

TRABAJO ORIGINAL

APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA DETERMINAR APTITUD GANADERA EN FUNCIÓN DE INDICADORES AGROCLIMÁTICOS

Application of geographical information systems (GIS) to determine cattle aptitude in function of agroclimatic indexes

DE LA CASA¹, A.C. Y SEILER², R.A.

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba - UNC
Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto - UNRC

RESUMEN

Estudios de la variabilidad del clima en una región pueden ser realizados a través de sus impactos en la producción agropecuaria, los que a su vez permiten sustentar la organización de los sistemas productivos y planificar las acciones operativas o de manejo para el tiempo presente y hacia el futuro. La disponibilidad de forraje y el confort térmico del animal son dos importantes factores de riesgo climático en la producción ganadera. El objetivo de este trabajo consiste en determinar los cambios a través del tiempo que han sufrido estos factores de riesgo y delimitar las áreas abarcativas de los mismos en la provincia de Córdoba. Sobre la base de un sistema de información geográfica (SIG), el análisis comprende la determinación de la tendencia lineal que experimentaron dos indicadores agroclimáticos de aptitud, el índice hídrico (IH) para representar la disponibilidad de forraje y la temperatura de enero (Te) para indicar la situación de confort, de manera consecutiva a través de 5 décadas entre 1941 y 1990. Los sectores donde se estudia el cambio se circunscriben a los límites departamentales de la provincia a fin de delimitar territorialmente su alcance y extensión. El promedio provincial del IH presentó una tendencia lineal creciente ($p < 0,1$), aunque su distribución territorial no fue uniforme. Los departamentos con una tendencia de aumento ($p < 0,05$) del IH fueron: Capital, Colón, General Roca, Río Cuarto, Río Seco y Sobremonte. Por su parte, Te presentó una tendencia negativa al mismo nivel de significación sólo en Río Seco. El incremento progresivo del IH, dando lugar las dos últimas décadas a valores por encima del promedio de largo plazo (1941-90), configura en la actualidad un ambiente de menor restricción alimentaria para el ganado.

Palabras clave: SIG, índice de confort térmico, disponibilidad de pasturas.

Recibido: 28 de marzo de 2003

Aceptado: 29 de marzo de 2004

1. M.Sc, Profesor Adjunto. Fac. Cs. Agropecuarias (UNC). CC 509 (5000) Córdoba. delacasa@agro.uncor.edu.

2. PhD, Profesor Titular. Fac. Agron. y Veterinaria (UNRC). Ruta Nacional N°36, Km 601. (5800) Río Cuarto, Córdoba.

SUMMARY

Studies of climate variability in a region can be accomplished through its impact in agricultural production, and at the same time permit to sustain the productive systems organization and to plan operative tasks and management for the present time and toward the future. Availability of forage and thermal stress are important climatic risk factors in cattle production. The objective of this study consists of determining the changes these risk factors have suffered and to delimit the areas of them in Córdoba province. Based on a geographical information system (GIS), the analysis comprise the determination of the linear trend of two agroclimatic indicators of aptitude, the moisture index (IH) representing availability of forage and January temperature (Te) to indicate thermal stress, were experienced in a consecutive way through 5 decades between 1941 and 1990. The sectors where the change is studied are limited to the departmental limits of the province in order to delimiting its scope and extension. The provincial average of IH presented a positive trend ($p < 0,1$) in this period, but its regional distribution was not uniform. The departments with a positive trend ($p < 0,05$) were Capital, Colón, General Roca, Río Cuarto, Río Seco y Sobremonte. The mean January temperature presented a negative trend at same meaning level only in Río Seco. The progressive augment of IH, giving place the two last decades to conditions above the long term average (1941-90), means at present a smaller food restriction environment for cattle.

Key words: GIS, thermal stress, availability of pastures.

INTRODUCCIÓN

En las actividades agrícolas y ganaderas, el conocimiento de las características climáticas de una región es importante porque ofrece el marco de referencia para la planificación de acciones operativas, o para un mejor manejo actual y hacia el futuro (Michalczyk, 1979). Sin embargo, esas características en general no son estables en el tiempo debido a la variabilidad climática por una parte y al cambio climático por la otra, los que producen variaciones de amplitud o frecuencia de los fenómenos y que por lo tanto afectan la aptitud para las distintas actividades productivas. Aún pequeños cambios en el clima pueden conducir aparentemente a alteraciones substanciales en el potencial agroclimático regional (Carter y Saarikko, 1996).

