

Mapa de probabilidades mensuales de ocurrencia de heladas en el estado de Sao Paulo, Brasil*

MARÍA FABIANE ASTOLPHO,
MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO
Y WANDER JOSÉ PALLONE FILHO

INSTITUTO AGRONÓMICO DE CAMPINAS. SAÕ PAULO (BRASIL)

Para la planificación agrícola, en vez de conocer las medias de los distintos elementos meteorológicos, es mejor conocer la probabilidad de que se produzcan los mismos. Las probabilidades suministran índices de la posibilidad de que se produzcan determinados niveles o valores críticos de fenómenos meteorológicos, lo que resulta muy útil para la planificación agrícola. Esto es aún más importante en los casos de heladas y bajas temperaturas, que causan grandes perjuicios a la agricultura y se deben evaluar basándose no exclusivamente en los valores medios de las temperaturas mínimas, pues hay que tener en cuenta las temperaturas mínimas absolutas, o sea, las mínimas extremas. Para estos casos es fundamental una estimación de las probabilidades de que se den determinados niveles del valor absoluto de la temperatura mínima del aire.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de Saõ Paulo ha sufrido serios perjuicios a causa de las heladas. Durante el invierno, el agricultor paulista se puede enfrentar a riesgos serios por la llegada de temperaturas excepcionalmente bajas. Como no siempre se puede compensar la pérdida económica de las heladas, se recomienda utilizar técnicas agrícolas adecuadas para minimizar la incidencia de los daños producidos por ellas, como la adopción de determinadas épocas de siembra que permitan que las fases fenológicas críticas de los culti-

vos más susceptibles a las heladas no coincidan con los periodos de mayor probabilidad del fenómeno.

Hasta ahora no existen métodos seguros de previsión de las heladas a medio y largo plazo. Sin embargo, se puede calcular la probabilidad de que se produzcan temperaturas mínimas absolutas en distintas épocas del año a partir de series históricas de datos y utilizando modelos probabilísticos adecuados. Una vez definido el método, se pueden realizar mapas regionales de probabilidad de incidencia de temperaturas mínimas absolutas, con los consiguientes daños causados por las heladas en los distintos cultivos.

* Estudio preparado sobre la base de una beca de investigación Riesgo y Seguro concedida por la Fundación MAPFRE Estudios.

Desde el punto de vista agrario, una helada es una temperatura a la que los tejidos de la planta y su contenido extracelular alcanzan el punto de congelación. Esa congelación hace que se retire el agua del interior de las células, causando en consecuencia alteraciones fisiológicas. Esas alteraciones físicas de los componentes de las células de los tejidos vegetales son incompatibles con sus funciones fisiológicas. De este modo, la planta se ve afectada llegando a la muerte parcial o incluso total (Ometto, 1981).

Una helada es la ocurrencia provisional de estados de baja energía. Dependiendo de los valores de la temperatura del aire, el punto de rocío y la temperatura superficial de los objetos, una helada puede presentar distintas formas y, en cuanto a su origen, se pueden dividir en heladas de convección, de radiación y mixtas. Las heladas de radiación, que son el objeto de este estudio por ser las más comunes en la región de Sao Paulo, se producen por el enfriamiento rápido de la capa de aire a nivel de los cultivos, enfriamiento causado por un frente frío que produce la pérdida de calor por radiación. Ese fenómeno se produce generalmente en noches frías, claras y sin viento, lo que provoca una inversión térmica (EPAMIG, 1994).

Las condiciones topoclimáticas están condicionadas por la topografía local, las montañas y valles, la orientación de las montañas, proximidad de lagos y la distribución de los espacios cultivados o abiertos. En los análisis topoclimáticos se debe tener en cuenta las variaciones diurnas y nocturnas de la temperatura. Las condiciones microclimáticas se refieren al clima cerca del suelo y dependen del tamaño y disposición de la cobertura y tipo de vegetación. Distintas plantas, o incluso la misma planta cultivada de distintas maneras, cubren el suelo de modo distinto. En el microclima influyen la interacción del cultivo con la radiación solar y los obstáculos al movimiento del aire a través del manto vegetal. Es decir, el microclima está condicionado por la gestión de los cultivos. Por eso puede suceder que, a nivel macroclimático, una región sea adecuada para un deter-

minado cultivo pero no lo sea, o lo sea muy poco, a nivel microclimático (Camargo y Pereira, 1994). Por tanto, antes de hacer un cultivo se recomienda tener en cuenta todos estos aspectos.

