

AVANCES SOBRE ANALISIS DIGITAL EN AGROMETEOROLOGIA *

A. B. Brizuela** y Cecilia Espoz***

Recibido: 19/11/85

Aceptado: 18/6/86

RESUMEN

En este trabajo se presentan los avances logrados en el desarrollo y aplicación de un sistema destinado a representar, en mapas, variables meteorológicas e índices agroclimáticos.

Se trata de un paquete de programas de computación con el que se realiza un análisis objetivo de parámetros, tales como temperatura y precipitación, donde los valores son obtenidos por interpolación en el área de interés y presentados mediante isolíneas.

Una de las aplicaciones realizadas consistió en la obtención de mapas de precipitación, temperaturas extremas y desvíos respecto de valores normales correspondientes a datos mensuales del año 1982. Estos mapas fueron utilizados para analizar la influencia del clima en la producción de trigo durante la campaña 1982/83 en una zona al norte de Buenos Aires.

DIGITAL ANALYSIS ADVANCES IN AGROMETEOROLOGY

SUMMARY

The advances on the development and application of a systema for mapping meteorological variables and agroclimatic indexes are presented in this paper.

This system is essentially a set of computation programs for objective analysis of parameters such as temperature and precipitation, where the values are obtained using interpolation and presented in the form of isolines.

One of the applications was the obtention of several maps for precipitation, extreme temperatures and departure from normal values for 1982 using monthly data. These maps were used for analyzing the climate influence on the wheat production during the 1982/83 campaign in the north zone of Buenos Aires.

INTRODUCCION

El proyecto de investigación PNUD ARG/81/002 tiene definidas dos áreas de trabajo, una referida a la identificación y estimación de áreas agrícolas cultivadas y otra dedicada

al diagnóstico de las condiciones climáticas en relación con el estado general de los cultivos y la predicción de los rendimientos. En esta presentación se muestra uno de los aspectos de esta última y los avances logrados hasta el presente.

* Presentado en el V Simposio Nacional de Análisis de Imágenes Satelitarias, Buenos Aires, 1984.

** Miembro de la carrera del Investigador Científico del CONICET.

** y *** Centro de Teleobservación - Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales - Avda. Libertador 1513 (1638) Vicente López - Pcia. de Buenos Aires.

Siendo la cantidad de datos a procesar de un volumen considerable se hace necesario realizar el procesamiento empleando computadoras. Estas posibilitan la obtención rápida y objetiva de productos tales como mapas de temperaturas extremas, de precipitación, de humedad de suelo y de índices agroclimáticos. La obtención de estos productos es uno de los objetivos propuestos por el proyecto mencionado.

Las técnicas de interpolación de datos están basadas en diferentes suposiciones acerca de la posible variación espacial de las variables estudiadas. En meteorología, durante mucho tiempo y aún actualmente, se emplean los polígonos de Thiessen; en otros casos, se emplean polinomios de diferente grado que ajustan a los valores iniciales; funciones polinomiales suavizadas, según la técnica propuesta por Cressman (1959) o con modificaciones sugeridas por otros autores (Goodin *et al.*, 1979). También son ampliamente usadas las funciones, conocidas en la literatura, como "splin" (Jover, 1978).

En agrometeorología, se realizaron diversas aplicaciones para producir mapas agrometeorológicos. Tal es el caso del SYMAP ("Synagraphic Mapping System") de la Universidad de Harvard (Dougenik y Sheehan, 1975).

Estos métodos, para obtener mapas, mostraron su utilidad como una herramienta poderosa en las investigaciones agrometeorológicas (Williams y Sharp, 1972). Sly y Coligado (1974) realizaron mapas agroclimáticos para Canadá utilizando una metodología similar.

La elección de uno de estos métodos para efectuar un estudio depende de los objetivos planteados, especialmente en lo relativo a la exactitud de los resultados, la complejidad de las operaciones y la disponibilidad de computadoras.

MATERIALES Y METODOS

Información utilizada y procedimientos

El área de estudio está localizada al norte de la provincia de Buenos Aires y en ella es-

tán encuadrados los primeros análisis realizados (Figura 1).

