

EVOLUCIÓN DE LA HUMEDAD DEL AIRE EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA, EN EL PERÍODO 1941-1990 Y SU INFLUENCIA SOBRE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA DURANTE EL MES DE ENERO.

ANTONIO CARLOS DE LA CASA¹, GUSTAVO GABRIEL OVANDO y
ANGEL RAÚL RODRÍGUEZ.

RESUMEN

El incremento en el módulo de la precipitación anual hacia la segunda mitad del siglo XX en la provincia de Córdoba, Argentina, está ligado a modificaciones en el estado climático de otras variables atmosféricas, como la humedad del aire y el déficit de presión de vapor ($e_a - e_d$), que controlan los procesos de evaporación y evapotranspiración, como así también la productividad de los cultivos.

El aumento de la humedad del aire en el período 1941-1990, junto con la disminución progresiva de la temperatura del aire, produjeron la reducción general del déficit de presión de vapor medio de enero en toda la provincia. Se determinó que la tasa de disminución es altamente significativa en 15

¹ Climatología Agrícola, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. cc 509-Ciudad Universitaria, 5000 Córdoba, Argentina. delacasa@agro.uncor.edu

departamentos provinciales. La pendiente negativa de la regresión entre el déficit de la presión de vapor y el tiempo señala en esos departamentos un decrecimiento medio comprendido entre $-0,526 \text{ hPa década}^{-1}$ (General San Martín) y $-1,464 \text{ hPa década}^{-1}$ (Sobremonte).

El menor déficit de saturación atmosférico ha ocasionado a nivel provincial una disminución promedio en la tasa de evapotranspiración de referencia (ET_o) de enero de $0,59 \text{ mm día}^{-1}$, lo que en la actualidad representa una demanda atmosférica de agua 9,7% menor con respecto a la primer década del análisis. La menor intensidad de la tasa de evapotranspiración no sólo significa el mejoramiento de la oportunidad de intercambio gaseoso, sino también una disponibilidad más prolongada del agua del suelo.

Palabras Clave: *humedad del aire, déficit de presión de vapor, evapotranspiración de referencia, tendencia temporal*

SUMMARY

The annual rainfall increase toward the second half of the XXth century in Córdoba province, Argentina, is bound to modifications of other atmospheric variables, like air humidity and vapor pressure deficit ($e_a - e_d$), that control evaporation and evapotranspiration processes as well as the productivity of crops.

The air humidity increase in the 1941-1990 period, together with the progressive decrease of air temperature, determined a general reduction of January mean vapor pressure deficit in all the province. It is observed that the decrease rate is highly meaningful in 15 provincial departments. The negative slope of the linear regression of vapor pressure deficit against time in these departments indicates a reduction between $-0,526 \text{ hPa decade}^{-1}$ (General San Martín) and $-1,464 \text{ hPa decade}^{-1}$ (Sobremonte).

The lower atmospheric vapor pressure deficit has produced the decrease in the province departmental average ET_o rate of $0,59 \text{ mm day}^{-1}$ in January, that at present represents an atmospheric water demand 9,7% smaller with respect to the first decade of the analysis. The smaller intensity of evapotranspiration rate not only means the improvement of gaseous exchange opportunity, but also an availability most extended of the soil water.

Key words: *atmospheric humidity, vapor pressure deficit, evapotranspiration of referance, time trend.*

INTRODUCCIÓN

El clima determina la adaptación natural de los ecosistemas de una región y por lo tanto es uno de los principales factores que directa o indirectamente influye sobre la distribución espacio-temporal de la mayoría de los sistemas de producción agrícola. Los sistemas agropecuarios resultan vulnerables a la variabilidad interanual del clima, en especial cuando se manifiestan eventos extremos, como así también a todo cambio abrupto que se origine en las condiciones climáticas locales, regionales o globales (Ogallo *et al.*, 2000).

