

FÓRMULA PARA PRONOSTICAR HELADAS

Autor: Tomás Fernández Ábrica

feat_777@yahoo.com.mx

Posgrado en Geografía. UNAM

Ocurre una helada, cuando se registra una temperatura de 0 °C, un poco mayor (+ 1.6) o menor a aquella bajo el abrigo meteorológico.

La helada es un fenómeno climático, el cual generalmente se presenta en el invierno (aunque también hay en primavera y otoño), y es un descenso repentino de la temperatura ambiente hasta el punto de congelación del agua, de tal forma que el agua de la superficie y a ras del suelo se congela y se deposita en el mismo en forma de hielo. La helada se produce siempre en la madrugada o a la salida del sol, con cielo despejado y con una humedad relativa mayor al 45 %, no hay nubosidad y el viento normalmente está en calma.

De acuerdo a su origen las heladas se clasifican en los siguientes tipos:

- i) Por Advección. Generalmente se presenta en el otoño o en el invierno y por su aspecto puede ser blanca o negra dependiendo de la abundancia o escasés de humedad. Se establece cuando una gran masa de aire frío, menor a 0 °C, se extiende sobre un área, que bien pueden ser cañada, valle o llanura, con vientos a velocidad superior a 15 km/h, con gradiente de temperatura negativo y sin inversión térmica. Se afectan grandes extensiones de terreno, hasta 100 km², sin que la nubosidad intervenga. Obvio es decir que las plantas se enfrían por contacto.
- ii) Por Radiación. Ocurre en primavera, otoño e invierno. Esta se genera cuando las capas bajas de la atmósfera se enfrían debido a la pérdida de calor de la tierra por la irradiación durante la noche,

principalmente en el invierno por ser las noches más largas. Esta se establece en presencia de inversión térmica, con viento en calma y cielo despejado. Se origina cuando la humedad relativa del aire aledaño al suelo es muy baja, la cual disminuye más cuando se presenta un viento seco que se lleva a aquella. Este tipo de helada afecta principalmente a flores y hortalizas que se siembran en los valles y en cuencas y barrancas cercanas a las montañas.

- iii) Por Evaporación. Se presenta en otoño y en invierno y se debe a la evaporación del agua de la vegetación superficial, por lo que el aire se seca y la humedad relativa baja, el cambio de estado del agua de líquido a gaseoso hace que se desprenda calor de las plantas y entonces esta se enfría y se helada.
- iv) Mixtas. Esta se genera cuando se presentan simultáneamente los fenómenos de advección y radiación; es decir, no hay inversión térmica y el suelo pierde calor por irradiación.

Las heladas también se clasifican por su aspecto visual, y así pueden ser:

Blanca. Se produce cuando hay mucha humedad y la temperatura está cercana o por debajo de los 0 °C. Hay presencia de hielo sobre las plantas.

Negra. Esta helada no va acompañada por formación de hielo, sino que los órganos vegetales de las plantas adquieren un color negruzco debido a la destrucción causada por el frío.

Las heladas influyen directamente en la vida de las plantas interrumpiendo su desarrollo normal y, a su vez, es enemiga de la producción agrícola;

por lo que saber pronosticarlas para atenuar el deterioro que provoca en los cultivos es harto necesario y urgente de encontrar.

En la actualidad las heladas se pronostican:

- 1) Por medio de mapas en los que se muestra por medio de isolíneas de heladas el record de las mismas.
- 2) Por medio del Servicio Meteorológico, cuando estos hacen pronósticos de temperaturas mínimas.
- 3) Por medio del Higrómetro, ya que este da el grado de humedad del aire; si esta es alta, es poco probable que se genere una helada.
- 4) Por medio del Evaporímetro, pues si la evaporación es lenta, habrá humedad más alta y el riesgo es menor de que ocurra la helada.
- 5) Por medio del Termómetro de Contacto, cuando este llega a la temperatura que se acerca a la helada establece un contacto eléctrico el cual hace que funcione un timbre de alarma.
- 6) Temperatura del punto de rocío. Si en la noche esta es alta, se produce rocío no helada. A veces se genera niebla.
- 7) Por medio de Modelos, v.gr. Redes Neuronales.

En el Servicio Meteorológico Nacional el rango para pronosticar heladas va de $-3 \leq x \leq +3$ grados centígrados (<http://www.milenio.com/>).

En el Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía el rango es $-5 \leq x \leq +1.6$ grados centígrados (Investigación documental por el autor).