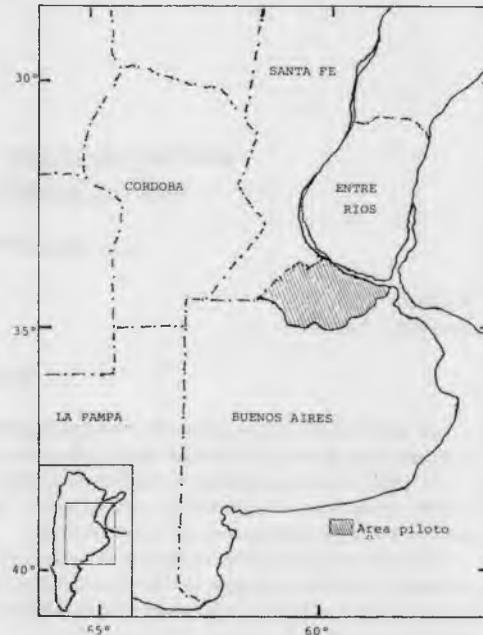


Figura 1. Área de estudio

Para este trabajo fue necesario disponer de las normales climáticas mensuales correspondientes a temperaturas, máximas y mínimas, y precipitaciones de las estaciones ubicadas dentro de la zona de estudio y en los alrededores (Figura 2). Esta información fue obtenida de las estadísticas publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 1958, 1960, 1975 y 1981).

Los datos correspondientes al año 1982, de las mismas variables, fueron suministrados por el SMN y la Secretaría de Agricultura y Ganadería, que, además, informó sobre rendimientos de trigo, de la campaña 82/83, que resultaron excepcionales.

El análisis digital para representar las variables agrometeorológicas fue realizado con programas incorporados en el Sistema de Análisis Digital de Imágenes Satelitarias "PI", de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE). La flexibilidad de este sistema permite en forma sencilla y rápida incorporación de nuevos programas (Fernández y Campi, 1982) tales como, en este caso,

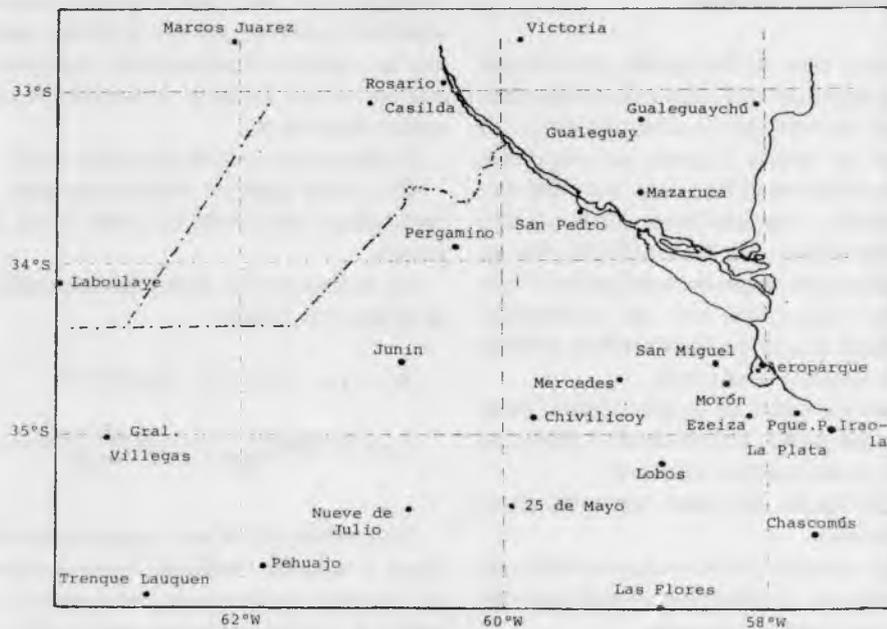


Figura 2. Estaciones meteorológicas en el área de estudio.

los empleados en el área de agrometeorología.

El análisis objetivo de datos meteorológicos, intentado con diversos resultados por varios autores, plantea la necesidad de efectuar una interpolación de las observaciones realizadas en las estaciones meteorológicas. Esto permite estimar, por ejemplo, valores de temperatura y precipitación en cualquier punto donde no se efectúen tales mediciones.