A pesar de que los aspectos macro, micro y topoclimático afectan de manera distinta a la incidencia de las heladas, generalmente los aspectos topo y microclimáticos no se tienen en cuenta en las investigaciones relacionadas con la estimación de los riesgos regionales (Camargo et al., 1990).

En Brasil, las heladas más frecuentes en invierno se dan entre los 20° y 26° de latitud sur. En latitudes por debajo de los 26° sur, las heladas más perjudiciales son las precoces de otoño o tardías de primavera, pues las de invierno son más esperadas y los cultivos de estas regiones son más resistentes. Las heladas precoces de otoño pueden afectar a las cosechas de mijo o trigo, y las tardías de primavera a los cultivos perennes en fase de florecimiento.

Para la planificación son también importantes los datos de ocurrencia de estas heladas precoces. A partir de esos datos, se puede conocer el periodo sin heladas y planificar la plantación de los cultivos de verano, otoño e incluso invierno. Como esos datos varían considerablemente de un año a otro, es necesario expresarlos en forma de «porcentaje de riesgo» o «probabilidad de que se produzcan» (Grodzky et al., 1996).

Se han calculado las probabilidades de que se produzcan temperaturas mínimas absolutas mensuales durante los meses de mayo a septiembre. Así se puede conocer la probabilidad de que se produzcan heladas precoces en mayo y tardías en septiembre. Este trabajo presenta un mapa de probabilidad de que se produzcan temperaturas mínimas inferiores a 2° C en una zona abrigada del Estado de São Paulo durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre.

Para conocer los efectos que tienen, o parecen tener, algunas variables sobre otras y para correlacionar los datos, es necesario utilizar métodos matemáticos como el análisis de la regresión. Incluso aunque no exista relación causal entre

las variables, podemos relacionarlas por medio de una expresión matemática que puede ser útil para estimar el valor de una de las variables cuando conocemos los valores de las demás, generalmente porque se obtienen más fácilmente o porque son antecesoras de la primera en el tiempo (Hoffmann y Vieira, 1977).

Según Berlato et al. (2000), otra ventaja de la utilización de la distribución teórica es que esa distribución llena las lagunas producidas por la falta de datos y se pueden utilizar también para estimar la media y la probabilidad en función de coordenadas geográficas como la latitud, longitud y altitud, y extrapolarlas para regiones con las mismas condiciones pero que no dispongan de estaciones meteorológicas.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) utilizan datos espaciales y tabulados, por lo que resultan una herramienta bastante útil para los estudios de planificación agraria, sobre todo las investigaciones que incluyen modelos de variables numéricas con espacialización geográfica. La aplicación de los modelos SIG hace posible la producción de mapas con gran riqueza de detalle (Valeriano y Picini, 2000).

Una regresión calculada con los datos de un SIG permite interpolar los datos de probabilidad de que se produzcan temperaturas mínimas en todos los demás puntos donde no haya estaciones meteorológicas, mediante las relaciones existentes entre latitud, longitud y altitud y el número de píxeles del mapa. Valeriano et al. (2002) utilizaron datos del satélite RADARSAT-I para hacer un mapa del estado de São Paulo a escala 1:1.000.000. La preparación consistió en la georreferencia de imágenes, la corrección de algunos artefactos y la validación de la exactitud planimétrica y altimétrica. La corrección se hizo porque se observaron algunos artefactos relacionados con la presencia al oeste del Estado de torres de antenas, que fueron eliminados mediante un método de proceso digital creado especialmente para ese fin, que identificó las zonas afectadas, eliminó su zona de influencia, exportó cotas altimétricas válidas e interpoló otros valores. Se eliminaron las regiones

