

## TENDENCIAS DE ÍNDICES METEOROLÓGICOS Y BIOMETEOROLÓGICOS

GARCÍA, M. S.<sup>1</sup>, LEVA, P. E.<sup>1</sup>, ZBRUN, M. E.<sup>1</sup>,

VELES, M. A.<sup>1</sup>, GANDOLFO, J. A.<sup>1</sup> & VALTORTA, S. E.<sup>12</sup>

### RESUMEN

Los registros de temperatura y humedad relativa para el período 1971-1998 y la precipitación entre 1941-1998 correspondientes a la Estación Agrometeorológica de la EEA Rafaela (31°11' latitud Sur) fueron utilizados para estimar las tendencias de estos parámetros, así como la del índice de temperatura y humedad (ITH). Se analizaron las precipitaciones anuales y los semestres frío y cálido. Se calcularon los índices de Thornthwaite por decenios. La temperatura y la humedad se analizaron en forma anual y los ITH se estudiaron para diciembre, enero y febrero. La precipitación anual y la y la correspondiente al semestre cálido presentan una tendencia positiva. Los índices hídricos indican un clima subhúmedo en general para todo el período, excepto el decenio 1961-70, que resultó subhúmedo seco. La temperatura mínima presenta una tendencia positiva al igual que los ITH para los meses analizados. Las tendencias pueden significar efectos directos como indirectos en la producción de la zona.

*Palabras claves:* tendencias, fluctuaciones, temperatura, precipitación, humedad.

### SUMMARY

#### **Meteorologic and biometeorologic indexes trends in Santa Fe-Córdoba milking area**

Temperature and relative humidity data from 1971 to 1998, and rainfall records for the period 1941-1998, obtained from the Agrometeorological Station at EEA Rafaela (31° 11' South) were utilized to estimate trends in those elements, as well as in temperature humidity index (THI). Annual rainfall, as well as precipitation in during the cold and warm semesters were analyzed. Thornthwaites' indexes were calculated for 10-year periods. Temperature and humidity were analyzed on an annual basis, while THI was studied for December, January and February. Annual and warm semester rainfall presented a positive trend. Hydric index indicated a subhumid-humid climate, exception made of the 1961-70 period, which presented subhumid-dry conditions. Minimum temperature and THI presented a positive trend. These variations may represent both direct and indirect effects on regional production.

*Key words:* trends, precipitation, temperature, humidity, temperature humidity index.

---

1.- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Litoral. Kreder 2805, (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe. Telefax: (03496) 426400. e-mail: pleva@fca.unl.edu.ar

2.- Investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Manuscrito recibido el 20 de diciembre de 2000 y aceptado para su publicación el 3 de abril de 2001.

## INTRODUCCIÓN

La zona donde se realizó este estudio, la cuenca lechera central, ubicada en el centro oeste de la Provincia de Santa Fe y al este de Córdoba (entre 29,5 y 32,5° latitud Sur y 60,5 y 63° longitud Oeste), presenta un clima subhúmedo húmedo (índice hídrico entre 0 y 20) según Thornthwaite (1948).

La actividad agropecuaria predominante es el tambo.

El régimen térmico, junto con las precipitaciones, es fundamental para la producción de forrajes en cantidad y calidad suficientes para la producción lechera, especialmente en sistemas semi-intensivos con base pastoril, como los que caracterizan a la actividad de la zona.

Por otro lado, la humedad y la temperatura son parámetros utilizados para determinar índices de confort para el ganado lechero, como el Holando Argentino, raza predominante de los rodeos en la cuenca de Santa Fe - Córdoba.

En las últimas décadas se han observado variaciones en algunos parámetros meteorológicos, que son de vital importancia para la producción agropecuaria, como la temperatura (Minetti & Neder, 1979; Pascale *et al.*, 1997) y la precipitación (Quintela *et al.*, 1989; Sierra *et al.*, 1997).

La economía regional de la cuenca depende fundamentalmente de la actividad lechera que, teniendo en cuenta los sistemas de producción predominantes en la zona, está sujeta al comportamiento de los elementos meteorológicos.

