

Etiología de las heladas y variación de su régimen de ocurrencia en la provincia de Córdoba (Argentina)

Rodríguez A.R. y A.C. de la Casa.

RESUMEN

La planificación de la actividad agrícola sometida a un régimen de heladas presenta dos bases fundamentales: la etiología del proceso que la produce y su modalidad estadística de ocurrencia. En primer término se examina el tipo de helada predominante en la provincia de Córdoba, haciendo hincapié en el proceso dinámico desencadenante del fenómeno. Luego se compara la información sobre el régimen de heladas correspondiente a la primera mitad del siglo con la ocurrida en el período 1968/87. Se determina que las temperaturas mínimas en la actualidad acusan un comportamiento menos intenso, produciendo en las localidades de Río Cuarto y Pilar valores medios significativamente diferentes a los de la serie de referencia. El problema de las heladas otoñales en ningún sitio analizado alcanza el nivel de riesgo del 20% establecido en el concepto del índice de peligro de heladas (ICK). En primavera, en cambio, el problema resulta más frecuente de lo estipulado conceptualmente en Marcos Juárez y Villa de María del Río Seco.

Palabras clave: heladas, etiología, régimen agroclimático, riesgo.

Rodríguez, A. R. y A. C. de la Casa, 1995. Frost etiology and the variation of its agroclimatic scheme in Córdoba province (Argentina). Agriscientia, XII (Special Issue): 39-45

SUMMARY

There are two important subjects in the planning of agricultural activity where frosts are present: its etiology and its statistic scheme. First the characteristic frost type in Cordoba is examined, looking for in the dynamic process of air masses involved. Then the agroclimatic scheme of frosts for 1968/87 period is compared with the first fifty years in twenty century one. It is found the extreme temperatures below zero at present are less intensive, while Rio Cuarto and Pilar minimum medium temperatures are different from those at the beginning of century. The autumn frosts everywhere in the Province do not reach the 20% index of risk (ICK). In spring the problem results more frequency than this in Marcos Juárez and Villa de Maria del Rio Seco.

Key words: frost, etiology, agroclimatic scheme, risk.

A.R. Rodríguez y A.C. de la Casa. Fac. de Ciencias Agropecuarias, U. N. de Córdoba, C.C. 509. 5000 Córdoba, Argentina.

INTRODUCCIÓN

Los efectos de las heladas en la agricultura son difíciles de cuantificar, debido a la concurrencia compleja de factores ambientales, biológicos y tecnológicos que confieren a cada situación una secuela particular (Bouchet, 1962). La supresión y/o atenuación de los daños, requiere la consideración de dos alternativas no excluyentes, ya sea adecuando el sistema productivo a las limitaciones térmicas del medio, o implementando métodos de control, a partir de pronósticos meteorológicos (Carneiro Acosta *et al.*, 1970).

La planificación de la actividad agrícola en regiones donde ocurren heladas se fundamenta entre otros aspectos, en el conocimiento de su modo de ocurrencia, temática tratada por Burgos (1963) para toda la República Argentina. Esta contribución circunscribe el problema al ámbito de la provincia de Córdoba, a partir de información más reciente.

En primer término es examinada la modalidad del fenómeno, haciendo hincapié en su etiología. Se especula que dada la posición geográfica del área en estudio, la circulación atmosférica es el factor desencadenante. De confirmar esta situación, se vería limitada la implementación de los métodos de lucha que dependen en general del carácter radiativo de las heladas (Rosembreg *et al.*, 1983).

En segundo lugar se compara el régimen actual de heladas con la información correspondiente a la primera mitad del siglo. El informe sobre la Evaluación Científica del Cambio Global del Clima (IPCC, 1990) señala que durante el último siglo se ha producido un verdadero calentamiento del globo del orden del 0.3 a 0.6°C. Este fenómeno puede haber atenuado el rigor de los fríos invernales o alterado su patrón de ocurrencia en la región, lo cual tendría una repercusión directa sobre los sistemas de producción agrícola.