En un sentido prospectivo y admitiendo la condición de variabilidad que presenta el sistema climático, ya sea de carácter periódica (evolución oscilante o cíclica) o de tendencia, que a su vez puede formar parte de ramas ascendentes o descendentes de ciclos de mayor período o corresponder a una transición entre dos regímenes climáticos (Puigdefábregas, 1998), existen dos áreas de interés. Por un lado se abre el interrogante sobre la naturaleza, magnitud e intensidad del cambio climático *per se*, para avizorar la condición climática del siglo que recién comienza (Bengtsson, 1994). Por el otro, se procura evaluar el impacto del fenómeno sobre distintos aspectos sociales y económicos.

MacKerron (1996) plantea, además de evaluaciones experimentales tradicionales, la necesidad de implementar estudios teóricos a partir del conocimiento actual con el fin de conocer la sensibilidad de los sistemas agrícolas al cambio climático. Entre otras alternativas, propone el uso de sistemas de información geográficos (SIG) para describir, cuantificar y representar la variabilidad geográfica tanto del ambiente como de la actividad productiva. En el marco de los cambios previstos respecto a la intensificación del efecto invernadero (Salinger *et al.*, 2000), algunas regiones pueden ser favorecidas y otras perjudicadas por el aumento de la temperatura. Asimismo, aun pequeños cambios en el clima pueden conducir a alteraciones substanciales en el potencial agroclimático regional (Carter y Saarikko, 1996).

A partir de un SIG, de la Casa (2001) observa variaciones climáticas de importancia productiva en distintos sectores de la provincia de Córdoba (Argentina) y localiza los sectores donde el cambio se ha

manifestado de manera significativa. Esta variación se expresa simultáneamente a través de una tendencia creciente del Índice Hídrico (Burgos y Vidal, 1951) y de una tendencia decreciente de la temperatura media del mes de enero, en lo que constituye un cambio relevante de la aptitud agropecuaria de esta región en la parte final del siglo XX. La condición hídrica más húmeda de la provincia de Córdoba se encuentra asociada al corrimiento hacia el Oeste de las isoyetas anuales en la Región Pampeana (Sierra *et al.*, 1994). En un sector que corresponde al 22,4% del territorio de la provincia de Córdoba, se ha determinado un aumento significativo general de aproximadamente 100 mm en el módulo medio anual de precipitación del período 1970/79 respecto al valor normal de 1921/50 (Ovando *et al.*, 2000).

La modificación del campo pluviométrico en este sector ha contribuido a la expansión de la región agrícola de secano hacia el Oeste de Argentina (Sierra *et al.*, 1995). Por otra parte, el incremento de la precipitación debe estar ligado a modificaciones de otras variables atmosféricas de naturaleza hídrica, como la humedad del aire y el déficit de presión de vapor de saturación, que controlan los procesos de evaporación y evapotranspiración, como así también la productividad de los cultivos. Manteniendo constantes otros factores, a mayor humedad atmosférica resulta más alta la eficiencia de la transpiración (Turner, 1996), lo que configura un ambiente de mayor capacidad productiva.

El objetivo consiste en analizar la evolución temporal de la humedad atmosférica en la provincia de Córdoba en el período comprendido entre 1941 y 1990 y la repercusión que este cambio provoca en la tasa de evapotranspiración de referencia durante el mes de enero.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. Datos climáticos

El estudio se circunscribió al mes de enero que constituye el período de máxima demanda atmosférica en cultivos estivales. La información climática básica correspondió a los datos medios de temperatura del aire, temperatura máxima, temperatura mínima, nubosidad, tensión del vapor actual (e_a) y velocidad del viento. Las estadísticas climáticas fueron elaboradas por el Servicio Meteorológico Nacional

(SMN) que publica la información promedio de las variables mencionadas para períodos de diez años desde 1941, razón por la cual hasta 1990 se dispuso de una serie conformada por 5 períodos decádicos consecutivos, es decir: 1941-50, 1951-60, 1961-70, 1971-80 y 1981-90 (SMN, 1958; SMN, 1975; SMN, 1981; SMN, 1986; SMN, 1992, respectivamente).