Por lo tanto, realizar una interpolación confiable de los datos resulta un paso realmente importante.

Una vez calculados los valores en una grilla de puntos, la tarea de representarlos en mapas, isolíneas, etc. es relativamente simple. La fidelidad en la representación de la distribución espacial de las variables depende del método empleado y de los datos de entrada. Estos son depurados previamente, desechando aquellos datos erróneos o dudosos.

Un esquema simplificado de las operaciones que se realizan al procesar la información se muestra en la Figura 3.

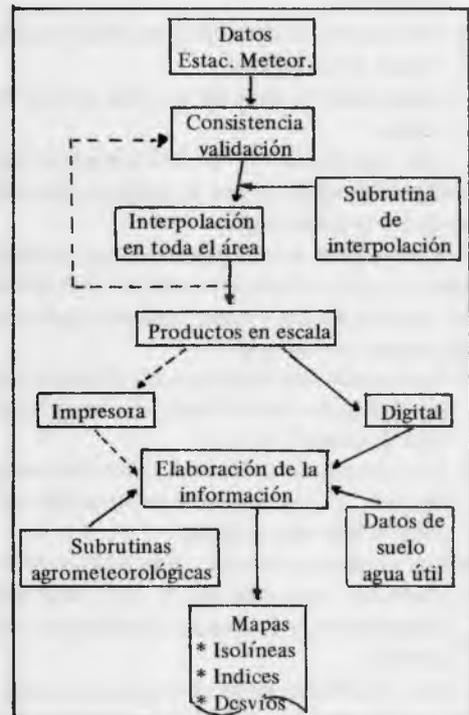


Figura 3. Diagrama de operaciones en el procesamiento de los datos.

Interpolación de los datos

En este caso se ha optado por trabajar con un algoritmo que responde a exigencias estrictas del método de interpolación; a su vez éste es versátil y puede ser empleado, con pequeñas modificaciones, para diferentes variables meteorológicas. Este algoritmo, desarrollado por Akima (1978), fue incorporado a un programa principal en el que los datos requeridos son: las coordenadas geográficas (x, y) de la estación y el valor (z) de la variable considerada.

Dados los datos de las estaciones o puestos de observación, el método de Akima consiste en las siguientes operaciones:

- a) Triangulación del plano según los datos de entrada.
- b) Determinación de los datos puntuales que conforman un polígono, usados para estimar las derivadas parciales.
- c) Ubicación del punto en que se hará la interpolación.
- d) Estimación de derivadas parciales en cada vértice del polígono.
- e) Interpolación puntual en cada punto de salida.

Los resultados de la interpolación son mantenidos en memoria de máquina, para su posterior representación.

Los valores son interpolados por polinomios, cuyos coeficientes resultan de resolver un sistema de ecuaciones planteado según las siguientes condiciones:

- i) La función interpoladora de un punto, en un triángulo determinado, es un polinomio de grado 5 en x, y
- ii) Los valores de la función y sus derivadas de 1er. y 2do. orden son conocidos en cada vértice del triángulo.
- iii) Las derivadas parciales de la función en la dirección perpendicular a cada lado del triángulo es, a lo sumo, un polinomio de grado 3.

Una vez desarrollado el programa se efectuó una verificación del comportamiento del método. En primer lugar, se usaron los valores propuestos por Akima. Se realizó una segunda validación teniendo en cuenta alguna

similitud con casos reales. La idea principal consiste en estimar por interpolación valores que se suponen desconocidos, compararlos con los valores reales y determinar el error en las estimaciones.

Se llevaron a cabo los siguientes pasos:

En primer lugar se definió una grilla de coordenadas cartesianas (x, y) de 255 x 255 puntos.

Se definieron dos funciones matemáticas de la siguiente forma:

$$Z_1 = ((x - 125)^2 + (y - 125)^2)^{1/2} \quad (1)$$

$$Z_2 = 55 \left(\sin\left(\frac{4 \cdot 7}{180} y\right) + \cos\left(\frac{3 \cdot 14}{180} x\right) + 2 \right) \quad (2)$$

La función (1) al ser representada en el plano y trazando isolíneas, tiene el aspecto de círculos concéntricos semejantes a un centro de baja temperatura, con un valor mínimo en el centro.