Por último, se discute la adecuación de los parámetros de riesgo agrícola que califican la peligrosidad de las heladas, en relación a los sistemas productivos de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos que se utilizaron corresponden a las estaciones meteorológicas de superficie: Pilar (31°40'S-63°53'W, 338m s/n.m.), Río Cuarto (33°07'S-64°14'W, 421m s/n.m.), Laboulaye (34°08'S-63°22'W, 137m s/n.m.), Villa de María del Río Seco (29°54',S- 63°41'W,

341m s/n.m.), Marcos Juárez (32°42'S-62°09'W, 114m s/n.m.) y Villa Dolores (31°57'S-65°08'W, 569 m s/n.m.). Se emplearon datos de temperatura mínima diaria y velocidad y dirección del viento a las 08 horas del día de la helada y a las 20 horas del día previo, correspondientes al período 1968-1987.

Se consideraron sólo dos tipos de heladas: a) radiativas cuando la velocidad del viento es inferior a 1 nudo/hora, y b) advecto-radiativas, el resto (Mazzeo y Figuerola, 1991).

Para conocer la situación sinóptica de cada evento, se empleó la dirección del viento. El concepto "situación heladora" (Gesling, 1958) se asoció con el pasaje de una masa de aire proveniente del Sector Sur desde 12, 24 y 36 horas previas a la fecha de la helada.

La ocurrencia regional simultánea de heladas es vinculada con la advección de masas de aire frío procedentes del Sur, Sudoeste y Sudeste. Este fenómeno afecta al área en su totalidad, pudiéndose observar un retraso ocasional entre las diferentes estaciones consideradas. La evaluación de la manifestación regional de la helada, se llevó a cabo aplicando un criterio de agrupamiento geográfico y temporal a un ciclo de enfriamiento completo elegido al azar (año 1970). Primero se consideraron los casos de ocurrencia simultánea y luego se agrupó a los eventos consecutivos diarios. Se consideró la variable dirección del viento horaria correspondiente al primer día del conjunto, y en caso de eventos repetidos, en la localidad que manifestó el máximo enfriamiento. Estos resultados fueron convalidados reiterando la metodología con la información del año 1969.

La comparación de la temperatura mínima anual media entre el régimen agroclimático de la primera mitad del siglo (RAP), datos obtenidos de Burgos (1963), y el actual (RAA), se efectuó siguiendo el método de varianzas desconocidas y desiguales, con distinto número de casos (Sachs, 1978), asumiendo que ambos proceden de muestras con distribución normal.

Las temperaturas mínimas anuales medias, el ICK de heladas invernales para cultivos anuales y perennes del RAP, fueron correlacionadas con los valores correspondientes del RAA, calculando la recta de regresión para analizar su divergencia respecto a la función de identidad (recta 1:1)

La metodología para constatar la repercusión negativa de las heladas sobre la capacidad agrícola potencial en la agricultura de secano, consistió en superponer las variables agroclimáticas "Periodo efectivo de lluvias dis-

ponibles" (\bar{G}) (de la Casa y Rodríguez, 1991) y "Período con heladas". La reducción de la capacidad agrícola fue considerada por el porcentaje de ciclos interrumpidos en su comienzo o finalización, y por el índice de reducción de \bar{G} .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La helada típica en Córdoba

Un primer aspecto tratado consiste en discriminar sobre el carácter radiativo o advectivo de las heladas sobre un total de 2158 ocurridas en el conjunto de localidades y años analizados, según se muestra en la Tabla 1.

Además de la cuantificación por localidad de los tipos de heladas producidos, la última columna de la Tabla 1 evidencia que la proporción de situaciones heladoras respecto del total registrado, presentan un valor muy similar en toda la región, que supera el 50%. Sin embargo, no es posible deducir con esta información si los eventos producidos presentan un mecanismo común. En cambio, la diferencia entre el número de casos ocurridos en distintos sectores resalta la condición microclimática de la helada, resultando Laboulaye la localidad más

heladora y Río Cuarto y Villa Dolores las que presentan menor frecuencia. Por otra parte, en Villa de María del Río Seco, no se advierte el predominio de heladas advecto-radiativas.

