

Índice de Peligrosidad Anual de Heladas (IPAH): Concepto y utilidad

Blasón, A.D.; Mollá Kralj, A. y Rodríguez, R.O.

RESUMEN

El impacto de las adversidades meteorológicas condiciona la producción agropecuaria. Las heladas en Argentina causan severas pérdidas en inicios y finalización de los ciclos de cultivo principalmente debido a su considerable variabilidad interanual, a la vez que la sensibilidad al daño varía según el estadio fenológico. A causa de esto, localidades con similar probabilidad de ocurrencia de heladas pueden presentar distinta peligrosidad. Para su valoración, este trabajo presenta un índice de peligrosidad anual de heladas (IPAH), que asocia la probabilidad de ocurrencia de heladas con la suma de temperaturas medias diarias meteorológicas durante el período de cultivo. El efecto de integración térmica planteado en este índice permite distinguir la evolución en el desarrollo de un cultivo y su peligrosidad más allá de la igualdad de temperaturas entre fechas y/o localidades. Los resultados alcanzados muestran al IPAH como una metodología potencialmente dúctil para la valoración interanual, utilizando solo dos variables de fácil interpretación, cálculo sencillo y resultado preciso.

Palabras clave: Riesgo de helada, ICK, Suma térmica, Estado fenológico.

Blasón, A.D.; Mollá Kralj, A. y Rodríguez, R.O., 2018. Annual Frost Hazardous Index (AFHI): Concept and usefulness. RADA IX: 21-30

SUMMARY

Agricultural production is conditioned by the impact of the meteorological adversities. Frosts in Argentina cause severe losses at the beginning and the end of crops cycles. It's mainly due to their considerable interannual variability, while the sensitivity to damage varies according to the phenological stage. Because of this, localities with a similar probability of frost occurrence can present different hazards. For its assessment, this work presents an annual frost hazardous index (AFHI), which associates the probability of frost occurrence with the sum of average daily meteorological temperatures during the cultivation period. The effect of thermal integration raised in this index allows distinguishing the evolution in the development of a crop and its danger beyond the equality of temperatures between dates and / or locations. The results obtained show the AFHI as a potentially ductile methodology for the interannual assessment, using only two variables of easy interpretation, simple calculation and precise result.

Key words: Frost risk, ICK, Thermal time, Phenological stage.

A.D. Blasón y R.O. Rodríguez: Cátedra de Agrometeorología. A. Mollá Kralj: Cátedra de Ecología y Fitogeografía. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Ruta 4, km. 2, Llavallol (1836), Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina. Tel. 0114 2826263/7905. Correspondencia a: adblason@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

Las actividades agropecuarias se encuentran condicionadas por diversos riesgos, entre ellos las adversidades climáticas. Las mismas cobran gran importancia a causa de las pérdidas de producción que provocan a nivel de los productores, con su consiguiente impacto sobre las economías a nivel regional y nacional. Este panorama resulta recurrente debido a la gran variabilidad temporal y espacial de las condiciones meteorológicas dificultando la valoración de la capacidad productiva de las diferentes regiones de la Argentina, la planificación de las actividades agropecuarias y los diferentes intentos de lucha y mitigación de sus efectos negativos.

En cuanto al fenómeno de heladas, conocer su origen, intensidad, duración y período de ocurrencia (entre otros aspectos relevantes) y los daños que por consiguiente produce, resulta de suma importancia dado que no hay región del país que a nivel macro climático esté a salvo de este tipo de eventos (Burgos, 1963).

En la Argentina, aunque el período libre de heladas es suficientemente extenso en la mayor parte de su territorio con capacidad de producción desde el punto de vista agrícola (Burgos, 1963; Murphy y Hurtado, 2011), las heladas generan a menudo pérdidas considerables en inicios y finalización de ciclos de cultivos que resultan en general sumamente sensibles a este fenómeno.

Esas etapas o momentos del ciclo de vida en cultivos de granos, frutales, hortícolas y muchos otros, pueden hallarse más o menos adelantadas en el año (según las características ambientales del mismo). Esa situación, unida a la gran dispersión interanual, que desafortunadamente presentan las fechas de heladas primaverales y otoñales en esa vasta región (Murphy y Hurtado, 2011), genera la dificultad de prever sus fechas de ocurrencia con precisión haciendo más difícil anticipar sus efectos y los intentos de controlar o al menos disminuir los daños.

El clima oceánico que posee el territorio argentino y la facilidad de traslado de masas de aire en sentido N-S son la principal causa de esa incertidumbre, ya que provoca desviaciones en las fechas medias de heladas otoñales y primaverales de aproximadamente 20 a 30 días, mientras que en el hemisferio norte de clima continental dichas desviaciones resultan de 7 a 10 días (Burgos, 1963; Murphy y Hurtado, 2011), simplificando la planificación de cultivos, fecha de siembra y métodos de lucha.

Otro aspecto sumamente importante para el análisis numérico, es definir si se está considerando a la helada meteorológica, entendida como descenso de la temperatura del aire de 0°C o menor, o se refiere a una helada agrometeorológica, con temperaturas por debajo de umbrales que dañan al cultivo parcial o totalmente, generalmente sin que la temperatura alcance el punto de congelación del agua.