Por supuesto que es mucho más práctico una forma sencilla y rápida de cálculo de pronóstico y vaticinio de la helada, y esto solo nos lo ofrece las matemáticas por medio de un modelo matemático o fórmula matemática, que es justamente lo que este trabajo proporciona.

Para poder llegar al modelo se extrajeron los datos de todas las heladas que se registraron en el Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, en cuanto a Temperatura Mínima, Temperatura Máxima y Oscilación Térmica en el período 1963-2009, y para los casos en que se aplicó la fórmula, la Humedad Relativa (de las 7:00 h y de las 18:00 h), Tensión de Vapor de Agua (7:00 h y 18:00 h), Temperatura del punto de Rocío (7:00 h y 18:00 h), la Oscilación Térmica de la Temperatura del Punto de Rocío en los horarios 7:00 h y 18:00 h y, como constante, la Constante Solar (1.367 W/m^2), los cuales creemos son los elementos más indispensables que intervienen en la formación de las heladas. No se consideró ni el viento ni la nubosidad, pues estos más bien restringen e inhiben la formación de la helada en el momento que se genera la misma.

La información de estos datos son los siguientes:

año	día	máxima °c	mínima °c	oscilación °c
1963	05-Feb	20.2	-2.5	22.7
	6	19.8	-1.8	21.6
	7	20.4	-0.5	20.9
	19	23.5	-0.1	23.6
	25-Dic	19.3	-3.3	22.6
	26	20.4	-1	21.4
	27	19.4	-0.5	19.9
1964	31	15.2	-1.5	16.7
	01-Ene	18	-2.1	20.1
1965	17-Ene	15.1	-2	17.1
	18	19.9	-2.4	22.3
	19	18.1	-2.7	20.8
	24	19.5	-1.6	21.1
	25	23.2	-2	24.3
1966	29-Nov	23	-1	24
	29-Ene	19.2	-2.3	21.5
	31	23.7	-2.1	25.8
	03-Nov	20	0	20
	04-Nov	21.4	-1.2	22.6
	05-Nov	22.2	0	22.2
	26-Nov	21.2	-0.5	21.7
	29-Nov	19.6	-3	22.6
	30-Nov	20.1	-2	22.1
	01-Dic	20.2	-1.4	21.6
	02-Dic	19.2	-1.1	20.3
	03-Dic	19.6	0	19.6

	04-Dic	19.6	-1.5	21.1
	11-Dic	18.9	-0.9	19.8
	13-Dic	18.8	-0.3	19.1
	19-Dic	18	-0.9	18.9
	20-Dic	20.5	-1.1	21.6
1967	04-Ene	20.3	-1.2	21.5
	05-Ene	21	-2.5	23.5
	06-Ene	22.1	-2.4	24.5
	07-Ene	22.8	-2.2	25
	11-Ene	6	0	6
	09-Feb	20.8	-2	22.8
	10-Feb	21.7	-1.5	23.2
	13-Feb	19.9	-1	20.9
	14-Feb	22.4	-1.3	23.7
	12-Dic	23.5	0	23.5
	13-Dic	23.2	-0.5	23.7
	24-Dic	19.5	-0.9	21.4
1968	17-Ene	18.5	0	18.5
	19-Ene	20.3	-0.1	20.4
	20-Ene	21.7	-0.2	21.9
	08-Feb	17.1	-3.2	20.3
	09-Feb	24.1	-2.3	26.4
	16-Dic	18	0	18
1969	07-Ene	18.6	-2.4	21
	08-Ene	23.8	-2.4	26.2
	15-Feb	24	0	24
	22-Nov	18	0	18
	10-Dic	23.3	-1.1	24.4
	11-Dic	23	-0.5	23.5
	15-Dic	18.5	-0.5	19
	22-Dic	21	-1	22
	26-Dic	23.5	-0.3	23.8
	31-Dic	23.5	-0.4	23.9
1970	12-Ene	22	-0.4	22.4
	13-Ene	22.4	-0.5	22.9
	14-Ene	21.2	-1	22.2
	16-Ene	22.1	0	22.1
	17-Ene	23.5	-1.4	24.9
	19-Ene	21.5	-1	22.5
	20-Ene	21.4	-0.1	21.5
	21-Ene	20	-0.2	20.2
	24-Ene	19	-0.1	19.1
	04-Feb	23.4	-1.5	24.9
	17-Nov	20.3	-2	22.3
	18-Nov	22.2	-2	24.2
	19-Nov	23.5	-1.1	24
	20-Nov	23	-0.5	23.5
	21-Nov	23.5	0	23.5
	22-Nov	24.7	-0.3	25
	23-Nov	21	0	21
	25-Nov	21.1	0	21.1
	26-Nov	22.5	-0.5	23
	02-Dic	23.7	0	23.7
	03-Dic	23.3	-1	24.3