La evaluación de las situaciones actuales y de posibles escenarios climáticos futuros, puede permitir una intervención anticipada sobre los sistemas naturales o cultivados tendiente a reducir el impacto de los efectos no deseados. Del mismo modo, el análisis de las condiciones pasadas en una región permitiría

cuantificar la magnitud de tales variaciones y de los efectos de esas fluctuaciones que ponen en riesgo la sustentabilidad de los sistemas productivos (Puigdefábregas, 1998).

Reconociendo el comportamiento variable del clima y de sus efectos, un campo de trabajo de interés en los últimos años ha sido el análisis predictivo del cambio climático **per se**, para establecer cual puede ser la condición climática del siglo XXI y evaluar a la vez, el impacto de esta variabilidad sobre distintos aspectos económicos y sociales (Bengtsson, 1994). Un procedimiento corriente empleado en este tipo de proyecciones, es la combinación de modelos que simulan el comportamiento productivo de un cultivo o sistema de producción, con otros que representan el funcionamiento del sistema climático, subordinado a la modificación que se pronostica de las propiedades atmosféricas (Pittock y Nix, 1986; Peiris, Crawford, Grashoff, Jefferies, Porter y Marshall, 1996). Entre otras metodologías de evaluación disponibles también los sistemas de información geográficos (SIG) contribuyen a describir, cuantificar y representar la variabilidad espacial (MacKerron, 1996). La utilización de un SIG

significa contar con las herramientas de análisis necesarias para evaluar problemas desde una perspectiva territorial (Petersen, Bell, McSweeney, Nielsen y Robert, 1995).

El objetivo de este trabajo es analizar la evolución temporal del potencial ganadero en la provincia de Córdoba, en función de la variabilidad y del cambio climático acontecido entre 1941 y 1990. Además, se intenta cuantificar la magnitud de los cambios producidos, e identificar las condiciones de riesgo y las áreas que experimentaron alteraciones significativas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para el estudio se utilizaron datos climáticos básicos tales como temperatura media mensual y precipitación media mensual, obtenidos de las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 1958; SMN, 1975; SMN, 1981; SMN, 1986; SMN, 1992). Las estadísticas climáticas se publican cada diez años y presentan una continuidad desde 1941. De esta forma se dispuso de una serie conformada por 5 períodos decádicos consecutivos, es decir: 1941-50, 1951-60, 1961-70, 1971-80 y 1981-90. En este período de medio siglo se produjeron algunas modificaciones en la red observacional, razón por la cual la nómina de estaciones empleadas presenta algunas variantes a través del tiempo. En el Cuadro 1 se presenta el listado de estaciones y décadas disponibles utilizadas para el análisis.

A los efectos de hacer comparativos los resultados, se procuró que el número de estaciones empleadas en cada década fuera similar. En el análisis geográfico se incluyó la mayor cantidad de estaciones del sector central de Argentina, para extraer finalmente resultados restringidos a un área menor tal como la de los límites políticos de la provincia de Córdoba.

La disponibilidad de pasturas fue evaluada por medio del índice hídrico (IH) (Burgos y Vidal, 1951; Burgos, 1977). Este índice es calculado con los valores de evapotranspiración potencial, deficiencia y exceso de agua anuales tomados de los resultados del balance hidrológico de Thornthwaite (Pinto y Preuss, 1975). Por su parte, la acción climática directa sobre el ganado fue evaluada mediante la temperatura media del mes más cálido (enero).

La variabilidad temporal y espacial de los elementos climáticos y agroclimáticos se analizó mediante de un sistema de información geográfica elaborado con el programa IDRISI (Eastman, 1999). Esta tecnología presenta la ventaja de permitir un fácil acceso, intercambio o modificación de los datos, facilitar el examen de mayor número de variables de las que son consideradas usualmente en las decisiones de manejo y, por lo tanto, conducir al mayor entendimiento del funcionamiento del sistema y de sus interacciones (Petersen y otros, 1995).

Se elaboraron mapas digitales aplicando técnicas geoestadísticas de interpolación a las variables observadas (Burrough, 1986). Con tal fin se utilizó para ambos indicadores agroclimáticos el método de la inversa de la distancia al cuadrado, el cual ya ha sido empleado para interpolar variables climáticas (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 66°52'W; 60°33'W de longitud y 36°37'S; 27°46'S de latitud.

Para efectuar la comparación de la aptitud ganadera por décadas respecto de la condición del período completo de 50 años entre 1941 y 1990, fue necesario disponer del mapa de la condición media correspondiente. El mapa digital promedio, representativo de la condición climática de largo plazo, se calculó a partir de los mapas digitales correspondientes a las cinco décadas individuales.