Por ésto, es objetivo del presente trabajo analizar las fluctuaciones históricas y estimar las tendencias de parámetros meteorológicos como la temperatura, precipitación y humedad de la cuenca lechera central, tomando como referencia a la localidad de Rafaela.

## MATERIALES Y MÉTODOS

## INFORMACIÓN ANALIZADA

La información climática se obtuvo de la estación agroclimática del INTA Rafaela (31° 11' latitud Sur, 61° 33' longitud Oeste). Se trabajó con precipitación mensual de la serie 1941-1998 y con temperatura media, mínima y máxima y humedad media mensuales del período comprendido entre 1971 y 1998.

### Régimen hídrico

Para el análisis de las precipitaciones anuales se calcularon las medias móviles de 10 años y la tendencia se estimó a través de una línea recta y una curva polinómica de cuarto grado (Quintela *et al.*, 1989). Para las precipitaciones correspondientes a los semestres cálido (octubre-marzo) y frío (abril-septiembre) se estimaron las tendencias con una recta. Para caracterizar el régimen se utilizó el índice de estacionalidad (IE).

Los datos fueron agrupados según decenios comenzando en el período 41-50 y finalizando en el 91-98.

Se calculó el balance hídrico del suelo por el método de Thornthwaite (Thornthwaite & Mather, 1955) para cada década. Se estimaron para cada decenio los índices hídricos (IH). En los casos en que  $IH > 0$  se calculó el índice de aridez ( $I_a$ ), y cuando  $IH < 0$  se estimó el índice de humedad ( $I_h$ ) correspondientes con las siguientes fórmulas:

$$IH = \frac{100 * \sum \text{excesos} - 100 * \sum \text{deficit}}{ETP}$$

$$I_a = \frac{100 * \sum \text{deficit}}{ETP}$$

$$I_h = \frac{100 * \sum \text{excesos}}{ETP}$$

donde

ETP: evapotranspiración anual.

### Régimen térmico

El régimen térmico se analizó para las temperaturas medias anuales a través del cálculo de promedios móviles de 9 años. Para las temperaturas mínimas y máximas se trabajó con promedios móviles de 5 años (Minetti & Neder, 1979). Tanto para las temperaturas medias como para las extremas se realizó un ajuste a un polinomio de primer grado.

La humedad relativa media anual se examinó a través de medias móviles de 9 años. Se estudió su tendencia a través de una recta.

Con la temperatura y la humedad medias mensuales para los meses de diciembre, enero y febrero se estimó un índice de confort para el ganado lechero, el índice de temperatura y humedad (ITH), con la siguiente fórmula (Thom, 1958):

$$ITH = 1,8 * t_s + 32 - (0,55 - 0,55 * h_r) * (1,8 * t_s - 26)$$

donde

$t_s$ : temperatura del termómetro seco

$h_r$ : humedad relativa al tanto por uno

Se estimó la tendencia lineal para cada mes analizado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Régimen hídrico

La precipitación normal anual para la localidad de Rafaela es de 938 mm, con un desvío de 244 mm. El valor máximo para esta serie es de 1931 mm y corresponde al año 1977 y el valor mas bajo es de 466 mm ocurrido en 1948.

El régimen de precipitaciones es algo estacional con un período seco corto (IE: 0.49).

La Fig. 1 muestra la tendencia de las precipitaciones anuales y la curva de ajuste para la localidad de Rafaela.

Al analizar la tendencia de las precipitaciones anuales se puede apreciar que la misma es positiva lo cual coincide con otros autores que trabajaron en Balcarce (Vidal