de Serra do Mar y Paranapiacaba, pues su accidentado relieve no permitió separar los artefactos de los picos naturales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron series de datos de temperaturas mínimas absolutas mensuales del aire procedentes de la red del Instituto Agronómico de Campinas (IAC), del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), de la Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidad de Sao Paulo (ESALQ-USP) y de la Universidad Estatal Paulista (UNESP), Campus de Jaboticabal, referentes a los 28 municipios cuya lista aparece en el Cuadro 1. El periodo considerado para el análisis de los datos de esas estaciones meteorológicas fue de 30 años (1971 a 2000). Para algunas estaciones se tomó un menor número de años, en función del inicio del funcionamiento de la estación, siendo el menor el periodo de Votuporanga (nueve años, de 1991 a 2000), por ser una región con menor densidad de estaciones meteorológicas, como se puede ver en la Figura 1.

Se ha tomado una distribución normal porque, de acuerdo con Astolpho (2003), dicha distribución no presenta ningún rechace al ajuste de las funciones de densidad de probabilidad a nivel mensual, mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, para los meses estudiados. De este modo se calcularon las probabilidades puntuales de ocurrencia de temperaturas inferiores a 2° C para 28 localidades.

Debido a la falta de estaciones meteorológicas con series largas, se utilizó el método de regresión múltiple con el fin de caracterizar las variaciones espaciales entre estaciones y los resultados de los modelos probabilísticos considerados. El conjunto de variables independientes que mejor explica la variable dependiente (probabilidad)

