-39,02	-67,67	242	1970	2011	42	6
Bariloche AERO	Río Negro	-41,15	-71,17	840	1956	2012	57	2
Cipolletti	Río Negro	-38,95	-67,97	265	1979	2012	34	8
Maquinchao	Río Negro	-41,25	-68,73	888	1956	2012	57	2
Río Colorado	Río Negro	-39,02	-64,08	79	1956	2011	56	29
San Antonio Oeste AERO	Río Negro	-40,78	-65,10	20	1991	2012	22	2
Viedma AERO	Río Negro	-40,85	-63,02	7	1969	2012	44	1
Santiago del Estero AERO	S. del Estero	-27,77	-64,30	199	1950	2012	63	0
Orán AERO	Salta	-23,15	-64,32	357	1958	2012	55	6
Rivadavia	Salta	-24,17	-62,90	205	1956	1990	35	2
Salta AERO	Salta	-24,85	-65,48	1221	1951	2012	62	0
Tartagal AERO	Salta	-22,65	-63,82	450	1962	2012	51	18
Jachal	San Juan	-30,23	-68,75	1175	1962	2012	51	10
San Juan AERO	San Juan	-31,57	-68,42	598	1967	2012	46	1
San Juan INTA	San Juan	-31,37	-68,32	618	1969	2011	43	0
San Luis AERO	San Luis	-33,27	-66,35	713	1951	2012	62	3
Villa Mercedes INTA	San Luis	-33,72	-65,48	515	1968	2011	44	0
Villa Reynolds AERO	San Luis	-33,73	-65,38	486	1956	2012	57	2
Gob. Gregores AERO	Santa Cruz	-48,78	-70,17	358	1956	2012	57	16
Perito Moreno AERO	Santa Cruz	-46,52	-71,02	429	1956	2012	57	25
Puerto Deseado AERO	Santa Cruz	-47,73	-65,92	80	1957	2010	54	5
Río Gallegos AERO	Santa Cruz	-51,62	-69,28	19	1956	2012	57	8
San Julián AERO	Santa Cruz	-49,32	-67,78	62	1958	2012	55	9
Ceres AERO	Santa Fe	-29,88	-61,95	88	1950	2012	63	1
El Trébol	Santa Fe	-32,20	-61,67	96	1990	2012	23	1
Oliveros INTA	Santa Fe	-32,55	-60,85	26	1961	2011	51	1
Rafaela INTA	Santa Fe	-31,18	-61,55	100	1956	2011	56	1
Reconquista INTA	Santa Fe	-29,18	-59,70	42	1971	2011	41	2
Rosario AERO	Santa Fe	-32,92	-60,78	25	1950	2012	63	0
Sauce Viejo AERO	Santa Fe	-31,70	-60,82	18	1958	2012	55	2
Venado Tuerto	Santa Fe	-33,67	-61,97	112	1989	2012	24	3
Río Grande B. A.	T. del Fuego	-53,80	-67,75	22	1959	2012	54	13
Tolhuin	T. del Fuego	-54,70	-67,25	105	1991	2010	20	1
Ushuaia AERO	T. del Fuego	-54,80	-68,32	57	1991	2012	22	6
Famaillá INTA	Tucumán	-27,05	-65,42	363	1969	2011	43	0
Tucumán AERO	Tucumán	-26,85	-65,10	450	1982	2012	31	0

Tabla I (continuación): Información de las estaciones meteorológicas utilizadas. (Lat: latitud (grados y décimas); Lon: longitud (grados y décimas); asnm: altura sobre el nivel del mar en metros; Nro años: número de años analizados; Años fal: número de años faltantes).

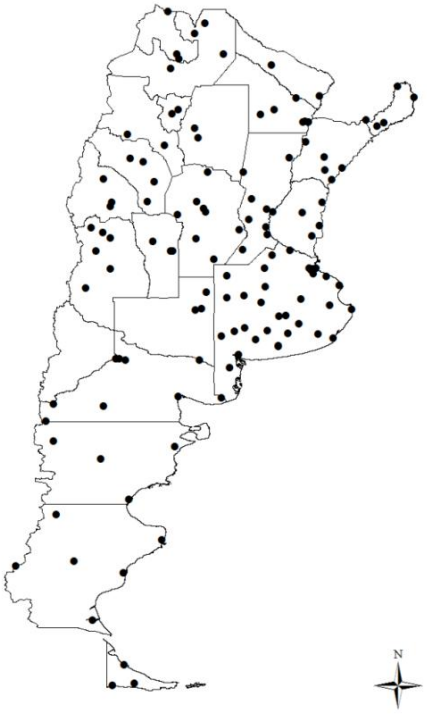

Figura 1: Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas.

año determinado) y el período con heladas (PER:número de días que existe entre la primera y la última helada de un año determinado).

Para todas las variables se calcularon los valores con probabilidad del 50 %, considerado este como el valor más probable de ocurrencia, y aquellos con una probabilidad del 20 % por ser considerados como un nivel de riesgo aceptable.

2.2. Métodos

Las fechas de ocurrencia de una helada pueden considerarse como los valores de una variable aleatoria, por lo cual, es posible encontrar una función de distribución para las mismas. El modelo para determinar la probabilidad de heladas es un modelo mixto de dos distribuciones: una discreta (ocurre o no ocurre la helada) y una continua (ocurrencia de helada a partir o antes de una fecha dada, cuando ha ocurrido helada) (Thom, 1959).

Es sabido que una función de distribución continua puede expresarse como:

$$F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(u)du \qquad (1)$$

Dónde $f(u)$ es la función de densidad de probabilidades y F(-∞)=0 y F(∞)=1. Aquí $F(x)$ es la probabilidad de que u sea menor o igual que x. En primavera el interés está puesto principalmente en las últimas heladas y en la probabilidad de que éstas ocurran después de una determinada fecha x, y por lo tanto, en $1 - F(x)$. En otoño el interés está puesto en las primeras heladas y en la probabilidad de que ocurran antes de x, que estará dado por $F(x)$.

Para la determinación de la función de distribución discreta de últimas heladas se define q_s como la probabilidad de que NO ocurran heladas después del 15 de julio y p_s como la probabilidad de que SI ocurran, de esta manera $q_s + p_s = 1$. Por lo tanto, de acuerdo con la definición de distribuciones mixtas (Thom, 1959), la función de distribución de últimas heladas será:

$$G(x) = q_s + p_s F_s(x) \qquad (2)$$

Donde $F_s(x)$ es la función de distribución de últimas heladas cuando éstas ocurren y $G(x)$ da la probabilidad de que ocurran o no heladas antes de una determinada fecha x. Como se mencionó, el interés general está en calcular la probabilidad de heladas después de una determinada fecha x entonces:

$$H(x) = 1 - G(x) \qquad (3)$$

Reemplazando por (2) en (3) queda:

$$H(x) = 1 - (q_s + p_s F_s(x)) \qquad (4)$$

Como $q_s + p_s = 1$, se puede escribir $q_s = 1 - p_s$, entonces:

$$H(x) = 1 - (1 - p_s + p_s F_s(x)) \qquad (5)$$

Luego

$$H(x) = p_s(1 - F_s(x)) \qquad (6)$$

Si se define $I(x) = 1 - F_s(x)$, entonces:

$$H(x) = p_s I(x) \qquad (7)$$

La ecuación (7) da la probabilidad de que ocurran últimas heladas después de una determinada fecha x.

Para el caso de primeras heladas, se tiene una función de distribución mixta similar excepto que la probabilidad de NO helada está ahora concentrada después del período de heladas otoñales y no entra en la probabilidad antes de x. Por lo tanto, la función de distribución es:

$$J(x) = p_A F_A(x) \tag{8}$$

Donde $F_A(x)$ es la función de distribución de primeras heladas cuando éstas ocurren, p_A es la probabilidad de que ocurran primeras heladas y $J(x)$ es la probabilidad de que ocurran o no heladas antes de una determinada fecha x.

Las expresiones (7) y (8) son generales, y como puede verse, si todos los años se registran primeras y últimas heladas entonces: $q = 0$ y $p = 1$.

2.2.1. Funciones de distribución empírica

Para la estimación de las probabilidades, se determina en primer lugar las series FPH y FUH. Es importante distinguir en estas series aquellos años en los cuales no se registran primeras y/o últimas heladas, de aquellos en los que faltan los datos. Es posible que durante un año, si bien no falta ningún dato, no se registraron heladas porque la temperatura del aire durante ese año no disminuyó por debajo del umbral considerado como helada; o también puede ocurrir que durante un año se registre una sola helada, por ejemplo el día 15 de junio, en esos casos se tiene FPH pero no se tiene FUH, y se asigna el código de "sin helada" en FUH.

Una vez determinada las series de FPH y FUH se ordenan los valores de menor a mayor asignándoles un número de orden k. La función de distribución empírica de FUH en los años en que se registraron últimas heladas F_s^* queda determinada como:

$$F_s^* = k/(m+1) \tag{9}$$

Dónde m es el número de años con últimas heladas. Por lo tanto, la función de distribución I^* que determina la probabilidad empírica de ocurrencias de heladas después de una determinada fecha (en los años que ocurrió helada) será:

$$I^* = 1 - k/(m+1) \tag{10}$$

Para calcular la función de distribución empírica de ocurrencia o no de últimas heladas H^*, es necesario determinar primero la probabilidad de ocurrencia de heladas tardías p_s^* como:

$$p_s^* = m/n \tag{11}$$

Dónde n es el número de años con datos; por lo tanto n-m será el número de años sin últimas heladas. Entonces, H^* se puede expresar como:

$$H^* = p_s^* I^* \tag{12}$$

De forma análoga se calcula la función de distribución empírica de ocurrencia de primeras heladas J^*.

