

ESTIMACIÓN DE LAS TEMPERATURAS MÍNIMAS MEDIAS MENSUALES EN LA REGIÓN NOROCCIDENTAL DE LA ARGENTINA

A.J. PASCALE, E.A. DAMARIO, MARÍA E. FERNÁNDEZ LONG y SILVINA MAIO¹ –*ex aequo*

Recibido: 26/05/99

Aceptado: 24/08/99

RESUMEN

Utilizando variables de índole geográfica se desarrollaron regresiones múltiples lineales altamente significativas que permiten calcular las temperaturas mínimas medias mensuales para localidades de la región noroeste de la Argentina.

El análisis resalta la influencia casi excluyente de la altitud, cuyas correlaciones (R^2) y errores estándar de estimación (S_y) mejoran progresivamente introduciendo la latitud, la longitud y la precipitación anual.

Las regresiones múltiples obtenidas permiten conocer estimaciones aceptables de las temperaturas mínimas medias mensuales de la región aptas para ser utilizadas en estudios agroclimáticos en las que interviene este parámetro térmico.

Palabras clave. Estimación. Temperaturas mínimas medias mensuales. Noroeste Argentina.

ESTIMATING MONTHLY MINIMUM MEAN TEMPERATURES IN THE NW REGION OF ARGENTINA

SUMMARY

Multiple linear regression equations were developed using geographic variables. The regression equations were highly significant and allowed to estimate minimum monthly mean temperatures for locations in North Western Argentina.

The analysis indicates that elevation is the most important variable, which determination coefficient (R^2) and standard error of estimate (S_y) improved as latitude, longitude and annual precipitation are being considered in the regression analysis.

The multiple regression equations obtained allow to estimate minimum monthly mean temperatures for the region which can be used in agroclimatic studies with such variable.

Key words. Estimates, minimum monthly mean temperatures, NW Argentina

INTRODUCCIÓN

Las diversas formas de expresión que conforman el régimen climático de temperatura mínima son indicadores útiles de las condiciones favorables o adversas que presenta el clima para el éxito de los cultivos agrícolas.

Los dos aspectos agroclimáticamente más importantes relacionados con las temperaturas mínimas, a considerar prioritariamente en cualquier análisis de aptitud agrícola, se refieren por un lado al régimen de heladas y a la disposición de enfria-

miento invernal por el otro. En el régimen de heladas importa destacar las características que manifiesta la ocurrencia de las temperaturas mínimas perjudiciales clasificadas por intensidad. Además, la capacidad regional para satisfacer la exigencia bioclimática de enfriamiento de los cultivos criófilos durante su descanso fenológico, se expresa por las medias mensuales de "horas de frío" o de "unidades de enfriamiento".

El conocimiento de estos dos indicadores agroclimáticos son de consideración obligada en el

¹Cátedra de Climatología y Fenología Agrícola. Facultad de Agronomía. UBA. Av. San Martín 4453, (1417). Buenos Aires.

estudio propuesto (proyecto UBACYTTG31) para la región noroeste de la Argentina con la finalidad de determinar la aptitud para el desarrollo de cultivos de reemplazo de los ya existentes en el área.

Esta amplia región, que comprende a las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán, Santiago del Estero, La Rioja y Catamarca, se dispone de información climática confiable, provista por las estaciones meteorológicas oficiales ubicadas en el área, la cual resulta insuficiente cuando se pretende extenderla a toda la región, por cuanto las enormes diferencias altimétricas introducen un factor de variación que restringe notablemente la información al lugar puntual de su obtención.

De lo dicho, surge la necesidad de obtener un método estimativo de la variación de la temperatura mínima con la altitud que es el factor geográfico predominante, para disponer de información suficientemente detallada sobre los diferentes aspectos agroclimáticos relacionados. La estimación de las temperaturas mínimas medias mensuales permitirá llegar a conocer, empleando adecuada metodología, la disponibilidad en "horas de frío", las fechas me-

dias de primeras y últimas heladas de distintos niveles, la duración de los bioperíodos térmicos correspondientes, etc. (Damario y Pascale, 1984, 1993-94, 1995; Damario *et al.*, 1998).