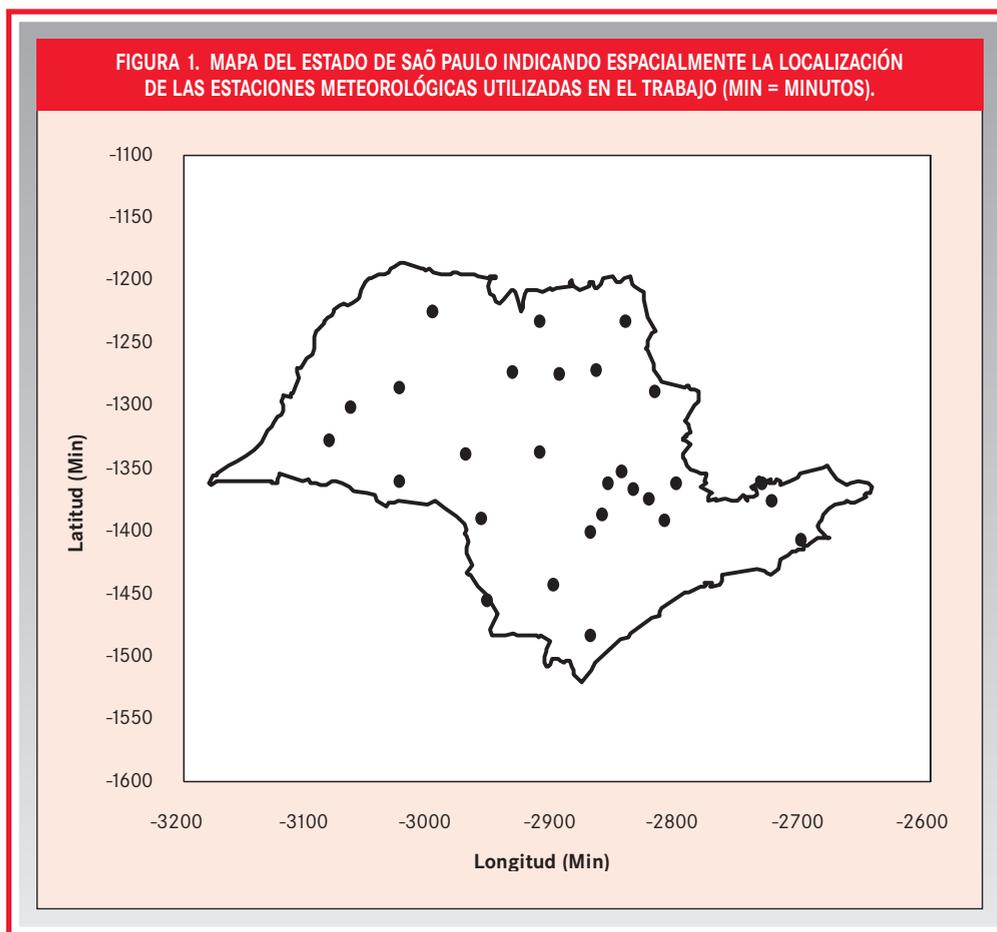
ESTUDIO

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas utilizadas, con sus respectivas coordenadas, fuente y periodo de observación

MUNICIPIO	LATITUD SUR	LONGITUD	ALTITUD ESTACIÓN (M)	FUENTE	PERÍODO
Adamantina	21° 41'	51° 05'	443	IAC	1982-2000
Araçatuba	21° 26'	50° 26'	398	INMET	1971-2000
Assis	22° 40'	50° 26'	563	IAC	1976-2000
Barretos	20° 33'	48° 34'	541	INMET	1971-2000
Campinas	22° 54'	47° 05'	674	IAC	1891-2000
Campos do Jordão	22° 41'	45° 35'	1593	INMET	1971-2000
Capão Bonito	24° 02'	48° 22'	702	IAC	1978-2000
Cordeirópolis	22° 32'	47° 27'	639	IAC	1971-2000
França	20° 33'	47° 25'	995	INMET	1971-2000
Gália	22° 18'	49° 33'	522	IAC	1979-2000
Itararé	24° 15'	49° 15'	1150	IAC	1977-2000
Jaboticabal	21° 14'	48° 17'	614	UNESP	1971-2000
Jaú	22° 17'	48° 34'	580	IAC	1971-2000
Jundiá	23° 12'	46° 53'	715	IAC	1971-2000
Manduri	23° 10'	49° 20'	589	IAC	1971-2000
Mococa	21° 28'	47° 01'	665	IAC	1971-2000
Monte Alegre do Sul	22° 41'	46o43'	777	IAC	1971-2000
Nova Odessa	22° 47'	47° 18'	528	IAC	1971-2000
Pariquera Açu	24° 43'	47° 53'	25	IAC	1971-2000
Pindamonhangaba	22° 55'	45° 27'	560	IAC	1971-2000
Pindorama	21° 13'	48° 56'	562	IAC	1971-2000
Piracicaba	22° 42'	47° 38'	546	ESALQ	1971-2000
Presidente Prudente	22° 07'	51° 23'	436	INMET	1971-2000
Ribeirão Preto	21° 11'	47° 48'	621	IAC	1971-2000
Tatuí	23° 20'	47° 52'	600	IAC	1971-2000
Tietê	23° 07'	47° 43'	538	IAC	1971-2000
Ubatuba	23° 27'	45° 04'	8	IAC	1971-2000
Votuporanga	20° 25'	49° 59'	505	IAC	1991-2000

ESTUDIO

FIGURA 1. MAPA DEL ESTADO DE SAÕ PAULO INDICANDO ESPACIALMENTE LA LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS EN EL TRABAJO (MIN = MINUTOS).



es formado por la altitud, latitud y longitud, obteniéndose ecuaciones de regresión lineal múltiple.

Las ecuaciones obtenidas a partir de los análisis de regresión múltiple se procesaron espacialmente ($0\% < \text{probabilidad} < 100\%$) con el sistema SIG «Idrisi», a partir de datos de las imágenes digitales de altimetría, latitud y longitud del Estado de São Paulo. Se utilizaron las altitudes de Valeriano et al. (2000), cuyo resultado fue un mapa base altimétrico (Modelo Digital de Alturas) obtenido mediante medidas orbitales remotas desde la plataforma RADARSAT-1 y eliminando los artefactos. Este sistema genera imágenes con georreferencia global, lo que hizo necesario corregir geoméricamente la imagen bruta, estudio que se realizó a nivel regional. La imagen obtenida está formada por 1.321 columnas \times 841 líneas,

es decir, 1.110.961 puntos, con una resolución espacial de 800 metros.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo probabilístico de distribución normal presenta una buena capacidad de estimación de la probabilidad de que se produzcan temperaturas mínimas a nivel mensual, tal como preveía Thom (1996) y comprobó Astolpho (2003). Por tanto, se utilizó este modelo para la estimación de esas probabilidades en las 28 localidades del Estado de São Paulo. En el Cuadro 2 se recogen

esas probabilidades de niveles de temperatura mínima absoluta inferiores a 2° C.