En este período de medio siglo se produjeron modificaciones en la conformación de la red de observación meteorológica de superficie, razón por la cual las estaciones y el número de estaciones empleadas en el estudio difiere a través de las décadas. En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de las estaciones que participaron del análisis en por lo menos una de las décadas del periodo completo.

El análisis incluyó, a fin de desarrollar el sistema de información geográfico, la mayor cantidad de estaciones del sector central de Argentina, para restringir finalmente el estudio a los límites departamentales de la provincia de Córdoba. A los efectos de homogeneizar la información se procuró que la cantidad de estaciones empleadas cada década fuera similar.

2. Humedad del aire

La tensión de vapor de saturación (e_a (kPa)), para determinar el déficit de la presión de vapor ($e_a - e_d$ (kPa)), se calculó a partir de la temperatura media (T (°C)) con la siguiente expresión (Tetens, 1930):

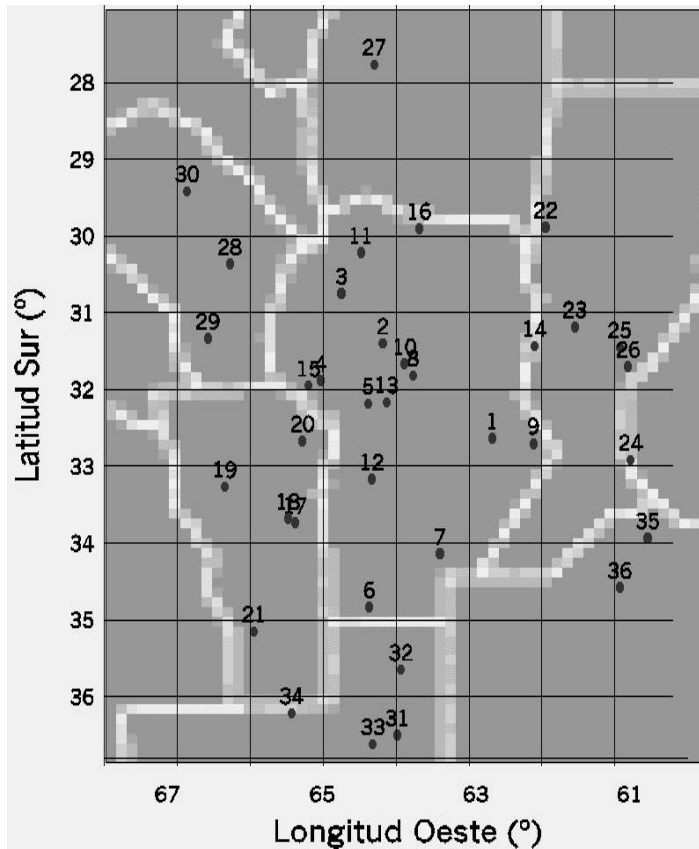
$$e_a = 0,611 \times \exp\left(\frac{17,27 \times T}{T + 237,3}\right)$$

3. Evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET_o)

La Evapotranspiración de un cultivo de referencia fue determinada aplicando el procedimiento de Penman-Monteith adaptado por FAO (Smith, 2000). Este concepto representa la tasa de consumo diaria de un cultivo de 12 cm de altura que se encuentra bien provisto de agua, cuya cobertura presenta una resistencia superficial fija de 70 s m⁻¹ y un coeficiente de reflexión de 23%. La ecuación de Penman-Monteith (FAO) es:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + g\left(\frac{900}{T + 273}\right)U_2(e_a - e_d)}{\Delta + g(1 + 0,34U_2)}$$

Figura 1. Localización geográfica de las estaciones meteorológicas empleadas para establecer la evolución del déficit de presión de vapor y de la evapotranspiración de un cultivo de referencia.