CUADRO 1: Estaciones meteorológicas, agrupadas por provincia, empleadas en cada período de 10 años del estudio.

Table 1: Meteorological stations, contained by county, employees in every period of 10 years of the study.

Provincia	Estaciones Meteorológicas	Década				
		41-50	51-60	61-70	71-80	81-90
CÓRDOBA	BELL VILLE	/	/	/	/	/
	CORDOBA	/	/	/	/	/
	CRUZ DEL EJE	/	/	/	/	/
	DIQUE LA VIÑA	/	/	/	/	/
	EMBALSE	/	/	/	/	/
	HUINCA RENANCO	/	/	/	/	/
	LABOULAYE	/	/	/	/	/
	MANFREDI	/	/	/	/	/
	MARCOS JUAREZ	/	/	/	/	/
	PILAR	/	/	/	/	/
	QUILINO	/	/	/	/	/
	RIO CUARTO	/	/	/	/	/
	RIO TERCERO	/	/	/	/	/
	SAN FRANCISCO	/	/	/	/	/
	VILLA DOLORES	/	/	/	/	/
VILLA MARIA RIO SECO	/	/	/	/	/	
SAN LUIS	CORONEL PRINGLES	/	/	/	/	/
	VILLA REYNOLDS AERO	/	/	/	/	/
	VILLA MERCEDES	/	/	/	/	/
	SAN LUIS AERO	/	/	/	/	/
	TILISARAO	/	/	/	/	/
	UNION	/	/	/	/	/
SANTA FE	CERES AERO	/	/	/	/	/
	ESPERANZA	/	/	/	/	/
	RAFAELA	/	/	/	/	/
	ROSARIO AERO	/	/	/	/	/
	SAUCE VIEJO AERO	/	/	/	/	/
	SANTIAGO DEL ESTERO	/	/	/	/	/
LA RIOJA	CHAMICAL AERO	/	/	/	/	/
	CHEPES	/	/	/	/	/
	LA RIOJA AERO	/	/	/	/	/
LA PAMPA	ANGUIL INTA	/	/	/	/	/
	GENERAL PICO AERO	/	/	/	/	/
	SANTA ROSA AERO	/	/	/	/	/
	VICTORICA	/	/	/	/	/
BUENOS AIRES	PERGAMINO	/	/	/	/	/
	JUNIN AERO	/	/	/	/	/
Total de Estaciones Meteorológicas:		26	23	29	26	23

La evolución de los indicadores agroclimáticos 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 los indicadores para cada departamento. Las series de los cinco valores medios ordenada cronológicamente fueron sometidas a un análisis de correlación y regresión con respecto al tiempo (de la Casa, 2002). La evaluación se realizó sobre cada factor de riesgo en forma individual, y el resultado final fue integrado por medio de una composición de la condición de significancia estadística en forma conjunta.

El análisis comparativo sobre la variación de la superficie ocupada por las condiciones medias de aptitud ganadera en la provincia, se realizó por medio de sendos procedimientos de reclasificación sobre cada imagen o mapa digital de la década respectiva (Petersen y otros, 1995). Los límites de clase o región de aptitud se tomaron de Burgos (1977).

RESULTADOS

Condiciones termo-hídricas del período 1941-1990

Burgos (1977) delimita zonas de aptitud ganadera mediante la temperatura media de enero, considerando este indicador como límite de expresión de las condiciones de bienestar del ganado vacuno. Utiliza además el índice hídrico anual para representar cualitativamente la cantidad y calidad del forraje. En términos climáticos, de acuerdo al promedio de estos índices calculados para el período 1941-90, la provincia de Córdoba presenta las condiciones termo-hídricas que se describen en la Figura 1.

El IH muestra un ordenamiento decreciente Este-Oeste, que coincide con el recorrido de las isoyetas de precipitación anual y de las regiones hídricas en nuestro país (Rodríguez y de la Casa, 1991), entre un máximo de 21,38 y un mínimo de -37,57. Las isolíneas cerradas

que se observan en diferentes sectores pone de manifiesto una baja densidad de observación. Excepto los departamentos de Marcos Juárez, Unión, parte de San Justo y Presidente Roque Saenz Peña en el Este, la provincia presenta condiciones medias inferiores a 0 que decrecen hacia el Oeste, hasta la isolínea de -20 en el límite con La Rioja.

Burgos (1977) interpreta que la característica de las pasturas en el intervalo del IH entre 0 y -20, permiten una disponibilidad normal pero escasa, con necesidad de henificación por sequías ocasionales. Esta recomendación sintetiza la característica principal de los sistemas ganaderos en la provincia, debiendo diferenciar la situación más favorable de la llanura central, respecto de las regiones más áridas del Oeste.