La diversidad topográfica del Estado de São Paulo hace que las probabilidades sean muy distintas en ciudades que se encuentran prácticamente a la misma latitud o longitud, como Ubatuba y Campos do Jordao, pero que se encuentran a muy distinta altitud. Se observa así que la probabilidad de que se produzcan temperaturas mensuales inferiores a 2° C es de más del 75% en Campos do Jordao, pero de menos del 1% en Ubatuba (Cuadro 2).

La probabilidad de que se produzcan heladas precoces en mayo es apenas significativa en Campos do Jordao, Itararé y Tatui. Galia y Manduri no son representativas, pues sus estaciones meteorológicas están situadas en lugares bajos. Como era de esperar, esta probabilidad es mayor en junio y julio. Agosto presenta probabilidades generalmente un 10% inferiores a las de julio. La agricultura paulista se mantiene competitiva, pues está formada principalmente por cultivos bastante resistentes al frío como los cítricos y la vid, o de resistencia mediana como el café y la caña de azúcar. Los cultivos más sensibles como la banana, el mamey y el tomate, entre otros, requieren mayor atención a la hora de elegir la región que presente menor probabilidad de heladas y bajas temperaturas.

Se ha utilizado el método de regresión «stepwise» (paso a paso) con probabilidad de error igual al 5% ($\alpha = 0,05$), para determinar el conjunto de variables independientes (altitud, latitud y longitud) que explican mejor la dependiente, es decir, la probabilidad mensual de que se produzcan temperaturas mínimas absolutas inferiores a 2° C, calculada a partir de los modelos de distribución normal para 26 localidades. En las ecuaciones de regresión se han excluido Galia y Manduri, pues sus estaciones meteorológicas están situadas en lugares bajos, lo que supondría sobreestimar la probabilidad de que se produjeran temperaturas mínimas absolutas.

La expresión general es:

$$\text{Probabilidad} = a \pm b (\text{altitud en metros}) \pm c (\text{latitud en minutos}) \pm d (\text{longitud en minutos})$$

Con el método de regresión paso a paso para el análisis individual (parcial), se ha seleccionado la variable independiente altitud como significativa para los cinco meses estudiados. Las variables latitud y longitud no son significativas (Cuadro 3). El análisis de los coeficientes de determinación o asociación (R^2) parciales de la regresión paso a paso, indica que las variaciones de probabilidad de que se produzcan temperaturas mínimas absolutas dependen principalmente de las variaciones de altitud. Es decir, con el aumento de la altitud se produce un aumento de la probabilidad mensual de que se produzcan temperaturas mínimas absolutas. Estos resultados son similares a los encontrados por Grodzky et al (1996) y Massignam y Dittrich (1998), que llegaron a la conclusión de que las grandes diferencias en el número de heladas producidas, se debían sobre todo a la altitud y, en segundo lugar a la latitud y a la longitud.

Cuando se utilizó el procedimiento de regresión múltiple (altitud, latitud y longitud), los coeficientes asociación resultaron más elevados (0,79 - 0,86) que cuando se utilizó exclusivamente la altitud (0,66 - 0,79). Y, también de acuerdo con el test F, las ecuaciones que producen una buena estimación son exclusivamente la regresión múltiple y la regresión simple efectuada con la altitud, razones por las que se decidió el uso de la regresión múltiple para determinar la probabilidad de bajas temperaturas absolutas, con el fin de obtener un mapa coherente del Estado de São Paulo.