La función (2) en cambio representa un máximo, un mínimo y una zona de transición entre ambos; ésta es una configuración típica observada en los mapas meteorológicos.

Luego fueron seleccionados los datos iniciales, distribuidos aleatoriamente en la grilla mencionada, tomando tres casos, según la cantidad utilizada. Para ello se consideraron 30, 80 y 200 valores a partir de los cuales se realizaron las interpolaciones.

Al efectuar la interpolación en toda la grilla se obtuvieron valores estimados para todos los puntos restantes.

Finalmente para cada caso de 30, 80 y 200 puntos y para cada función se realizó una comparación entre los valores estimados por el método y los valores verdaderos.

Los resultados obtenidos en las dos funciones fueron similares. En la Figura 4 se muestra la que tuvo una estimación de valores menos exacta. El Cuadro 1, a su vez, incluye el error cuadrático medio de cada uno de los casos con respecto a la función real.

Esta validación previa de las rutinas de interpolación permitió establecer que, empleando 30 puntos es posible obtener una

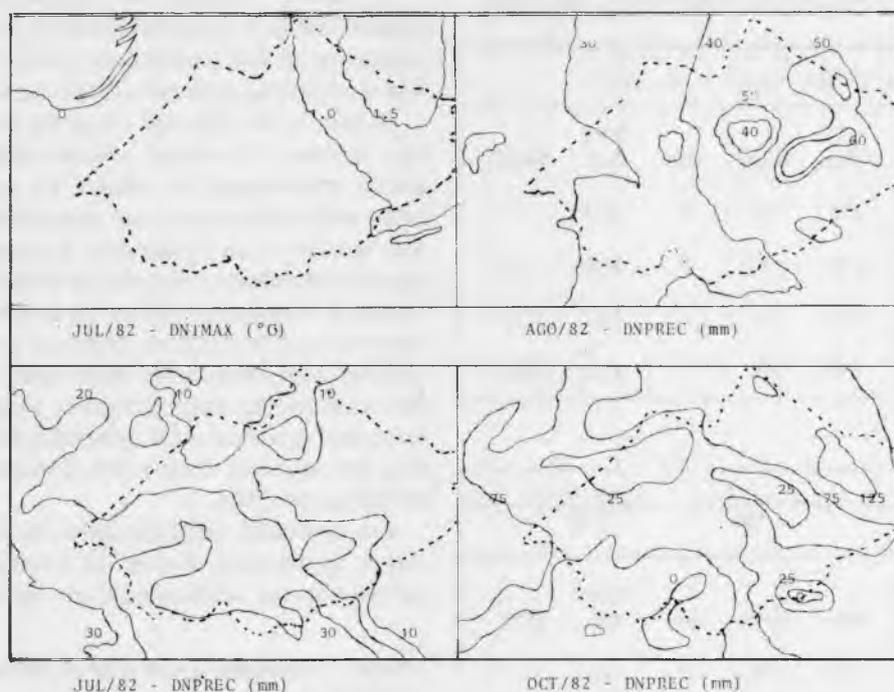


Figura 4. Interpolación obtenida a partir de 200,80 y 30 puntos iniciales.

representación aproximada que refleja las características generales de la función real. El error cuadrático medio indica que los desvíos son de poca importancia.

Si se toman 80 puntos o más, la reproducción es realmente aceptable y el error cometido en la estimación es pequeño.

Cabe aclarar que lo expuesto es válido en los casos en que la variación espacial de las variables no sea extrema como en el caso de lluvias de origen convectivo, en cuyo caso nada se puede afirmar con este método.

Se implantaron dos versiones para obtener diferentes productos. La más simple permite obtener salidas gráficas por impresora con sobreimpresión de caracteres. La escala y los niveles a representar se ajustan según los requerimientos del análisis. Por otro lado y haciendo uso de las facilidades del Sistema de Análisis Digital de Imágenes del Centro de Sensores Remotos (CNIE), se elaboró un programa que permite obtener la distribución espacial de variables meteorológicas en

valores que representan niveles de gris en forma similar a una imagen digital convencional. Este producto puede ser procesado siendo posible efectuar operaciones tales como: sumas, restas, cocientes, trazado de isóneas, superposición de mapas, etc.