Pueden producirse daños por heladas aun con temperaturas del aire, medidas en abrigo, mayores a 0°C; debido a que la temperatura en órganos vegetales puede ser 3 ó 4°C más baja por efecto de la irradiación que en ese momento ellos emiten (Lhomme & Guilioni, 2004; Murphy y Hurtado, 2011). También las distintas etapas fenológicas en que se encuentre el vegetal son causa de diferente sensibilidad a las bajas temperaturas y por lo tanto se modifica el umbral de daño (Murphy y Hurtado, 2011).

Así se dan situaciones en la que un cultivar sembrado en una misma fecha y localidad puede encontrarse más avanzado o retrasado en su desarrollo a causa de la integración térmica producida durante un año particular, siempre y cuando el agua y la nutrición mineral no ejerzan un rol restrictivo, aunque la probabilidad de ocurrencia de heladas pueda resultar la misma.

Estos considerandos han llevado a diferentes investigadores del tema a generar distintos índices de valoración de riesgo de daño que no se basen exclusivamente en el análisis probabilístico de he-

ladas meteorológicas. Así Burgos (1947) presentó su Índice Crio Kindinoscópico (ICK) de peligrosidad para heladas invernales, primaverales y otoñales, permitiendo valorar climáticamente a nivel regional el peligro de daño producido por las heladas asociado a las temperaturas normales del aire al ocurrir las mismas. Mientras que el índice de Peligrosidad de Heladas (IPH) desarrollado por Pascale y Damarío (1958), avanzó en la determinación del riesgo de heladas más específicamente para un lugar y cultivo determinado; dicha metodología requiere una considerable mayor cantidad de información fenológica y meteorológica del cultivo y de la región de producción.

Posteriormente se determinaron otros indicadores como el Frost Index (FI) (Lindkvist y Chen, 1999) y el IRISH (Fernández Long *et al.*, 2008) los cuales consideran gran cantidad de variables que influyen sobre el fenómeno. Estos, además de realizar contrastes climáticos para un cultivo dado posibilitan comparaciones interanuales de peligrosidad, pero al combinar información difícil de homologar terminan generando valores de índices adimensionales integrados de compleja abstracción, resultando así su mayor utilidad en comparaciones relativas. En resumen, se han incorporado mediante diferentes modalidades, los aspectos concernientes a los distintos umbrales térmicos y nivel de resistencia a las bajas temperaturas según el estado de avance del desarrollo del cultivo.

Retomando conceptualmente el ICK para heladas primaverales - otoñales y la probabilidad de ocurrencia de dichos eventos, Burgos planteó la peligrosidad asumiéndola directamente vinculada al desarrollo y sensibilidad del cultivo (a mayor desarrollo, mayor sensibilidad) y por ende a un estado de mayor susceptibilidad al daño por bajas temperaturas.

A su vez, Burgos asoció la temperatura normal del aire con el estado de crecimiento/ desarrollo de la canopia para una determinada fecha del año. El día del año elegido, para determinar el valor de ICK, es aquel en donde aún existe un 20 % de probabilidad de ocurrencia de la última helada meteorológica (caso de las primaverales) o en la fecha en que ya se alcanzó un 20 % de probabilidad para la primera helada (caso de las otoñales). Por lo tanto, eventos con igual probabilidad estadística de ocurrencia de heladas, resultan en un aumento de peligrosidad tanto mayor sea la temperatura del aire climáticamente correspondiente a la fecha en referencia.

Si bien este avanzado concepto permitió valorar eficazmente diferentes climas de zonas productoras en el territorio argentino, no distingue dife-

rencias entre localidades expuestas a diferentes marchas térmicas que podrían acelerar o atrasar el ciclo de vida del vegetal, aunque el valor del índice resultase el mismo. Es decir que igual valor del ICK no necesariamente conduce a un mismo estado fenológico y por ende de sensibilidad. Con el mismo criterio, se plantea adaptar un método de cómputo capaz de captar diferencias entre heladas otoñales y primaverales que posean un mismo ICK, ya que el carácter climático de este último, le impide detectar diferencias de peligrosidad debidas a la variabilidad interanual de las temperaturas.

El presente trabajo presenta el concepto, metodología, posibilidad de adecuación y utilidad de un índice de peligrosidad anual de heladas (IPAH), como herramienta ampliada respecto a la previsión del potencial daño vegetal provocado por la ocurrencia de heladas, en vista a la toma de decisiones concordantes a las actuales necesidades productivas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente metodología se utilizaron las bases de datos históricas en paso diario de varias localidades de la República Argentina descargadas desde la plataforma pública <http://siga2.inta.gov.ar>. Las localidades fueron seleccionadas en la medida que contaran con series ininterrumpidas de mayor antigüedad posible y que al mismo tiempo se ubicaran en una estrecha franja latitudinal que abarca desde el clima templado húmedo de Buenos Aires al seco oasis mendocino, lo que la hace representativa de una zona de importancia agropecuaria relevante.

La elección de a pares de las estaciones meteorológicas por zona, contribuyó a resolver el inconveniente de datos faltantes. En dichos casos, se complementó la misma con la correspondiente en fecha de su par (Estación Meteorológica Convencional más cercana de las analizadas) y en caso de su imposibilidad, se rellenó las series con promedios temporales previo-post de la variable. Las localidades estudiadas y sus detalles se presentan en el cuadro N° 1.