Dentro de la zona de confort más aceptada para el ganado británico o continental, comprendido entre 0 y 16°C (Bianca, 1977), la temperatura media del mes más cálido de 26°C representa la condición térmica que impone restricciones en los niveles de homeostasis de estas razas y constituye una medida para valorar la aptitud territorial. Si bien es cierto que esta isoterma se ubica a modo de arco hacia el Norte de la provincia, considerando la naturaleza continua del factor de estrés térmico y su propia variabilidad temporal, es razonable asumir que el riesgo de estrés se reduce hacia el Sur de la provincia de manera gradual.

De acuerdo a esta disposición de los índices, se advierte que la principal restricción impuesta por el clima en la provincia de Córdoba corresponde a la de satisfacer las necesidades alimentarias del ganado. Si bien la cartografía no lo revela, esta restricción tiene un comportamiento estacional. En virtud de la ocurrencia de lluvias durante la estación cálida se establecen condiciones favorables para el crecimiento de las pasturas. La otra estación presenta condiciones demasiado secas o frías, dando por resultado una menor oferta de forraje que es identificada técnicamente como la de un "bache forrajero".

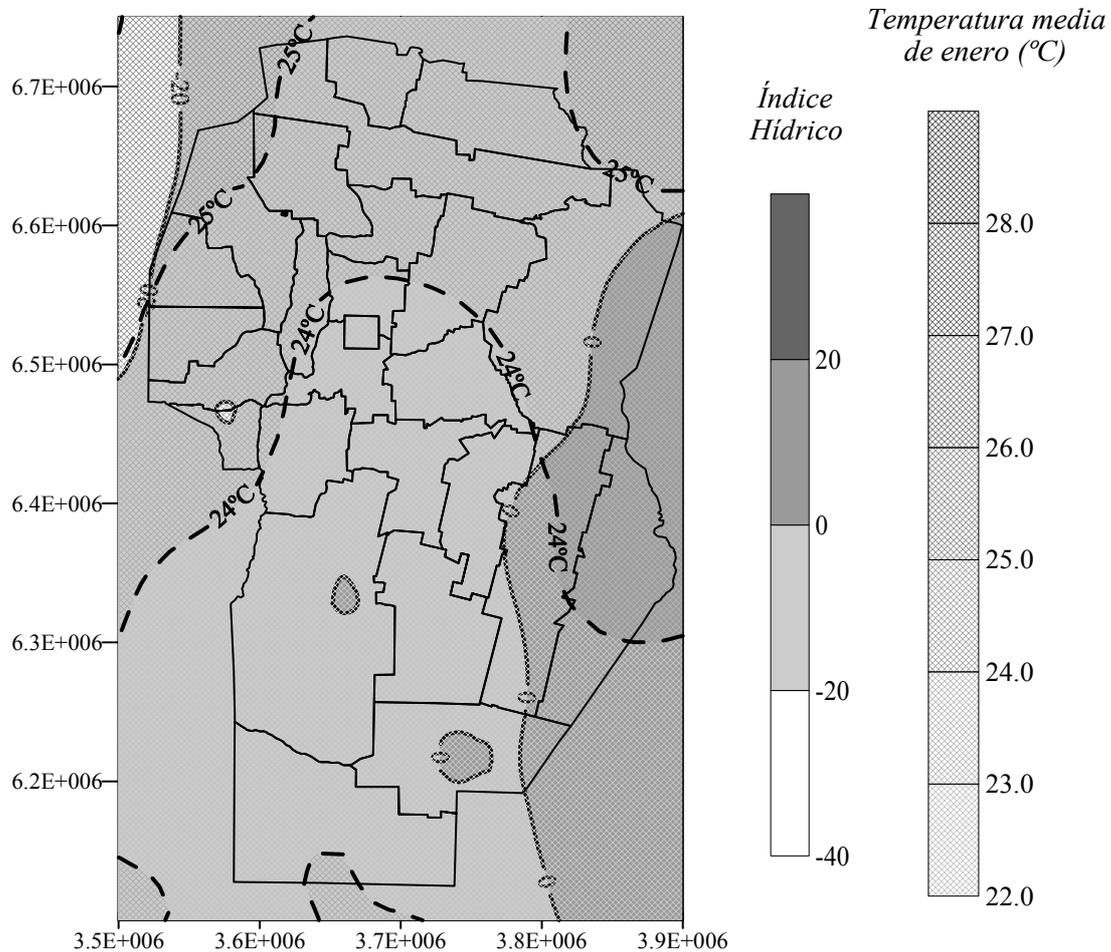


FIGURA 1: Condiciones hídricas y térmicas medias del período 1941-1990 en la provincia de Córdoba.
Figure 1: Mean hydrological and thermal conditions of 1941-1990 period in Córdoba province.