	06-Dic	17.1	0	17.1
	07-Dic	17	-0.6	17.6
	29-Dic	23	-0.2	23.2
	30-Dic	22.7	-0.1	22.8
1971	04-Ene	21.5	-1	22.5
	05-Ene	21.5	0	21.5
	10-Feb	20.6	-1	21.6
	24-Dic	19.5	-1.5	21
1972	19-Feb	22.9	-0.5	23.4
	20-Feb	22.4	-2.1	24.5
	21-Feb	23.5	0	23.5
	22-Feb	23.8	-0.5	24.3
	23-Feb	24.5	-0.2	24.7
	24-Feb	24	-1.5	25.5
	22-Dic	21.2	-0.5	21.7
	23-Dic	22.4	-1	23.4
	25-Dic	22	-0.8	22.8
1973	12-Ene	20.5	-0.5	21
	13-Ene	20.5	2	22.5
	16-Ene	19.1	-1.2	20.3
	18-Ene	22.7	-0.4	23.1
	22-Ene	23.9	-1	24.9
	23-Ene	24.6	0	24.6
	30-Ene	24	-3	27
	31-Ene	24.8	-0.2	25
	30-Nov	16	-0.5	16.5
	13-Dic	19.7	0	19.7
	17-Dic	19.1	-1	20.1
	18-Dic	19.5	-0.2	19.7
	22-Dic	19	-0.2	19.2
1974	27-Feb	21	0	21
1975	04-Ene	21.4	-1.8	23.2
	15-Ene	20.6	-3.2	23.8
	16-Ene	19.4	-2	21.4
	17-Ene	18	-1.5	19.5
	19-Ene	18.3	-0.5	18.8
	14-Nov	21	-1	22
	15-Nov	22	-0.5	22.5
	10-Dic	20.5	-1	21.5
	27-Dic	19.4	-0.1	19.5
	28-Dic	20	-1.2	21.2
	29-Dic	20.5	-2.2	22.7
1976	01-Ene	18.5	-0.9	19.4
	02-Ene	21.5	-0.4	21.9
	09-Ene	20.4	-1	21.4
	14-Feb	22.5	-1	23.5
	24-Feb	19.2	-2.4	21.6
	25-Feb	22.9	-3.6	26.5
	26-Feb	20.8	-3.5	24.3
	27-Feb	20	-3	23
	28-Feb	21	-0.6	21.6
1977	08-Ene	25.5	-0.7	26.2
	09-Ene	24.2	-0.3	24.5
	23-Dic	21	-1	22

1978	25-Ene	25.8	-4.5	30.3
	06-Feb	19.8	-1	20.8
1979	03-Ene	20	-0.7	20.7
	12-Ene	22.7	0	22.7
	20-Feb	17	-2.6	19.6
1980	05-Ene	20.5	-3	23.5
	06-Ene	22	-2	24
	07-Ene	22	-1.5	23.5
	03-Feb	17.6	-2.5	20.1
	18-Dic	18.4	-5	23.4
	19-Dic	20	-1.7	21.7
	20-Dic	16.4	-0.9	17.3
	22-Dic	17.4	-1.4	18.8
	28-Dic	19.4	-1.8	21.2
	29-Dic	19.6	-1.9	21.5
	30-Dic	20.5	-0.9	21.4
1981	01-Ene	17.4	-0.3	17.7
	03-Ene	18.4	-1.6	21
	05-Ene	21.1	-1.4	22.5
	22-Ene	18	-0.6	18.6
	24-Ene	18.4	-1.9	20.3
	25-Ene	23	-2.5	25.5
	26-Ene	23	-1.8	24.8
	16-Nov	21	-0.5	21.5
	24-Nov	22	-0.6	22.6
1982	06-Nov	22	-0.6	22.6
	18-Dic	24.5	-0.7	25.2
	19-Dic	22	-0.4	22.4
	20-Dic	21.6	-1.5	23.1
	21-Dic	21.1	-0.2	21.3
1983	21-Ene	21.2	-0.6	21.8
	22-Ene	20.5	-1.8	22.3
	23-Ene	20.5	-2	22.5
	26-Ene	20	-0.5	20.5
	14-Feb	22.8	-0.1	22.9
	17-Feb	23	-0.6	23.6
	23-Feb	23	-0.5	23.5
	26-Feb	19.8	-1	20.8
1984	01-Ene	19.5	-0.5	20
	02-Ene	20.1	-0.4	20.5
	03-Ene	17.1	-1.4	18.5
	11-Dic	22.5	0	22.5
	24-Dic	21.7	-0.1	21.8
	25-Dic	18.7	0	18.7
1985	06-Ene	18	-1	19
1986	13-Ene	14.4	-2.5	16.9
	14-Ene	19	-4.2	23.2
	15-Ene	21.3	-3.8	25.1
	16-Ene	24.3	-0.6	24.9
	28-Ene	21.5	-0.2	21.7
	06-Feb	23	0	23
1987	05-Ene	21.2	-0.4	21.6
	12-Ene	21.2	-3.2	24.4
	27-Ene	20.3	-0.9	21.2