El mapa de probabilidades calculadas por regresión múltiple, basándonos en el modelo de estimación de la distribución normal, da lugar a las Figuras 2 a 6 para probabilidades de que se produzcan temperaturas inferiores a 2° C con isóneas separadas de 20% en 20%. Se ha utilizado esta separación del 20% para que el tamaño de las clases fuera mayor que el error encontrado para la mayoría de los meses.

ESTUDIO

Cuadro 2. Probabilidad, en porcentaje de ocurrencia de Temperaturas Mínimas Absolutas Mensuales inferiores a 2° C por Municipio.

MUNICIPIO	PROBABILIDADES (%)				
	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE
Adamantina	0,7	11,1	15,0	3,9	0,0
Araçatuba	0,5	7,2	12,7	3,4	0,0
Assis	7,8	29,5	30,8	12,7	0,0
Barretos	0,4	6,4	8,7	1,8	0,0
Campinas	1,1	6,7	8,5	1,0	0,0
Campos do Jordão	82,0	97,3	97,8	97,2	78,8
Capão Bonito	4,0	32,7	27,2	17,2	0,4
Cordeirópolis	1,9	10,2	22,0	8,4	0,1
França	2,7	13,1	14,2	3,3	0,0
Gália	11,7	34,1	44,8	24,9	0,2
Itararé	22,9	59,2	51,8	42,2	2,4
Jaboticabal	0,5	4,7	7,6	0,8	0,0
Jaú	1,4	8,9	15,2	2,3	0,0
Jundiaí	3,7	24,2	22,8	6,6	0,7
Manduri	13,4	44,7	46,3	16,6	0,8
Mococa	0,8	6,7	12,0	2,9	0,0
Monte Alegre do Sul	1,6	18,5	19,5	6,6	0,2
Nova Odessa	0,9	20,3	23,9	2,9	0,3
Pariquera Açu	0,2	4,3	4,7	1,7	0,0
Pindamonhangaba	2,8	32,2	27,5	10,5	1,3
Pindorama	0,7	8,5	16,7	2,3	0,0
Piracicaba	2,5	17,2	17,9	3,8	0,1
Presidente Prudente	0,9	6,1	13,4	3,7	0,0
Ribeirão Preto	0,8	10,7	14,1	2,6	0,0
Tatuí	7,7	34,0	33,4	12,5	0,6
Tietê	1,6	17,8	18,3	4,7	0,0
Ubatuba	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
Votuporanga	0,1	10,3	12,5	0,5	0,0

ESTUDIO

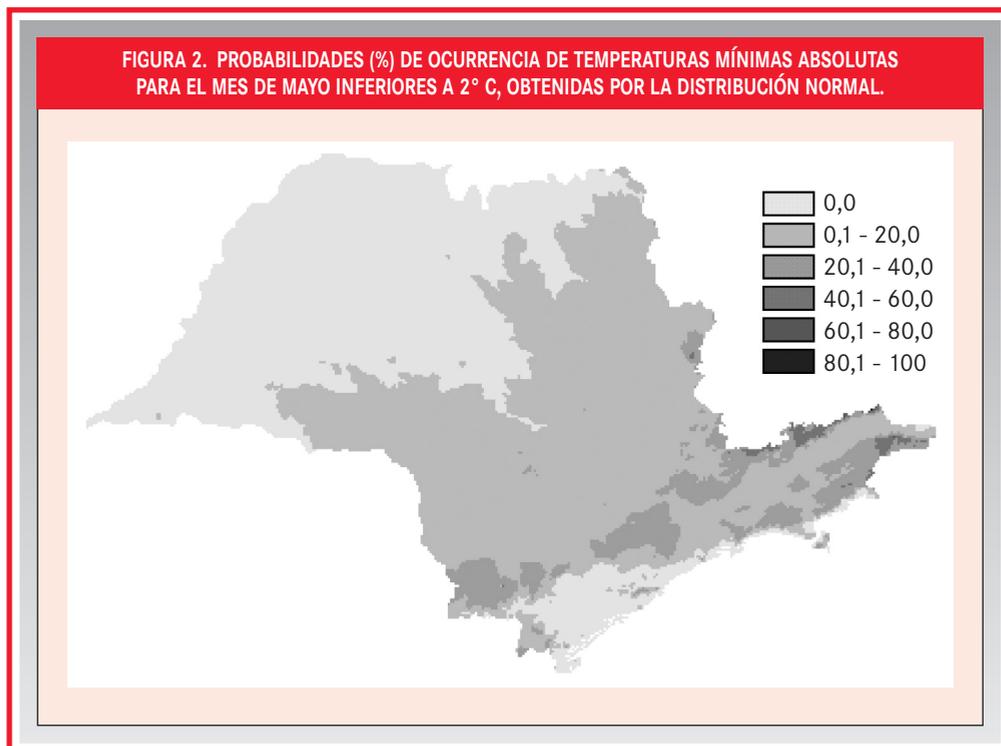
Cuadro 3. Coeficientes de determinación (R^2) parcial y total resultantes del análisis de regresión «stepwise» entre las probabilidades de ocurrencia de temperaturas mínimas absolutas mensuales y anuales, inferiores a 2° C estimadas por el modelo probabilístico Normal y las coordenadas geográficas (altitud, latitud y longitud) y sus niveles de significancia según el ensayo F.