2.2.2. Funciones de distribución teórica

En aquellos casos que los datos lo permiten, es recomendable utilizar funciones de distribución teóricas en lugar de funciones empíricas debido a que de esta forma se eliminan irregularidades en los datos, además permite la generación de valores extremos y fuera del rango de los datos observados. Numerosos autores han demostrado que las series de FPH y FUH se comportan en la mayoría de los casos como una normal (Reed, 1916; Thom y Shaw, 1958; Thom, 1959; Vestal, 1971; Bravo-Tapia, 1992; Burgos, 1963; Billiet, 2012). Para aseverar que la información que se posee se comporta de manera normal es necesario obtener la función teórica y comparar las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de la muestra y la teórica y testearlo estadísticamente. La función normal teórica es:

$$f(u) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \exp\left(\frac{-(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{13}$$

Si reemplazamos (13) en (1) queda:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{x} \exp\left(\frac{-(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) du \tag{14}$$

Luego, para confirmar el ajuste se utiliza el test de Kolmogorov-Smirnov (Wilks, 2006) con un $\alpha = 0,05$. En caso que los datos se ajusten, pueden ser considerados como una distribución normal, la cual es estandarizada $N(\mu, \sigma)$ y permite determinar la fecha x antes de la cual se tiene una probabilidad de ocurrencia de heladas a partir de la tabla de $N(0, 1)$. Utilizando la expresión:

$$x = z\sigma + \mu \tag{15}$$

Donde x es la fecha asociada a la probabilidad de ocurrencia del evento, σ es la desviación estándar y μ la fecha media de primera o última helada, según sea el caso.

2.2.3. Tratamiento de datos faltantes

Dado que las series de datos diarios poseen una gran cantidad de faltantes, y con el objetivo de no inducir a errores ni descartar información útil, se contabilizó la cantidad de días faltantes en los meses de abril a julio (principales meses en los cuales ocurren las primeras heladas) y de julio a octubre (últimas heladas). En los casos en que el número de datos faltantes en ese período fuese mayor a 25 (valor que corresponde aproximadamente al 20 % de los datos), ese año se consideró como faltante y se eliminó del análisis posterior. De esta manera, es posible tener diferente número de años faltantes en las primeras y últimas heladas.

Respecto del mínimo número de años con datos analizado, se consideraron las series con más de 20 años de información y sólo en algunos casos especiales (Coronel Pringles, Azul y Santa Teresita) se decidió incluir series con 18 y 19 años debido a que en ese período no poseen datos faltantes y se encuentran en una zona de gran importancia agropecuaria.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A modo de ejemplo, se presentan en la Tabla II todos los cálculos realizados para la estación meteorológica Catamarca AERO correspondientes a fechas de primera (FPH) y última helada (FUH). En esta estación las observaciones comienzan en mayo de 1973, por lo tanto para ese año no pudo determinarse la FPH por la cantidad de datos faltantes y se la registró como sin dato (s/d), pero sí la FUH. En el año 1974 la primera helada se registró el día 25 de julio, después de la fecha límite (15 de julio) para ser considerada como primera helada, quedando ese año sin primeras heladas (s/helada). En cambio, en 1982, la primera helada ocurrió en día 22 de junio (día juliano 173), fecha considerada como FPH, pero la última se registró el día 9 de julio, por lo tanto ese año no presentó últimas heladas.

Una vez determinada la serie de FPH se calculó la función de distribución empírica F_A^* con la ecuación (9). De los 37 años con datos (en los años 1973, 1988 y 2010, no se pudo calcular la FPH por falta de datos) hubo tres años en los que no se registraron heladas antes del 15 de julio (1974, 1998 y 2006); por lo tanto, a partir de la ecuación (11) se obtuvo $p_A^* = 0,92$ y se calculó la función de distribución empírica J^* (Tabla II y Figura 2a).

De manera similar, se determinó la FUH y se calcularon a partir de las ecuaciones (10) y (12) las funciones de distribución empírica I^* y H^*. El año 1973 se registró la última helada el día juliano 204 (23 de julio), con un número de orden k=2 indicando que fue el segundo año en el que se registraron las últimas heladas más tempranas (el primero fue el año 1979), por lo tanto $I^* = 0,95$, o sea que la probabilidad de que ocurran heladas después del 23 de julio es del 95 % (en los años que ser registran heladas). La probabilidad de ocurrencia de heladas tardías p_s^* arrojó un valor de 0,9. De los 40 años con datos (n=40) hubo 4 años en los que no se registraron últimas heladas (1982, 1997, 1998 y 2008), por lo tanto el número de años con últimas heladas fue de m=36 (Tabla II y Figura 2b). De esta manera, se puede observar cómo al considerar los años en que no se registran heladas, los resultados se modifican, siendo del 85 % la probabilidad de que ocurran heladas después del 23 de julio (H^*=0,85).

	FPH				FUH			
Año	DJ	k	FA*	J*	DJ	k	I*	H*
1973	s/d	s/d	s/d	s/d	204	2	0.95	0.85
1974	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada	208	6	0.84	0.75
1975	194	34	0.97	0.89	217	15	0.59	0.54
1976	155	10	0.29	0.26	249	35	0.05	0.05
1977	175	26	0.74	0.68	213	11	0.70	0.63
1978	159	14	0.40	0.37	228	24	0.35	0.32
1979	150	6	0.17	0.16	203	1	0.97	0.88
1980	155	10	0.29	0.26	213	11	0.70	0.63
1981	168	21	0.60	0.55	207	4	0.89	0.80
1982	173	25	0.71	0.66	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada
1983	154	9	0.26	0.24	209	7	0.81	0.73
1984	134	1	0.03	0.03	221	19	0.49	0.44
1985	160	15	0.43	0.39	224	22	0.41	0.36
1986	158	12	0.34	0.32	260	36	0.03	0.02
1987	165	20	0.57	0.53	231	25	0.32	0.29
1988	s/d	s/d	s/d	s/d	239	30	0.19	0.17
1989	183	31	0.89	0.81	207	4	0.89	0.80
1990	139	2	0.06	0.05	244	31	0.16	0.15
1991	160	15	0.43	0.39	222	20	0.46	0.41
1992	151	7	0.20	0.18	225	23	0.38	0.34
1993	149	4	0.11	0.11	244	31	0.16	0.15
1994	176	27	0.77	0.71	245	34	0.08	0.07
1995	171	23	0.66	0.60	213	11	0.70	0.63
1996	153	8	0.23	0.21	218	16	0.57	0.51
1997	144	3	0.09	0.08	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada
1998	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada
1999	162	17	0.49	0.45	237	29	0.22	0.19
2000	172	24	0.69	0.63	205	3	0.92	0.83
2001	170	22	0.63	0.58	209	7	0.81	0.73
2002	162	17	0.49	0.45	216	14	0.62	0.56
2003	191	33	0.94	0.87	236	28	0.24	0.22
2004	163	19	0.54	0.50	233	27	0.27	0.24
2005	190	32	0.91	0.84	244	31	0.16	0.15
2006	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada	210	10	0.73	0.66
2007	179	30	0.86	0.79	222	20	0.46	0.41
2008	149	4	0.11	0.11	s/helada	s/helada	s/helada	s/helada
2009	177	28	0.80	0.74	209	7	0.81	0.73
2010	s/d	s/d	s/d	s/d	220	17	0.54	0.49
2011	178	29	0.83	0.76	232	26	0.30	0.27
2012	158	12	0.34	0.32	220	17	0.54	0.49
Promedio	164				223			
Des. St.	14.6				14.9			

Tabla II: Fechas de primera (FPH) y última helada (FUH) en día juliano (DJ), número de orden (k) y funciones de distribución empírica FA*, J* de las FPH y I*, H* de las FUH, para la estación meteorológica Catamarca AERO.

Es importante remarcar las variaciones que pueden sufrir los resultados según sea la metodología utilizada. Por ejemplo, en Catamarca, de acuerdo con esta metodología, se define como la fecha media de primera helada (FMPH) al valor correspondiente al 50 % de probabilidad de ocurrencia, que es el 11 de junio (Tabla IV) (día juliano 162). Pero, si simplemente se promedian los 34 valores observados de FPH se obtiene un valor de 164 (Tabla II) que corresponde al 13 de junio. A ambos resultados se los conoce con el mismo nombre (fecha media de primera helada, FMPH) pero indican situaciones diferentes. En el primer caso el 11 de junio representa la fecha media antes de la cual es probable que ocurran heladas habiendo considerando todos los años en donde hay datos, sean o no años con heladas (37 años). En el segundo caso, el 13 de junio representa la fecha media antes de la cual es probable que ocurran heladas "siempre y cuando éstas ocurran". Si bien en esta localidad la diferencia es de sólo dos días, en localidades más templadas, o cuando se consideran umbrales de heladas más bajos, las diferencias pueden ser muchísimo mayores. Tal es el caso de Formosa AERO donde la FMPH muestra una diferencia de 19 días, calculada con la otra metodología, debido a que en sólo 10 de los 49 años analizados se registraron primeras heladas, y en Las Lomitas la FMUH posee una diferencia de 13 días ya que hubo 18 años sin heladas en los 58 años analizados.

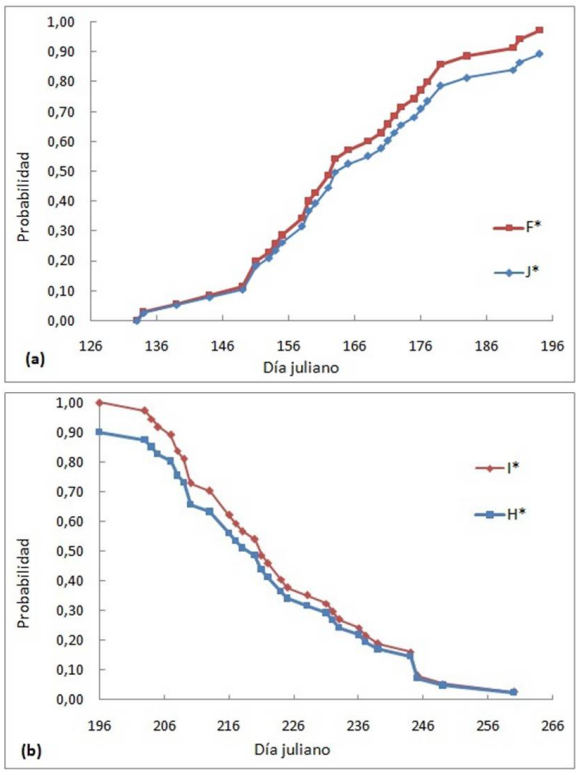

Figura 2: (a): Función de distribución empírica de FPH (FA*) y función de distribución mixta de FPH (J*) para Catamarca AERO. (b): Función de distribución empírica de FUH (I*) y función de distribución mixta de FUH (H*) para Catamarca AERO.