Referencias: 1: Bell Ville; 2: Córdoba; 3: Cruz del Eje; 4: Dique La Viña; 5: Embalse; 6: Huinca Renancó; 7: Laboulaye; 8: Manfredi; 9: Marcos Juárez; 10: Pilar; 11: Quilino; 12: Río Cuarto; 13: Río Tercero; 14: San Francisco; 15: Villa Dolores; 16: Villa María Río Seco; 17: Villa Reynolds (aero); 18: Villa Mercedes; 19: San Luis (aero); 20: Tilsarao; 21: Unión; 22: Ceres (aero); 23: Esperanza; 24: Rafaela; 25: Rosario (aero); 26: Sauce viejo (aero); 27: Santiago del Estero; 28: Chemical (aero); 29: Chepes; 30: La Rioja (aero); 31: Anguil (inta); 32: General Pico (aero); 33: Santa Rosa (aero); 34: Victorica; 35: Pergamino; 36: Junín (aero).

donde ETo: evapotranspiración de un cultivo de referencia (mm día⁻¹); R_n: radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹); G: flujo de calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹); T: Temperatura media del aire (°C); U₂: velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹); (e_a - e_d): déficit de presión de vapor (kPa); D: pendiente de la curva de presión de vapor a la temperatura T (kPa °C⁻¹); g: constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

Los cálculos se realizaron siguiendo los procedimientos propuestos por Allen et al. (1994). La principal excepción operativa del cálculo de ETo se presentó para determinar la radiación solar recibida en la estimación de R_n, tanto por la falta de observaciones directas del elemento como de los valores de heliofanía. La heliofanía relativa se obtuvo a partir del dato sucedáneo de nubosidad, teniendo en cuenta que esta variable fue observada de manera generalizada y recurrente en la red de observación. La relación empírica utilizada para determinar el valor medio de heliofanía relativa (h/H) del mes de enero se obtuvo por regresión a partir de los registros diarios de (h/H) y nubosidad (N (octos)) de la estación Pilar para el período 1968-1987, según la siguiente expresión:

$$h/H = 0,8865 - 0,0197N - 0,0092N^2$$

El análisis de regresión presentó los siguientes parámetros de ajuste: R²= 0,589; F(2,617)=442,56 (P<0.0001); Error estándar de estimación: 0,19471

4. Procedimientos cartográficos

Los mapas digitales fueron elaborados aplicando técnicas geoestadísticas de interpolación a las variables observadas. El método de la inversa de la distancia al cuadrado se utilizó para interpolar las variables climáticas y agroclimáticas (Tabios y Salas, 1985). La grilla de 50 filas y 30 columnas (20x20 Km aproximadamente) corresponde a un sector de la región central de Argentina comprendido por: xMin:3.42072E+006; xMax: 4.0042E+006; yMin: 5.9524E+006; yMax: 6.9285E+006 (en coordenadas Gauss-Kruggen).

El análisis de la información cartográfica se realizó por medio de un SIG (Petersen et al., 1995) y fue restringido sólo al sector de la provincia de Córdoba multiplicando una máscara Booleana o binaria sobre la imagen completa, quedando 436 cuadros elementales del total de 1500.

La evolución de la humedad del aire y de la ETo se analizó a nivel departamental aplicando un procedimiento de digitalización sobre la pantalla de los respectivos límites políticos. A partir de estos mapas vectoriales fueron calculados y extraídos los estadísticos descriptivos de cada departamento, a fin de elaborar con cada variable una serie de tiempo continua de 5 elementos que fue sometida a un análisis de correlación y regresión simple para representar la tendencia temporal.

La evaluación estadística de la diferencia de medias por década de la tensión de vapor se realizó a través del estadístico t para dos muestras aleatorias independientes suponiendo una población normal con variancias iguales pero desconocidas. Su expresión es:

$$\hat{t} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n}}}$$

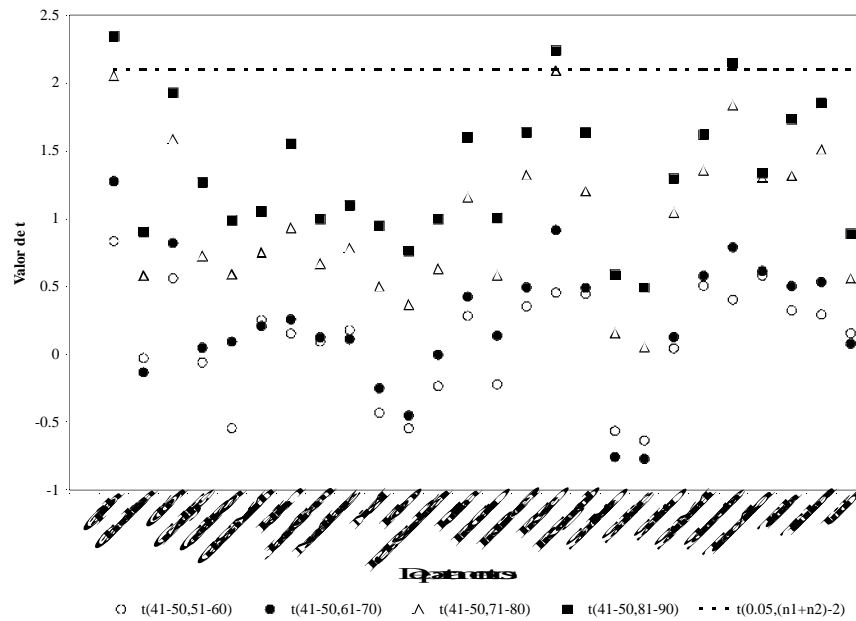
Las variancias fueron calculadas asumiendo una desviación estándar similar de 0,4 kPa para ambas décadas comparadas. Este valor es una aproximación al promedio de la desviación estándar de la tensión de vapor en enero calculado para las estaciones meteorológicas de la provincia de Córdoba entre 1968 y 1987.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Evolución de la humedad del aire

El cambio que ha experimentado el contenido de humedad del aire entre 1941 y 1990, según la expresa la tensión de vapor actual, es analizado en términos estadísticos por medio de la diferencia de medias entre períodos decádicos sucesivos a nivel departamental. Los valores t de student fueron calculados para evaluar la significación de la diferencia de medias respecto a un valor teórico crítico (Sachs, 1978). Los valores del estadístico para la diferencia entre la tensión de vapor media de la década 41-50 y las cuatro sucesivas posteriores, como así también el límite teórico con una probabilidad del 5% se presentan para el conjunto de departamentos provinciales en la Figura 2.

Figura 2: Valores de t de Student calculados y el nivel teórico crítico al 5% para las diferencias entre la tensión de vapor media del mes de enero de las últimas cuatro décadas con el periodo 41-50 a nivel departamental en la provincia de Córdoba.



En general se aprecia que el valor de t es mayor a medida que la décadas están temporalmente más apartadas, indicando que la humedad del aire experimentó un incremento progresivo desde la década más antigua a la más reciente. El aumento de la humedad del aire muestra un salto más pronunciado en la década 71-80; no obstante, sólo en Capital, Sobremonte y Río Seco la diferencia alcanza a manifestarse de manera significativa al 5% de probabilidad entre las décadas 41-50 y 81-90.

El aumento de la humedad del aire en términos absolutos y la disminución progresiva de la temperatura media mensual del aire para igual período (de la Casa, 2001), considerando su efecto sobre la

tensión de vapor de saturación, se pueden poner de manifiesto de manera integrada a través de $(e_a - e_d)$. El $(e_a - e_d)$ medio de enero para los departamentos de Córdoba en los sucesivos períodos decádicos, como así también los resultados de la correlación y regresión lineal de estos valores con respecto al tiempo se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Valores departamentales del Déficit de presión de vapor medio del mes de enero y las medidas estadísticas de correlación y regresión lineal con respecto al tiempo.