RESULTADOS

Se obtuvieron mapas de todas las variables mensuales mencionadas del año 1982, y de los valores normales correspondientes al período 1941-1970.

Se elaboraron mapas de desvíos mensuales respecto de las normales y éstos fueron analizados considerando el calendario del cultivo. Se tuvieron en cuenta especialmente las fases críticas que determinan el rendimiento final del trigo (Hall, 1980).

Con estos mapas se pudo determinar la ocurrencia de algunas anomalías. En junio la temperatura mínima fue superior a la normal en el área, en tanto que las temperaturas

Cuadro 1. Comparación entre valores reales y estimados.

Función: $Z = \sqrt{(X - 125)^2 + (Y - 125)^2}$					
Caso	Max	Media	Min	Desv. Std.	ECM
Real 200	175	92	0	34,3	-
Ptos 80	175	91	0	34,6	1,1
Ptos 30	175	91	0	34,2	13,3
Ptos	175	92	0	35,2	125,6

Función: $Z = (\text{Sen}(\frac{4 \cdot 7}{180} Y) + \text{Cos}(\frac{3 \cdot 14}{180} X) + 2)55$					
Caso	Max	Media	Min	Desv. Std.	ECM
Real 200	219	98	0	55,2	-
Ptos 80	219	98	0	54,7	6,3
Ptos 30	218	96	0	55,7	110,9
Ptos	221	96	0	52,2	286,0

$$\text{Ref: ECM} = \frac{\sum_{1}^{\text{LIN}} \sum_{1}^{\text{PIX}} (\text{VR} - \text{VE})^2}{\text{LIN} \cdot \text{PIX}}$$

VR: Valor real VE: Valor estimado
LIN, PIX = 1,255

máximas en este mes y en julio fueron inferiores a las normales. Los meses restantes fueron prácticamente normales.

La precipitación fue escasa en agosto, con valores entre 0 mm y 10 mm, abundante en septiembre (80 mm a 120 mm), sin representar excesos significativos, y escasa nuevamente en diciembre (0 mm a 40 mm). En este último caso no influyó sobre el cultivo de trigo pero sí pudo tener importancia en la cosecha gruesa.

El Cuadro 2 muestra las estadísticas calculadas, media y desviación estándar, correspondientes al área considerada. En la Figura 5 se ejemplifican gráficamente dos casos.

Si bien la precipitación en agosto resultó muy inferior a la normal, esta situación no afectó seguramente al cultivo, ya que el suelo tenía reserva de agua disponible del mes anterior y en el siguiente la precipitación fue abundante, evitando así llegar a un estado de deficiencia hídrica. En el resto del ciclo del trigo los factores climáticos se mantuvieron muy cerca de los valores normales. Esto significa que estos factores no representaron una limitante en el desarrollo del cultivo, sino que, por el contrario, favorecieron al rendimiento final.

Los resultados obtenidos sobre las condiciones ambientales durante el crecimiento del trigo fueron confrontados con los infor-

Cuadro 2. Promedios y dispersión de las variables en el área.

Variable	Epoca	Prom. Area	Desv. Std.
T. Máx (°C)	Jun - Norm	15,0	0,5
	Jun - 1982	13,8	0,4
	Jul - Norm	15,7	0,6
	Jul - 1982	14,6	0,5
	Oct - Norm	22,6	0,3
	Oct - 1982	22,8	0,6
T. Mín (°C)	Jun - Norm	5,0	0,7
	Jun - 1982	6,9	0,6
	Jul - Norm	4,8	0,8
	Jul - 1982	4,8	0,8
	Oct - Norm	9,8	0,6
	Oct - 1982	9,8	0,5
Precipitación (mm)	Ago - Norm	40,0	11,7
	Ago - 1982	4,0	6,9
	Oct - Norm	85,0	16,4
	Oct - 1982	52,0	27,0
	Dic - Norm	92,0	7,1
	Dic - 1982	27,0	22,5