Para obtener las funciones de distribución teórica (Tabla III) se calculó en primer lugar el promedio de las FPH (día juliano 164) y FUH (día juliano 223) y el desvío estándar (14,6 y 14,9 respectivamente, ver Tabla II). A partir de estos valores se calcularon las funciones de distribución normal $F(x)$ (ecuación (14)) para ambas series. Para las FUH se calculó la función $G(x)$ (ecuación (2)), siendo $p_s = 0,9$. Además, se calculó $H(x)$ (ecuación 7) pudiendo observarse que en Catamarca la probabilidad de ocurrencia de heladas después del día juliano 204 (23 de julio) es de 81 %.

El cálculo de las funciones empíricas J^* y H^* permitió comprobar una vez más (Reed, 1916; Thom and Shaw, 1958; Thom, 1959; Vestal, 1971; Bravo-Tapia, 1992; Burgos, 1963; Billiet, 2012) la normalidad de las series de FPH y FUH; para ello se calcularon las diferencias con las funciones teóricas $F_A(x)$ y $H(x)$, y como se observa en la Tabla III y en la Figura 3.a y b, la máxima diferencia fue de 0,08 por lo que de acuerdo con el test de Kolmogorov-Smirnov (Wilks, 2006), no se rechaza la hipótesis nula y, por tanto la distribución de los datos es normal.

Estos resultados ponen de manifiesto las diferencias que se presentan en los resultados según se consideren o no los años en los que no

FUH							
Día Juliano	I*	H*	Fs(x)	G(x)	I(x)	H(x)	D
203	0.97	0.88	0.09	0.18	0.91	0.82	0.05
204	0.95	0.85	0.10	0.19	0.90	0.81	0.04
205	0.92	0.83	0.11	0.20	0.89	0.80	0.03
207	0.89	0.80	0.14	0.22	0.86	0.78	0.03
208	0.84	0.75	0.15	0.24	0.85	0.76	0.01
209	0.81	0.73	0.17	0.25	0.83	0.75	0.02
210	0.73	0.66	0.19	0.27	0.81	0.73	0.08
213	0.70	0.63	0.25	0.32	0.75	0.68	0.05
216	0.62	0.56	0.31	0.38	0.69	0.62	0.06
217	0.59	0.54	0.34	0.40	0.66	0.60	0.06
218	0.57	0.51	0.36	0.43	0.64	0.57	0.06
220	0.54	0.49	0.41	0.47	0.59	0.53	0.04
221	0.49	0.44	0.44	0.50	0.56	0.50	0.07
222	0.46	0.41	0.47	0.52	0.53	0.48	0.07
224	0.41	0.36	0.52	0.57	0.48	0.43	0.07
225	0.38	0.34	0.55	0.59	0.45	0.41	0.07
228	0.35	0.32	0.63	0.66	0.37	0.34	0.02
231	0.32	0.29	0.70	0.73	0.30	0.27	0.02
232	0.30	0.27	0.72	0.75	0.28	0.25	0.02
233	0.27	0.24	0.74	0.77	0.26	0.23	0.01
236	0.24	0.22	0.80	0.82	0.20	0.18	0.04
237	0.22	0.19	0.82	0.84	0.18	0.16	0.03
239	0.19	0.17	0.85	0.87	0.15	0.13	0.04
244	0.16	0.15	0.92	0.93	0.08	0.07	0.07
245	0.08	0.07	0.93	0.94	0.07	0.06	0.01
249	0.05	0.05	0.96	0.96	0.04	0.04	0.01
260	0.03	0.02	0.99	0.99	0.01	0.01	0.02

Tabla III: Funciones de distribución empíricas de las FUH: I* (probabilidad de que ocurran últimas heladas después de la fecha x en los años que hubo heladas), H* (probabilidad de que ocurran últimas heladas después de la fecha x) y teóricas: F_s(x) (probabilidad de que ocurran últimas heladas antes de x en los años en que hubo heladas), G(x) (probabilidad de que ocurran últimas heladas antesde x), I(x) (probabilidad de que ocurran últimas heladas después de x en los años en que ocurrieron heladas) y H(x) (probabilidad de que ocurran últimas heladas después de x), y diferencias (D) entre función empírica y teórica; para la estación meteorológica Catamarca AERO.

Estación	Helada meteorológicas (0 °C)					Helada agrometeorológicas (3 °C)				
	FPH	FUH	PER	Tabs	FH	FPH	FUH	PER	Tabs	FH
Aeroparque AERO	15-jul.	15-jul.	1	0.9	1	11-jun.	1-ago.	52	0.9	7
Azul AERO	20-abr.	12-oct.	176	-7.1	46	24-mar.	17-nov.	239	-7.1	92
Bahía Blanca AERO	3-may.	3-oct.	154	-6.2	31	7-abr.	7-nov.	215	-6.2	70
Balcarce INTA	1-jun.	22-sep.	114	-3.4	20	24-abr.	10-nov.	202	-3.4	66
Barrow INTA	25-abr.	27-oct.	187	-6.3	40	16-mar.	26-nov.	256	-6.3	90
Benito Juárez AERO	6-may.	26-sep.	144	-5.4	36	4-abr.	17-nov.	228	-5.4	82
Bolívar AERO	19-may.	19-sep.	124	-6.1	34	17-abr.	26-oct.	193	-6.1	71
Bordenave INTA	26-abr.	4-oct.	162	-7.2	39	27-mar.	8-nov.	227	-7.2	84
Buenos Aires OBS.	7-jul.	15-jul.	9	-0.8	2	29-may.	6-sep.	101	-0.8	16
Castelar INTA	25-may.	5-sep.	104	-3.8	14	27-abr.	5-oct.	163	-3.8	39
Coronel Pringles AERO	16-abr.	27-oct.	195	-7.8	51	26-mar.	24-nov.	244	-7.8	101
Coronel Suárez AERO	25-abr.	10-oct.	169	-7.1	49	29-mar.	14-nov.	231	-7.1	99
Dolores	9-may.	26-sep.	141	-4.5	25	7-abr.	9-nov.	217	-4.5	63
El Palomar AERO	25-may.	5-sep.	104	-4.1	15	29-abr.	8-oct.	163	-4.1	41
Ezeiza AERO	29-may.	8-sep.	104	-3.9	16	29-abr.	5-oct.	160	-3.9	44
General Villegas INTA	2-may.	18-sep.	140	-7.5	42	6-abr.	26-oct.	204	-7.5	82
Hilario Ascasubi INTA	1-may.	2-oct.	155	-6.8	41	3-abr.	11-nov.	223	-6.8	85
Junín AERO	17-may.	13-sep.	120	-5.4	24	23-abr.	5-oct.	166	-5.4	55
La Plata AERO	5-jun.	2-sep.	90	-3	12	4-may.	11-oct.	161	-3	41
Laprida	3-may.	4-oct.	155	-5.9	40	3-abr.	14-nov.	226	-5.9	92
Las Flores AERO	12-may.	22-sep.	133	-5.1	29	12-abr.	3-nov.	206	-5.1	65
Mar del Plata AERO	16-may.	13-oct.	151	-4.4	26	13-abr.	16-nov.	219	-4.4	67
Nueve de Julio	23-may.	4-sep.	106	-4.2	19	29-abr.	1-oct.	157	-4.2	50
Olavarría AERO	30-abr.	5-oct.	159	-6.1	44	7-abr.	15-nov.	223	-6.1	85
Pehuajó AERO	14-may.	18-sep.	128	-5.5	27	16-abr.	16-oct.	184	-5.5	62
Pergamino INTA	20-may.	13-sep.	117	-4.7	22	21-abr.	6-oct.	169	-4.7	54
Pigüé AERO	19-abr.	26-oct.	191	-6.8	48	24-mar.	22-nov.	244	-6.8	94
Punta Indio B. A.	11-jun.	11-ago.	62	-2.5	7	17-may.	25-sep.	132	-2.5	32
San Miguel	4-jun.	24-ago.	82	-3.2	12	4-may.	29-sep.	149	-3.2	36
San Pedro INTA	4-jun.	1-sep.	90	-3.2	10	5-may.	20-sep.	139	-3.2	35
Santa Teresita AERO	24-may.	12-sep.	112	-2.9	14	2-may.	24-oct.	176	-2.9	43
Tandil AERO	4-may.	8-oct.	158	-6	40	30-mar.	16-nov.	232	-6	88
Trenque Lauquen	24-may.	2-sep.	102	-4.6	21	25-abr.	27-sep.	156	-4.6	52
Catamarca AERO	11-jun.	7-ago.	57	-3.7	10	29-may.	1-sep.	96	-3.7	29
Tinogasta	16-may.	7-sep.	116	-6.8	52	30-abr.	29-sep.	153	-6.8	94
Colonia Benítez INTA	27-jun.	25-jul.	29	-1.8	3	2-jun.	3-sep.	94	-1.8	14
Las Breñas INTA	18-jun.	3-ago.	47	-3.3	5	30-may.	3-sep.	98	-3.3	16
Pcia. Roque Sáenz Peña INTA	24-jun.	8-ago.	46	-3.1	6	22-may.	5-sep.	107	-3.1	19
Resistencia AERO	3-jul.	31-jul.	29	-1.9	4	4-jun.	4-sep.	93	-1.9	15
Comodoro Rivadavia AERO	19-may.	14-sep.	119	-4.6	23	12-abr.	26-oct.	198	-4.6	67
Esquel AERO	4-mar.	22-nov.	264	-14.6	117	14-ene.	22-dic.	344	-14.6	195
Paso de Indios	19-mar.	27-oct.	223	-13.5	87	9-feb.	6-dic.	302	-13.5	151
Trelew AERO	22-abr.	7-oct.	169	-7.8	50	31-mar.	4-nov.	219	-7.8	101

Tabla IV: Valores correspondientes al 50 % de probabilidad de fecha de primera helada (FPH), fecha de última helada (FUH), período con heladas (PER), temperatura mínima absoluta (Tabs), frecuencia de heladas (FH) para heladas meteorológicas y agrometeorológicas.