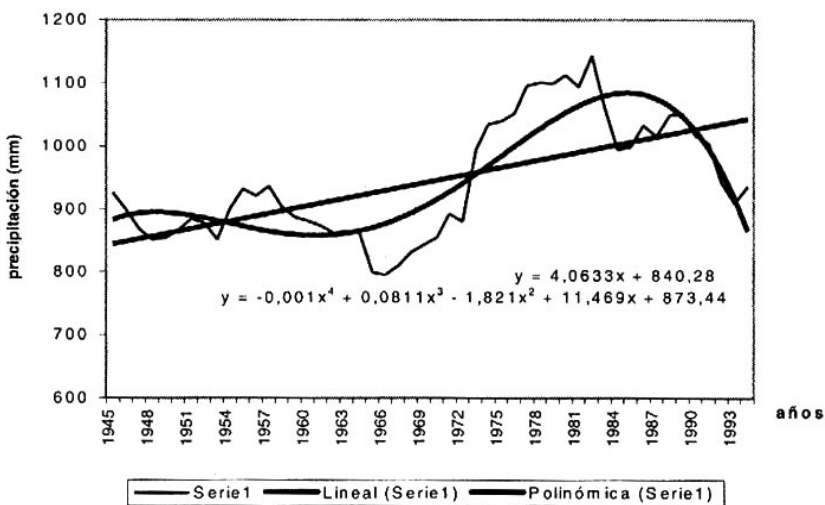


Fig. 1: Tendencia y función de ajuste de la precipitación anual para el periodo 1941-1998 en la localidad de Rafaela.

*et al.*, 1979), en La Banda (Boletta *et al.*, 1982), en el este de La Pampa y oeste de Buenos Aires (Pascale & Fassi, 1987) región subhúmeda seca pampeana (Quintela *et al.*, 1989) y en el cono sur al este de los Andes (Castañeda & Barros, 1994), y en el partido de Azul (Cañibano *et al.*, 1997).

La tendencia para el semestre cálido (octubre –marzo) es positiva. Mientras que para el semestre frío (abril-septiembre) es ligeramente negativa (Fig. 2 a y b).

En el Cuadro 1 se pueden observar las precipitaciones por decenios. Los decenios

71-80 y 81-90 se observan como los más lluviosos para el período en estudio (Cuadro 1).

En el trabajo de Pascale y Fassi (1987) se informa un incremento de las precipitaciones durante la década 1971-1980 coincidiendo con lo ocurrido en la misma década en Rafaela.

Se puede observar que luego de la década 1961-70, cuando se registraron los valores mínimos, se ha producido un incremento en las precipitaciones. En coincidencia con este trabajo Minetti y Acuña

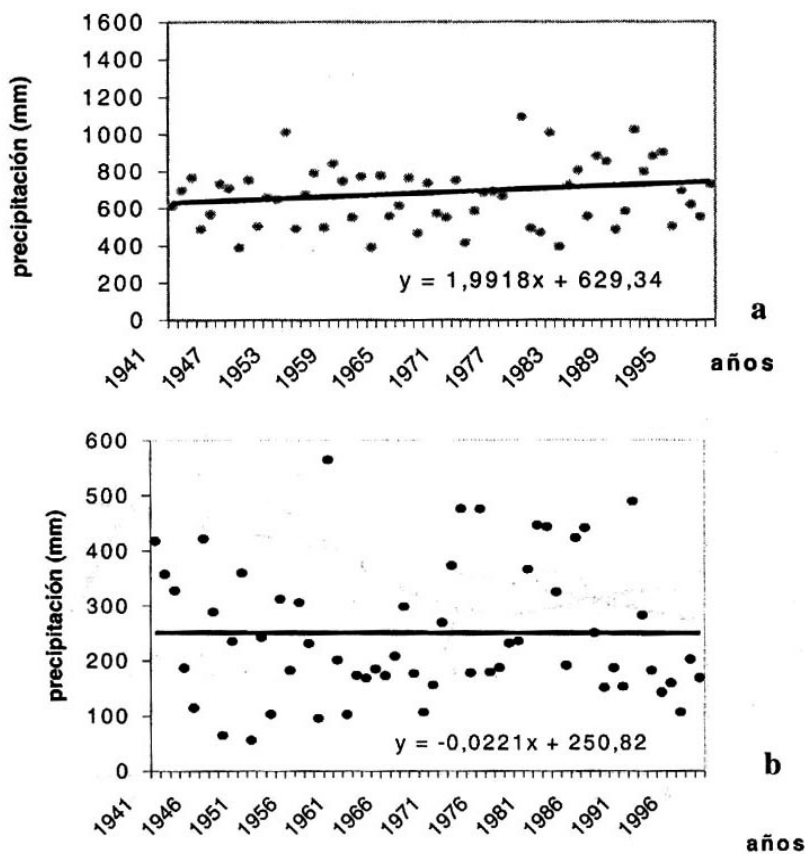


Fig. 2: Tendencias de las precipitaciones para el período 1941-1998 en el semestre cálido (a) (octubre-marzo) y en el semestre frío (b) (abril-septiembre) en la localidad de Rafaela.