Departamento	Década					Coeficiente de Correlación	Pendiente	Ordenada
	41-5	051-60	61-70	71-80	81-90			
	Déficit de presión de vapor(hPa)						(hPa década ⁻¹)	(hPa)
Capital	14,1	12,1	10,3	9,3	8,6	-0,978***	-1,382	15,024
Calamuchita	11,8	12,0	10,6	10,3	10,8	-0,774	-0,372	12,226
Colón	13,6	11,8	10,9	9,9	8,9	-0,990***	-1,134	14,425
Cruz del Eje	13,8	13,1	13,2	12,5	11,1	-0,920**	-0,612	14,575
General Roca	14,0	13,7	11,9	10,9	10,4	-0,974***	-1,015	15,229
General San Martín	11,4	10,9	10,4	9,5	9,5	-0,972***	-0,526	11,918
Ischilín	15,0	12,6	12,9	12,1	10,1	-0,924**	-1,028	15,621
Juarez Celman	12,2	11,9	10,8	10,1	9,7	-0,983***	-0,683	13,021
Marcos Juárez	11,2	11,3	10,4	9,5	9,8	-0,900**	-0,448	11,773
Minas	13,5	13,8	13,0	12,4	11,7	-0,943**	-0,505	14,393
Pocho	13,2	13,8	12,4	12,2	11,6	-0,878*	-0,471	14,057
Pte. R. S. Peña	12,9	13,0	11,1	10,4	9,4	-0,961***	-0,955	14,231
Punilla	13,4	12,2	11,8	11,2	9,6	-0,973***	-0,873	14,250
Río Cuarto	12,6	12,5	11,0	10,4	10,0	-0,963***	-0,734	13,490
Río Primero	12,9	11,5	10,9	9,7	9,2	-0,989***	-0,934	13,642
Río Seco	14,0	12,3	11,5	8,8	8,5	-0,975***	-1,450	15,355
Río Segundo	12,2	10,7	10,3	9,3	8,7	-0,981***	-0,838	12,768
San Alberto	12,7	13,6	12,2	12,5	11,8	-0,696	-0,297	13,448
San Javier	12,7	13,7	12,5	12,6	12,1	-0,591	-0,229	13,402
San Justo	11,7	11,4	10,9	9,3	9,4	-0,947**	-0,685	12,587
Santa María	12,7	11,3	10,3	9,4	9,3	-0,970***	-0,860	13,182
Sobremonte	14,5	12,4	11,8	9,4	8,7	-0,981***	-1,464	15,752
Tercero Arriba	11,6	10,4	9,8	8,4	9,2	-0,881**	-0,672	11,915
Totoral	13,9	12,0	11,7	10,4	9,2	-0,984***	-1,093	14,714
Tulumba	14,3	12,4	11,9	10,0	9,4	-0,984***	-1,223	15,251
Unión	11,0	10,9	10,4	9,7	9,7	-0,957**	-0,393	11,515

Referencias: *** significativo al 1%; ** significativo al 5%; * significativo al 10%.

Se destaca una reducción general y sostenida de ($e_a - e_d$) para enero en todo el territorio, si bien esta no es uniforme en su significación estadística. La disminución del déficit de presión de vapor alcanzó una alta significancia estadística ($P < 1\%$) en el 57% de los departamentos provinciales. La pendiente negativa de la regresión señala un decrecimiento medio con un rango comprendido entre $-0,526 \text{ hPa década}^{-1}$ (General San Martín) y $-1,464 \text{ hPa década}^{-1}$ (Sobremonte). En cambio, la correlación es más débil en los departamentos de San Javier, San Alberto y Calamuchita.