Estación	Helada meteorológicas (0 °C)					Helada agrometeorológicas (3 °C)				
	FPH	FUH	PER	Tabs	FH	FPH	FUH	PER	Tabs	FH
Córdoba AERO	1-jun.	27-ago.	89	-4.8	15	3-may.	21-sep.	142	-4.8	41
Laboulaye AERO	17-may.	11-sep.	118	-6.2	28	21-abr.	7-oct.	170	-6.2	62
Manfredi INTA	12-may.	19-sep.	131	-7.6	38	18-abr.	11-oct.	177	-7.6	68
Marcos Juárez AERO	22-may.	12-sep.	114	-6.2	23	26-abr.	6-oct.	164	-6.2	52
Pilar OBS	31-may.	2-sep.	95	-4.8	16	4-may.	19-sep.	140	-4.8	40
Río Cuarto AERO	2-jun.	28-ago.	88	-4.2	13	1-may.	21-sep.	144	-4.2	41
Villa Dolores AERO	31-may.	31-ago.	92	-5	11	3-may.	24-sep.	145	-5	33
Villa María del Río Seco	19-may.	11-sep.	116	-7	26	20-abr.	8-oct.	173	-7	52
Bella Vista INTA	15-jul.	15-jul.	1	1.2	0	22-jun.	24-jul.	33	1.1	6
Corrientes AERO	15-jul.	15-jul.	1	0.2	1	21-jun.	17-ago.	59	0.2	8
Curuzú Cuatiá AERO	9-jun.	3-ago.	55	-2.6	7	21-may.	17-sep.	120	-2.6	24
Mercedes INTA (Corrientes)	26-jun.	23-jul.	28	-1.6	6	30-may.	7-sep.	101	-1.6	20
Monte Caseros AERO	13-jul.	15-jul.	3	-0.8	2	4-jun.	23-ago.	80	-0.8	12
Paso de los Libres AERO	3-jul.	15-jul.	12	-1	2	4-jun.	21-ago.	79	-1	13
Concepción del Uruguay INTA	10-jun.	10-ago.	62	-2.6	9	17-may.	20-sep.	128	-2.6	31
Concordia INTA	7-jun.	23-ago.	78	-2.7	9	19-may.	19-sep.	124	-2.8	28
Gualeguaychú AERO	7-jun.	26-ago.	82	-3.5	11	8-may.	23-sep.	139	-3.5	34
Paraná INTA	28-jun.	28-jul.	31	-1.6	4	30-may.	9-sep.	103	-1.6	18
Villaguay AERO	21-may.	11-sep.	114	-4.6	17	30-abr.	6-oct.	160	-4.6	39
El Colorado INTA	10-jul.	22-jul.	13	-1.1	3	7-jun.	19-ago.	73	-1.1	10
Formosa AERO	15-jul.	15-jul.	1	0.6	1	29-jun.	5-ago.	37	0.6	5
Las Lomitas	25-jun.	28-jul.	34	-2.7	5	31-may.	28-ago.	90	-2.7	13
Jujuy AERO	26-jun.	5-ago.	42	-3	6	31-may.	5-sep.	99	-3	20
Jujuy U N	19-jun.	13-ago.	56	-3.4	9	19-may.	12-sep.	117	-3.4	32
La Quiaca Obs	12-abr.	26-oct.	198	-12.4	150	25-feb.	3-dic.	283	-12.4	193
Anguil INTA	25-abr.	6-oct.	165	-8.9	52	27-mar.	4-nov.	223	-8.9	97
General Pico AERO	5-may.	15-sep.	134	-7.1	30	18-abr.	15-oct.	181	-7.1	64
Santa Rosa AERO	29-abr.	24-sep.	149	-7.7	37	5-abr.	26-oct.	205	-7.7	78
Chamical AERO	18-jun.	8-ago.	51	-3.6	7	18-may.	3-sep.	109	-3.6	24
Chepes	9-jun.	16-ago.	69	-3.8	10	24-may.	4-sep.	104	-3.8	32
Chilecito AERO	29-may.	29-ago.	93	-5	23	5-may.	20-sep.	140	-5	59
La Rioja AERO	10-jun.	9-ago.	61	-3.1	10	27-may.	2-sep.	99	-3.1	31
La Consulta INTA	2-may.	1-oct.	153	-7.3	65	9-abr.	5-nov.	212	-7.3	116
Malargüe AERO	8-abr.	29-oct.	205	-12	97	15-mar.	22-nov.	254	-12	155
Mendoza AERO	31-may.	27-ago.	89	-4.6	25	4-may.	17-sep.	137	-4.6	63
San Martín (Mendoza)	15-may.	9-sep.	118	-5.3	27	27-abr.	2-oct.	159	-5.3	68
San Rafael AERO	11-may.	16-sep.	129	-6.2	36	15-abr.	22-oct.	191	-6.2	85
Uspallata	7-abr.	4-nov.	212	-12.1	120	3-mar.	27-nov.	270	-12.1	173
Bernardo de Irigoyen AERO	15-jul.	23-jul.	9	-1.2	2	8-jun.	2-sep.	87	-1.2	8
Cerro Azul INTA	15-jul.	15-jul.	1	0	1	11-jun.	7-ago.	58	0	6
Iguazú AERO	12-jul.	15-jul.	3	-0.9	2	6-jun.	21-ago.	76	-0.9	8
Oberá AERO	15-jul.	15-jul.	1	-0.2	2	9-jun.	24-ago.	77	-0.2	10
Posadas AERO	15-jul.	15-jul.	1	0.6	1	13-jun.	29-jul.	47	0.6	5

Tabla IV (continuación): Valores correspondientes al 50 % de probabilidad de fecha de primera helada (FPH), fecha de última helada (FUH), período con heladas (PER), temperatura mínima absoluta (Tabs), frecuencia de heladas (FH) para heladas meteorológicas y agrometeorológicas.

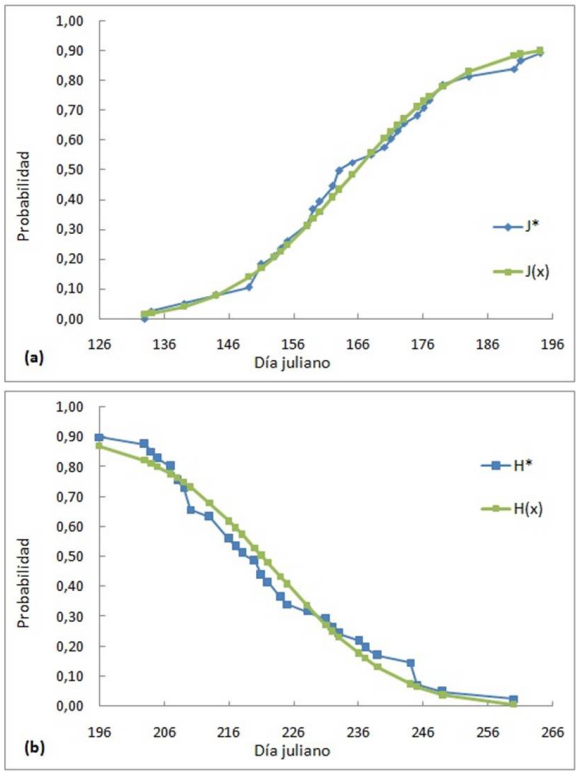

Figura 3: (a): Función de distribución empírica (J*) y teórica (J(x)) de FPH para Catamarca AERO. (b): Función de distribución empírica (H*) y teórica (H(x)) de FUH para Catamarca AERO.

se presentan heladas (Figura 3 a y b), que en este caso fue del 10 % aproximadamente, pero en aquellas localidades donde la cantidad de años sin heladas es mayor como lo discutido para Formosa y Las Lomitas, las diferencias son muy importantes generando resultados muy diversos que, si no se los sabe interpretar pueden llevar a conclusiones erróneas.

En la Tabla IV se presentan los resultados de FPH, FUH, PER, Tabs y FH de las heladas meteorológicas y agrometeorológicas con una probabilidad de ocurrencia del 50 % para todas las localidades estudiadas, lo que normalmente se conoce con el nombre de fecha media de primera helada (FMPH), fecha media de última helada (FMUH), período medio con heladas (PERM), temperatura mínima anual media (TabsM) y frecuencia media de heladas (FMH). Es importante remarcar que en aquellas localidades donde no todos los años se presentan heladas, los valores de FMPH y FMUH pueden diferir mucho si esta condición no es tenida en cuenta. Además, es muy importante diferenciar los años en que no hubo registro (datos faltantes) de los que, aun habiéndose registrado la temperatura mínima, no se produjeron heladas.

Por ejemplo en Las Lomitas, provincia de Formosa, se muestran las funciones mixtas teóricas de distribución acumulada de las series de FPH y FUH (Figura 4). Se observa que existe un menor número de años con últimas heladas, que se traduce en una probabilidad acumulada total inferior al de las primeras. Esto se debe a que de los 57 años estudiados, hubo un año que se descartó por datos faltantes, quedando 56 años para el análisis, de los cuales en 12 no se registraron primeras heladas y en 18 no se produjeron últimas heladas, siendo $p_A^* = 0,79$ y $p_S^* = 0,68$. En otras regiones como Laboulaye (Figura no mostrada), las curvas de frecuencia acumulada de FPH y FUH llegan hasta uno, indicando que en todos los años analizados se registraron tanto primeras como últimas heladas.

En la Tabla V se presentan los resultados de la información agroclimática de las heladas meteorológicas de la estación de La Quiaca (provincia de Jujuy) tal cual se muestran en "El Portal de Heladas de la Argentina" que aparece en la web (`http://www.agro.uba.ar/heladas/`). En la primera fila, además del nombre de la estación, se muestra el período de años analizado. Luego, se detallan los valores medios de las FPH, FUH, PER, Tabs y FH. En este caso, las heladas comienzan en promedio el 12 de abril y terminan el 26 de octubre, generando un período medio con heladas de 198 días. El promedio de las temperaturas más bajas registradas en cada uno de los 57 años fue de -12,4 °C, y el número de heladas promedio por año es de 150 casos, lo que indica que en casi la mitad de los días del año la temperatura está por debajo de 0 °C. En la fila siguiente se presentan los desvíos de cada una de las variables analizadas, poniendo de manifiesto,