Una vez completas y validadas las series, tanto en los valores lógicos de temperaturas como también del ordenamiento consecutivo correcto de registros de fechas, se procedió mediante el uso de planillas de cálculo a nomenciar y ordenar las series según su día del año de 1 a 365 o en bisiesto 366 (DDA). Dicho procedimiento permitió, utilizando herramientas de filtrado, la caracterización estadística de las distribuciones en estudio.

Utilizando la información meteorológica de temperaturas mínimas y medias diarias del aire, provenientes de los abrigos meteorológicos convencionales del S.M.N. y del INTA, se precisó el momento de ocurrencia y la variabilidad interanual de las heladas otoñales y primaverales (primera helada del año y última respectivamente). Para tal fin se estableció su fecha media, desvío estándar y coeficiente de variación, además fueron determinadas las fechas correspondientes al 20% de probabilidad normal acumulada para la helada otoñal (FP20-HO) y del 80% de probabilidad normal acumulada para helada primaveral (FP80-HP) coincidentemente con el criterio utilizado por Burgos (1947), lo que significa en ambos casos una recurrencia del fenómeno de una vez cada 5 años.

Lo descrito hasta aquí corresponde con un análisis tradicional de caracterización de heladas por su momento de ocurrencia. Resulta oportuno mencionar que la metodología de análisis propuesta es factible de ser modificada en cuanto al umbral de tolerancia a baja temperatura (temperatura mínima que produzca daño) para cada cultivo en particular, teniendo en cuenta los órganos afectados, la altura sobre el suelo y también las diferencias de sensibilidad de los tejidos, siempre y cuando se disponga de la información adecuada para ello.

Establecidas las fechas FP20-HO y FP80-HP se procedió a realizar sumatorias térmicas mediante el tradicional método directo, resultando este en la integración consecutiva de las temperaturas medias diarias durante un período determinado como se detalla más adelante.

Previo a ello para poder llevar a cabo la metodología propuesta se debió considerar que el fenómeno de heladas inherente a zonas extra tropicales, comprendidas desde latitudes intermedias

a altas, goza de una marcada influencia de la marcha anual de la radiación solar. La misma presenta un mínimo en el solsticio de invierno (SI) y en contraposición su máximo en el solsticio de verano (SV), a la vez que las temperaturas acompañan en gran medida esa oscilación del goce de radiación si bien con cierto conocido retardo.

Las especies vegetales cultivadas en nuestra zona de estudio ya sean anuales o perennes, inician o reanudan su crecimiento y desarrollo al salir del receso biológico invernal; siendo plausible su división en dos grandes grupos.

Aquellas que lo hacen más tempranamente se encuentran comprendidas entre los cultivos comúnmente conocidos como de ciclo OIP (otoño-invierno-primaverales) y los frutales de carozo y pepita. Las primeras lo componen principalmente especies anuales vernalizantes, consideradas bioclimáticamente como paratermocíclicas; mientras que a los restantes lo componen los frutales perennes criófilos, clasificadas como termocíclicas. Este primer gran grupo presenta sus fases y subperíodos fenológicos de mayor sensibilidad a las bajas temperaturas (períodos críticos como floración, espigazón, cuajado de frutos, etc.) principalmente durante la rama ascendente de la temperatura anual y por ende resultan mayormente susceptibles a la ocurrencia de las heladas primaverales.

El segundo gran grupo hace referencia a cultivos que inician o reanudan su crecimiento y desarrollo más tardíamente ya sean anuales o perennes. Aquí se enmarcan las especies conocidas como PVO (primavera-verano-otoñales) o atermocíclicas. Estos vegetales, excepto en los períodos de emergencia y establecimiento del cultivo en donde pueden ser susceptibles a heladas primaverales, en general presentan mayor riesgo a dicho

Cuadro N°1: Listado de las estaciones meteorológicas ubicación y serie temporal considerados en el análisis.

Nombre	Descripción	Localidad	Provincia	Latitud	Longitud	Serie
Ezeiza	Ezeiza	Ezeiza	Buenos Aires	-34,82	-58,53	1959-2009
Castelar	Castelar CNIA INTA	Hurlingham	Buenos Aires	-34,60	-58,67	1951-2017
Pergamino	Pergamino EEA INTA	Pergamino	Buenos Aires	-33,93	-60,55	1932-2017
Junín	Junín	Junín	Buenos Aires	-34,55	-60,92	1934-2014
Marcos Juárez	Marcos Juárez EEA INTA	Marcos Juárez	Córdoba	-32,68	-62,12	1968-2017
Manfredi	Manfredi EEA INTA	Río Segundo	Córdoba	-31,82	-63,77	1970-2013
General Pico	Gral. Pico	Gral. Pico	La Pampa	-35,70	-63,75	1960-2014
Anguil	Anguil EEA INTA	Anguil	La Pampa	-36,50	-63,98	1961-2017
Villa Mercedes	Va. Mercedes EEA INTA	General Pedernera	San Luis	-33,72	-65,48	1968-2013
San Rafael	Mendoza	Mendoza	Mendoza	-34,58	-68,40	1960-2015
Mendoza-Obs.	Mendoza	Mendoza	Mendoza	-32,88	-68,85	1960-2014

fenómeno meteorológico en sus fases de floración y posterior formación de sus frutos, siendo coincidentes con la rama descendente de la temperatura en la cual se encuentran las heladas otoñales.

