

# Probabilidad de ocurrencia de temperaturas máximas y mínimas medias decádicas en Inta Paraná y zona de influencia (Entre Ríos, Argentina)

Brizuela A. B. y J. H. Saluso

## RESUMEN

La producción agropecuaria depende en gran medida del comportamiento de las variables meteorológicas durante el ciclo productivo. Sin embargo ese comportamiento, aunque aleatorio, responde a ciertos modelos probabilísticos como es el caso de las temperaturas máximas y mínimas diarias. En este trabajo se prueba la hipótesis de normalidad y se muestra una técnica de estimación de intervalos de confianza de los valores medios decádicos de las temperaturas máximas y mínimas en diferentes momentos del año.

**Palabras clave:** temperaturas diarias, bondad de ajuste, probabilidad.

Brizuela, A. B. y J. H. Saluso, 1995. Occurrence probability of maximum and minimum mean temperatures at INTA Paraná in ten-days period. Agriscientia, XII (Special Issue): 13-21

## SUMMARY

Agricultural production depends to a great extent on the meteorological variables during the production cycle. However, such behaviour even when aleatory, responds to certain probability models such as the maximum and minimum daily temperatures. Normality hypothesis is proved in this work and an estimation technique of the confidence intervals of 10-days period mean values of maximum and minimum temperatures in different times of the year, is shown.

**Key words:** daily temperatures, goodness of fit, probability.

*A. B. Brizuela, Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER - CC 24 (3100) Paraná, Entre Ríos, Argentina. J. H. Saluso, Estación Experimental Agropecuaria Paraná, INTA - CC 128 (3100) Paraná, Entre Ríos, Argentina.*

## INTRODUCCIÓN

Los objetivos de la agrometeorología tienden a extender y a utilizar los conocimientos de los procesos atmosféricos para alcanzar mayor producción alimentaria y otros productos forestales, sin descuidar la conservación de los recursos naturales y la protección del ambiente (Gloyne y Lomas, 1988).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) realiza, desde 1976, estudios y seguimientos de las condiciones agrometeorológicas de los cultivos, en diversas partes del mundo, y propone métodos sencillos de pronóstico de cosechas (Frere y Popov, 1986)

Según Damarío y Pascale (1971) la temperatura del aire es el elemento climático más importante en el comportamiento de los vegetales, determinando, en gran medida, la distribución geográfica de las comunidades botánicas y de los cultivos agrícolas.

Bingham (1963) analizó las temperaturas extremas en el noreste de los Estados Unidos, empleando la distribución normal y además ajustó los datos mensuales mediante series de Fourier.

Bilbro (1967) calculó las probabilidades para ciertos umbrales de temperaturas.

Ashcroft y Derksen (1963) publicaron las fechas de la primera y última ocurrencia de distintos niveles de temperaturas cercanos a 0°C, correspondientes a distintos períodos de retorno.

En nuestro país no hay muchos antecedentes de estas características. Burgos (1963) definió su índice crikindinoscópico como la temperatura media del aire que corresponde a una misma probabilidad de heladas. Para ello deben calcularse previamente las probabilidades de las fechas de las primeras y últimas heladas, considerando un solo umbral térmico: 0°C.

Zeljovich *et al.* (1989) con la finalidad de conocer la dinámica del régimen térmico de la localidad de Pergamino, Prov. de Buenos Aires, realizaron un análisis de las probabilidades de ocurrencia de temperaturas mínimas y máximas de la zona mencionada.

El presente trabajo se llevó a cabo, teniendo en cuenta estos antecedentes, con la finalidad de lograr un mayor conocimiento de la aptitud agropecuaria de la zona y aportar elementos de análisis para considerar, en la planificación, el probable comportamiento de una variable meteorológica como la temperatura. También

podría ser de interés en cuanto a la introducción potencial de nuevas especies, animales o vegetales. Además los resultados podrán ser usados en modelos de seguimiento y predicción de cosechas.

El objeto fue comprobar el ajuste de las temperaturas diarias -máxima y mínima- a una distribución normal y probar una técnica de estimación de los valores medios y desvíos decádicos en función de la época del año, con los consecuentes cálculos probabilísticos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de temperaturas máximas y mínimas diarias del aire tomadas en abrigo meteorológico a 1.50 m de altura, período 1935-1989, disponibles en el Observatorio Agrometeorológico de la EEA Paraná, del INTA, ubicado a 31° 50' de latitud Sur y 60° 31' de latitud Oeste y a 110 m sobre el nivel del mar. Corresponde a la región de clima templado húmedo de llanura. El paisaje se caracteriza por lomadas relativamente suaves con pendientes que pueden llegar hasta el 7%.