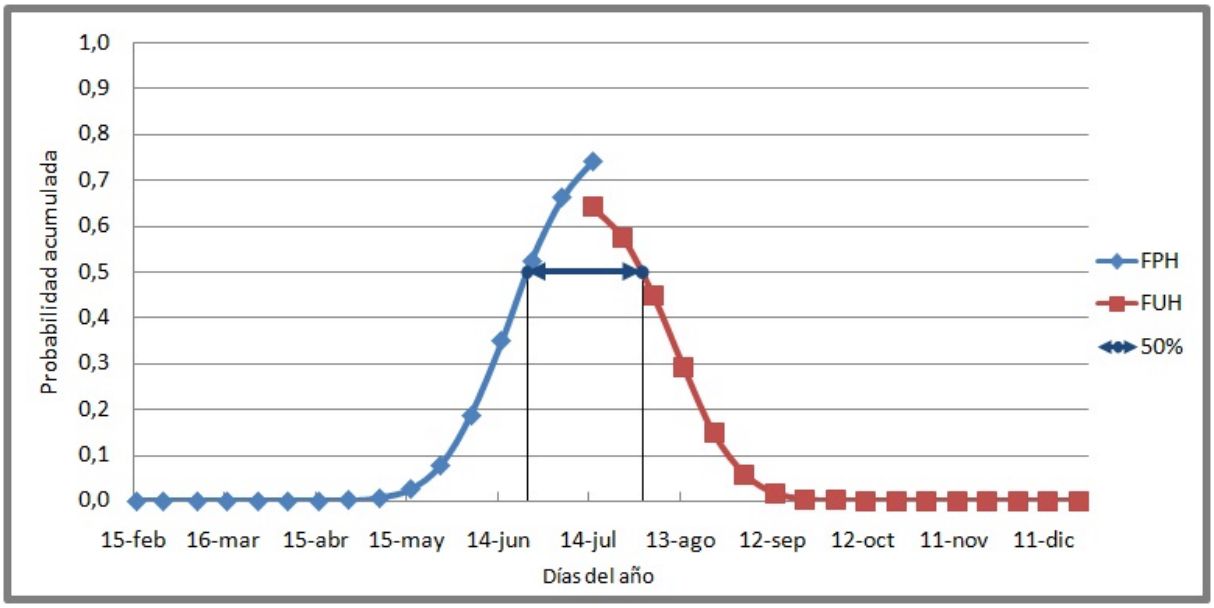

Figura 4: Función teórica de probabilidad acumulada de FPH (línea azul) y FUH (línea roja) en Las Lomitas. La línea con las flechas indica el período con heladas que tiene una probabilidad de ocurrencia del 20 %.

La Quiaca Obs		Período analizado: 1956 2012				
		FPH	FUH	PER	Tabs	FH
Valores medios		**12-abr**	**26-oct**	**198**	**-12.4**	**150**
Desvío estándar		15	14	21	1.3	12
Valores con probabilidad (%):	**20**	**28-mar**	**6-nov**	**224**	**-13.5**	**160**
Extremos		9-feb.	18-nov.	275	-15.2	178
Año de ocurrencia		1976	1970	1976	1981	1971
Nro. de años utilizados		57	57	57	57	57
Nro. de años sin heladas		0	0	0	0	0

Tabla V: Información agroclimática de las heladas meteorológicas en La Quiaca (provincia de Jujuy).

en este caso, que las FPH poseen un desvío algo mayor (15 días) que las FUH (14 días).

Además, se presentan los valores correspondientes a la probabilidad del 20 % de cada una de las cinco variables, por ser éste un valor de riesgo comúnmente utilizado. Por lo tanto, si bien la fecha media de primera helada, en esta región, corresponde al 12 de abril, si un productor asume un riesgo del 20 %, debería considerar que las heladas comenzarían el 28 de marzo. De la misma manera, la fecha de última helada con una probabilidad de ocurrencia del 20 %, corresponde al 6 de noviembre, indicando que uno de cada cinco años es esperable que ocurrieran heladas a partir de ese momento.

También se informan los valores extremos de cada una de las variables, indicando en cada caso el año de ocurrencia. En La Quiaca, de los 57 años analizados, la fecha de helada más temprana de la que se tiene registro corresponde al 9 de febrero

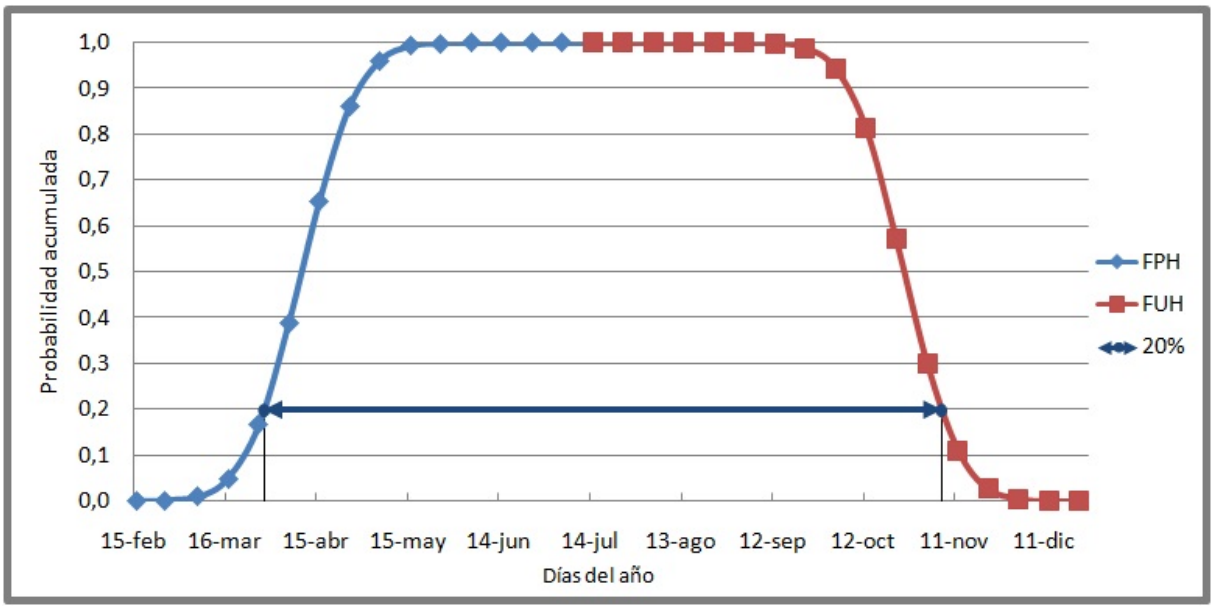

Figura 5: Funciones teóricas de probabilidad acumulada de FPH (línea azul) y FUH (línea roja) para La Quiaca (provincia de Jujuy). La línea con las flechas indica el período con heladas que tiene una probabilidad de ocurrencia del 20 %.

de 1976, mientras que la fecha de helada más tardía se registró el 18 de noviembre de 1970. El período con heladas más extenso fue de 275 días y ocurrió durante el año 1976. La temperatura mínima más baja en esta estación fue de -15,2 °C, registrada en el año 1981, y el año con más heladas fue en 1971 con 178 días.

En las últimas filas de los cuadros se muestra el número de años utilizados para el cálculo de cada una de las variables. Estos valores pueden diferir unos de otros, debido a que la cantidad de datos faltantes antes del 15 de julio es distinta a la cantidad después de esa fecha. Así mismo, para poder realizar el cálculo del PER en un año determinado, los años considerados en ambas variables (FPH y FUH) deben coincidir, de manera que este valor es siempre menor o igual que los anteriores.

En la Figura 5 se pueden ver las funciones teóricas de probabilidad acumulada de FPH, FUH y el período con heladas, delimitado por la línea con flechas, probable de ocurrir en uno de cada cinco años (20 % de probabilidad), permitiendo apreciar a simple vista la mayor o menor peligrosidad de las heladas en las distintas estaciones meteorológicas presentadas. En La Quiaca el período con heladas es muy extenso (224 días).

Algunas de las estaciones meteorológicas poseen un récord inferior al período 1950-2012, como en Rivadavia (provincia de Salta) cuya información llega hasta el año 1990 (Tabla I), correspondiendo los 36 años al siglo pasado. Es importante remarcar que probablemente en los últimos años estos datos se hayan modificado como ocurrió en otras localidades de la Argentina (Fernández Long y otros, 2005, Fernández Long y otros; 2012).

Además, para cada estación meteorológica, se presenta el gráfico de la evolución temporal del período con heladas (Figuras 6 y 7) donde puede verse el período con helada en cada uno de los años analizados. En estos gráficos se adicionó una línea correspondiente al 1 de mayo y 1 de octubre como referencia visual. Por ejemplo, se observa que en Laboulaye (Figura 6) las últimas heladas ocurren casi siempre antes del 1 de octubre (a excepción de los años 1957, 1965, 1972

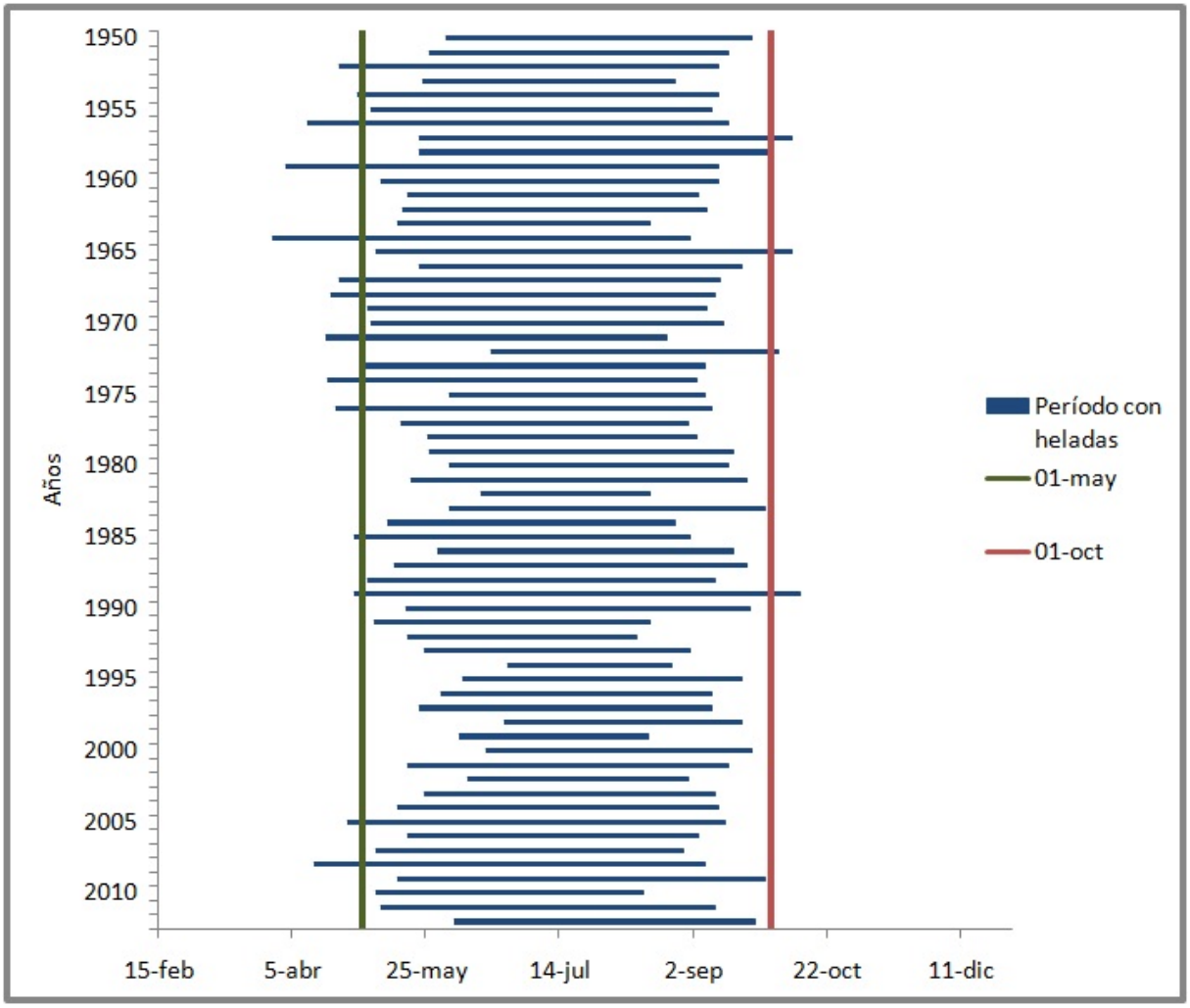

Figura 6: Evolución temporal del período con heladas (barras) en Laboulaye. Se grafican dos líneas (1 de mayo y 1 de octubre) como referencia visual.