Cambios de la aptitud ganadera entre 1941 y 1990

La condición agroclimática de largo plazo que resulta del procesamiento anterior oculta la variabilidad climática ocurrida en períodos de menor extensión. Estudios sobre cambios en el régimen de lluvias muestran la variabilidad de este elemento, determinando su aumento en algunas regiones (Lucero, 1994; Sierra, Hurtado y Specha, 1994) y disminución sostenida en otras (Hess, Stephens y Maryah, 1995), con innegables consecuencias productivas en

ambos casos. Considerando las distintas décadas incluidas en el período analizado, en las Figuras 2 y 3 se presentan la variabilidad del IH y de la temperatura media de enero para cada una de ellas.

En las sucesivas décadas el IH presenta un ordenamiento similar a la condición media 1941-90, es decir, que decrece desde las áreas más húmedas del este a las más secas del oeste (Figura 2). Si bien este ordenamiento no se ve alterado, se aprecia que la posición de los límites y extensión de las diferentes

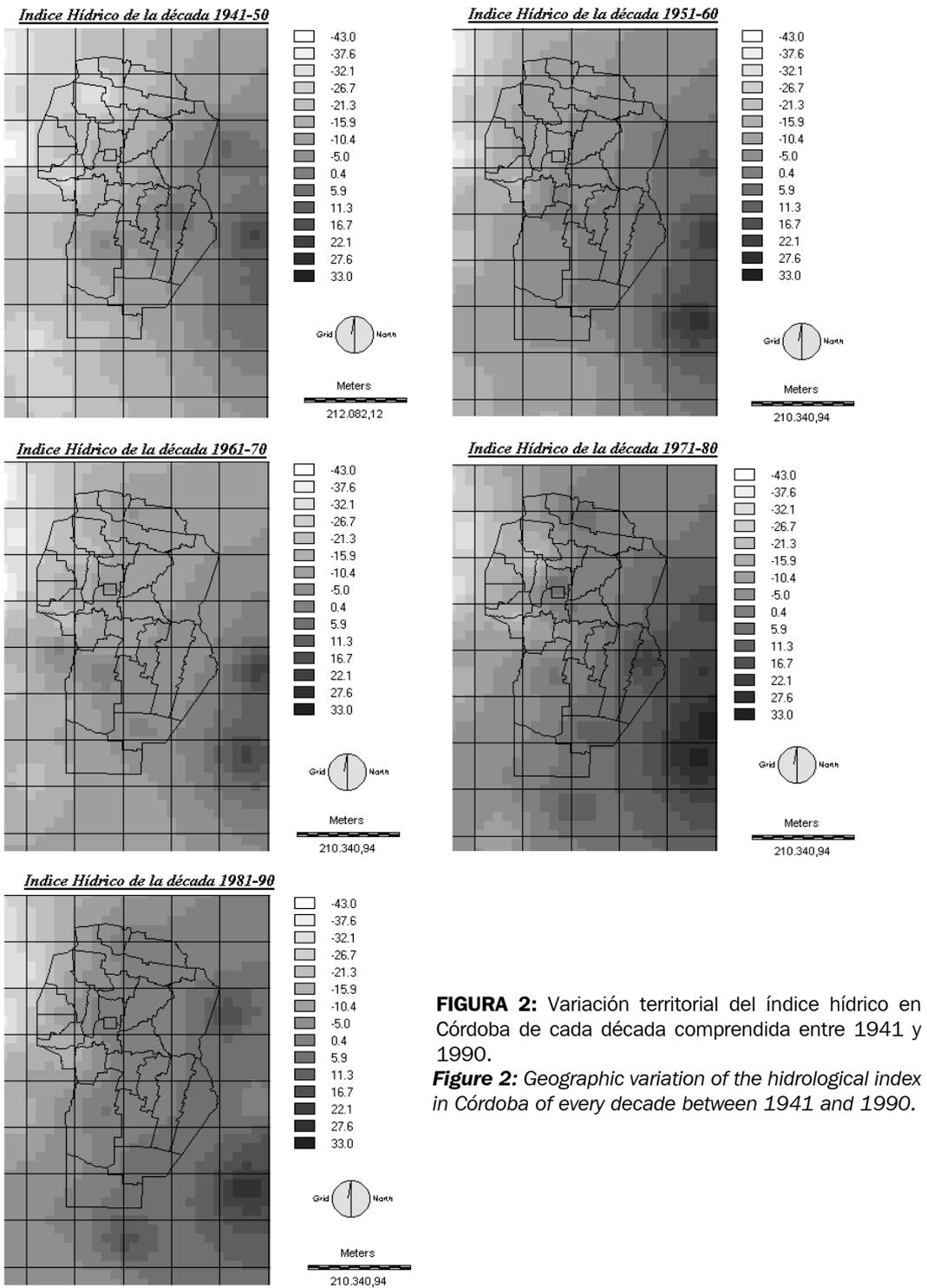


FIGURA 2: Variación territorial del índice hídrico en Córdoba de cada década comprendida entre 1941 y 1990.
Figure 2: Geographic variation of the hidrological index in Córdoba of every decade between 1941 and 1990.

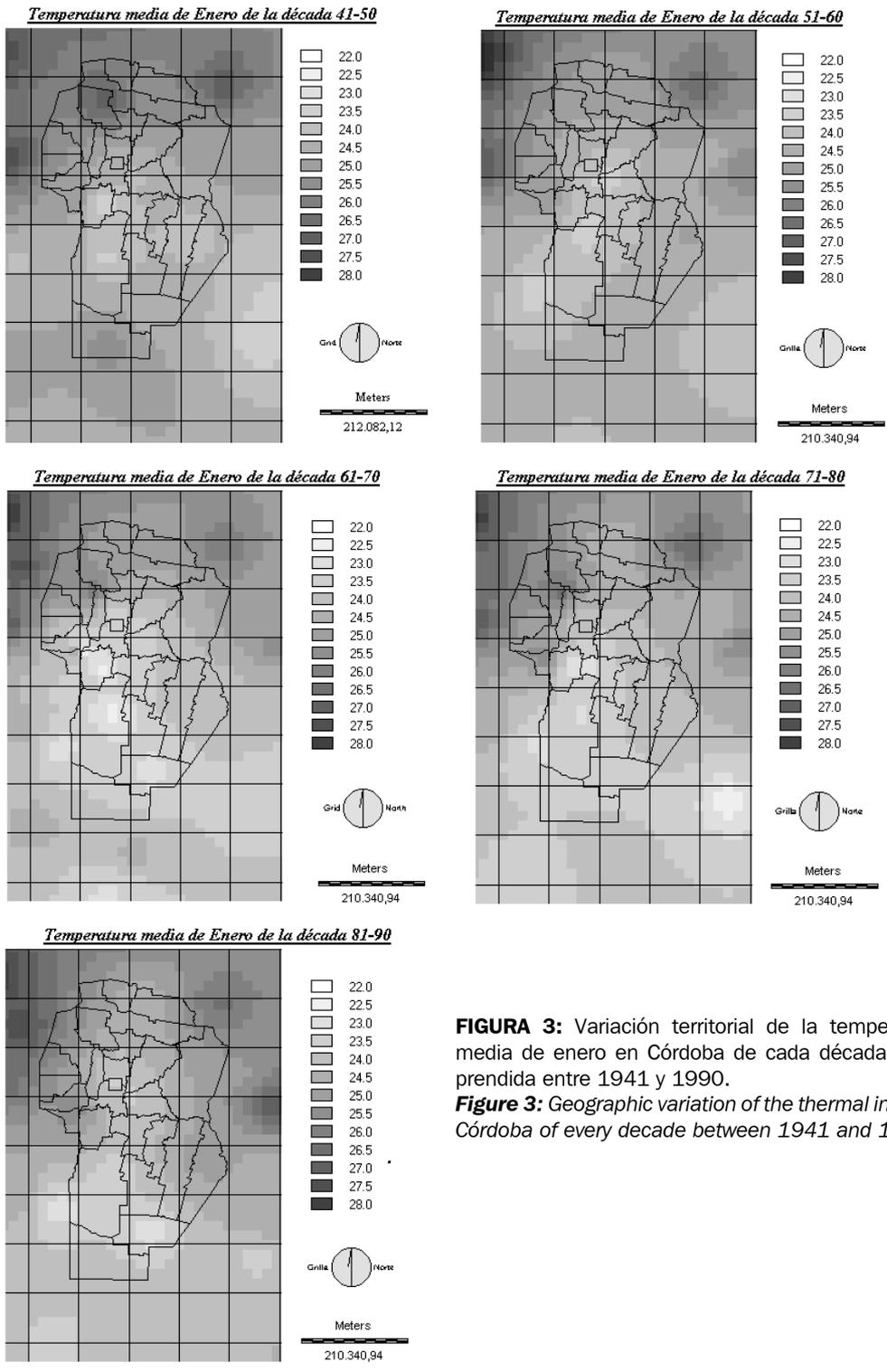


FIGURA 3: Variación territorial de la temperatura media de enero en Córdoba de cada década comprendida entre 1941 y 1990.
Figure 3: Geographic variation of the thermal index in Córdoba of every decade between 1941 and 1990