(1997) señalan que el período húmedo más grande del siglo observado en la zona agrícola argentina estuvo ubicada entre la ocurrencia del “salto climático” de la década 1950-1960 hasta alrededor de 1990.

En el Cuadro 2 se observan los valores decádicos para IH, Ia e Ih.

Todos los  $IH > 0$  corresponden al tipo climático subhúmedo-húmedo y el  $IH < 0$  al tipo subhúmedo-seco. Los valores de Ia indican, en todos los casos, una pequeña o nula deficiencia de agua. El Ih para la década 61-70 indica nulo o pequeño exceso

de agua.

Se puede observar en las primeras décadas una disminución del índice hídrico y en los períodos 71-80 y 81-90 un aumento considerable del mismo para luego disminuir en el último decenio. Este comportamiento es coincidente con lo observado con las precipitaciones.

#### *Régimen térmico*

La temperatura media anual es de 18,3°C, la temperatura media del mes más cálido, enero, es de 24,8°C. El mes más frío es julio,

Cuadro 1: Precipitación por decenios para la localidad de Rafaela. Los valores indican Media  $\pm$  desvío.

Decenio	Precipitación (mm)
1941-1950	899 $\pm$ 225,4
1951-1960	921 $\pm$ 195,6
1961-1970	795 $\pm$ 129,8
1971-1980	1052 $\pm$ 348,4
1981-1990	1033 $\pm$ 248,2
1991-1998	935 $\pm$ 223,7

Cuadro 2: Índice hídrico (IH) índice de humedad (Ih) y índice de aridez (Ia) por decenios para la localidad de Rafaela.

decenio índice	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-1998
IH	4,08	0,11	-0,88	16,45	14,16	3,88
Ia	2,43	0,55		0,11	0,33	1,11
Ih			1,55			

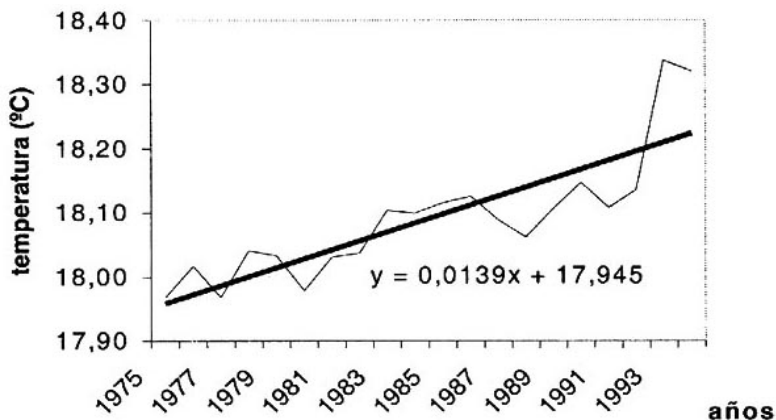


Fig. 3: Tendencia de la temperatura media anual para la localidad de Rafaela en el período 1971-1998.

Cuadro 3 :Temperatura máxima, mínima y media anual por decenios para la localidad de Rafaela. Los valores indican media ± desvío.

deccenio	Máxima media anual (°C)	Mínima media anual (°C)	Media anual (°C)
1971-1980	24,5±0,5	11,6±0,46	18.1±0,37
1981-1990	24,4±0,6	11,9±0,55	18,2±0,37
1991-1998	24,6±0,6	12,1±0,58	18,3±0,55

cuya temperatura es de 11,5°C.

Al analizar las temperatura medias anuales se observa un tendencia positiva (Fig. 3). Las temperatura máxima media y mínima media también presentan una tendencia positiva, mas importante en la mínima que en la máxima como se puede observar en la Fig. 4 a y b. Esto concuerda con trabajos realizados por Damario y Pascale (1994), que informan una disminución de la amplitud térmica anual como consecuencia del aumento de la temperatura mínima media, y por Pascale *et al.* (1997), en el Alto Valle de Río Negro, quienes informan un aumento de la temperatura mínima.