y 1989); mientras que las primeras heladas son más riesgosas habiéndose registrado varios años antes del 1 de mayo. También puede observarse que en la década del 80 y 90 el período con heladas fue mucho menor, volviendo a registrarse heladas muy tempranas en los últimos años.

Para los casos en que no se realizó la observación meteorológica (datos faltantes), ese año figura en blanco, sin barra alguna. En los casos en que, habiéndose realizado la observación, no se registraron heladas, se grafica sólo un punto. La Figura 7 muestra la evolución temporal del período con heladas en Las Lomitas, donde se ve claramente que en los primeros años (1950-1955) no se realizaron observaciones, así como durante el año 1958, mientras que en los años 1982, 2002, 2006 y 2010, habiéndose realizado observaciones, no se registraron heladas. La frecuencia de años sin heladas aumentó considerablemente hacia el final del período. Desde 1956 hasta el 2001 se registró un solo año sin heladas (1982), mientras que desde el 2002 al 2012 hubo 3 casos, mostrando una disminución del riesgo por esta adversidad en esta región.

Dado que uno de los objetivos de este trabajo es obtener información agroclimática útil para diferentes usuarios, los cálculos fueron realizados también para las heladas agrometeorológicas (temperaturas inferiores o iguales a 3 °C medidos

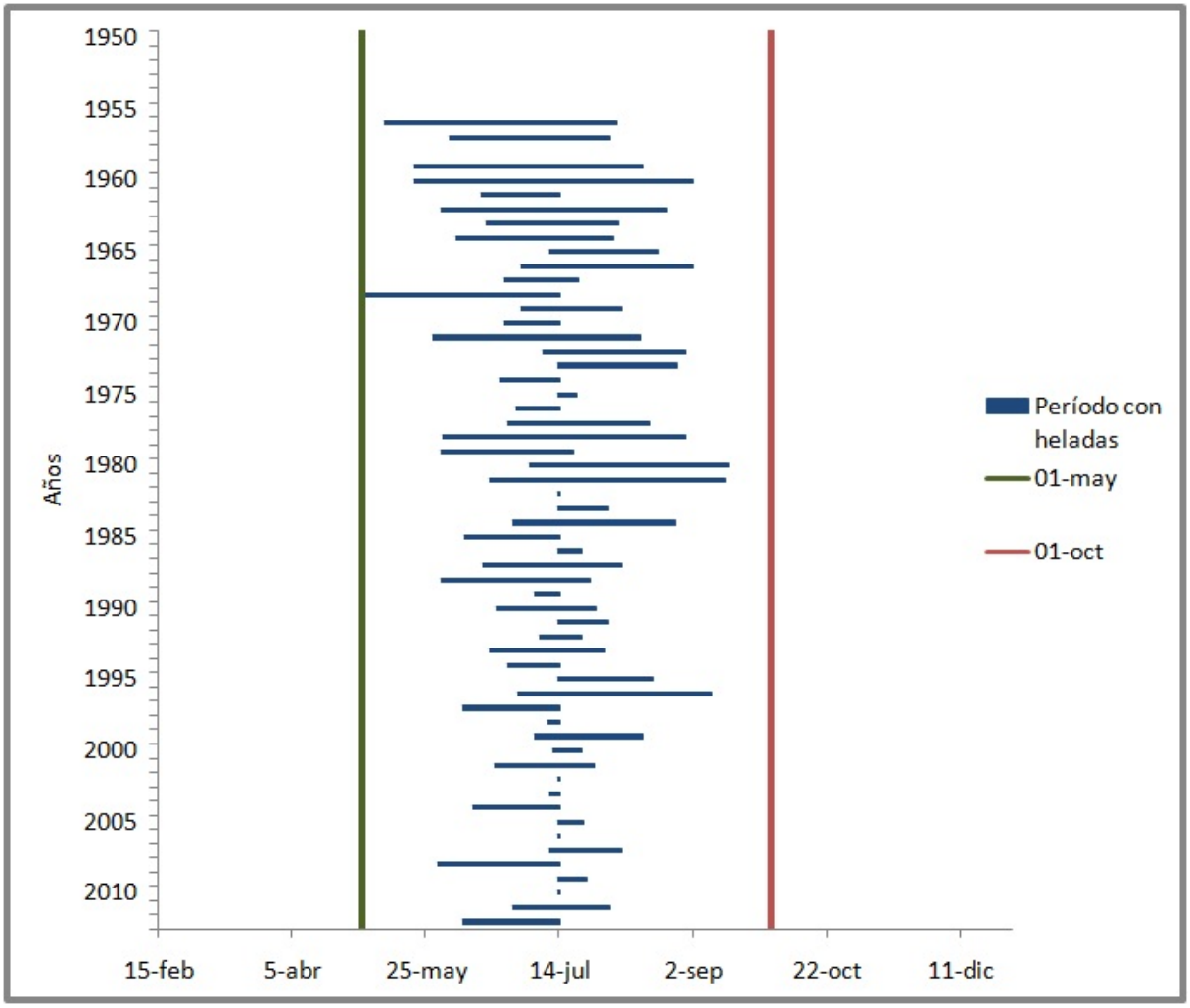

Figura 7: Evolución temporal del período con heladas (barras) en Las Lomitas. Se grafican dos líneas (1 de mayo y 1 de octubre) como referencia visual.

en el abrigo meteorológico). A modo de ejemplo se muestran los resultados para Sauce Viejo (Tabla VI y Figuras 8), donde se observa que la FPH "agrometeorológica" (15 de mayo) se registra 24 días antes de la FPH "meteorológica", mientras que la FUH "agrometeorológica" (14 de septiembre) se produce 20 días después que la FUH "meteorológica" (25 de agosto) (valores resaltados en negrita en la Tabla IV). En el marco de este nuevo análisis, se registran primeras heladas todos los años, y solamente un año no presenta heladas tardías.

En la Figura 9.a y 9.b se presenta la evolución temporal del período con heladas "meteorológicas" y "agrometeorológicas" en Sauce Viejo, poniendo de manifiesto la gran diferencia que existe entre ambas. Mientras que en el análisis de las heladas agrometeorológicas no hubo años sin heladas, y el PER fue de 123 días (Figura 9.b), en las meteorológicas se registraron dos años sin heladas y un PER de 78 días (Figura 9.a). Hubo además, dos años en los cuales la cantidad de datos faltantes hizo que no se pudiera calcular esta variable.

Por último, se presentan los resultados de PER en mapas (Figuras 10.a y 10.b) que permiten analizar regionalmente los resultados. Debido a la gran variabilidad espacial que presentan estas variables en altura y a la poca información que

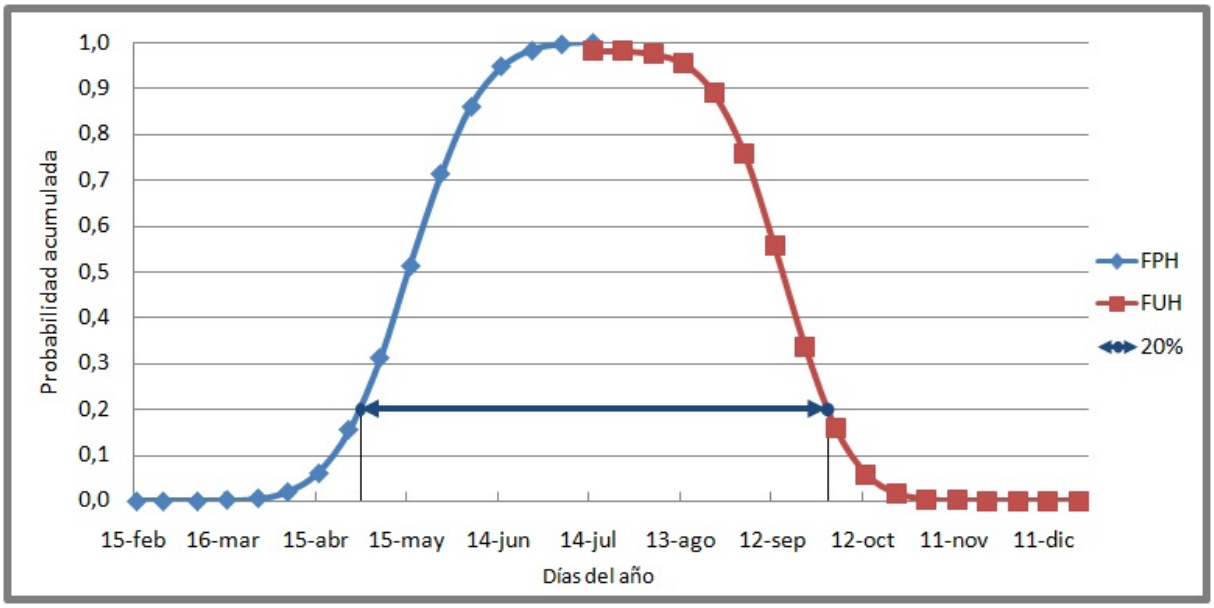

Figura 8: Función teórica de probabilidad acumulada de FPH (línea azul) y FUH (línea roja) "agrometeorológica" en Sauce Viejo. La línea con las flechas indica el período con heladas que tiene una probabilidad de ocurrencia del 20 %.