En primer lugar se realizó un test de bondad de ajuste para corroborar la hipótesis de normalidad de los datos. Este supuesto es asumido generalmente, en los trabajos de investigación, sin una verificación estadística. La prueba fue realizada sobre 10 casos seleccionados en forma aleatorizada sobre un total de 36. Se utilizó el test Chi-cuadrado al nivel de significancia del 1%.

Los casos probados corresponden a muestras compuestas por las temperaturas mínimas y máximas diarias tomadas en conjuntos de 10 días. Éstos no contienen igual cantidad de datos porque se construyen de acuerdo al número de días de cada mes. Así por ejemplo enero tiene dos grupos de 10 días (1-10 y 11-20) y uno de 11 días (21-31), mientras que febrero dos de 10 días y uno de 8 o 9 días. Las décadas fueron numeradas de 1 a 36 como se muestra en la Tabla 1.

Luego se procedió a realizar un análisis armónico para determinar las componentes, con sus coeficientes correspondientes, que representan en forma simplificada a las medias y logaritmos de los desvíos standar decádicos de todo el año.

Según la metodología empleada por Conrad y Pollak (1950) se puede representar el curso anual de una variable meteorológica, con patrón sinusoidal, a través de sus componentes

**Tabla 1.** Numeración de las décadas

Década	Mes	Desde	Hasta	Década	Mes	Desde	Hasta
1	ENE	1	10	19	JUL	1	10
2	ENE	11	20	20	JUL	11	20
3	ENE	21	31	21	JUL	21	31
4	FEB	1	10	22	AGO	1	10
5	FEB	11	20	23	AGO	11	20
6	FEB	21	28/29	24	AGO	21	31
7	MAR	1	10	25	SET	1	10
8	MAR	11	20	26	SET	11	20
9	MAR	21	31	27	SET	21	30
10	ABR	1	10	28	OCT	1	10
11	ABR	11	20	29	OCT	11	20
12	ABR	21	30	30	OCT	21	31
13	MAY	1	10	31	NOV	1	10
14	MAY	11	20	32	NOV	11	20
15	MAY	21	31	33	NOV	21	30
16	JUN	1	10	34	DIC	1	10
17	JUN	11	20	35	DIC	11	20
18	JUN	21	30	36	DIC	21	31

(armónicos). La expresión general es de la forma:

$$Y = a_0 + a_1 \text{sen}(X + A_1) + a_2 \text{sen}(2X + A_2) + \dots + a_k \text{sen}(kX + A_k)$$

Se calcularon los coeficientes correspondientes hasta los de tercer orden.

También se efectuó un ajuste mediante polinomios de grado 5 por el método de mínimos cuadrados por cuanto se consideró que, a los fines prácticos, la utilización de polinomios podría resultar más simple que los armónicos mencionados.

Con las temperaturas máximas y mínimas medias y los desvíos standar de cada década del año es posible calcular las probabilidades de ocurrencia de los niveles térmicos de interés agronómico.

Para las aplicaciones se propone la siguiente secuencia de pasos:

- Establecer la variable y la época del año
- Estimar los parámetros: media y desvío estándar
- Estandarizar las variables
- Obtener las probabilidades

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Bondad de ajuste

Al realizar el test de hipótesis de normalidad, con un nivel de significación del 1%, se obtuvieron los siguientes resultados:

$H_0$  La variable tiene distribución normal

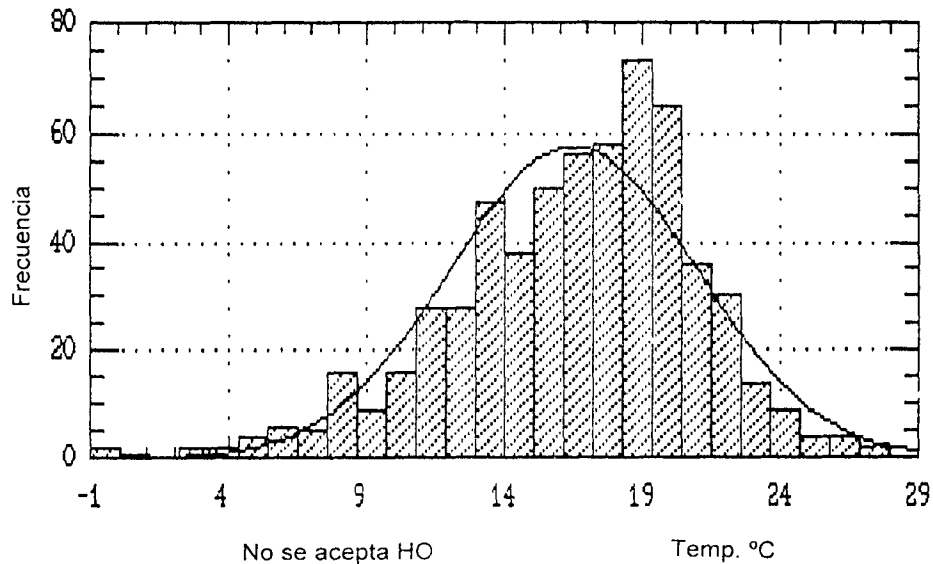
**Tabla 2.** Bondad de ajuste para temperaturas máximas y mínimas

Temperaturas máximas			
Década	Periodo	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
4	1 - 10 Febrero	x	
11	11 - 20 Abril	x	
13	1 - 10 Mayo	x	
14	11 - 20 Mayo	x	
15	21 - 31 Mayo		x
19	1 - 10 Julio	x	
20	11 - 20 Julio	x	
22	1 - 10 Agosto		x
23	11 - 20 Agosto	x	
28	1 - 10 Octubre	x	
Temperaturas mínimas			
Década	Periodo	Aceptar $H_0$	Rechazar $H_0$
6	21 - 28 Febrero		x
11	11 - 20 Abril	x	
12	21 - 30 Abril		x
15	21 - 31 Mayo	x	
20	11 - 20 Julio		x
22	1 - 10 Agosto	x	
26	11 - 20 Setiembre	x	
29	11 - 20 Octubre	x	
30	1 - 10 Noviembre	x	
32	11 - 20 Noviembre	x	

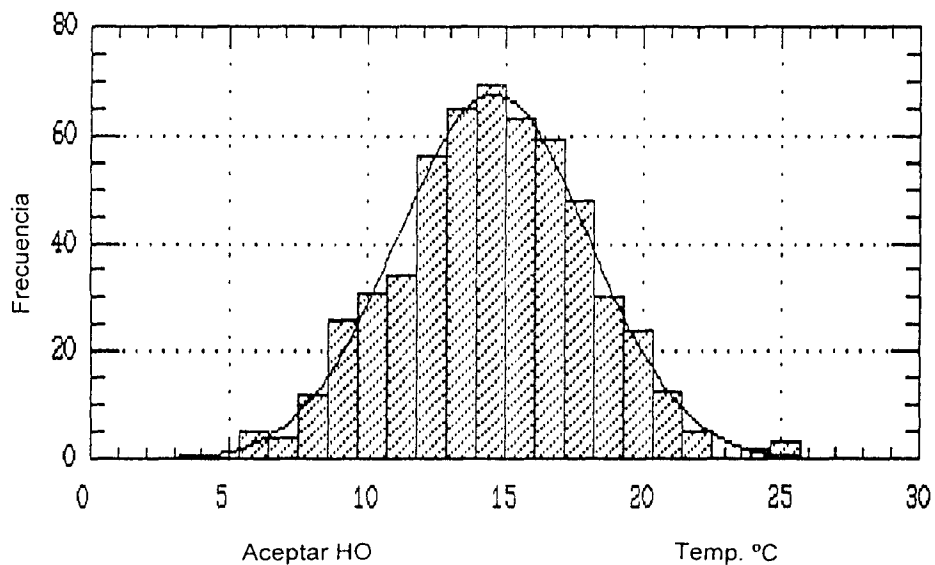
Como se observa en la Tabla 2 se acepta la hipótesis -al nivel del 1%- de normalidad en un 80% de casos para temperaturas máximas y en un 70% para las mínimas, justificando así la suposición de distribución normal de las

variables. Las Figuras 1 y 2 muestran los histogramas de frecuencias de los datos observados y la correspondiente distribución teórica en dos situaciones diferentes. La primera,

década 6, en la que los datos observados no ajustan -al nivel del 1%- a una distribución normal y la segunda donde se acepta la hipótesis nula.