De las 132 heladas observadas durante el período de 1970, su agrupamiento temporal y regional presenta 129 clasificadas en 12 casos que incluyen eventos ocurridos en dos o más puntos de la provincia en forma consecutiva diaria. Las 3 restantes, siempre en Laboulaye, constituyen hechos aislados.

Dada la modalidad generalizada que surge de este tratamiento, y en base a la naturaleza advectiva predominante, se analiza la dirección del viento en las horas previas inmediatas al hecho para cada uno de los casos. La Tabla 2 muestra que en todos los casos agrupados el viento provino del sector S, SW o SE con una anticipación máxima de 36 hs respecto al día de la helada. En el 91,6% de los casos el viento fue exclusivamente del S. La consideración del movimiento del aire 24 hs. antes del evento, es un indicio cierto de su asociación con las heladas ocurridas en la provincia. El análisis de los casos aislados presenta idéntico comportamiento. El tratamiento efectuado con las 125 heladas registradas el año 1969 (123 casos en 10 grupos y 2 casos aislados), verificó lo antes expresado.

Tabla 1: Frecuencia del tipo de helada ocurridas en Córdoba correspondientes al período 1968/87

LOCALIDAD	(1)	(2)	AR	R	AR(%)	R(%)	1/2
PILAR	99	152	218	81	73	27	51
MARCOS JUAREZ	406	221	337	69	83	17	54
LABOULAYE	573	269	559	14	97	3	47
RIO CUARTO	191	129	152	39	80	20	67
VILLA DOLORES	188	129	160	28	85	15	68
VILLA MARIA RIO SECO	501	264	279	221	53	47	53

- (1). Número total de heladas (AR + R).
 (2): Número total de situaciones heladoras.
 AR . Número de heladas advecto-radiativas
 R . Número de heladas radiativas.

Tabla 2. Dirección del viento prevalente hasta 36 hs. anteriores a la ocurrencia de un caso de helada agrupado temporal y espacialmente. El dato de las 8 hs. corresponde al día de la helada. Los rumbos son los usados por el SMN.

CASO	DIRECCION DEL VIENTO					
	8 hs.	12 hs.	24 hs.	36 hs.		
1	W	SW	S			
2	SW	C	S			
3	W	S	S			
4	C	SE	S			
5	N	C	S			
6	SW	S	SW			
7	NW	SW	NE			
8	C	S	S			
9	C	S	C			
10	W	S	E			
11	N	NW	C	S		
12	C	S	S			
FRECUENCIA						
S	SW	SE	2	10	11	12
S			0	6	10	11

Comparación entre el Régimen Agroclimático de Heladas de la primera mitad del siglo (RAP) y el actual (RAA).

La Tabla 3 presenta los resultados de la comparación de los distintos conceptos que involucran a la modalidad de ocurrencia del fenómeno, incluyendo su peligrosidad (Índices crikindinoscópicos). El signo en todos los casos corresponde a la diferencia según el orden del título, dada la mayor jerarquía climática de la primera información.

La interpretación de la tabla anterior sugiere un agroclima más benigno en la actualidad respecto al rigor invernal. El periodo libre de heladas se ha visto extendido en un promedio de 16 días, tanto por atraso de las primeras heladas, como por un adelanto de la fecha media de últimas heladas. Estos resultados muestran un comportamiento homogéneo en toda la provincia. El análisis referido a la variabilidad del fenómeno, en cambio, resulta dispar. Mientras las heladas primaverales presentan menor variabilidad en todos los casos, en las otoñales algunas localidades muestran aumento y otras disminución. Como extensión de ello, el peligro de las últimas heladas ha tenido una reducción promedio de 1,3°C, en tanto que para las otoñales el riesgo en promedio se redujo escasamente 0,46°C.