El objetivo del estudio es obtener una forma de estimación de la temperatura mínima media mensual regional, adecuada a los propósitos agroclimáticos mencionados precedentemente.

MATERIALES Y METODOS

A partir de las tres estadísticas climatológicas oficiales que cubren el período 1961-1990 (Argentina, 1981, 1986 y 1992) se computaron los promedios de temperaturas mínimas mensuales de todas las estaciones meteorológicas ubicadas en la región noroeste que tuvieron una altitud mayor de 200 m y contaran con 20 o más años de observaciones continuadas dentro del treinteo en el mismo lugar de instalación. Además, se utilizaron los valores de temperaturas mínimas medias mensuales consignadas en las estadísticas climatológicas de la provincia de Salta (San Carlos y Cachi con 15 y 18 años, respectivamente) (Arias y Bianchi, 1996). La nómina y períodos observacionales de las 23 estaciones meteorológicas consideradas se indican en Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Nómina de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Localidad	Período	Latitud (S)	Longitud (W)	Altitud (m)	Provincia
La Quiaca	1961 - 1990	22° 06'	65° 36'	3459	Jujuy
Cachi	1974 - 1992	25° 07'	66° 12'	2280	Salta
San Carlos	1977 - 1992	22° 53'	65° 57'	1710	Salta
Cerrillos	1971 - 1998	24° 54'	65° 29'	1253	Salta
Las Costas	1971 - 1992	24° 45'	65° 29'	1226	Salta
Salta Aero	1961 - 1990	24° 51'	65° 29'	1221	Salta
Tinogasta	1961 - 1990	28° 04'	67° 34'	1201	Catamarca
El Carril	1971 - 1992	25° 05'	65° 29'	1170	Salta
Cnel. Moldes	1973 - 1992	25° 16'	65° 29'	1143	Salta
Jujuy Aero	1971 - 1990	24° 23'	65° 05'	905	Jujuy
Rosario de la Frontera	1976 - 1991	25° 48'	64° 57'	791	Salta
Chepes	1961 - 1990	31° 20'	66° 36'	658	La Rioja
Sumalao	1961 - 1980	28° 29'	65° 44'	525	Catamarca
Chamical	1961 - 1990	30° 22'	66° 17'	461	La Rioja
Catamarca Aero II	1971 - 1990	28° 36'	65° 46'	454	Catamarca
Tucuman Aero II	1971 - 1990	26° 51'	65° 06'	450	Tucumán
Tartagal	1968 - 1989	22° 39'	63° 49'	450	Salta
La Rioja Aero	1961 - 1990	29° 23'	66° 49'	430	La Rioja
Tucuman Aero I	1960 - 1980	26° 50'	65° 12'	420	Tucumán
Famaillá	1971 - 1990	27° 03'	65° 25'	363	Tucumán
Oran	1961 - 1990	23° 12'	64° 19'	357	Salta
Cnia. Santa Rosa	1976 - 1992	23° 27'	64° 22'	322	Salta
Rivadavia	1961 - 1990	24° 10'	62° 54'	205	Salta

A pesar de disponer de información climática anterior a 1961, la elección del período 1961/90 se fundamentó en el interés de obtener una estimación actualizada, que excluyera la tendencia secular positiva de la temperatura mínima media mensual. (Pascale y Damario 1993/94).

La estimación de las temperaturas mínimas medias mensuales se logró mediante el cálculo de regresiones múltiples por la metodología "stepwise" (Neter, 1990) incluyendo las variables siguientes: altitud (ALT), latitud (LAT), longitud (LON) y precipitación anual (PAN) y sus combinaciones derivadas. Las variables simples de altitud, latitud y precipitación anual fueron utilizadas por Bianchi *et al* (1994), para obtener las regresiones múltiples con las cuales calcular las temperaturas medias mensuales. Con estas fórmulas se estimaron los valores correspondientes a una gran cantidad de localidades de la región noroeste (Bianchi, 1996).

