

ÍNDICE DE RIESGO SISTÉMICO DE HELADAS (IRISH)

SISTEMIC FROST RISK INDEX (SFRI)

María Elena Fernández Long*, Guillermo Murphy* y María Karina Torterolo*

* Profesores. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas. Av. San Martín 4453, (C1417fxd) Buenos Aires. Argentina. flong@agro.uba.ar; murphy@agro.uba.ar

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es la presentación de los fundamentos y metodología del IRiSH. Se utilizaron temperaturas horarias de cinco observatorios para el período 1991-2003 para calcular la duración de las heladas producidas en ese período y analizar su asociación con la temperatura mínima. Para el desarrollo del IRiSH se utilizaron las temperaturas mínimas diarias del período 1964-2003. Se asume que las heladas tardías serán tanto más peligrosas cuanto más se adelante la fenología del cultivo o se retrasen las heladas, cuanto mayor sea su intensidad, su duración y su frecuencia. El IRiSH integra todas estas variables directa o indirectamente. Se describen, a modo de ejemplo, las funciones empíricas desarrolladas para el cálculo del índice correspondiente al cultivo de trigo. El resultado es un índice de gran versatilidad, aplicable a distintos cultivos, que tiene en cuenta las principales variables determinantes de la peligrosidad de las heladas. Permite el monitoreo del riesgo de heladas durante el año, así como estudiar su variabilidad interanual, su tendencia temporal y su variación espacial. Con promedios anuales para una serie de años posibilita también la caracterización climática media del riesgo de heladas.

Palabras Clave: heladas; peligrosidad; variabilidad.

SUMMARY

The aim of this study is to present the fundamentals and methodology of the SFRI. Hourly temperatures of five observatories for the period 1991-2003 were used to calculate the duration of frosts and analyse their relationship with the minimum temperature. Daily minimum temperatures from the period 1964-2003 were used for the development of the SFRI. We assume that late frosts will be more dangerous the sooner the phenology of the crop or the more delayed the frosts, also the greater their intensity, length and frequency. The IRiSH integrates all these variables directly or indirectly. We describe, as an example, the empirical functions developed for calculating the index for wheat cultivation. The result is a versatile index, applicable to different crops, which takes into account the main variables that determine the level of danger from frosts. It allows to monitor frosts risk during the year, and to examine their inter-annual variability, temporal trend and special distribution. With annual averages for many years it also allows for the climatic characterization of frosts risk.

Key Words: heladas; peligrosidad; variabilidad.

INTRODUCCIÓN

Los índices desarrollados en la Argentina para cuantificar los riesgos por heladas priorizan diferentes variables en función de la finalidad para la cual fueron realizados. El Índice Crikindinoscópico (ICK) según Burgos (1963) fue diseñado para la evaluación climática del riesgo de heladas a nivel regional.

Por su parte, Pascale y Damario (1958; 2004) desarrollaron el Índice de Peligrosidad de Heladas (ÍPH) con el objetivo de determinar el peligro de heladas para un lugar y un cultivo determinados, considerando temperaturas mínimas perjudiciales para los momentos previos a la floración, plenitud de floración y pequeños frutos verdes.

Estos índices se calculan con valores climáticos medios correspondientes a largos períodos, por lo que no pueden aplicarse a valores anuales o al análisis de series más cortas, decenios, que permitirían estudiar la variabilidad interanual del riesgo de heladas o evaluar el impacto del cambio climático sobre el régimen de heladas.

Un índice interesante para cuantificar el riesgo de esta adversidad es el Frost Index (FI) como lo estudiaron Lindkvist y Chen (1999), que utiliza el número de heladas ocurridas, su duración, intensidad y un factor de peso en función de la fecha de ocurrencia, pero su uso está limitado por la necesidad de contar con temperaturas horarias no siempre disponibles con facilidad.

El IRiSH, en cambio, cuantifica el riesgo de heladas utilizando información fácilmente disponible.

El objetivo de este trabajo es la presentación de los fundamentos y metodología del IRiSH, y los resultados que se presentan, a modo ilustrativo, corresponden al cultivo de trigo. Cabe destacar, sin embargo, que su desarrollo se realizó teniendo en cuenta varios cultivos de diferentes modalidades bioclimáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo del índice se utilizaron temperaturas horarias medidas en abrigo meteorológico, de cinco observatorios para el período 1991-2003. A partir de ellas se calculó la duración de las heladas producidas en ese período y se analizó su correlación con la temperatura mínima. Para el desarrollo del IRiSH se utilizaron las temperaturas mínimas diarias del período 1964-2003

de varias localidades con condiciones climáticas diferentes pertenecientes a la base de datos empleada por Fernández Long *et al.* (2006).