Tabla 3: Diferencias absolutas que surgen de la comparación entre el Régimen Agroclimático de Heladas de la primera mitad del siglo (RAP) y el actual (RAA)

LOCALIDAD	Heladas otoñales			Heladas primaverales			Heladas invernales			Periodo libre de heladas
	Fecha Media	STD	ICK	Fecha Media	STD	ICK	Minima Media	ICKa	ICKp	
PILAR	-3	4.9	-0.1	20	7.6	0.0	-1.7	-2.4	-3.2	-7
RIO SECO	-1	0.9	0.4	9	6.3	1.8	-0.7	-0.4	-0.1	-8
RIO CUARTO	-14	-2.0	1.3	20	5.2	2.3	-2.1	-2.5	-3.0	-36
VILLA DOLORES	-5	2.9	0.7	8	5.6	1.4	-0.6	-0.8	-1.1	-17
LABOULAYE	-0	-2.8	0.6	3	4.0	1.5	-0.1	-1.0	-2.1	-14
MARCOS JUAREZ	-7	-2.4	-0.1	7	0.9	0.9	-0.7	-0.8	-2.1	-17

Si bien se aprecian ciertos cambios en el régimen de heladas, su patrón de ocurrencia no parece modificado sustancialmente. Para poner en evidencia lo que se juzga, la principal característica alterada se presenta en la Figura 1, la cual muestra la recta de regresión que relaciona los parámetros del régimen de heladas invernales en la primera mitad del siglo (RAP) y los actuales (RAA). La figura pone de manifiesto que el RAA presenta una sistemática reducción de estos parámetros, siempre por debajo de la recta 1:1, en toda la provincia. Además, la divergencia entre estas curvas crece a medida que aumenta la intensidad de las heladas, de lo que se deduce que particularmente la mayor diferencia respecto a las heladas de comienzo de siglo, es la menor intensidad que alcanzan los descensos térmicos actuales.

La verificación estadística de las diferencias observadas en la variable temperatura mínima anual absoluta, fue realizada a través de la prueba de diferencia de medias. La Tabla 4 resume los datos comparados, el rango de aceptación calculado y los resultados obtenidos.

Estos resultados confirman diferencias significativas al 99% de confianza sólo en Río Cuarto y Pilar, debiendo aceptar por contraparte que las muestras comparadas en estos casos provienen de poblaciones distintas. Por otra parte, el hecho de que esta manifestación aparece confirmada estadísticamente sólo en dos localidades, puede ser explicado por la modificación en dichas estaciones de sus condiciones de entorno, según fuera documentado en el caso de Río Cuarto (Fabricius, 1989).

Nivel de riesgo esperado

En la definición de los parámetros de riesgo agrícola, tanto para las primeras como para las últimas heladas, Burgos (1963) propone un valor de peligrosidad económicamente aceptable del 20%. El propósito es constatar dicho valor de riesgo admisible con valores calculados para la actividad agrícola de secano estival, por siembras demasiado anticipadas o tardías.