Dado que seguramente las temperaturas mínimas medias están condicionadas por iguales factores que las temperaturas medias, se estimó adecuado trabajar con las mismas variables citadas, aunque ampliando su significación estadística mediante la consideración de su vinculación a través de los productos entre ellas y la inclusión de expresiones cuadráticas, que permitieran minimizar los errores entre temperaturas observadas y calculadas. Las correlaciones entre algunas de las variables con sus productos y expresiones cuadráticas mostraron valores muy altos, demostrando que existe información redundante, cuya inclusión podría haber generado errores, por lo que no se consideraron en el análisis. Solo se tomaron aquellas de mayor correlación simple con la variable dependiente. Finalmente, según el mes en estudio, las variables ensayadas fueron altitud (ALT) o (ALTxLAT), latitud (LAT), longitud (LON), precipitación anual (PAN), (ALT)² y (ALTxPAN).

Para cada mes, la metodología utilizada señaló las

cuatro variables de mayor significancia estadística (en todos los casos mayor al 99,9%) con las cuales integrar la fórmula de regresión múltiple estimativa de las temperaturas mínimas medias.

Teniendo en cuenta que el objetivo del estudio consiste en estimar las temperaturas mínimas medias de localidades o puntos del área que no disponen de observación meteorológica alguna, se trató de desarrollar una regresión múltiple que incluyeran solamente las variables ALT, LAT y LON y sus combinaciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

El resultado de las correlaciones entre las temperaturas mínimas medias observadas (período 1961-90) y las variables de estimación se resumen en el Cuadro N° 2. Del mismo surge claramente que la altitud tiene una importancia casi excluyente, con coeficientes de R² que van desde 0.975 en febrero hasta 0.865 en junio, en combinación en este último mes con la latitud. Los aportes de las otras variables fluctúan a través de los meses, resaltando el valor PAN en el período estival como respuesta al régimen pluviométrico regional y en forma muy destacado el de LON en el período invernal de muy escasas lluvias. Las regresiones múltiples producidas por estas variables a través de la metodología estadística señalada, permitieron seleccionar las cuatro de mayor significancia predictiva para cada uno de los meses, las cuales están indicadas en el Cuadro N° 3 con sus niveles de R² y error estándar de estimación (Sy).

Como puede apreciarse el método acusa un mayor ajuste para los meses estivales. En cambio,

Cuadro N° 2. Contribución al R² total mensual de las cuatro variables más significativas

VARIABLES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
ALT	0,963	0,975	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,960
LAT	-	-	0,006	-	-	-	-	-	-	-	-	0,003
LON	0,003	-	-	0,020	0,034	0,084	0,055	0,043	0,022	0,018	-	-
ALTxLAT	-	-	0,977	0,960	0,939	0,865	0,894	0,895	0,921	0,948	0,954	-
ALT ²	0,001	0,002	-	-	-	0,006	0,012	0,014	-	-	0,003	0,005
PAN	0,020	0,003	0,003	0,004	-	-	-	0,015	0,019	0,009	0,024	0,017
ALTxPAN	-	0,006	0,002	0,002	0,003	-	0,003	-	0,006	0,006	0,004	-
R ² TOTAL	0,987	0,986	0,988	0,987	0,977	0,956	0,964	0,968	0,968	0,981	0,985	0,986

Cuadro N° 3. Regresiones múltiples lineales mensuales para la estimación de la temperatura mínima media con las cuatro variables más importantes.