Las temperaturas medias, máximas y mínimas anuales por décadas se pueden

observar en el Cuadro 3.

La humedad relativa media normal anual es de 73,5% con un desvío ± 6,98%. Se puede observar en la Fig. 5 que la humedad relativa se ha mantenido constante en el período examinado.

La variabilidad decádica de la humedad relativa se puede observar en el Cuadro 4.

En la Fig. 6 se presenta la marcha del ITH promedio para el trimestre cálidos (diciembre, enero y febrero). La tendencia es positiva coincidiendo con la tendencia de la temperatura. Valtorta *et al.* (1996, 1997) y Valtorta y Leva (1998a) han demostrado que el ganado lechero se ha visto afectado por las condiciones meteorológicas estivales de la cuenca lechera de Santa Fe y Córdoba.

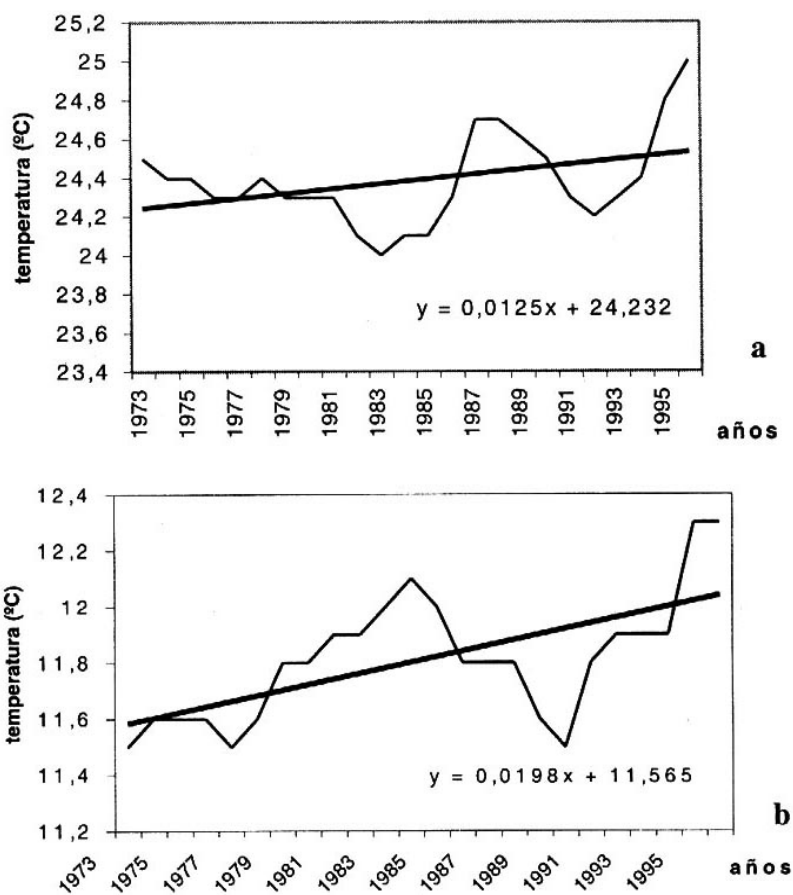


Fig. 4: Tendencias de la temperatura máxima media anual (a) y mínima media anual para la localidad de Rafaela en el período 1971-1998.

Cuadro 4: Humedad relativa media por decenios para a localidad de Rafaela. Los valores indican media  $\pm$  desvío.

Decenio	Humedad realtiva media (%)
1971-1980	72 $\pm$ 1,92
1981-1990	74 $\pm$ 4,32
199119-98	73 $\pm$ 2,41

Los resultados del presente trabajo explican las respuestas productivas encontradas en la zona, dado que el ITH medio de los tres meses más cálidos presenta una tendencia

positiva aumentando a partir de un valor de 72,15, ligeramente por encima del índice confort del ganado lechero (Armstrong,