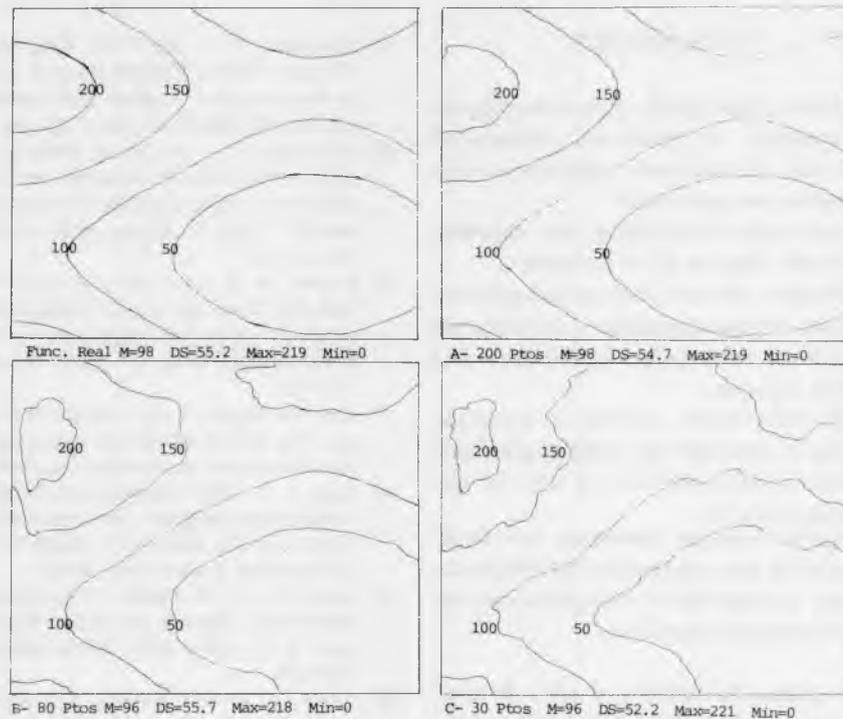


Figura 5. Desvíos con respecto a los valores normales (DN) de temperatura máxima (TMAX) y precipitación (PREC). (- - - : límite área piloto).

mes de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SEAG). Se obtuvo buena correspondencia, en especial con los índices mensuales calculados por los inspectores de la SEAG, y se encontraron algunas diferencias locales con respecto a las condiciones climáticas. Según el análisis aquí comentado resultaron normales algunos meses que los informes de la SEAG indicaron como fríos o secos.

OTRAS APLICACIONES

Los sistemas de interpolación como el aquí presentado tienen una gran cantidad de aplicaciones en especial en el campo de los recursos naturales.

Hasta ahora fue empleado como herramienta de apoyo a otras líneas de investigación. Se confeccionaron mapas básicos de radiación solar, empleando datos de la Red Solarimétrica (Grossi Gallegos *et al*) mapas de distribución de elementos contaminantes en muestras de agua (Nicolli *et al*) y distribu-

ción de fallas geográficas (Baleari, O), entre otros.

En algunos casos los mapas deben ser complementados por un analista quien incorpora los aspectos físicos no considerados como por ejemplo las isolíneas de radiación, precipitación, etc., en zonas montañosas.

Con todo, representa una herramienta útil, confiable, rápida y de manejo simple. Es versátil en cuanto a la escala del producto siendo entonces posible seleccionarla de tal manera que se ajuste a la cartografía empleada. Además, puede considerarse en caso necesario sólo una parte de la región en la que se tienen datos.

Actualmente se están realizando los ajustes necesarios para obtener mapas con índices agroclimáticos tales como el índice de sequía de Palmer (1965).

Una versión simplificada de los programas, en FORTRAN IV, se halla a disposición de los lectores interesados.