		R ²	S _v
Enero	37,7963-0,0053ALT - 0,0022PAN - 0,2037LON +1,27E-07(ALT) ²	0,987	0,442
Febrero	23,1441-0,0057ALT +2,3E-08(ALTxPAN) +3,1E-07(ALT) ² - 0,0012PAN	0,986	0,445
Marzo	25,8014-2,259E-04(ALTxLAT)-1,999E-03PAN-0,1282LAT+ 9,16E-07(ALTxPAN)	0,988	0,393
Abril	58,9489 - 2,320E-04(ALTxLAT) - 0,620LON + 1,8E-06(ALTxPAN) - 0,00157PAN	0,987	0,473
Mayo	63,4631 - 2,358E-04(ALTxLAT) - 0,7590LON + 1,021E-06(ALTxPAN)	0,977	0,698
Junio	106,2132 - 1,369E-04(ALTxLAT) - 1,49LON - 3,65E-07(ALT) ²	0,956	0,916
Julio	94,3476-9,568E-05(ALTxLAT)-1,326LON-5,22E-07(ALT) ² - 8,45E-07(ALTxPAN)	0,964	0,777
Agosto	100,4052-1,0E-04(ALTxLAT) -1,371LON - 0,0020PAN - 4,82E-07(ALT) ²	0,968	0,713
Septiembre	78,3355-2,4E-04(ALTxLAT) - 0,952LON - 0,0036PAN + 1,725E-06(ALTxPAN)	0,968	0,731
Octubre	64,5249-2,56E-04(ALTxLAT)-3,878E-03PAN-0,67LON +1,732E-06(ALTxPAN)	0,981	0,578
Noviembre	23,7559 -2,90E-04(ALTxLAT)-3,721E-03PAN+1,8E-06(ALTxPAN)+2,0E-07(ALT) ²	0,985	0,494
Diciembre	27,1933 - 6,32E-03ALT - 2,35E-03PAN + 3,26E-07(ALT) ² - 0,1036LAT	0,986	0,462

Cuadro N° 4. Regresiones múltiples y parámetros estadísticos con las variables ALT, LAT y LON y sus combinaciones.

		R ²	S _v
Enero	22,4391 - 0,00453ALT	0,963	0,682
Febrero	22,019 - 0,0052ALT + 2,31E-07 (ALT) ²	0,978	0,535
Marzo	22,4219 - 1,763E-04(ALTxLAT) - 0,0687LAT - 1,24E-07(ALT) ²	0,980	0,502
Abril	55,5393 -1,99E-04(ALTxLAT) - 0,5818LON	0,980	0,545
Mayo	77,1522 - 1,949E-04(ALTxLAT) - 0,9715LON - 1,89E-07(ALT) ²	0,975	0,727
Junio	106,2132 - 1,369E-04(ALTxLAT) - 1,49LON - 3,65E-07(ALT) ²	0,956	0,916
Julio	106,3018 - 8,97E-05(ALTxLAT) - 1,5783LON - 5,3E-07(ALT) ² + 1,536LAT	0,964	0,780
Agosto	79,9045 - 1,075E-04(ALTxLAT) - 1,082LON - 4,86E-07(ALT) ²	0,953	0,844
Septiembre	70,3839 - 1,8E-04(ALTxLAT) - 0,936LON+0,1526LAT	0,946	0,924
Octubre	36,2460 - 2,08E-04(ALTxLAT) - 0,2806LON	0,952	0,860
Noviembre	18,4454 - 20,3E-04(ALTxLAT) - 0,0775LAT	0,956	0,791
Diciembre	22,1638 - 5,25E-03ALT	0,962	0,722

en el período invernal se obtienen los mayores errores de estimación. La Fig. 1 (A y B) muestra la relación entre valores observados y calculados para los meses de enero y julio, acorde con lo señalado precedentemente.

Las ecuaciones del Cuadro N° 3 podrán aplicarse a todas aquellas localidades que dispongan de

valores de precipitación anual, como son las incluidas en la estadística publicada por Bianchi y Yañez (1992). Para la aplicación del método estimativo a lugares carentes de información pluviométrica, se obtuvieron las regresiones múltiples mensuales considerando solamente las variables ALT, LAT, LON y sus combinaciones. Las cuatro