MES/AÑO	R ² PARCIAL			R ² TOTAL
	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	
mayo	0,74*	0,18NS	0,26NS	0,78*
junio	0,77*	0,36NS	0,24NS	0,86*
julio	0,79*	0,28NS	0,2NS	0,86*
agosto	0,77*	0,27NS	0,24NS	0,83*
septiembre	0,66*	0,08NS	0,32NS	0,69*
año	0,74*	0,44NS	0,15NS	0,9*

Cuadro 4. Coeficientes de regresión múltiple de las ecuaciones de estimativa de las probabilidades de ocurrencia de temperaturas mínimas absolutas, mensuales y anuales inferiores a 2° C obtenidas del modelo de distribución Normal.

	COEFICIENTES DE REGRESIÓN MÚLTIPLE			
	A	B	C	D
mayo	-67,0079	0,03973	0,049945	-0,0064
junio	-221,905	0,054655	0,126475	0,013157
julio	-186,409	0,051479	0,095062	0,016812
agosto	-164,304	0,051396	0,092072	0,006654
septiembre	37,28115	0,032076	0,014115	-0,02512
año	-374,45	0,0616	0,1808	0,0446

*significativo a 5%, NS- no significativo



ESTUDIO

FIGURA 3. PROBABILIDADES (%) DE OCURRENCIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS PARA EL MES DE JUNIO INFERIORES A 2° C, OBTENIDAS POR LA DISTRIBUCIÓN NORMAL.



FIGURA 4. PROBABILIDADES (%) DE OCURRENCIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS PARA EL MES DE JULIO INFERIORES 2° C, OBTENIDAS POR LA DISTRIBUCIÓN NORMAL.