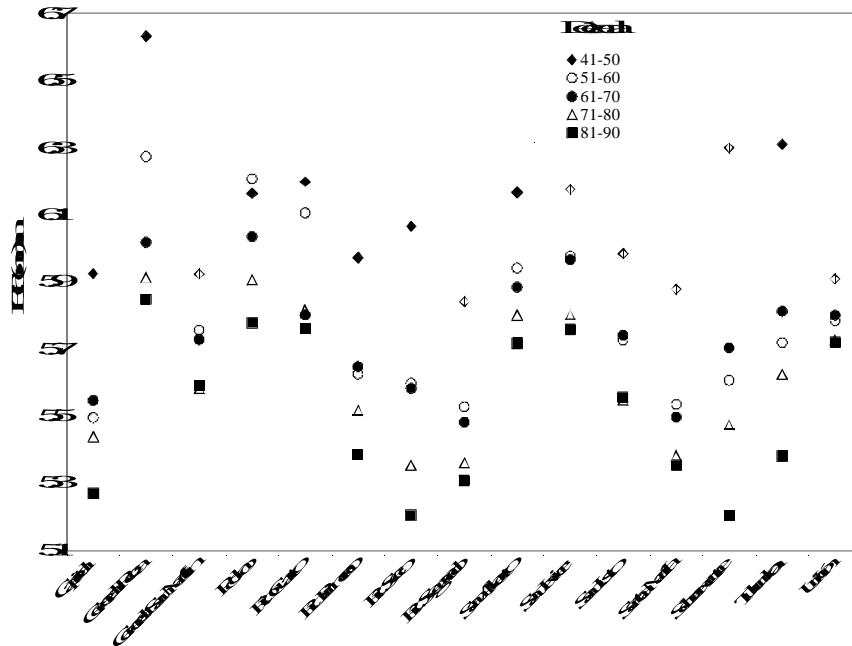
2. Evolución de la Evapotranspiración de un cultivo de referencia.

Para considerar el impacto que el aumento de la humedad del aire y la disminución del déficit de saturación han producido sobre el consumo de agua se realizó el cálculo de la evapotranspiración de referencia de un cultivo con la información climática de los períodos de 10 años entre 1941 y 1990. Los valores medios departamentales de la tasa diaria de ETo presentan una sistemática reducción en toda la provincia. La Figura 3 muestra la variación que experimentó en este lapso la ETo promedio de enero en los departamentos que presentan una tendencia de reducción significativa al 5%.

La ETo presentó una disminución significativa ($P < 5\%$) en el 54,5% de los departamentos que acusan en enero una tasa de reducción del déficit de presión de vapor de igual significación. Sólo Pocho, y en particular San Alberto y San Javier, muestran una disminución de ETo con este nivel de significación sin que la reducción de ($e_a - e_d$) presente evidencia de disminución de igual consistencia. En esta región subhúmeda seca y semiárida del Oeste de la provincia es probable que otros factores, como la radiación y el viento, contribuyan también a explicar la reducción en el poder evaporante de la atmósfera.

El promedio provincial de la tasa de disminución decádica de la ETo de enero acusa un valor de $0,59 \text{ mm día}^{-1}$, que para la década 81-90 representa una condición de demanda atmosférica de agua 9,7% menor respecto a la primer década del análisis. Esta reducción en la tasa de evapotranspiración no sólo significa un mejoramiento de la oportunidad de intercambio gaseoso, sino también una disponibilidad más prolongada del agua útil. Del mismo modo se debe considerar el aumento de la eficiencia de transpiración (eficiencia en el uso del agua), que asociado a la mayor humedad del aire, ha conforma-

Figura 3: Variación decádica de la tasa diaria de evapotranspiración de un cultivo de referencia (ET₀) durante el mes de enero para los departamentos que acusan una tendencia de disminución significativa al 5%.



do en la actualidad un ambiente de mayor productividad potencial, en la medida que otros factores no se presenten de manera limitantes.

En este sentido, el cambio general de la aptitud agropecuaria provincial al final del siglo XX no sólo reside en el aumento sostenido de la oferta de agua (Sierra *et al.*, 1995; Ovando *et al.*, 2000). La reducción concurrente de la demanda atmosférica también ha contribuido a expresar condiciones de diferente aptitud en el territorio de Córdoba. En un orden práctico, se advierte sobre la limitación que presentan los métodos de estimación de la evapotranspiración potencial o de referencia cuando a fin de realizar evaluaciones de largo plazo, sólo se apoyan en información térmica o no consideran la condición de la humedad del aire.