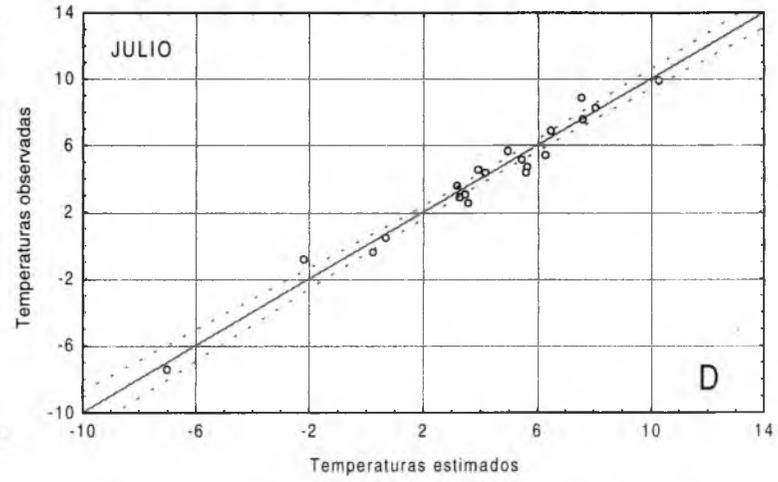
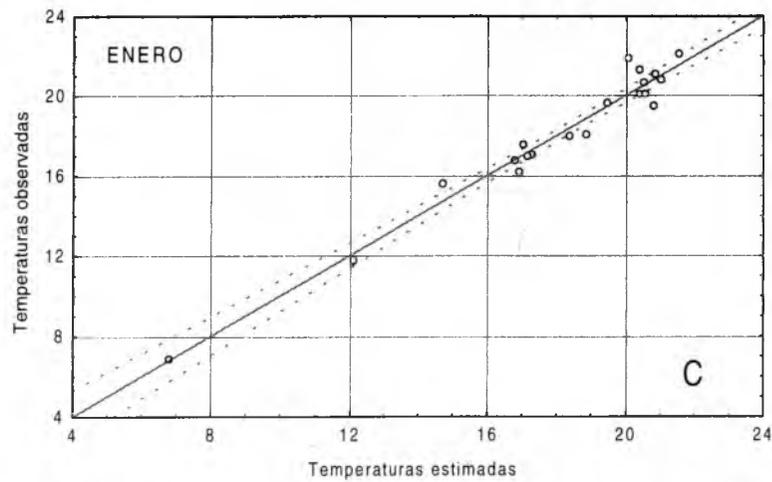
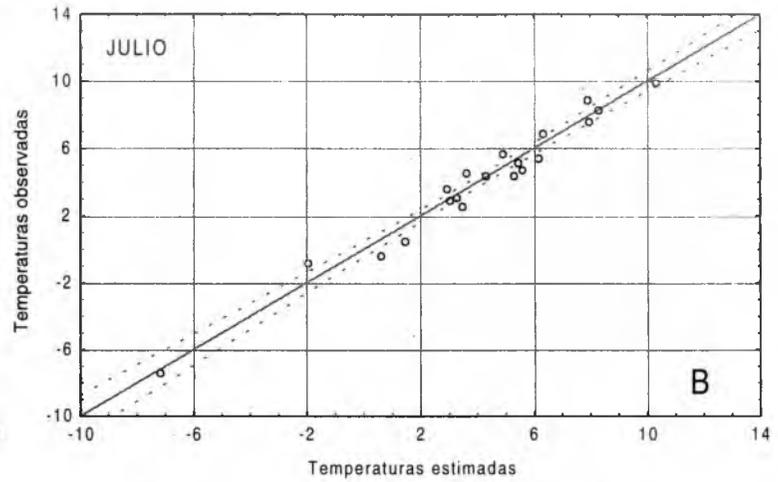
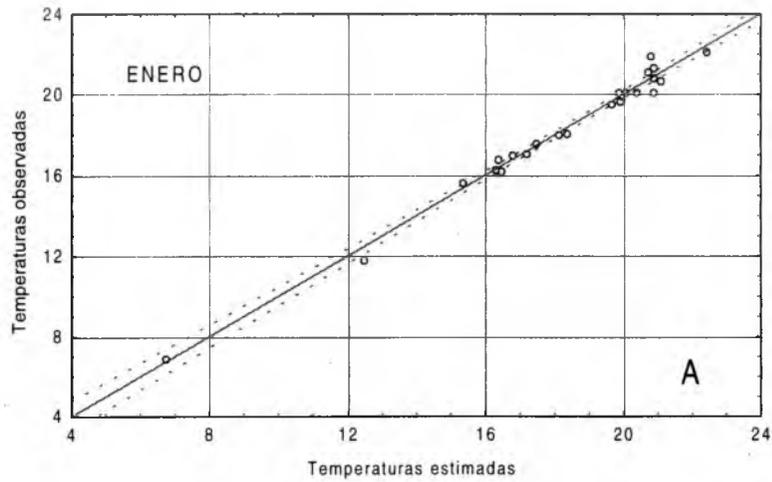