**Figura 1.** Histograma y distribución normal -Tmin, década 6



**Figura 2.** Histograma y distribución normal -Tmin, década 32.

**Análisis armónico**

Se llevó a cabo utilizando los datos de temperaturas máximas y mínimas medias decádicas (TXMED y TNMED) y logaritmos de

los desvíos estándar (LDSTX y LDSTN). La marcha de estos parámetros toma una forma sinusoidal, presentando una variación suave entre los valores extremos (Figuras 3 y 4).

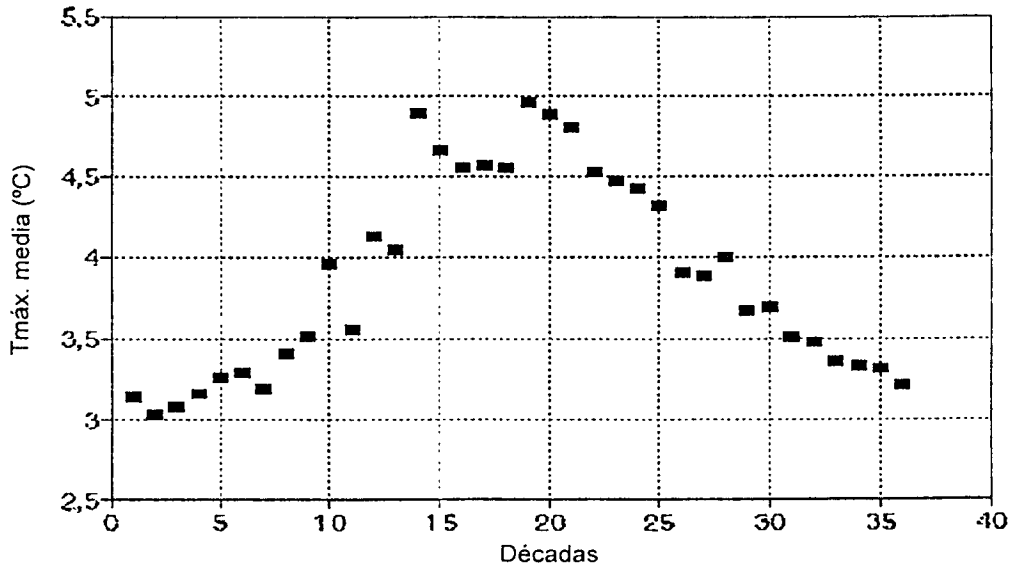


Figura 3. Marcha de la temperatura máxima media decádica

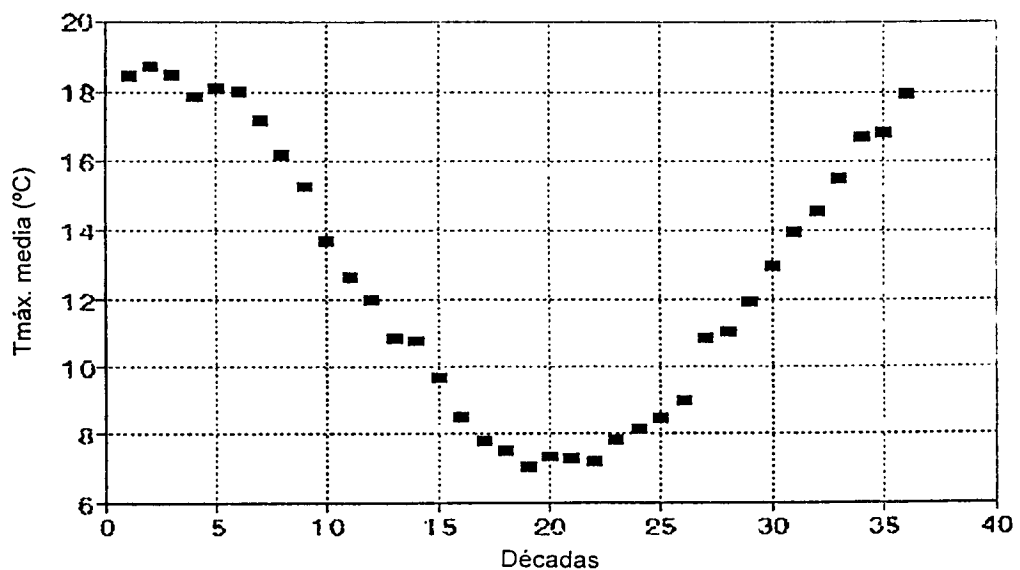


Figura 4. Marcha del desvío standard de la temperatura máxima media decádica.