Considerando todo lo antedicho y resultando la suma térmica una herramienta de probada eficacia, validada en innumerables casos para el seguimiento del desarrollo de los cultivos, decidimos analizar su comportamiento interanual asociado a las fechas antes mencionadas de FP20-HO y FP80-HP a fin de aventajar al uso de la simple temperatura media como índice de peligrosidad de la ocurrencia de heladas.

Se propone como inicio de la integración térmica el SI acumulando hacia el SV hasta alcanzar la FP80-HP, resultando la cuantificación en grados días (°Cd) particular según cada año y localidad en la que se realice el computo. Análogamente para las heladas otoñales, se comienza en el SV, acumulando a través de la rama descendente de temperatura hacia el SI hasta alcanzar la FP20-HO.

Debido a los procesos de transferencia y redistribución de la energía los mínimos y máximos climáticos de la oscilación anual de la temperatura presentan en general un retardo respecto a la ocurrencia de los momentos de los solsticios; variables además según factores formadores de clima preponderantes en cada región. Es por esto que para facilitar cálculos y poder realizar comparaciones geográficas estándares se decidió homologar las fechas de inicio de las sumas térmicas al día 01 de enero (DDA-V = 1) correspondiente al último mes de la rama ascendente e inicio del proceso descendente de temperatura y asociada a la fecha de ocurrencia de helada otoñal para nuestro hemisferio. Por la contraparte se tomó como fecha de inicio al día 01 de julio (DDA-I = 181 ó 182 en año bisiesto) correspondiente al final de la rama descendente e inicio de la rama ascendente de temperatura, asociada a la fecha de ocurrencia de helada primaveral. Al establecer dichas fechas como nuevos puntos de partidas para realizar las integraciones térmicas en lugar de utilizar las fechas de los solsticios (reduce la posibilidad de incluir ascensos de temperatura en días posteriores al SV o de descensos posteriores al SI, al tratar de sumar desde los valores extremos de la oscilación anual) se tiene la ventaja de aprovechar mejor la serie de datos disponible desde el primer y hasta el último año completo, lo que nos agrega dos años extras de datos que se desperdiciarían, correspondientes al primer y último año incompletos de la serie utilizada. En caso de extender este tipo de análisis a localidades del hemisferio norte solo es necesario considerar la contra estación y readecuar las sumas de verano por la de invierno y viceversa.

Una vez que se cuenta con todos los valores de las series conforme a lo explicado anteriormente, es factible calcular el IPAH. Para ello se realiza la integración térmica (sumatoria de la temperatura media diaria) desde inicio de DDA-I y desde DDA-V hasta sus correspondientes fechas de fin previamente determinadas en FP20-HO y FP80-HP a través de la serie de años para las temperaturas diarias disponibles, obteniendo las sumas año por año y para cada localidad.

El promedio de dichas sumatorias nos da una valoración climática o normal sitio específica posible de ser asociada a la evolución fenológica media de los cultivos. En el caso de la sumatoria promedio o normal obtenida desde el DDA-V hasta la FP20-HO la denominaremos suma térmica normal en heladas otoñales (STN-HO); y para la obtenida desde DDA-I hasta FP80-HP será la suma térmica normal en heladas primaverales (STN-HP).

A partir de esta instancia, se puede calcular el IPAH para cada año en particular, efectuando la relación entre la suma térmica correspondiente a cada año sobre la STN-HO ó STN-HP según corresponda en cada caso. Así la ecuación 1 presenta la forma de cálculo del índice correspondiente a heladas otoñales y la ecuación 2 para heladas primaverales.

$$IPAH_{HO} = \sum_{i=1}^{n_{FP20-HO}} Tmd_i / STN - HO \quad (1)$$

Siendo:

IPAH_{HO}: índice de peligrosidad anual de helada otoñal.

n_{FP20-HO}: día del año para el nivel de probabilidad de ocurrencia de helada otoñal escogido (20 % en este caso).

Tmd_i: Temperatura media diaria del día i.

STN-HO: Suma térmica normal en heladas otoñales.

$$IPAH_{HP} = \sum_{i=181}^{n_{FP80-HP}} Tmd_i / STN - HP \quad (2)$$

Siendo:

IPAH_{HP}: índice de peligrosidad anual de helada primaveral.

n_{FP80-HP}: día del año para el nivel de probabilidad de ocurrencia de helada primaveral escogido (80 % en este caso).

Tmd_i: Temperatura media diaria del día i.

STN-HP: Suma térmica normal en heladas primaverales.

Así construido el IPAH individual para cada año

muestra como resultado un valor circundante al valor uno ó climático medio (normal), los menores a dicho valor en un año en particular representan una integración térmica menor al valor normal y los mayores viceversa. Asociando el desarrollo y la sensibilidad del cultivo a dicho valor los menores a uno resultan expuestos a una menor peligrosidad, por el contrario, valores mayores a uno denotan una peligrosidad más elevada de lo normal.

Acorde a la preferencia particular de cada operador de la metodología, el IPAH también puede ser expresado como IPAH% o IPAH% anómalo.