	28-Ene	24.1	-1.7	25.8
	29-Ene	23	0	23
	08-Feb	19.2	-0.8	20
	09-Feb	21	0	21
	10-Feb	21	-0.5	21.5
	07-Mar	21.3	-1.2	22.5
1988	27-Ene	14.9	-3	17.9
	28-Ene	15.8	0	15.8
	29-Ene	18.8	-0.3	19.1
1989	24-Feb	22	-1.3	23.3
	25-Feb	22.8	-0.4	23.2
	10-Mar	23.2	-0.8	24
	11-Mar	25.2	-0.8	26
	24-Dic	19.5	-0.8	20.3
	25-Dic	20.2	-1.5	21.7
	26-Dic	20.2	-2	22.2
1990	25-Ene	24	0	24
	12-Nov	21.5	-0.4	21.9
	10-Dic	20	-0.9	20.9
	14-Dic	23.3	-0.4	23.7
1991				
1992	05-Feb	22.7	-2	24.7
	06-Feb	23.6	-0.5	24.1
1993				
1994	05-Ene	22	-1.2	23.2
	06-Ene	24	-0.1	24.1
1995				
1996	04-Ene	20.5	-0.3	20.8
	10-Ene	22.8	-0.5	23.3
	13-Ene	21	-1.5	22.5
	14-Ene	23	-1	24
	15-Ene	23.1	-0.5	23.6
1997	11-Ene	20.4	-0.6	21
	12-Ene	20.2	-2.5	22.7
	13-Ene	20.8	-1.1	21.9
1998	08-Ene	22.6	-0.5	23.1
	25-Ene	21.7	0	21.7
	01-Feb	22.5	0	22.5
	03-Feb	21.1	-1.9	23
	04-Feb	26	-1.2	27.2
1999	15-Feb	22	0	22
	28-Nov	20.3	0	20.3
	29-Nov	19.8	-1	20.8
	24-Oct	20.3	-1	21.3
	29-Dic	19.9	-1.1	21
	30-Dic	22	-0.8	22.8
2000	15-Ene	20	-0.3	20.3
	19-Ene	20.5	-0.2	20.7
	20-Ene	21.8	-0.5	21.3
	09-Feb	24.9	0	24.9
	28-Dic	15.5	0	15.5
	29-Dic	19.5	0	19.5
2001	20-Ene	21	-0.6	21.6
	21-Ene	20.6	-0.6	21.2

	23-Ene	22	0	22
2002	03-Ene	21.9	-1.5	23.4
	09-Ene	21.8	-0.2	22
	10-Ene	22	-0.2	22.2
	18-Nov	18	-0.5	18.5
	22-Nov	16.5	-2.3	18.8
	23-Nov	18.4	-2.2	20.6
	24-Nov	21	-2.5	23.5
2003	15-Dic	21.6	0	21.6
	18-Dic	19	0	19
	19-Dic	20	-1.4	21.4
	20-Dic	18.5	-1	19.5
	21-Dic	21	-1.2	22.2
	22-Dic	21.6	-1.4	23
	23-Dic	20.8	-2.5	23.3
	24-Dic	19.8	0	19.8
2004	19-Ene	22.7	-1	23.7
	02-Feb	22.5	-2.5	25
	18-Feb	21.5	-0.5	22
	29-Dic	20.3	0	20.3
	30-Dic	21.3	-0.2	21.5
2005	17-Ene	18.4	0	18.4
2006	07-Ene	20	-2.2	22.2
	08-Ene	21	-2.2	23.2
	09-Ene	21.5	-1	22.5
2007				
2008	03-Ene	17	-1.6	18.6
2009	07-Feb	25.3	0	25.3
	24-Feb	23.8	-1	24.8
	22-Dic	21	1.5	19.5
PROM.		20.9	- 1.0	21.9

El análisis primario de estos datos se muestra a continuación:

Objetivos

- a) Realizar el análisis estadístico de las heladas del período 1963-2009 en el Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de la FFyL de la UNAM
- b) Identificar y comprender plenamente el fenómeno para determinar sus parámetros.
- c) Descubrir una función matemática que nos conduzca al modelo numérico que pronostique el fenómeno de las heladas.