Fig. 1. Valores estimados versus valores observados para las fórmulas con las cuatro variables más significativas para enero y julio (A y B) y utilizando sólo ALT, LON, LAT y sus combinaciones para iguales meses (C y D).

más significativas produjeron R^2 totales y sus S_y correspondientes que se presentan en el Cuadro N°4. Al compararlos con los R^2 totales y los S_y del Cuadro N° 3 puede advertirse que son similares en los meses invernales y difieren algo en los meses de verano como consecuencia de la participación ya explicada de PAN.

Los valores del Cuadro N° 4 y los gráficos C y D de la Fig. 1, que muestran las diferencias entre los valores observados y los estimados para estos casos, permiten la estimación de las temperaturas mínimas medias mensuales con aproximación admisible para localidades sin registros de precipita-

ción. Es de hacer notar que las diferencias encontradas entre valores observados y estimados con la aplicación de las fórmulas (Cuadro N° 3 y N°4) pueden atribuirse, en gran medida, a la diferente orientación dentro del paisaje ondulado de la región, a estar ubicadas en lugares planos como los aeródromos, pertenecer a estaciones agrometeorológicas con riego posible, etc. De todas formas es posible afirmar, de acuerdo a los resultados obtenidos, que las variables utilizadas son las principales responsables de la variación de la temperatura mínima media.

BIBLIOGRAFÍA

- ARGENTINA, 1981. Estadística Climatológica 1961-70. Servicio Meteorológico Nacional. Serie B, N° 35, 188 pág.
- ARGENTINA, 1986. Estadística Climatológica 1971-80. Servicio Meteorológico Nacional. Est. Meteorológicas N° 36, 169 pág.
- ARGENTINA, 1992. Estadística Climatológica 1981-90. Servicio Meteorológico Nacional. Serie B, N° 37, 709 pág.
- ARIAS M. y A.R. BIANCHI, 1996. Estadísticas climatológicas de la provincia de Salta. INTA. Est. Exp. Agrop. Salta, 189 pág.
- BIANCHI, A.R., 1996. Temperaturas medias estimadas para la región noroeste de Argentina. INTA. Estación Experimental Agropecuaria de Salta, 14 pág.
- BIANCHI, A.R y C.E. YAÑEZ, 1992. Las precipitaciones en el noroeste argentino, INTA. Est. Exp. Agrop. Salta (2da. Ed.) 383 pág.
- BIANCHI, A.R.; I.J. NIEVA y C.E. YAÑEZ, 1994. Un modelo simple de regresión lineal para la estimación de temperaturas medias mensuales regionales. *RIA* 25 (3):35-54, INTA, ARGENTINA.
- DAMARIO, E.A., A.J. PASCALE, 1984. Fechas medias estimadas de primeras y últimas temperaturas mínimas perjudiciales para los cultivos en la Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía* 5(3): 192-211.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE, 1993-94. Método de estimación de las fechas medias de primeras y últimas heladas. *Rev. Facultad de Agronomía* 14(3): 257-264.
- DAMARIO, E.A. y A.J. PASCALE, 1993-94. Nueva carta agroclimática de "horas de frío" en la Argentina. *Rev. Facultad de Agronomía* 15(2-3): 219-225.
- DAMARIO, E.A., A.J. PASCALE y C. BUSTOS, 1998. Método simplificado para la estimación agroclimática de "horas de frío" anuales. *Rev. Facultad de Agronomía* 18(1-2): 93-97.
- NETER, J., W. WASSERMAN and M.H. KUTNER, 1990. Applied linear statistical models. Third editions. Irwin, EE.UU. 1181 pág.
- PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO, 1993-94. Tendencia de la amplitud térmica mensual en la Argentina desde 1901 a 1990. *Rev. Facultad de Agronomía* 14(2): 127-138.