CONCLUSIONES

En la provincia de Córdoba se ha detectado entre 1941 y 1990 el aumento sostenido general de la humedad del aire durante el mes de enero, como así también la reducción del déficit de presión de vapor. La tendencia de cambio resulta significativa en términos estadísticos cuando se analiza la evolución de la serie de tiempo de los valores medios departamentales del déficit de presión de vapor promedio a través de cinco períodos decádicos sucesivos. La reducción del déficit de la presión de vapor ha provocado una disminución de la tasa de evapotranspiración de referencia que en términos medios representa una demanda atmosférica menor en la década 81-90 respecto a la primer década del análisis del orden de 10 %.

BIBLIOGRAFÍA

ALLEN, R.G., M. SMITH, A. PERRIER y L.S. PEREIRA, 1994. An update for the definition and calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bull.*, 43(2), 1-34.

BENGTSSON, L., 1994. Climate of the 21st century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 72:3-29.

BURGOS, J.J. y A.L. VIDAL, 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros*, 1: 3-32.

CARTER, T.R. y R.A. SAARIKKO, 1996. Estimating regional crop potential in Finland under a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79: 301-313.

DE LA CASA, A.C., 2001. Evaluación territorial y temporal de factores agroclimáticos de riesgo en la producción ganadera de la Provincia de Córdoba. Tesis de Magister en Ciencias Agropecuarias con mención en Agrometeorología. Escuela para Graduados, Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC.

MACKERRON, D.K.L., 1996. Climate Change-from impact to interaction. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79: ix-xiii.

OGALLO L.A., M.S. BOULAHYA y T. KEANE, 2000. Applications of seasonal to interannual climate prediction in agricultural planning and operations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 159-166.

OVANDO, G., A. DE LA CASA y A. RODRÍGUEZ, 2000. Variabilidad temporal de la precipitación media anual en la provincia de Córdoba, Argentina, evaluada por medios geoestadísticos. *Actas de la VIII Reunión Argentina de Agrometeorología*. 6 al 9 de Setiembre de 2000, Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo, Mendoza.

PETERSEN G.W., J.C. BELL, K. MCSWEENEY, G.A. NIELSEN y P.C. ROBERT, 1995. Geographic Information Systems in Agronomy. *Advances in Agronomy*, 55:67-111.

PUIGDEFÁREGAS, 1998. Variabilidad climática y sus consecuencias sobre la sostenibilidad de los sistemas agrarios. Capítulo 3: 41-70. *Agricultura Sostenible*. R. M. Jiménez Díaz y J. Lamo de Espinosa, Coordinadores. Ed. Ediciones Mundi-Prensa.

SACHS, L., 1978. *Estadística Aplicada*. Ed. Labor, S.A. 567 pp.

SALINGER, M.J., C.J. STIGTER y H.P. DAS, 2000. Agrometeorological adaptation strategies to increasing climate variability and climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 159-166.

SIERRA, E.M., R.H. HURTADO y L. SPECHA, 1994. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana 1941-1990. *Rev. Fac. Agronomía*, 14(2): 139-144.

SIERRA, E.M., M. CONDE PRATT, y S.P. PÉREZ, 1995. La migración del cultivo de granos como indicador del cambio climático 1941-93 en la Región Pampeana Argentina. *Rev. Fac. Agronomía*, 15(2-3): 171-176.

SMITH, M., 2000. The application of climatic data for planning and management of sustainable rainfed and irrigated crop production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103: 99-108.

SMN, 1958. *Estadísticas Climatológicas 1941-1950*. Publicación B₁, N° 3.

SMN, 1975. *Estadísticas Climatológicas 1951-1960*. Serie B, N° 6.

SMN, 1981. Estadística Climatológica 1961-1970. Publicación B, N° 35.

SMN, 1986. Estadísticas Meteorológicas 1971-1980. Publicación B, N° 36.

SMN, 1992. Estadísticas Climatológicas 1981-1990. Publicación B, N° 37.

TABIOS, G.Q. y J.D. SALAS, 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resour.Bull.*, 21:365-380.

TETENS, O., 1930. Uber einige meteorologische Begriffe. *Z. Geophys.*, 6:297-309.

TURNER, N.C., 1996. Further progress in crop water relations. *Advances in Agronomy*, 58:293-338.