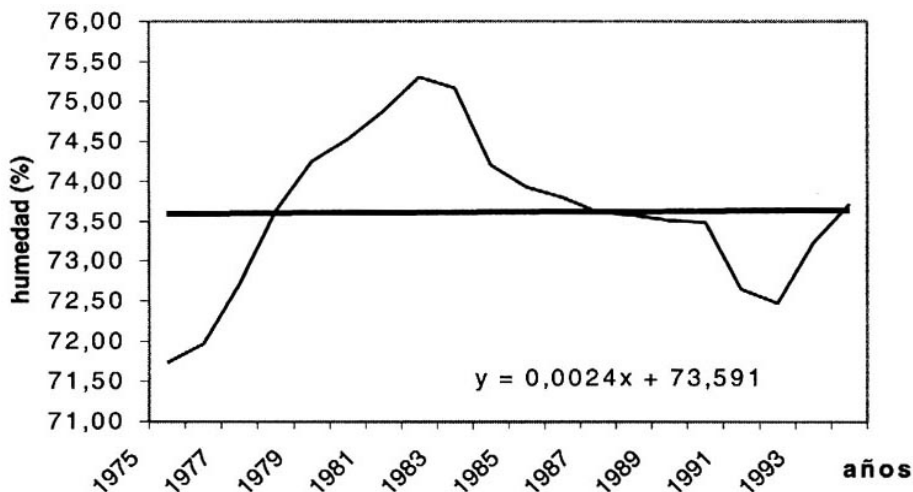


Fig. 5: Tendencia de la humedad relativa (%) media anual para el período 1971-1998 en la localidad de Rafaela.

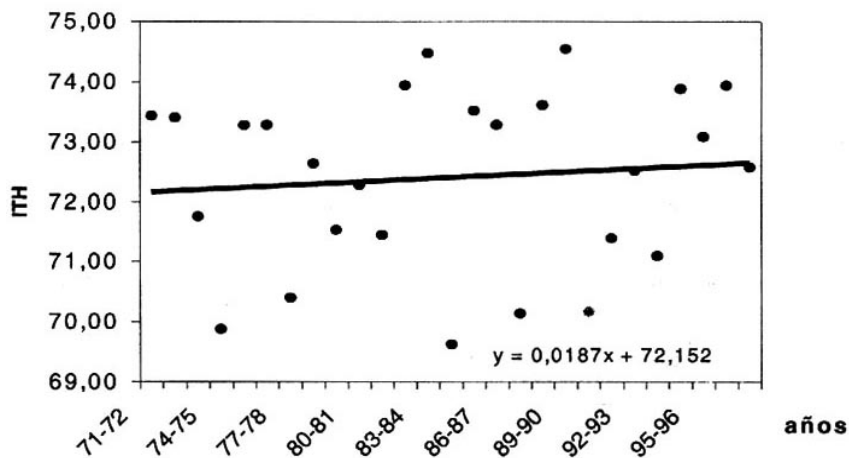


Fig. 6: Tendencia del índice de humedad y temperatura (ITH) media para el trimestre cálido (diciembre, enero y febrero) en el período 1971-1998 para la localidad de Rafaela.



## CONCLUSIONES

Los cambios sugeridos por las tendencias tendrían efectos directos e indirectos sobre los sistemas de producción lecheros de la zona.

En cuanto a los efectos directos, al aumentar la temperatura mínima se disminuye el tiempo de recuperación nocturno, tan necesario para el ganado lechero de origen europeo, raza predominante en la zona. El aumento de las precipitaciones combinado con el incremento de las temperaturas puede afectar la sanidad de los rodeos.