- d) Aplicar este modelo matemático en la República Mexicana, relacionándolo con el cambio climático y el calentamiento global, buscando su utilidad práctica en la agricultura nacional.

Análisis Estadístico

Número de heladas en el período 1963-2009: 268.

Año con más heladas: 1970, con 25 heladas.

Año (s) con menos heladas: 1964, 1974, 1985 y 2005, con 1 helada.

Años sin heladas: 1991, 1993, 1995 y 2007. Los años 1991, 1993 y 1995 se insertan en la década de los noventas, la cual está considerada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) (<http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>) como la más cálida en todo el planeta. Esto concuerda con lo que sucede en el Observatorio del Colegio de Geografía, por el hecho de que en tres años de los noventas no hubo heladas.

Las heladas se concentran en el invierno, seguido del otoño, en primavera prácticamente no hay. De acuerdo a su aspecto visual la inmensa mayoría de las heladas de este lugar son blancas, pues ocurrieron con humedad relativa alta (arriba del 70 %).

Número de heladas concentradas por mes en el período 1963-2009:

Mes	Cantidad
Enero	109
Diciembre	75
Febrero	50
Noviembre	30
Marzo	3

Octubre	1

Total	268

La temperatura mínima *minimorum* para helada del período 1963-2009, se dio el 18 de Diciembre de 1980, fue de -5.0 °C.

Así mismo, la temperatura máxima *maximorum* para helada del mismo período, se dio el 25 de Enero de 1978, esta fue de 25.8 °C; pero también este mismo día fue el de la máxima oscilación con 30.3 °C, pues para la mínima, el termómetro marcó -4.5 °C.

El día de la mínima oscilación fue el 11 de Enero de 1967, con 6.0 °C, siendo la mínima de 0.0 °C y la máxima obviamente de 6.0 °C.

Número de heladas por década:

Década	Cantidad
1963-1972	97
1973-1982	67
1983-1992	46
1993-2002	37
2003-2009	21

La línea es descendente y gradual, la década más fría, de acuerdo a la ocurrencia y número de heladas, es la de los sesentas; así mismo, la más cálida es la última, pero como esta todavía no termina, pues concluye hasta 2012, realmente es la de los noventas, concordando otra vez con lo que asevera el IPCC.

De acuerdo a la experiencia adquirida al llevar a cabo esta investigación documental y de campo *in situ*, la helada se da en este Observatorio, con una temperatura mínima al abrigo un poco mayor a 0.0 °C (1.6 °C), por lo que tal vez el

número de heladas sea mayor, pues solo se consideraron con mínimas de 0.0 °C y menores a esta. Se continúa investigando al respecto.

La fórmula extraída es directamente proporcional en cuanto a la temperatura mínima registrada en el lugar el día anterior, así mismo la tensión del vapor de agua, la oscilación térmica, la oscilación de la temperatura del punto de rocío junto con la constante solar (1.367 W/m^2), e inversamente proporcional a la humedad relativa.

El modelo matemático es el siguiente:

Para más información favor de comunicarse con el autor:

Tomás Fernández Ábrica
e-mail: feat_777@yahoo.com.mx

Bibliografía

- Dunlop, Storm (2006), Guía Técnica de Meteorología, Ediciones Omega, S.A., Barcelona, Esp., 221 p.
- Vallée, Jean-Louis (2006), Meteorología, Editorial Blume, Barcelona, Esp, 221 p.
- Campos-Aranda, D. (2000), Heladas, orígenes, predicción, pronóstico y defensa, en Tlaloc, Revista Trimestral de la Asociación Mexicana de Hidráulica, Ed. Trilce, México, D.F.
- Romo, G y Arteaga, R. (1989), Meteorología Agrícola, Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Irrigación, México, D.F., 400 p.

Páginas web

www.ndbc.noaa.gov

www.wmo.int/-suiza-

www-fao.org/-

www.tutiempo.net/

www.proteccioncivil.gob.mx/

www.ecoplantcl/

www.kosmos.com.mx/

Páginas de Internet

Alerce.inia.cl/docs/posters/