Sauce Viejo		Período analizado: 1956 2012				
		FPH	FUH	PER	Tabs	FH
Valores medios		**15-may**	**14-sep**	**123**	**-3.4**	**26**
Desvío estándar		19	17	28	1.7	10
Valores con probabilidad (%):	**20**	**29-abr**	**30-sep**	**155**	**-4.9**	**34**
Extremos		5-abr.	27-oct.	175	-7.0	48
Año de ocurrencia		1968	1966	2008	1967	1964
Nro. de años utilizados		53	55	53	53	53
Nro. de años sin heladas		0	1	0	2	0

Tabla VI: Información agroclimática de las heladas "agrometeorológicas" en Sauce Viejo.

se tiene, se decidió colocar una máscara en las áreas con altitudes mayores a los 1000 metros (área sombreada en marrón). Lo primero que se pone de manifiesto en el análisis de los mapas es la marcada influencia de la latitud en las isolíneas, pasando de cero días con helada al norte de la Argentina, a 300 días con heladas en Río Grande (Tierra del Fuego). La latitud condiciona la intensidad de la radiación solar recibida y el tiempo durante el cual se recibe, siendo éste uno de los principales factores que determinan el clima de una región (Murphy y Hurtado, 2013). Además, se observa el efecto moderador del océano modificando la disposición de las isolíneas al acercarse a la costa, siendo en la Patagonia directamente dirección norte-sur. En las cercanías del río Paraná y Uruguay se observa la alteración en la trayectoria de las isolíneas provocada también por la influencia moderadora del agua. Es de esperar que esto suceda del mismo modo en otras regiones cercanas a grandes espejos de agua, como la laguna de Mar Chiquita, que por falta de información no se reflejan en los mapas. Se observa también, una cuña de

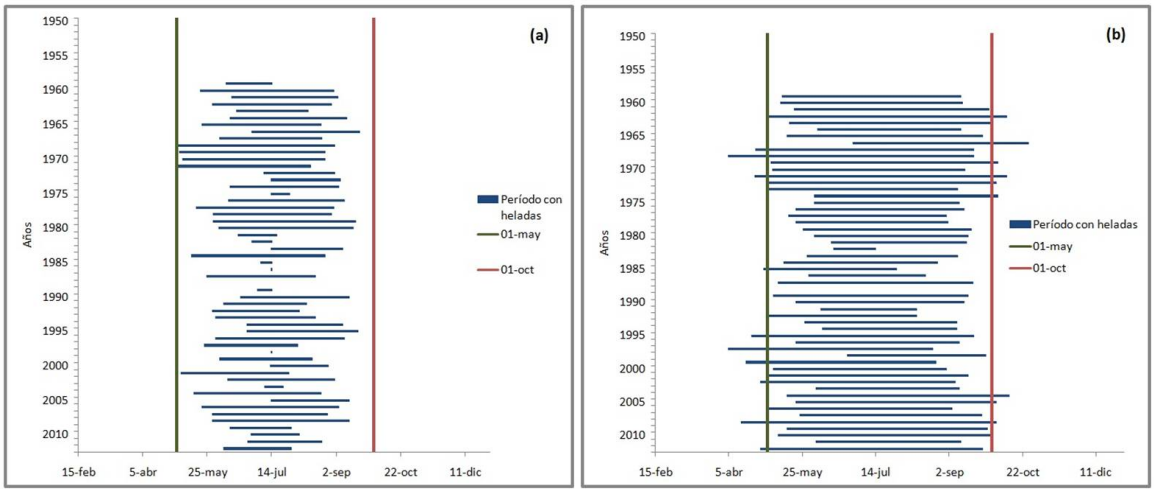

Figura 9: Evolución temporal del período con heladas (barras) "meteorológicas" (a) y "agrometeorológicas" (b) en Sauce Viejo. Se grafican dos líneas (1 de mayo y 1 de octubre) como referencia visual.

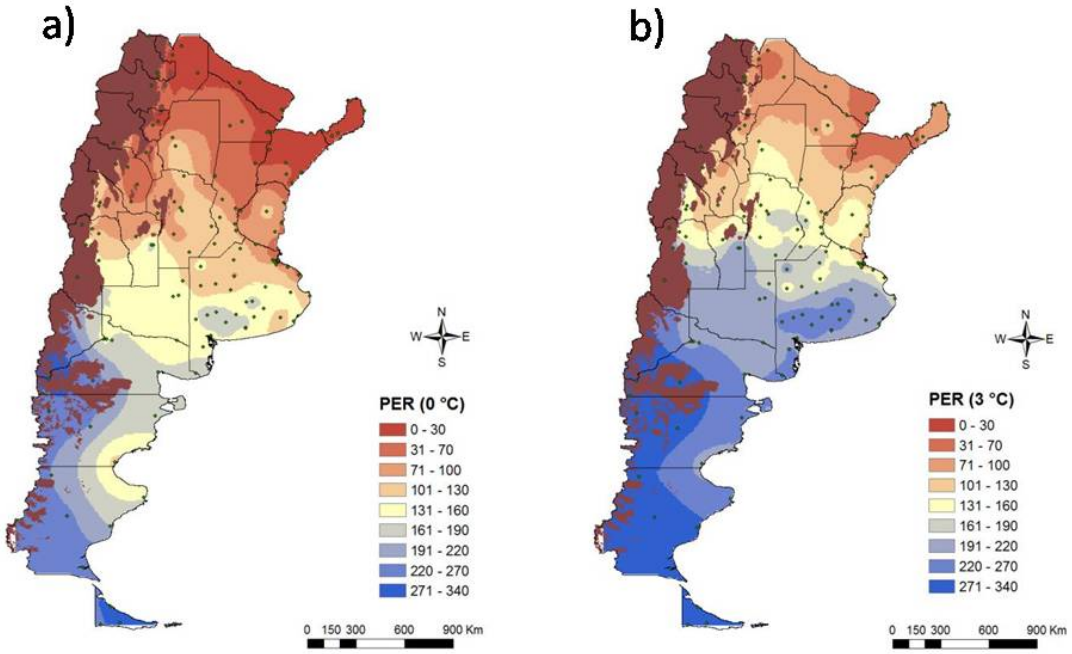

Figura 10: Período medio con heladas meteorológicas (PER 0 °C) (a) y agrometeorológicas (PER 3 °C) (b).

penetración del período con heladas en la parte centro-norte del territorio, la cual es más evidente en el mapa 10 (a), de manera similar a lo mostrado por Pascale y Damario (2004) en las cartas por ellos analizadas. Esto podría estar explicado por el modelo de circulación asociado a heladas generalizadas que muestra un anticiclón post-frontal ingresando por el sudoeste de la Patagonia alrededor de los 50ºS, fuertemente influenciado por el obstáculo que representa la cordillera de los Andes, especialmente al norte de los 40ºS en donde su altura es mayor, provocando una distorsión de los sistemas meteorológicos. Este anticiclón está asociado a un fuerte flujo de aire polar del sector sudoeste, dando lugar a heladas debido a la advección de aire frío y seco (Müller, 2005).

Al comparar los mapas 10 (a) y 10 (b) se observa que, como era de esperar, las isolíneas presentan un comportamiento similar pero con valores diferentes, abarcando áreas más extensas de períodos con heladas mayores en el caso de las agrometeorológicas (10.b). Este mapa confirma que en el territorio argentino no existen áreas suficientemente extensas, en las cuales el período medio libre de heladas permita la explotación de especies agrícolas intolerantes a los 3 ºC en abrigo, lo que equivale a pensar en 0ºC a nivel del suelo en algún momento de su ciclo evolutivo. Pascale y Damario (2004) indicaron que la elección de ese umbral reconoce un marcado sentido biometeorológico. Así, los 3ºC se consideran como un indicador de "helada probable" a nivel del suelo, sobre la base de que los enfriamientos nocturnos por irradiación ocurren acompañados de inversión térmica. La diferencia entre los registros del termómetro de mínima de casilla y a 5 cm sobre el suelo es de 3ºC en promedio (Veliz et al., 2012; Pascale y Damario, 2004). Cultivos de bajo porte y muy sensibles como son algunas hortícolas termófilas, o cultivos de grano en su etapa de brotación podrían sufrir daños.

Resulta difícil cotejar estos mapas con cartas similares publicadas anteriormente debido a que todas han sido realizadas con distintas metodologías y, además, con distintos número de estaciones y diferentes períodos de datos. Las publicadas por Burgos (1963) y desarrolladas por Hirshhorn corresponden a 260 estaciones con registro meteorológicos desde principio de siglo hasta fines de la década del 40. La mayor cantidad de estaciones analizadas en estas cartas permite identificar particularidades que en este trabajo no pueden apreciarse, como la disminución del PER en el valle del Río Negro donde se contaba con 19 estaciones para la provincia de Río Negro, mientras que en este trabajo se contó con 8 estaciones y sólo 2 ubicadas en el valle. En los trabajos de Damario y Pascale (Damario et al., 1996; Pascale y Damario, 2004) si bien se menciona que se realizaron estos mapas, los mismos no fueron publicados, presentando los mapas de FPH y FUH solamente.

Toda esta información resulta de gran utilidad para los productores agropecuarios a la hora de elegir las variedades de los cultivos y/o la fecha de siembra de los mismos, así como para alumnos e investigadores interesados en la climatología de las heladas en la Argentina. Los cultivos de grano de producción extensiva maximizan su rendimiento en función del aprovechamiento que hacen de la estación de crecimiento disponible (definida en base a la época de ocurrencia de las heladas y a la diferente sensibilidad a las mismas que presenta cada una de las especies (Otegui y Lopez Pereira, 2010)), según la mejor combinación de ciclo y condiciones ambientales. En este contexto, la información generada en este trabajo permite la elección de las fechas con un criterio probabilístico. Se puede así, calcular la fecha de siembra buscando disminuir el riesgo de ocurrencia de heladas en etapas definidas como críticas para cada cultivo.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentaron y analizaron diferentes abordajes en el cálculo de las fechas medias de primeras y últimas heladas. Además, se generó una base de datos con información agroclimática de heladas para dos umbrales (0ºC y 3ºC) en 124 estaciones meteorológicas

distribuidas en todo el territorio de la República Argentina que se puso disponible en un sitio web (`http://www.agro.uba.ar/heladas/`). Asimismo, se presentan las fechas que poseen un 20 % de probabilidad de ocurrencia de heladas, por ser este un nivel de riesgo aceptable en una producción agropecuaria rentable de cultivos anuales.