áreas coloreadas se modifican a través del tiempo. Por su parte, la inspección visual de los mapas de confort térmico (Figura 3) no parecen mostrar un cambio de envergadura semejante.

En Cuadro 2 se presentan los resultados del análisis de correlación y regresión de cada indicador agroclimático respecto al tiempo, para el conjunto de departamentos de la provincia.

CUADRO 2: Medidas del análisis de correlación y regresión lineal del índice hídrico y el de confort térmico por departamentos vs décadas (n=5)

Table 2: Measures of the correlation and regression analysis of the hidrological and thermal comfort indexes for departments vs decades (n=5)

Departamento	Índice Hídrico					Temperatura Media de Enero				
	Pendiente	t cal	r	R ²	Err.Est	Pendiente	t cal	r	R ²	Err.Est
Capital	4,974*	4,398	0,930	0,866	3,576	-0,182	-2,489	-0,821	0,674	0,232
Calamuchita	1,813	1,842	0,728	0,531	3,113	0,031	0,189	0,108	0,012	0,516
Colón	4,104*	4,093	0,921	0,848	3,171	-0,145	-2,307	-0,800	0,640	0,198
Cruz del Eje	1,794	1,458	0,644	0,415	3,890	-0,011	-0,142	-0,082	0,007	0,236
General Roca	4,134*	3,264	0,883	0,780	4,006	-0,256	-2,659	-0,838	0,702	0,304
General San Martín	1,420	1,309	0,603	0,364	3,430	-0,036	-0,561	-0,308	0,095	0,203
Ischilín	3,543	1,982	0,753	0,567	5,654	-0,177	-1,296	-0,599	0,359	0,432
Juarez Celman	2,312	2,641	0,836	0,699	2,768	-0,127	-1,611	-0,681	0,464	0,249
Marcos Juarez	1,944	0,918	0,468	0,219	6,697	0,028	0,286	0,163	0,026	0,313
Minas	1,653	1,711	0,703	0,494	3,055	0,000	-0,005	-0,003	0,000	0,244
Pocho	2,167	2,376	0,808	0,653	2,884	-0,019	-0,153	-0,088	0,008	0,398
Pte.R. Saenz Peña	3,602	3,076	0,871	0,759	3,703	-0,251	-2,722	-0,844	0,712	0,291
Punilla	3,180	2,873	0,856	0,733	3,500	-0,080	-1,068	-0,525	0,276	0,237
Río Cuarto	2,222*	3,319	0,887	0,786	2,117	-0,131	-1,570	-0,671	0,451	0,263
Río Primero	3,065	2,662	0,838	0,703	3,641	-0,097	-1,550	-0,667	0,445	0,197
Río Seco	4,195*	3,328	0,887	0,787	3,986	-0,192*	-3,958	-0,916	0,839	0,153
Río Segundo	2,736	2,277	0,796	0,634	3,800	-0,065	-0,924	-0,471	0,221	0,223
San Alberto	2,436	2,519	0,824	0,679	3,058	0,022	0,121	0,069	0,005	0,571
San Javier	2,214	2,403	0,811	0,658	2,913	0,037	0,248	0,142	0,020	0,468
San Justo	1,858	1,285	0,596	0,355	4,572	-0,025	-0,442	-0,247	0,061	0,180
Santa María	3,196	3,015	0,867	0,752	3,352	-0,072	-0,808	-0,423	0,179	0,283
Sobremonte	4,608*	3,268	0,884	0,781	4,460	-0,234	-3,175	-0,878	0,771	0,233
Tercero Arriba	1,957	1,632	0,686	0,470	3,791	-0,037	-0,433	-0,243	0,059	0,267
Totoral	3,709	3,048	0,869	0,756	3,848	-0,159	-2,051	-0,764	0,584	0,245
Tulumba	3,871	2,922	0,860	0,740	4,190	-0,183	-2,414	-0,812	0,660	0,240
Unión	1,460	0,947	0,480	0,230	4,875	-0,004	-0,066	-0,038	0,001	0,204

Referencia: El * indica una pendiente distinta de cero ($p < 0,05$).