El IPAH% se obtiene multiplicando al índice original por 100 y nos arroja valores porcentuales (indicando la base 100 el nivel de peligrosidad normal de esa localidad)

En cuanto al IPAH% anómalo muestra las variaciones porcentuales en la acumulación térmica para cada año particular en valores negativos y positivos, circundando el valor cero o normal. Para su cómputo se le sustrae el valor uno a la relación entre la sumatoria térmica del año particular y su valor medio climático y se lo multiplica por 100 para llegar a su expresión porcentual, tal como se puede observar en la ecuación 3 para heladas otoñales y en la ecuación 4 para las primaverales.

$$IPAH\%anómalo = \left[\left(\sum_{i=1}^{nFP20-HO} Tmd_i / STN - HO \right) - 1 \right] * 100 \quad (3)$$

$$IPAH\%anómalo = \left[\left(\sum_{i=181}^{nFP80-HP} Tmd_i / STN - HP \right) - 1 \right] * 100 \quad (4)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados numéricos más destacados del análisis propuesto en el presente trabajo son presentados a continuación en el cuadro N°2 para la ocurrencia y peligrosidad de heladas otoñales y en el cuadro N°3 para las heladas primaverales.

La sexta columna del cuadro N°2 presenta el índice de peligrosidad anual de primeras heladas mínimo de la serie en forma de anomalía porcentual (IPAHO%anómaloMIN) para cada localidad; la séptima lo hace en forma análoga para su valor máximo (IPAHO%anómaloMAX), mientras que la última columna presenta la diferencia entre ambos representando el rango de fluctuación obtenido para este indicador (RANGOIPAHO%) según serie y localidad representada. Las últimas tres columnas del cuadro N°3 presentan los resultados equivalentes a los antes descritos pero obtenidos para las heladas primaverales, nombrados según IPAHP%anómaloMIN, IPAHP%anómaloMAX y RANGOIPAHP%.

Al observar los IPAHO del cuadro N° 2 muestra valores menores al 12 % tanto en su anomalía negativa (con excepción de Pergamino) como en su anomalía positiva (con excepción de Manfredi), mientras que al observar sus análogos IPAHP del cuadro N° 3 sus valores resultan casi sin excepción superiores al 12 % y en varias localidades dobla el valor de peligrosidad indicado para heladas otoñales en el mismo sitio.

Ciertamente este efecto es proveniente de las diferencias de integración térmica que se producen en un año en particular respecto de su valor normal. Y respecto de este último porque por

Cuadro N°2: Parámetros de distribución de heladas otoñales (FM-HO y DS) valores entre paréntesis en DDA, fecha FP20-HO, suma térmica normal (STN-HO), valores extremos y rango para el índice de peligrosidad anual de heladas otoñales (IPAHO), según localidad analizada.

Nombre	FM-HO	DS	FP20-HO	STN-HO	IPAHO% anómaloMIN	IPAHO% anómaloMAX	RANGO IPAHO%
Ezeiza	28 may (148)	19	12 may (132)	2682	-9	7	16
Castelar	27 may (147)	19	11 may (131)	2681	-9	8	17
Pergamino	20 may (140)	20	3 may (123)	2454	-28	11	39
Junín	22 may (142)	22	4 may (124)	2498	-25	10	35
M. Juárez	23 may (143)	21	6 may (126)	2711	-10	7	17
Manfredi	14 may (134)	19	27 abr (117)	2441	-11	16	27
Gral. Pico	9 may (129)	20	22 abr (112)	2379	-7	10	17
Anguil	23 abr (113)	26	1 abr (91)	1943	-7	9	16
V. Mercedes	20 abr (110)	17	6 abr (96)	2016	-6	6	12
San Rafael	13 may (133)	20	26 abr (116)	2362	-8	9	17
Mendoza	9 jun (160)	19	24 may (144)	2849	-6	7	13

Cuadro N°3: Parámetros de distribución de heladas primaverales (FM-HP y DS) valores entre paréntesis en DDA, fecha FP20-HP, suma térmica normal (STN-HP), valores extremos y rango para el índice de peligrosidad anual de heladas primaverales (IPAHP), según localidad analizada.

Nombre	FM-HP	DS	FP80-HP	STN-HP	IPAHP% anómaloMIN	IPAHP% anómaloMAX	RANGO IPAHP%
Ezeiza	05 set (248)	24	24 set (267)	1004	-12	11	23
Castelar	31 ago (243)	22	18 set (261)	920	-20	18	38
Pergamino	15 set (258)	20	2 oct (275)	1052	-28	24	52
Junín	9 set (252)	17	23 set (266)	922	-29	20	49
M. Juárez	13 set (256)	19	29 set (272)	1133	-14	18	32
Manfredi	20 set (263)	16	4 oct (277)	1105	-19	19	38
Gral. Pico	18 set (261)	20	4 oct (277)	1059	-13	16	29
Anguil	09 oct (282)	20	26 oct (299)	1283	-12	14	26
V. Mercedes	16 oct (289)	21	3 nov (307)	1487	-11	14	25
San Rafael	21 set (264)	18	7 oct (280)	1028	-15	15	30
Mendoza	22 ago (234)	15	4 set (247)	667	-20	17	37

construcción el índice propuesto considera períodos del año y temperaturas muy distintos para su integración tanto para las heladas otoñales como para las primaverales, partiendo desde su arranque por los días escogidos para el inicio de las sumas. La peligrosidad primaveral se obtiene de sumar valores de temperaturas progresivamente en ascenso (asociada a menores velocidades de desarrollo vegetal) lo que hace que las fluctuaciones de las sumas anuales resulten en anomalías de mayor magnitud al ser proporcionadas respecto a su valor climático de suma, mientras que la peligrosidad otoñal lo hace desde pleno verano con altas temperaturas en progresivo descenso (asociada a máximas velocidades de desarrollo vegetal), con un valor climático de suma otoñal francamente mayor a las primaverales.