Concepto y estructura del IRiSH

La brotación y floración de las plantas perennes constituyen el comienzo de un período de gran sensibilidad al frío que aumenta con el avance de la estación. De la misma manera en cultivos anuales como el trigo comienza, a partir de la espigazón, un período en el que las heladas tardías afectan seriamente su rendimiento (Otegui *et al.*, 2003). En consecuencia, las heladas tardías serán tanto más peligrosas cuanto más adelantadas se encuentren las referidas fases.

El daño producido por las heladas depende también de la temperatura mínima a la que son expuestas las plantas. Las temperaturas mínimas críticas varían entre cultivos así como entre variedades o cultivares, con las condiciones meteorológicas previas a la helada, con el estado sanitario (Singer, 1960) y la población bacteriana activadora de núcleo de hielo INA (ice nucleation active) (Snyder y de Melo-Abreu, 2005), todo lo cual hace muy difícil establecerlas con precisión. La duración de las heladas es otra de las variables que influye en el daño resultante. En un estudio realizado para leguminosas (Badaruddin y Meyer, 2001) se observó una variación en el porcentaje de mortandad de 20 a 80 % de las plantas sometidas a una misma temperatura, durante 0,5 a 4 horas, respectivamente.

El IRiSH integra la época de ocurrencia (estado fenológico), intensidad, duración y frecuencia, consideradas como las principales variables que componen el riesgo producido por las heladas.

$$IRiSH = \sum_{i=1}^n F_i(f) F_i(t)$$

Donde n es el número de heladas producidas en un año, f el número de día calendario y t la temperatura mínima diaria

La función fecha $F(f)$, la de mayor peso en el valor final del IRiSH, está vinculada al momento fenológico del cultivo y por ende a la resistencia del mismo a las bajas temperaturas.

Se considera la intensidad de las heladas con una función exponencial de la temperatura mínima ($F(t)$). Además, esta función tiene en cuenta indirectamente la duración

de las heladas, a consecuencia de la elevada correlación existente entre ésta y la temperatura mínima. (ver Cuadro).

CUADRO. Relación entre la temperatura mínima durante una helada y la duración de la misma.

Localidades	Nº heladas	r	r2	Signif.
Resistencia	37	-0,87	0,75	signif. 1%
Córdoba	112	-0,85	0,72	signif. 1%
Rosario	101	-0,80	0,64	signif. 1%
Ezeiza	104	-0,79	0,62	signif. 1%
Mar del Plata	199	-0,75	0,56	signif. 1%

El índice de riesgo para una helada determinada, se obtiene multiplicando la función $F(f)$ por la función $F(t)$ y se calcula para cada uno de los eventos de heladas; su acumulación en un año resulta en el IRiSH anual que incluye la frecuencia de heladas. De esta forma, queda definido un índice de riesgo por heladas de gran versatilidad, que podrá ajustarse de acuerdo al cultivo con el que se trabaje modificando las funciones $F(f)$ y $F(t)$ de acuerdo a la fenología y umbrales críticos de temperatura mínima del mismo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo del IRiSH para trigo

Para la obtención de la función $F(f)$ se calcularon las fechas fenológicas de los principales materiales genéticos de trigo utilizando el modelo CRONOTRIGO[©] (Miralles *et al.*, 2005). A partir de los resultados obtenidos, se generó empíricamente la $F(f)$ según se observa en la Figura 1, que vale 0 si el día es anterior a la fecha de siembra, establecida como el 1 de junio (día 152 del año).

Desde la siembra hasta el 20 de junio (201), etapa de máxima resistencia, el valor de la función es 1, aunque si ocurrieran temperaturas inferiores a -10 °C se produciría la muerte de las plantas. A partir de esa fecha la resistencia disminuye rápidamente hasta llegar al 1 de octubre (274), fecha en que comienza la floración y

representa el momento de máxima susceptibilidad, por lo que la función adopta el valor máximo de 100 hasta el día 6 de noviembre (310) cuando el daño producido comienza a caer rápidamente. En resumen:

Si $f < 152$ $F(f) = 0$; Si $f < 202$ $F(f) = 1$; Si $f < 275$ $F(f) = a + bf + cf^2 + df^3 + ef^4$; Si $f < 311$ $F(f) = 100$; Si $f \geq 311$ $F(f) = -f + 414,8$

Donde: $a = -1,5000364 \text{ E-}04$; $b = 23,863662$; $c = 0,32024495$; $d = 1,4070899 \text{ E-}03$; $e = -2,0118738 \text{ E-}06$

Para la obtención de la función $F(t)$ como se observa en las Figuras 1 y 2 se tuvieron en cuenta los umbrales fijados por Ventskevich (1961) y Shroyer *et al.* (1995). Si $t > 0$ $F(t) = 0$; Si $-10 > t \leq 0$ $F(t) = e^{(-0,35)t} - 0,4$; Si $t \leq 0$ $F(t) = -10$.