Se obtuvieron los coeficientes de los armónicos que se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Coeficientes armónicos hasta 3er orden

	TNMED	LDSTN	TXMED	LDSTX
$a_0$	12.6	0.58	23.6	0.6232
$a_1$	5.7	-0.092	6.9	-0.056
$a_2$	0.2235	-0.011	0.391	0.0169
$a_3$	0.0849	-0.001	-0.251	-0.006
$A_1$	1.2934	1.479	1.4176	0.9809
$A_2$	0.3626	-0.637	-0.128	0.1795
$A_3$	-0.068	-0.140	-1.177	-1.025

Teniendo en cuenta que los armónicos de mayor orden no siempre agregan información sustancial al modelo, se efectuó una comparación con los valores originales y se calculó el error cuadrático medio según:

$$\epsilon = \sum (o_i - e_i)^2 / n$$

donde:  $O_i$  son los valores observados  
 $e_i$  son los valores estimados por el modelo  
 $n$  el número de datos (en este caso  $n=36$ ).

Se observó que en todos los casos es suficiente utilizar un solo armónico, el de primer orden, porque se alcanza una buena precisión como se muestra continuación:

Variable:	TNMED (°C)	LDSTN	TXMED (°C)	LDSTX
Error cuadrático medio:	0.32	0.01	0.499	0.01

### Ajuste polinomial por cuadrados mínimos.

Como segunda alternativa para el cálculo de los valores medios y desvíos decádicos se utilizó una ecuación de ajuste de la forma:

$$Y = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3 + a_4 X^4 + a_5 X^5$$

El criterio de mínimos cuadrados sirvió para obtener los coeficientes. En la ecuación final se

tomaron únicamente aquellos que tenían alguna significación. Los resultados se resumen en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Coeficientes polinómicos ajustados por cuadrados mínimos

	TNMED	LDSTN	TXMED	LDSTX
$a_0$	17.216	0.4767	31.542	0.595
$a_1$	1.145	0.000	0.000	0.000
$a_2$	-0.236	0.00125	-0.0867	-0.001612
$a_3$	-0.102	0.000	0.000	0.000235
$a_4$	-0.000125	-3.073 10-6	0.000201	-9.54 10-6
$a_5$	0.000	5.937 10-8	-3.760 10-6	1.181 10-7

Las Figuras 5 y 6 muestran el ajuste obtenido para la temperatura máxima media decádica y el logaritmo del desvío standard de la misma, según la marcha de estos parámetros a lo largo del año.

En este caso los errores cuadráticos medios son:

Variable:	TNMED (°C)	LDSTN	TXMED (°C)	LDSTX
Error cuadrático medio:	0.329	0.018	0.655	0.015

### Aplicaciones

Los pasos a seguir en la aplicación de estos resultados se resumen en dos casos generales:

#### 1) Calcular probabilidades para valores fijos

a. Para el periodo de interés tomar el número (X) de la década (Tabla 1).

b. Calcular media y desvío standard a partir de los coeficientes armónicos o polinómicos.

c. Obtener el antilogaritmo del desvío standard.

d. Tipificar según

$$z = (Y - \mu) / \sigma, \text{ Normal } (0,1)$$

e. Buscar en la Tabla de Distribución Normal,  $N(0,1)$ , las probabilidades.