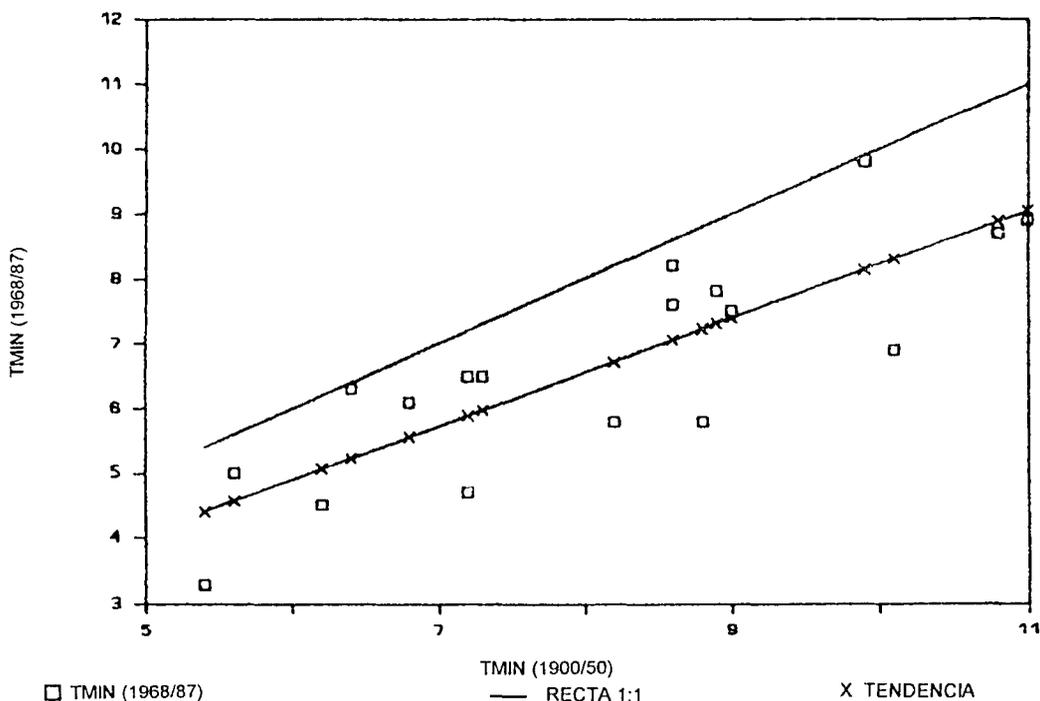


Figura 1: Recta de regresión y recta 1:1 entre RAP y RAA que incluye para las seis localidades estudiadas los parámetros del régimen de heladas invernales: Temperatura media mínima, ICK para cultivos anuales e ICK para cultivos perennes.

Los resultados se muestran en la Tabla 5 expresando porcentualmente la frecuencia de años con superposición entre el periodo con heladas (P_c/h) y el periodo disponible de lluvias efectivas (\bar{G}), para las heladas de otoño (PH), de primavera (UH) y en conjunto (TH). Se agrega también el resultado que arroja el parámetro "Periodo disponible de lluvias efectivas libre de heladas" ($\bar{G} l/h$) y la reducción porcentual ($\bar{G} l/h(\%)$).

Se aprecia que el problema de las heladas primaverales en ningún sitio analizado alcanza el nivel de riesgo establecido conceptualmente. En otoño, en cambio, el problema resulta más frecuente de lo estipulado en Marcos Juárez y Villa de María del Río Seco. La columna que totaliza ambos riesgos resulta un indicador

inadecuado por cuanto las superposiciones no ocurren generalmente durante el mismo ciclo de cultivo. En el caso de Villa Dolores, este análisis no contempla la actividad agrícola bajo riego predominante y, por lo tanto, requiere un criterio de evaluación propio.

Lo anterior sugiere que para definir correctamente los parámetros de riesgo de heladas, deben ser consideradas las particulares condiciones climáticas de cada sector, como así también el tipo de actividad agrícola, en lugar del 20% generalizado. Las diferencias que presenta el régimen actual de heladas, no permiten advertir un cambio significativo sobre las limitaciones térmicas que deben soportar los sistemas de producción extensivos.

Tabla 4: Prueba estadística de la diferencia de medias correspondiente a la variable Temperatura mínima anual absoluta media entre los distintos periodos analizados: RAP y RAA

LOCALIDAD		Media	STD	N	F	t	RANGO
VILLA DOLORES	RAP	-5.6	2.0	30	*	2.70	2.04 > DIF MEDIA < -0.84
	RAA	-5.0	1.6	20			
RIO CUARTO	RAP	-5.4	2.1	48	*	2.68	3.48 > DIF MEDIA < 0.71
	RAA	-3.3	1.5	20			
RIO SECO	RAP	-7.2	1.7	28	*	2.71	2.13 > DIF. MEDIA < -0.73
	RAA	-6.5	2.0	20			
LABOULAYE	RAP	-6.4	2.7	23	*	2.73	1.93 > DIF. MEDIA < -1.73
	RAA	-6.3	1.5	20			
PILAR	RAP	-6.2	2.4	44	*	2.66	3.23 > DIF MEDIA < 0.16
	RAA	-4.5	1.4	20			
BELL VILLE	RAP	-6.8	2.7	44	*	2.66	2.43 > DIF MEDIA < -1.03
MARCOS JUAREZ	RAA	-6.1	1.7	20			