Con respecto a los efectos indirectos, se consideran aquellos que afectan la disponibilidad de alimento. En este sentido, si bien la evapotranspiración potencial no presenta variaciones en el período analizado, al aumentar las precipitaciones, sobretodo en el semestre cálido mejoraría la disponibilidad de agua para los cultivos estivales. El aumento de la temperatura mínima y la consiguiente disminución de la amplitud térmica, pueden afectar la producción de cultivos que requieren acumular horas de frío, o de aquellos que necesitan una determinada amplitud para completar su ciclo en forma satisfactoria.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARMSTRONG, D. V.** 1994. Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77: 2044-2049.
- BOLETTA, P. E.; L. R. ACUÑA; C. A. ROBLES & C. G. de BENITEZ.** 1982. Análisis del régimen de precipitaciones y probabilidades de lluvias en la Estación Experimental Agropecuaria La Banda. EEA-La Banda -INTA. 29 pp.
- CAÑIBANO, A.; E. R. NAVARRO DUJMOVICH & P. SASTRE.** 1997. Tendencias de las precipitaciones en el Centro del partido de Azul-Bs. As. Actas de la 7ª Reunión Argentina y 1ª Latinoamericana de agrometeorología. Buenos Aires. pp.15-16.
- CASTAÑEDA, E. M. & V. BARROS.** 1994. Las tendencias de la precipitación en el cono Sur de América al Este de los Andes. Actas VI Reunión Argentina de Agrometeorología: Córdoba. pp. 49-50.
- DAMARIO, E. A. & A. J. PASCALE.** 1994. Disminución de la amplitud térmica en la Argentina. Actas VI Reunión Argentina de Agrometeorología. Córdoba. pp. 75-76.
- MINETTI, J. L. & R. A. NEDER.** 1979. Tendencias actuales de la temperatura en Tucumán y su impacto en la producción de caña de azúcar. *Rev. Ind. y Agrícola e Tucumán* 56: 17-31.
- MINETTI, J. L. & L. R. ACUÑA.** 1997. Precipitaciones en la Argentina. ¿Fin del período húmedo reciente? Actas de la 7ª Reunión Argentina y 1ª Latinoamericana de Agrometeorología. Buenos Aires. pp. 1-2.
- PASCALE, A. & L. FASSI.** 1987. Régimen hídrico estival en la región semiárida sudoccidental pampeana durante la década del 70. IIIa Reunión Argentina de Agro-meteorología. Córdoba. Actas. pp. 155-163.
- PASCALE, A. J.; E. DAMARIO & C. BUSTOS.** 1997. Aumento de las temperaturas mínimas invernoprimeraverales en el Alto Valle de Río Negro. Actas de la 7ª Reunión Argentina y 1ª Latinoamericana de agrometeorología. Buenos Aires. pp. 69-70.
- QUINTELA, R. M.; J. A. FORTE LAY & O. E. SCARPATTI.** 1989. Modification of the water resources characteristics of the Argentine's Pampean subhumid-dry region. 12<sup>th</sup> Conference agricultural and forest meteorology and ninth conference biometeorology and aerobiology. American Meteorology Society. Charleston, S. Carolina. pp. 330-335.
- SIERRA, E.; E. R. MEDINA & M. CONDE**

- PRAT.** 1997. Cambio del régimen de pluviométrico y reordenamiento de la producción de granos en la región pampeana 1941-94. Actas de la 7ª Reunión Argentina y 1ª Latinoamericana de agrometeorología. Buenos Aires. pp. 7-8.
- THOM, E. C.** 1958. Cooling degree-days Air conditioning, heating and ventilation. 7: 65-72.
- THORNTWAITE, C. W.** 1948. An approach toward a rational clasification of climate. THE Geographical Review. XXXVIII: 55-94. New Jersey.
- THORNTWAITE, C. W. & J. R. MATHER.** 1955. The water balance. Drexel Institute of Technology. Publications in Climatology. VIII: 104 pp.
- VALTORTA, S. E. & P. E. LEVA.** 1998 a. Res-  
puesta del animal (pp.21-37).En: Producción de leche en verano. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral.
- VALTORTA, S. E. & P. E. LEVA.** 1998 b. Caracterización del ambiente físico (pp.9-20). En: Producción de leche en verano. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral.
- VALTORTA, S. E.; M. R. A. GALLARDO; H. C. CASTRO & M. E. CASTELLI.** 1996. Artificial shade and supplenetation effects on grazing dairy cows in Argentina. Transactions Amer. Soc. Agric. Eng. 39: 233-236.
- VALTORTA, S. E.; P. E. LEVA & M. R. GALLARDO.** 1997 Effect of different shades on animal well being in Argentina. Int. J. Biometeorol. 41: 65-67.
- VIDAL, N. A.; C. F. COUSILLAS & A. F. GARAY.** 1979. Análisis de precipitaciones en Balcarce. I. Régimen Pluviométrico. EEA- Balcarce. INTA. pp. 23.