Este efecto plantea una diferencia conceptual importante con el índice cryokindynoscópico, puesto que en teoría una localidad con un mismo valor de ICK para heladas primaverales que otoñales (sin diferenciar probabilidad por momento de ocurrencia entre anuales y perennes) poseen igual peligrosidad mientras que lo explicado previamente hace improbable que resulten iguales el IPAHP y el IPAHO de la misma. Dicho de otra forma, el efecto de integración térmica planteado en el nuevo índice permite diferenciar la evolución en el desarrollo de un cultivo considerándola independientemente de la similitud de temperaturas entre fechas y/o localidades. En estos términos también resulta posible el concepto inverso, sea esto valores de IPAH similares en correspondencia con valores de ICK muy disímiles.

El IPAH capta el efecto de todos los meteoros

que influyen sobre la marcha anual a paso diario de las temperaturas del aire, resultando relevante al integrar pequeñas variaciones para poder asociar con su efecto biológico.

La construcción acumulativa del índice amplifica diferencias térmicas tal vez no detectables a prima facie, relevantes para el análisis de la evolución de peligrosidad de heladas frente a posibles termo periodismos asincrónicos detectados.

Dado que el carácter meteorológico del índice desarrollado genera una gran cantidad de resultados cuando se procesan series climáticas largas como en este caso, es por ello que resulta preferible presentar tabulados solo aspectos relevantes como los valores extremos y el rango de oscilación del mismo en forma de anomalía a lo largo de la serie para las localidades analizadas; y presentar todos los resultados obtenidos mediante gráficas que amenizan su interpretación.

Sin ahondar en el detalle del análisis de las fluctuaciones de los índices a través de los años y por localidad que será motivo de estudios particulares, surge de inmediato en general que el porcentual de las anomalías para la peligrosidad de heladas primaverales representadas por los trazos grises son en general para todas las localidades analizadas prácticamente del doble en magnitud que las mismas para heladas otoñales representadas por los trazos negros. El rango de los coeficientes de variación porcentuales correspondientes a heladas primaverales observables en la figura 1 resultó prácticamente entre 7 y 10 %, mientras que en consonancia a lo antedicho el correspondiente a las heladas otoñales fluctuó entre 3 y 5 %, exceptuando Pergamino que resultó en 8,4% y Junín

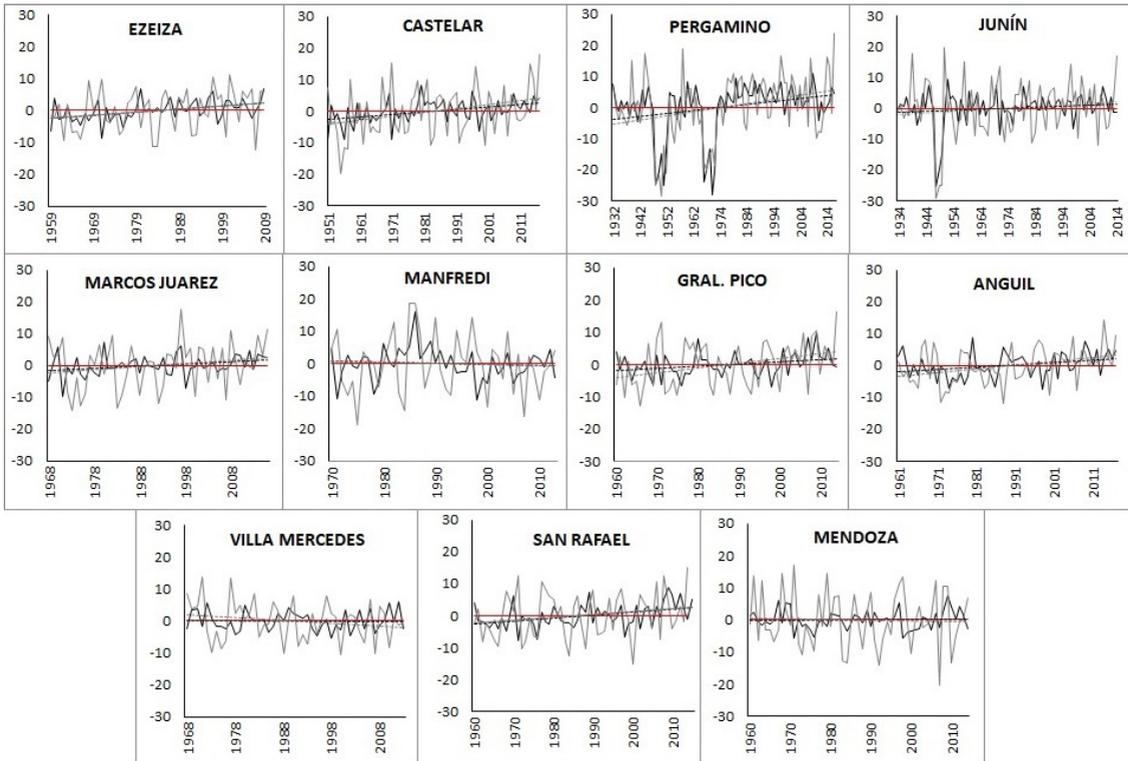


Figura 1: Índice de peligrosidad anual de helada (IPAH) presentado según serie temporal analizada por localidad. El eje horizontal cero resalta la situación normal, el trazo gris continuo corresponde al IPAH y la línea gris punteada su tendencia lineal; mientras el trazo negro continuo corresponde al IPAO y la línea negra punteada su tendencia lineal.

con 5,2% debido a las fuertes anomalías negativas que presentan en los valores más antiguos de sus series. Esto es particularmente importante debido a que puede representar variabilidad interanual en el desarrollo y sensibilidad de los cultivos mucho más marcada y peligrosa de sufrir daño por bajas temperaturas a la salida del receso invernal y con niveles de temperatura más bajos que hacen que sus fluctuaciones sean proporcionalmente más importantes que en los niveles otoñales provenientes de sumas iniciadas en el verano.