El análisis de las metodologías pone de manifiesto importantes diferencias de los resultados, principalmente cuando se realiza en localidades ubicadas en climas más cálidos en los que no todos los años se presentan heladas. En estos casos es fundamental aclarar la metodología utilizada para que el análisis de los resultados no lleve a decisiones incorrectas. Es de suma importancia recordar que las fechas de primera y últimas heladas suelen condicionar los calendarios agrícolas y determinar en muchos caso la elección en las fechas de siembra de muchos de los cultivos de grano que se realizan en nuestro país. Es por esto que la probabilidad de ocurrencia de las primeras y últimas heladas debe ser calculada para toda la serie de años y no sólo para los años en que ocurrió el evento.

Por último, el análisis espacial de los resultados pone de manifiesto la gran influencia de los principales factores determinantes del clima en la distribución espacial de las isolíneas, generando una gran variabilidad en los resultados, con períodos de heladas meteorológicas que van desde los 300 días en Tierra del Fuego a cero días en el norte de la Argentina. Tampoco hay áreas suficientemente extensas en las cuales el período medio libre de heladas agrometeorológicas permita la explotación, sin riesgos, de especies que no resisten los 3 ^{o}C en abrigo.

Agradecimientos: Este trabajo ha sido financiado a través del proyecto CRN-3035 del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI). El programa CRN está financiado por la Fundación Nacional de Ciencias (NSF) de los Estados Unidos de Norteamérica (Grant GEO-1128040).

REFERENCIAS

Barsky, A.; Podestá G. y Ruiz ToranzoF. 2008. Percepción de variabilidad climática, uso de información y estrategias de los agentes frente al riesgo. Análisis de esquemas decisionales en agricultores de la región pampeana argentina. Mundo Agrario,8 (2008). Disponible online en: `http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84581603`

Bert, F. E.;Satorre E. H.;Toranzo F. R., and Podesta G. P. 2006. Climatic information and decision-making in maize crop production systems of the Argentinean Pampas. AgriculturalSystems 88 (2006) 180–204.

Billiet, D. 2012. Caracterización agroclimática de las heladas en cuatro estaciones meteorológicas de la región pampeana. Tesis de grado para optar por el título de Ing. Agrónomo de la UBA. Director: Fernández Long, M. E. 18 de junio del 2012. 86 pag.

Bravo-Tapia, J. M. 1992. Modelos matemáticos para pronóstico de temperaturas ambientales. Tesis de Licenciatura en Matemática, Universidad De Sonora, 93 pp.

Burgos, J. J. 1963. Las heladas en la Argentina. Colección Científica del INTA, Buenos Aires, Vol. III, 338 pág. Costa, C. y A. Abregu. 2002. Diez años de heladas agronómicas en Las Breñas (Prov. De Chaco) Argentina. Actas, IX Reunión Argentina de Agrometeorología. Vaquerías, Córdoba, 1820 septiembre de 2002.

Damario, E. A. y A. J. Pascale. 1984. Fechas medias de primeras y últimas temperaturas mínimas perjudiciales para los cultivos en Argentina. Rev. Fac. de Agronomía , 5(3): 193-211.

Damario, E. A. y A. J. Pascale. 1993/1994. Método de estimación de las fechas medias de primeras y últimas heladas. Revista Facultad de Agronomía, 14(3): 257-264,1993/94.

Damario, E. A. Y A. J. Pascale, S. Perez S. Maio Y R. O. Rodríguez. 1996. Cartas climáticas 1961-1990 de primeras y últimas heladas en la Argentina. Rev. Fac. de Agronomía , 16(3): 253263, 1996.

FAO, 1974. Cumbre mundial sobre la alimentación. 5 al 16 de noviembre de 1974 en Roma, Italia.

Fernandez Long, M. E., I. Barnatan y G. M. Murphy. 2001. Las heladas en la ciudad de Buenos Aires y en el conurbano bonaerense. Rev. Arg. de Agrometeorología, 1 (2): 101-106, 2001.

Fernandez Long, M. E., I. Barnatan y Y. GarciaSkabar. 2004. Horas con helada y su peligrosidad en seis localidades de la Argentina. Rev. Fac. de Agronomía, 24 (3): 217-225, 2004.

Fernández Long, M. E., I. Barnatán, L. Spescha, R. Hurtado y G. M. Murphy. 2005. Caracterización de las heladas en la Región Pampeana y su variabilidad en los últimos 10 años. Rev. Facultad de Agronomía, 25(3): 247-257, 2005.

Fernandez Long María E., Gabriela V. Müller, Adriana Beltran-Przekurat, Olga Eugenia Scarpati. 2012. Long- and short- term changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. Int. J. Climatol. (2012) Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/joc.3541.

Fernández Long, M. E. y I.Barnatán. 2013. Adversidades Climáticas: Heladas. En: Agrometeorología. Murphy y Hurtado (Eds). Editorial Facultad de Agronomía. pp 315-341. ISBN 978-950-29-1324-7. (Capítulo de Libro).

Garreaud, R.D.; Vuille M.; Compagnucci R. and Marengo, J. 2009. Present-day South American climate. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 281 (2009) 180–195.

Goddard, L., Y. Aitchellouche, W. Baethgen, M. Dettinger, R. Graham, P. Hayman, M. Kadi, R. Martínezand H. Meinke. 2010. Providing Seasonal-to-Interannual Climate Information for Risk Management and Decision-making. ProcediaEnvironmentalSciences 1 (2010) 81–101. doi:10.1016/j.proenv.2010.09.007

Hirschhorn, J. 1939. Dispersión de fechas medias de primeras y últimas heladas en la República Argentina. (Inédito). Servicio Meteorológico Nacional. Buenos Aires.

Koss, W.J, J.R. Owenby, P.M. Steurer, D.S. Ezell.1988. Freeze/Frost data. National Climatic Data Center. Asheville, North Carolina. 206 pp.

Monterubbianesi, M. G. y M. G. Cendoya. 2001. Caracterización del régimen de heladas meteorológicas y agrometeorológicas en Balcarce (Argentina) en el período 1970-1999. Rev. Fac. de Agronomía , 21(1): 69-78, 2001.

Martinez, R.; B.J. Garanganga; A. Kamga; Y. Luo; S. Mason; J. Pahalad and M. Rummukainen.2010. Regional Climate Information for Risk Management: Capabilities. ProcediaEnvironmentalSciences 1, 354–368.

Müller, G. V. 2005. Variabilidad interanual en la frecuencia deocurrencia de heladas en la Pampa húmeda y surelación con la circulación atmosférica asociada. Tesis doctoral de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires,en el área de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, 217 pp.

Müller, G.V and Ambrizzi T. 2006. Teleconnection patterns associatedwith extreme frequency of Generalized Frosts. Part I: Rossbywaves propagation regions in the Austral Hemisphere. In 8thInternational Conference on Southern Hemisphere Meteorology andOceanography. Foz do Iguazu, Brazil.

Müller, G.V. 2007. Patterns leading to extreme events in Argentina: partialand generalized frosts. International Journal of Climatology, Vol. 27, Issue 10, pages 1373–1387.

Navarro, M., C. Vilatte y L. Aguas. 2003. Duración e intensidad de las heladas a escala regional, en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas, X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y X Congreso Cubano de Meteorología. Ciudad de la Habana, Cuba. 3 al 7 de marzo de 2003.

Otegui, M. E. y Lopez Pereira M. 2010. Fecha de siembra. En: Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía. Pag. 259-275. (Capítulo de libro).

Orta, F. J. y M. Federighi. 1996. El régimen de heladas en el área de V. Mercedes

(San Luis) en relación con cultivos estivales extensivos. Actas VII Congreso Argentino de Meteorología y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología. Septiembre 1996, Buenos Aires.

PapadakisJ. 1952. Mapa ecológico de la República Argentina. 2da ed., I texto, 231 pág. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Buenos Aires.

Pascale, A. J. y E. A. Damario. 2004. Bioclimatología agrícola y agroclimatología. Ed. Facultad de Agronomía, UBA. 550 pág.

Podestá, G. 2012. Uso de información climática para manejo del riesgo en sistemas de producción agrícola: Lecciones aprendidas y perspectivas para los próximos años. XIV Reunión Argentina de Agrometeorología RADA, 17 al 19 de Octurbre de 2012, Malargüe, Mendoza.

Reed, W. G. 1916. "The Probable Growing Season," Monthly WeatherReview, vol. 44, KO. 9, Sept. 1916, pp. 509-612.

Rivarola, A. D. V., M. Vinocur y R. A. Seiler. 2002/03. Uso y demanda de información agrometeorológica en el sector agropecuario del centro de la Argentina. Rev. Arg. de Agrometeorología, 2 (2): 143-149. ISSN 1666-017X.

Thom, H. C. S., and Sham, R. H. 1958. "Climatological Analysis ofFreeze Data for Iowa," Monthly Weather Review, Vol. 86, No. 7,July 1958, pp. 251-257.

Thom, H. C. S. 1959. "The .Distributions of Freeze-Date and Freese-Free Period for Climatological Series WithFreezeless Years,"Monthly Weather Review, Vol. 87, No. 4, Apr. 1959, pp. 136-144.

Vinocur, M., A. Rivarola y R. Seiler. 2004. Use of climate information in agriculture decisiónmaking: experience from farmers in central Argentina. Second International Conference on climate Impacts Assessment. SICCIA. Grainau. Germany. June 28- july 2, 2004.

Veliz A. E., Fernández Long M.E., Hurtado R.H., Spescha L.B.2012. Diferencias de temperaturas mínimas en abrigo y a nivel delSuelo en el sur de buenos aires. Actas XIV Reunión Argentina de Agrometeorología RADA, Octurbre de 2012, Malargüe, Mendoza.

Vestal, C. K. 1971. First and last occurrences of low temperatures during the cold season. Monthly Weather Review, Vol. 99, No. 8, 650-652.

Wilks, D. S. 2006. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Elsevier's Science & Technology Rights Department in Oxford, UK. 649 pp.

WMO.1984. Guidelines on the quality control of surface climatological data. WMO/TD N^o 111. 80 pp.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.