Tabla 5: Porcentajes empíricos de riesgo agrícola para las heladas otoñales (P.H), primaverales (U.H) y según el parámetro "Período disponible de lluvias efectivas libre de heladas" (\bar{G} s/h).

LOCALIDAD	P.H	U.H	TH	\bar{G}	\bar{G}/h	$\bar{G}/h\%$
VILLA DOLORES	0	0	0	6.3	6.3	0.0
PILAR	5	5	10	16.6	15.6	6.0
RIO CUARTO	10	10	20	16.6	15.6	6.0
LABOULAYE	15	15	30	19.6	16.6	15.3
MARCOS JUAREZ	30	10	40	24.2	20.2	16.5
RIO SECO	40	0	40	22.2	19.8	10.8

CONCLUSIONES

Las heladas en la provincia de Córdoba son preponderantemente de naturaleza advectivo-radiativa. Su ocurrencia se asocia al pasaje de frentes fríos procedentes del cuadrante S, SW o SE, que infuyen al mismo tiempo sobre el régimen térmico de todo el territorio. A los efectos del control y lucha contra las heladas, la información presentada puede contribuir a la elaboración de pronósticos regionales.

Se advierte en general un aumento en la expresión de las temperaturas mínimas medias respecto a la primera mitad del siglo, detectándose una creciente divergencia con la recta 1.1, a medida que se consideran los valores más bajos. Sólo en Pilar y Río Cuarto se detectan diferencias significativas entre las condiciones invernales (temperatura mínima media) de la primera mitad del siglo y las actuales.

La valoración conceptual del 20% para la peligrosidad de primeras y últimas heladas no parece apropiada a partir de la evaluación propuesta. En las primeras heladas ese valor es

excesivo y para las últimas, en Marcos Juárez y Villa de María, es insuficiente. Se sugiere que para una más detallada definición del riesgo de heladas, sean consideradas tanto las condiciones climáticas de cada lugar como el tipo de actividad involucrada.

BIBLIOGRAFÍA

- Bouchet, R., 1962. Le probleme de la défense des végétaux contre les gelées. Bulletin Technique N° 167. 11 pp.
- Burgos, J.J., 1963. Las heladas en la Argentina. Colección Científica del INTA Buenos Aires. 388 pp.
- de la Casa A.C. y A.R. Rodríguez, 1991. Zonificación agroclimática de la Provincia de Córdoba. Tercera Parte: Sistemas agrícolas sugeridos y sus riesgos climáticos asociados en tres localidades de la Provincia de Córdoba. Actas V Reunión Argentina de Agrometeorología. 177-191.
- Fabricius, R.A., 1987. Variabilidad del régimen de heladas en la zona de Río Cuarto (Córdoba). Actas III Reunión Argentina de Agrometeorología: 147-154.
- Geslin, H., 1958. Situations Gélives. Bulletin Technique d'Information des Ingénieurs des Services Agricoles N°135. 1-12.
- IPCC, 1990. Evaluación Científica del Cambio Global del Clima. Informe especial preliminar para políticos y funcionarios gubernamentales Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.
- Mazzeo, N.A. y P.I. Figuerola, 1991. Análisis del comportamiento de las heladas en una zona frutícola de Río Negro. Actas V Reunión Argentina de Agrometeorología: 165-170.
- Rosemberg, N.J., B.L. Blad and S.B. Verma, 1983. Microclimate. The biological environment. 2°Ed. John Wiley & Sons, pp. 368-387.
- Sachs, L., 1978. Estadística Aplicada Editorial Labor S.A., pp. 228-235.