Exceptuando Manfredi, Villa Mercedes y Mendoza que parecen tener una inexistente o leve tendencia negativa, el resto mayoritariamente presentan tendencias temporales positivas más o menos marcadas lo cual de confirmarse implicaría un aumento histórico en la peligrosidad del índice.

A simple vista a través de las localidades e incluso tanto para heladas otoñales como primaverales pareciera que existe mayor cantidad de años con anomalía positiva que negativa pero paralelamente también se observa que en general la magnitud de las anomalías negativas es mayor que las positivas.

Para despejar dudas al respecto las figuras 2

y 3 muestran la comparación de las localidades a través de sus índices de peligrosidad propuestos para heladas otoñales IPAOH como primaverales IPAH y ordenados en su valor absoluto lo cual grafica su frecuencia acumulada y su balance como anomalía es comparable en termino de longitud de la serie analizada al cruzar el eje cero representativo de condición normal, acompañando para mayor detalle de asimetrías el valor mediano correspondiente a cada serie.

En cuanto a la utilización del IPAH, tal como es aquí propuesto, se debe presuponer que conforme avanza la acumulación de °Cd, el estado fenológico resulta más avanzado en su ciclo, provocando que el cultivo se encuentre más susceptible frente a la ocurrencia de una helada. Ante el supuesto planteado, debemos considerar que la suma térmica se relaciona con el crecimiento/desarrollo tal como la conocemos, siempre y cuando no se encuentren otros factores como limitantes (agua, luz, nutrientes, etc.), tal como lo afirma la ley de Liebig; ni que los mismos excedan umbrales de tolerancia, conforme a la ley de Shelford, dando lugar a interacciones y respuestas aún poco documentadas. Esto solo es válido para cultivos que aumentan su

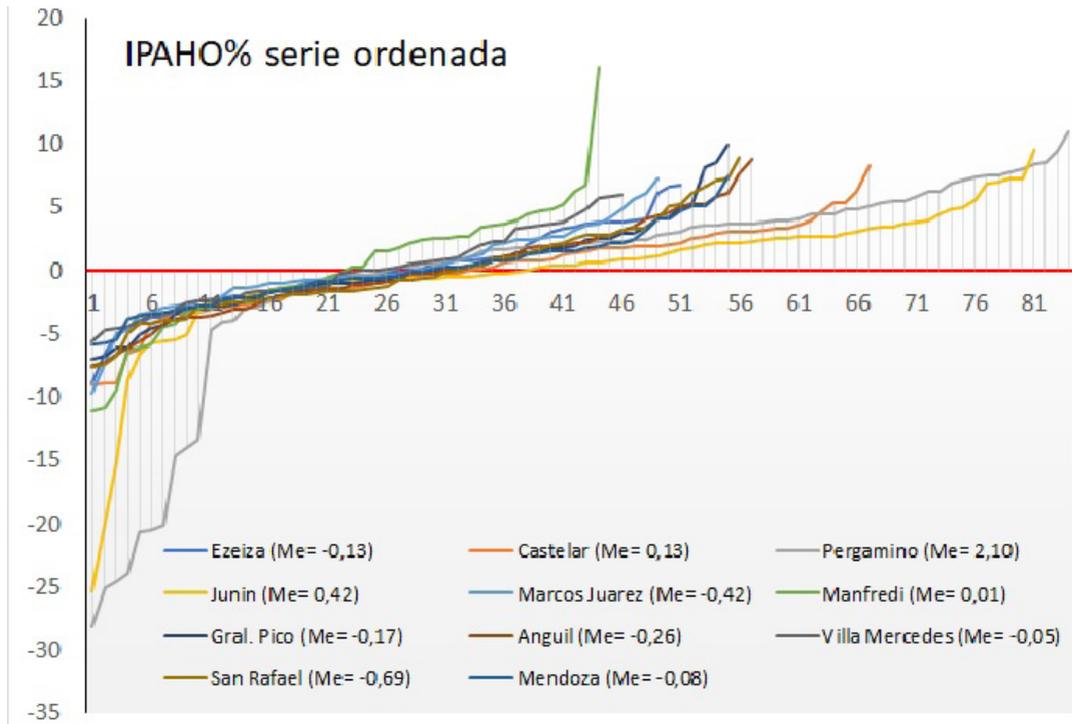


Figura 2: Índice de peligrosidad anual heladas otoñales presentado como anomalía porcentual (IPAHO%anómalo) y ordenados por su valor. Eje de abscisas representa la longitud en años de las series, los orígenes no son coincidentes cronológicamente. (Me) Representa la mediana para cada serie.