CONCLUSIONES

1. El sistema desarrollado ofrece una respuesta aceptable al problema, presentando una serie de ventajas en relación con los métodos convencionales:
 - Adecuada confiabilidad en la representación objetiva de las variables.
 - Permite conocer con mayor aproximación valores normales o recursos climáticos en cualquier punto de un área seleccionada.
 - La información edáfica y ambiental puede resumirse en índices agroclimáticos compatibles con los datos de sensores remotos.
 - Aporta nuevos elementos que facilitarán la tarea de predecir los rendimientos y diagnosticar las condiciones de crecimiento de cultivo.
2. Una aplicación referida al ciclo de trigo durante el año 1982 en los 15 partidos del Area Norte, indicó que durante las etapas críticas de crecimiento del cultivo los valores medios de precipitaciones y temperaturas extremas, en el área, fueron prácticamente normales. Salvo la lluvia en agosto que fue muy inferior. Esto indicaría, entonces, que no hubo factores climáticos limitantes serios en el desarrollo del cultivo, lo que resultó en definitiva favorable a los rendimientos.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Akima, H., 1978. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregular distributed data points. *ACM Transactions on Mathematical Software*, Vol. 4, 148-159.
- 2) Baleani, O. Estudios geológicos e hidrogeológicos de la llanura sud-oriental de la provincia de Córdoba mediante la utilización del Sistema de Procesamiento de Imágenes Satelitarias. (en preparación).
- 3) Cressman, G. P., 1959. An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, 87: 367-374.
- 4) Dougenik, J. A. and D. E. Sheeham, 1975. "Symap User's Reference Manual". Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis. Harvard University, Mass, 187 pp.
- 5) Fernández, S. y M. Campi, 1982. El sistema de procesamiento de imágenes de: Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (sistema PI), C. N. I. E., Centro de Sensores Remotos, 14 pp.
- 6) Goodin, W. R., G. J. Mac Rae and I. H. Seinfeld, 1979. A comparison of interpolation methods for sparse data: application to wind and concentration fields. *J. Appl. Meteor.*, 18: 761-771.
- 7) Grossi Gallegos, H., R. Lopardo and G. Atienza. "An assessment of the measurements of global radiation in Argentina" (en prensa).
- 8) Hall, A. J., 1980. Limitaciones fisiológicas al rendimiento. Simposio "Bases para una mayor producción de alimentos". Sociedad Científica Argentina. Buenos Aires, 43-56.
- 9) Jover, G. y C. M. Ereño, 1978. Ensayo de interpolación objetiva mediante la aproximación de funciones splin. *Meteorológica*, 8/9: 419-428.
- 10) Nicolli, H. B., T. E. Connor, J. M. Suriano, M. L. Koukharsky, M. A. Gómez Peral, L. M. Bertini, I. M. Kohen, L. I. Corradi, O. Baleani y E. G. Abril. "Geoquímica del Arsénico y de otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sud-oriental de la provincia de Córdoba". *Miscelánea Academia Nacional de Ciencias - Córdoba* (en prensa).
- 11) Palmer, W., 1965. Meteorological Drought. Research Paper N° 45. U. S. Department of Commerce, Washington, D. C. 58 pp.
- 12) Servicio Meteorológico Nacional, 1958. Estadísticas climatológicas 1941-1950, Publicación B1, N° 3, Buenos Aires, 161 pp.
- 13) Servicio Meteorológico Nacional, 1960. Atlas climático de la República Argentina, Buenos Aires, 80 pp.
- 14) Servicio Meteorológico Nacional, 1975. Estadísticas climatológicas 1951-1960, Serie B, N° 6. Quinta edición, Buenos Aires, 156 pp.
- 15) Servicio Meteorológico Nacional, 1981. Estadística climatológica 1961-1970, Serie B, N° 35. Primera Edición. Buenos Aires, 376 pp.
- 16) Sly, W. K. and M. C. Coligado, 1974. Agroclimatic Maps for Canada Derived Data: Moisture and Critical Temperatures near Freezing. *Teach. Bull.* 81, Canada Dep. of Agriculture, Ottawa, 36 pp.
- 17) Williams, G. D. and M. R. Sharp, 1972. Computer Mapping in Agrometeorology. *Tech. Bull.* 80, Agromet. Section, Canada Dep. of Agriculture, Ottawa, 39 pp.