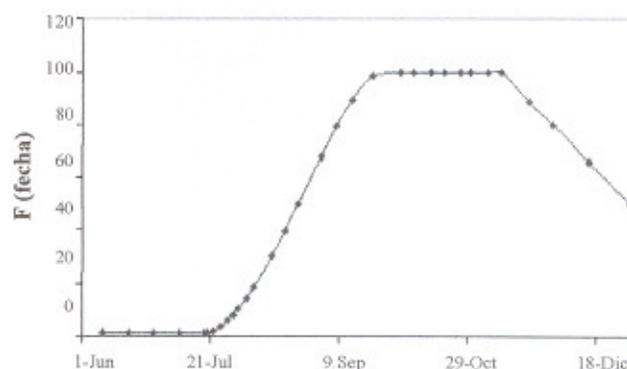


FIGURA 1. Valores de la $F(f)$ para el cultivo de trigo.

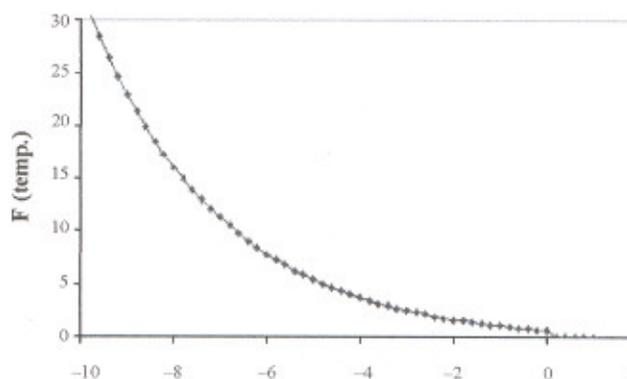


FIGURA 2. Valores de la $F(t)$ considerando los umbrales críticos del trigo.

CONCLUSIONES

- El IRiSH es un índice de gran versatilidad para la determinación del peligro de heladas para distintos cultivos.
- Tiene en cuenta las principales variables determinantes del riesgo de esta adversidad.
- Al ser calculado para cada evento de helada permite el monitoreo del riesgo de heladas dentro del año.
- El IRiSH anual permite estudiar la variabilidad interanual del riesgo, así como su tendencia temporal y su variación espacial.
- El promedio de sus valores anuales para un largo período permite una caracterización climática media de la peligrosidad de las heladas.

Pascale, A. J. y E. A. Damario 2003. Bioclimatología Agrícola y Agroclimatología. Editorial Facultad de Agronomía-UBA. 550 p.

Shroyer, P. J., E. M. Mikesell and M. G. Paulsen. 1995. Spring Freeze Injury to Kansas Wheat. Agr. Exp. Station and Coop. Extension Service. KSU, Manhattan.

Snyder, R. L. and J. P. de Melo-Abreu. 2005. Frost Protection: fundamentals, practice and economics. Volume 1. FAO Environment and Natural Resources Series. 233 p.

Ventskevich, G. Z. 1961. Agrometeorology. Traducido del ruso. Ed. Nacional Science Foundation. Washington, DC. 1 Vol, 300 p.

BIBLIOGRAFÍA

Badaruddin, M. and D. W. Meyer 2001. Factors modifying frost tolerance of legume species. *Crop Science* 41:1911-16.

Burgos, J. J. 1963. Las heladas en Argentina. INTA. Colección Científica, Buenos Aires. 388 p.

Fernández, Long M. E, I. Barnatán, A. Faroni, R. H. Hurtado y G. M. Murphy. 2006. Riesgo de heladas primaverales críticas durante la emergencia de la soja en la región pampeana. *Rev. Facultad de Agronomía UBA*, 26(3):195-205 p.

Lindkvist L. and D. Chen 1999. Air and soil frost indices in relation to plant mortality in elevated clear-felled terrain in Central Sweden. *Climate Research* Vol. 12: 65-75 p.

Miralles, D. J., M. V. Spinedi, G. L. Abeledo y D. Abelleira. 2005. Cronotrigo© Sistema experto para predecir fenología en trigo. Registrado con propiedad intelectual ante la UBA Expte 417.583 p. www.agro.uba.ar/catedras/cerealicultura/servicios

Otegui, M. E. y M. López Pereira, 2003. Fechas de siembra en Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía UBA: 259-275 p.