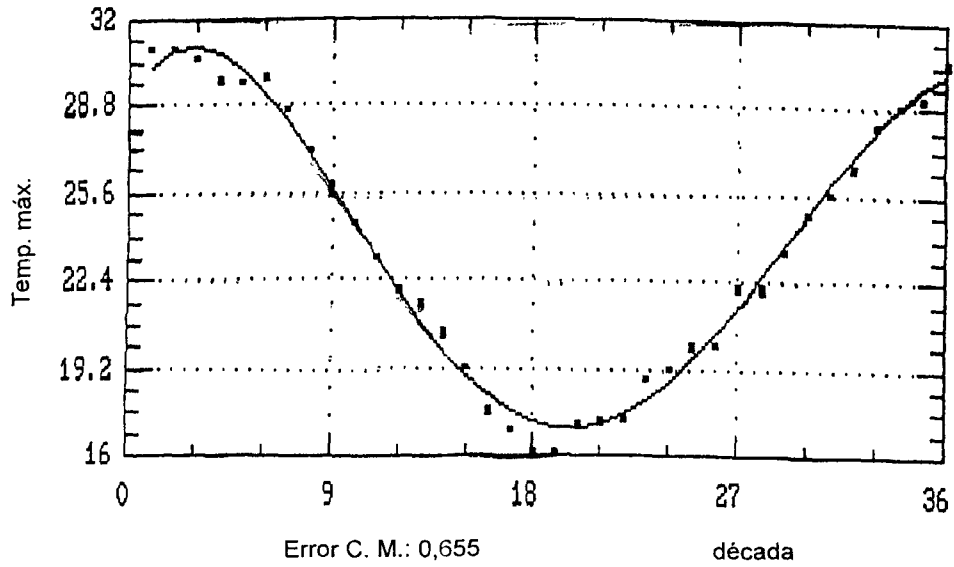


Figura 5. Ajuste polimodal de la temperatura máxima media decádica

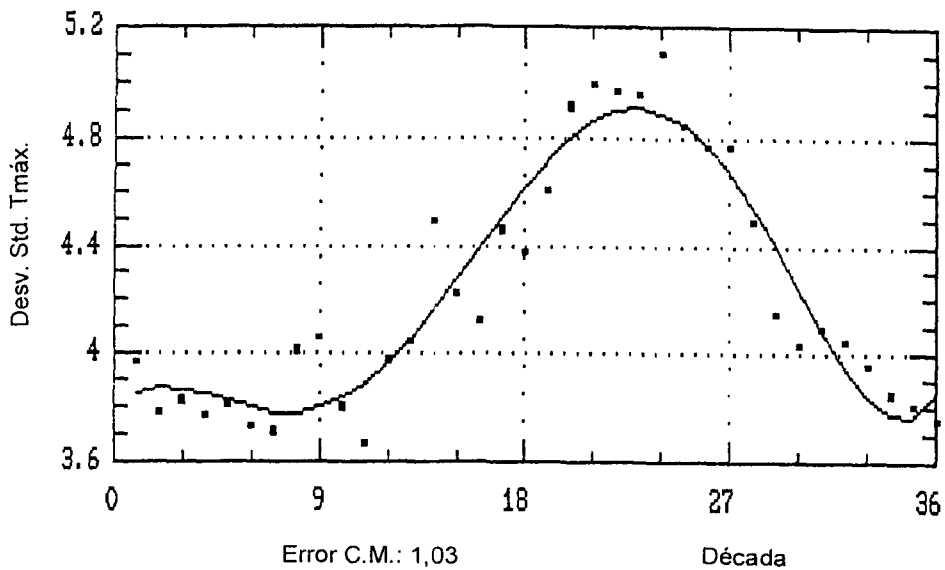


Figura 6. Ajuste polimodal del desvío standard de la temperatura máxima media decádica.

2) Calcular valores de las variables para probabilidades dadas.

a. Buscar en la Tabla de Distribución Normal,  $N(0,1)$ , el valor de  $z$ .

b. Continuar con los pasos a, b y c mencionados en 1.

c. Calcular  $Y$  como  $Y = z \sigma + \mu$

Ejemplo 1: Un técnico está interesado en conocer las temperaturas mínimas ( $T_{min}$ ) correspondientes a los deciles 2 y 8 durante el período 21 al 31 de agosto, es decir :  $0.20 < P(T_{min}) < 0.80$

a. Los valores de  $z$  ;  $N(0,1)$  para los percentiles 20 y 80 son

$$z_{20} = -0.842 \quad z_{80} = 0.842$$

b. La década corresponde a  $X = 24$

Utilizando los coeficientes polinómicos para  $X=24$  se obtiene:

$$\begin{aligned} TNMED &= 17.216 + 1.145 X - 0.236 X^2 + 0.0102 X^3 - 0.00012 X^4 \\ &= 17.216 + 1.145 \cdot 24 - 0.237 \cdot 24^2 + 0.0101 \cdot 24^3 - 0.000125 \cdot 24^4 \\ &= 8.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LDSTN &= 0.4767 + 0.00125 X^2 - 3.073 \cdot 10^{-6} X^4 + 5.9 \cdot 10^{-8} X^5 \\ &= 0.477 + 0.001 \cdot 24^2 - 3.1 \cdot 10^{-6} \cdot 24^4 + 5.937 \cdot 10^{-8} \cdot 24^5 \\ &= 0.6499 \end{aligned}$$

$$\text{Antilog (LDSTN)} = 4.5$$

Se tiene una media de  $8.0^\circ\text{C}$  y un desvío de  $4.5^\circ\text{C}$ .

c. Siendo  $TNMED = 8.0^\circ\text{C}$  y  $DSTN = 4.5^\circ\text{C}$  resulta

$$T_{min}_{20} = 8.0 - 0.842 \cdot 4.5 = 4.2^\circ\text{C}$$

Análogamente se obtiene  $T_{min}_{80}$

$$T_{min}_{20} = 4.2^\circ\text{C} \quad T_{min}_{80} = 11.8^\circ\text{C}$$

Por lo tanto, en INTA Paraná y zona de influencia, dos de cada 5 años podrían presentarse temperaturas mínimas inferiores a  $4.2^\circ\text{C}$  o superiores a  $11.8^\circ\text{C}$ .

Ejemplo 2. Se desea conocer la probabilidad de que la temperatura máxima ( $T_{máx}$ ) supere los  $20^\circ\text{C}$  durante los primeros diez días de agosto. Esto es  $P(T_{máx} > 20^\circ\text{C})$ .

Siguiendo los pasos indicados anteriormente resulta:

$$\begin{aligned} X &= 24 \\ TXMED &= 18.3^\circ\text{C} \\ LDSTX &= 0.6905 \\ DSTX &= 4.9^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tipificando, se obtiene  $z = 0.3387$  entonces  $P(TXMED > 20^\circ\text{C}) = P(z > 0.3387) = 0.37$ , de la Tabla  $N(0,1)$

Prácticamente 2 de cada 5 años la temperatura máxima podría superar los  $20^\circ\text{C}$  durante ese período.

## CONCLUSIONES

Se comprobó que las temperaturas máximas y mínimas diarias, tomadas en periodos decádicos, se ajustan a una distribución normal en un 70% de casos para las mínimas y en un 80% para las máximas.

Las técnicas de ajuste armónico y polinomial, de la marcha anual de medias y desvíos, resultan adecuadas con un bajo error cuadrático medio.

Ambos resultados pueden ser aplicados a diferentes situaciones de interés agronómico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ashcroft, G. L. y W. Derksen, 1963. Freezing temperature probabilities in Utah. Agric. Exp. Sta. Bull. 439: 36
- Bilbro J. D. Jr., 1967. Application of rainfall and temperature probabilities to cotton production. Texas High Plains. Texas Agric. Exp. Sta. MP, 847: 14
- Bingham C., 1963. Probabilities of weekly averages of the daily temperature maximum, minimum and range. The Connecticut Agric. Exp. Sta. Bull. 659: 27
- Burgos J. J., 1963. Las heladas en la República Argentina. Colección Científica del INTA, Buenos Aires, Vol. 3.
- Conrad V. and L.W. Pollak, 1950. Methods in climatology, Chap. V Harmonic Analysis, Second Edition, Harvard University Press, Cambridge, Mass. pp. 119-151.



- Damario E. R. y A. J. Pascale, 1971. Estimación de la suma de temperaturas efectivas normales para estudios agroclimáticos. Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, Tomo 19, N° 3: 109-124
- Frere, M. y G. F. Popov, 1986. Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Producción y protección animal N° 73. FAO, Roma, Italia.
- Gloyne, R. W. y J. Lomas, 1988. Compendio de apuntes para la formación de personal agrometeorológico de las clases II y III. OMM N° 551, Ginebra, Suiza.
- Zeljovich L. E. Totis de, E. Frutos, C. Revela y I. L. Funston, 1989. Probabilidades de ocurrencia de temperaturas mínimas y máximas en la zona de Pergamino. IV Reunión Argentina de Agrometeorología. Actas, Río IV, Córdoba: 209-219.