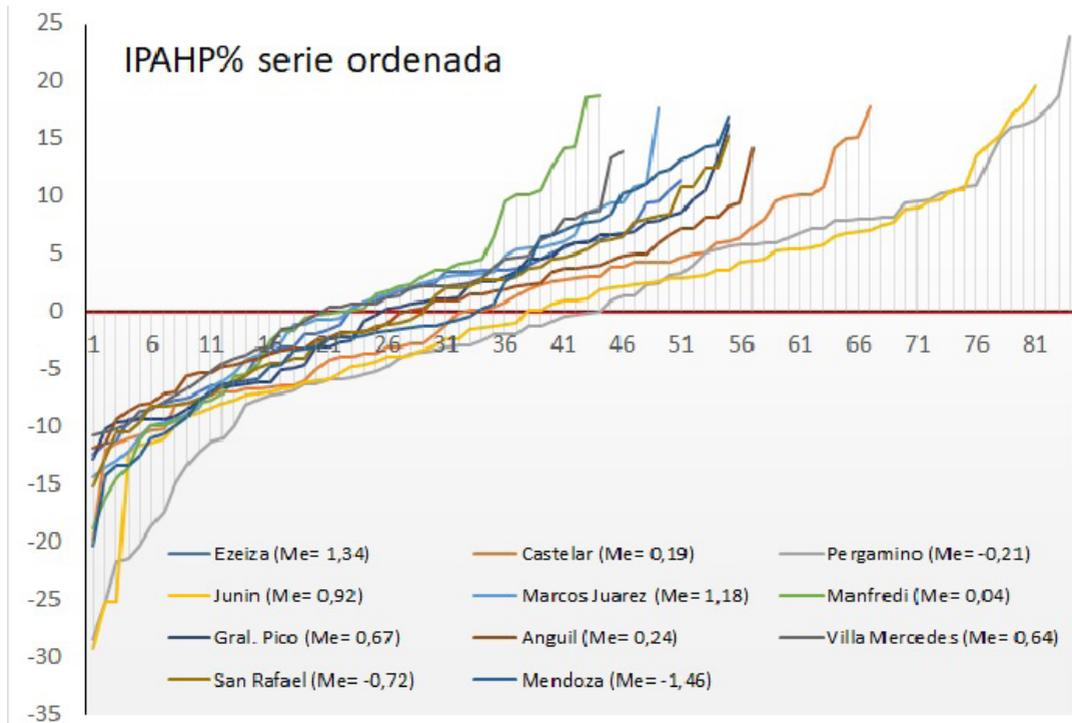


Figura 3: Índice de peligrosidad anual heladas primaverales presentado como anomalía porcentual (IPAHP%anómalo) y ordenados por su valor. Eje de abscisas representa la longitud en años de las series, los orígenes no son coincidentes cronológicamente. (Me) Representa el valor mediado de la serie.

susceptibilidad conforme avanza con el estado de desarrollo, aunque es sabido que muchas especies adquieren una mayor tolerancia a las bajas temperaturas en los estadios fenológicos vegetativos intermedios (ej: roseta, macollaje, etc.) y luego incrementan su sensibilidad conforme avanza su ciclo. El presente trabajo no alcanza a considerar dicha salvedad, quedando abierta la posibilidad de adaptar el índice a las necesidades particulares de cada cultivo.

Por otra parte, el retorno de daño por helada económicamente aceptable podría resultar diferente a uno de cada cinco años como el utilizado arbitrariamente en el presente análisis, por tal motivo, el mismo puede ser variado sin perjuicio de los resultados para ajustarse al riesgo máximo que para cada caso en particular se desee incurrir. Además, es factible realizar seguimientos y tendencias a tiempo real y pronósticos de la evolución de la peligrosidad expresada por este índice respecto de la probabilidad estadística elegida.

CONCLUSIONES

Los resultados hasta aquí alcanzados convierten al IPAH propuesto en una metodología potencialmente dúctil para la valoración interanual de la peligrosidad de heladas, utilizando solo dos varia-

bles de fácil interpretación, cálculo sencillo y resultado preciso.

BIBLIOGRAFÍA

- Burgos, J. J. (1947). A Cryokindynoscopie index useful in agroclimatic researches. Serv. Meteor. Nac. Buenos Aires. CIR/INO/T 305. Cag. M Doc número 30, Toronto, Mimeogr.
- Burgos, J.J. (1963). *Las heladas en la Argentina*. Buenos Aires: Colección Científica del I.N.T.A. 389 pp.
- Fernández Long, M. E., Murphy, G., & Torterolo, M. K. (2008). Índice de riesgo sistémico de heladas (IRISH). *Agronomía Tropical*, 58(1), 65-68.
- Murphy, G. y R. Hurtado. (2011). *Agrometeorología*. Buenos Aires: Editorial FAUBA.
- Lindkvist, L.; Chen, D. (1999). Air and soil frost in relation to plant mortality in elevated clear-felled terrain in Central Sweden. *Climate Research* 12: 65-75.
- Lhomme, J. P., & Guilioni, L. (2004). A simple model for minimum crop temperature forecasting during nocturnal cooling. *Agricultural and forest meteorology*, 123(1-2), 55-68.
- Pascale, A. J. y E. A. Damario. (1958). Fecha de floración de frutales y probabilidades de daño por heladas. Congreso Frutícola Argentino. Actas: 103-118. Cipolletti, Río Negro.