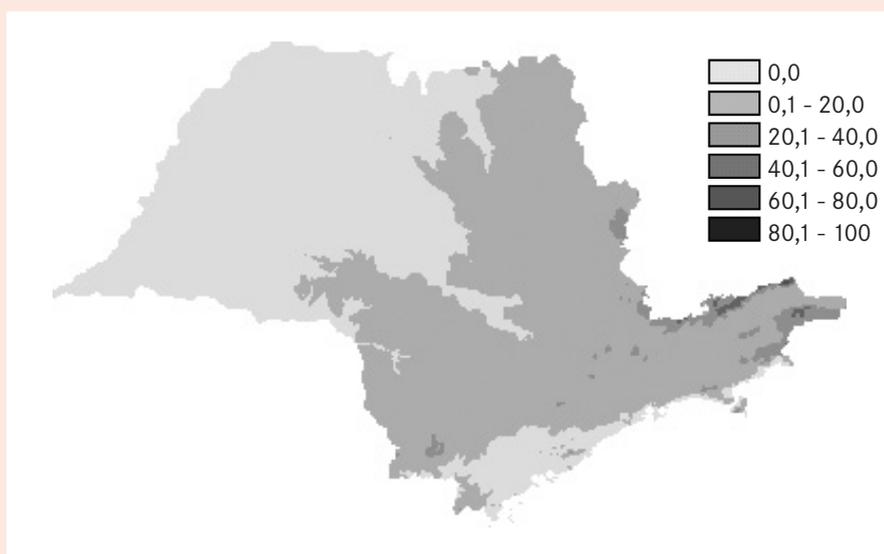


ESTUDIO

FIGURA 5. PROBABILIDADES (%) DE OCURRENCIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS PARA EL MES DE AGOSTO INFERIORES 2° C, OBTENIDAS POR LA DISTRIBUCIÓN NORMAL.



FIGURA 6. PROBABILIDADES (%) DE OCURRENCIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS ABSOLUTAS PARA EL MES DE SEPTIEMBRE INFERIORES 2° C, OBTENIDAS POR LA DISTRIBUCIÓN NORMAL.



A partir de los datos de las coordenadas geográficas de los 1.110.961 puntos, se obtuvieron las isolíneas de probabilidad de heladas mediante técnicas cartográficas del SIG «Idrisi». Este mapa apunta probabilidades superiores al 80% en todos los meses en las regiones de altitud superior a 1.000 metros en la Serra da Mantiqueira. En la región central, las probabilidades mensuales se sitúan entre el 15% y el 35%, mientras que en la región norte y noroeste la probabilidad es inferior al 20%. Obsérvese que el uso de modelos estadísticos de mayor adherencia, junto con las modernas técnicas de regresión y cartográficas, aumenta la precisión.

En los mapas se pueden observar las bajas probabilidades de que se produzcan temperaturas inferiores a 2° C en mayo y septiembre, sobre todo en este último. En los meses de junio y julio la probabilidad se intensifica, sobre todo en las regiones de Serra da Mantiqueira y Serra do Mar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTOLPHO, F. *Estimativa e mapeamento de probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar adversas a agricultura paulista*. Campinas, 2003. 99p. Dissertação
- BERLATO, M. A.; MELO, R. W. DE; FONTANA, D. C. Risco de ocorrência de granizo do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 121-132, 2000.
- CAMARGO, A. P DE; PEREIRA, A. R. *Agrometeorology of the coffee crop*. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 1994. 43p. (CagM Report, n.58, WMO/TD, n.615).
- CAMARGO, M. B. P.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ALFONSI, R. R.; ORTOLANI, A. A.; BRUNINI, O; CHIAVEGATTO, OLGA. M. D. P. *Probabilidade de ocorrência de geadas nos Estados de Sao Paulo e Mato Grosso do Sul*. Campinas: Instituto Agronomico, 1990. (Boletim Técnico IAC, n.136).
- EPAMIG. *Recuperação dos cafeeiros sob geada.*, Minas Gerais: EPAMIG, 1994. 44p. (Boletim Técnico, n.43)
- GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D. DE; GOMES, J. Riscos de ocorrência de geada no Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 93-99, 1996.
- HOFFMANN, R.; VIEIRA, S. *Análise de regressão: uma introdução a econometria*. Sao Paulo: Editora HUCITEC, Editora da Universidade de Sao Paulo, 1977. 339 p.
- OMETTO, J. C. *Bioclimatologia Vegetal*. Sao Paulo: Editora Agronomica Ceres, 1981. 413p.
- THOM, H. C. S. *Some methods of climatological analysis*. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53p. (WMO, 199; TP, 103; Technical note, 81).
- VALERIANO, M. DE M.; PICINI, A. G. Uso de Sistema de informação geográfica para a geração de mapas de médias mensais de temperatura do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 255-262, 2000.
- VALERIANO, M. DE M.; MELO, A. R. DE; SARRAIPA, L. A. DOS S.; NEGREIROS, I. P. M. DE; PALLONE F. W. Formação de base topográfica digital (1:1.000.000) do Estado de Sao Paulo com dados RADARSAT-1. *Acta Scientiarum*, Maringá, PR, v. 24, n. 6, p. 2002.