El IH muestra un incremento general con el tiempo aunque no uniforme en el territorio de Córdoba. De los diez departamentos que presentan la menor pendiente Calamuchita, Tercero Arriba, General San Martín, Unión, Marcos Juárez y San Justo se encuentran en el centro y el este de la Provincia, mientras Cruz del Eje, Minas, Pocho y San Javier, se ubican en el Oeste. Esto parece señalar que tanto las áreas más húmedas del Este como las más áridas del Oeste han conservado su rasgo climático más estable.

En cuanto a las condiciones térmicas del mes más cálido, se advierte que prevalece el cambio opuesto, aunque sin alcanzar la significación estadística generalizada anterior. La tendencia de la temperatura media de enero resulta negativa en general, con excepción de los departamentos de Marcos Juárez, Calamuchita, San Alberto, San Javier y Minas.

Los departamentos que presentan tendencia de aumento del IH significativa al 5% (t de Student: +/-3,182) son: Capital, Colón, General Roca, Río Cuarto, Río Seco y Sobremonste. Por su parte, la temperatura de enero presenta una tendencia negativa al mismo nivel de significación sólo en Río Seco. En el extremo Norte de la provincia el departamento de Río Seco presenta en forma simultánea el incremento del IH (mayor disponibilidad de pasto) y una disminución de la temperatura (mejor condición de confort térmico).

La variabilidad del IH para el total de departamentos de la Provincia puede observarse en la Figura 4. En la misma se incluyen los valores promedio, máximo y mínimo que corresponden al total de 436 elementos de la grilla de la Provincia y las líneas de regresión obtenidas para el conjunto de 5 períodos de 10 años analizados.

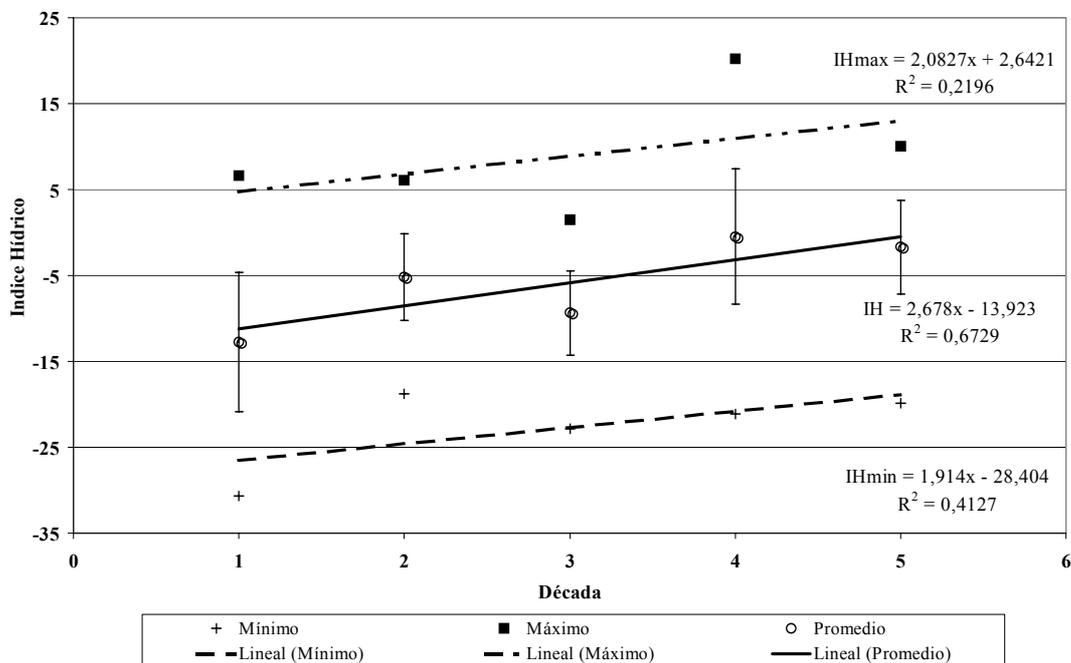


FIGURA 4: Tendencia de aumento del IH promedio, máximo y mínimo de cada década entre 1941 y 1990 en Córdoba. Las barras verticales sobre el promedio decádico corresponden a +/- una Desviación Estándar.
Figure 4: Tendency of increase of average, maximum and minimum IH of every decade between 1941 and 1990 in Córdoba. The vertical bars on the average correspond to +/- a Standard Deviation.

El promedio provincial presenta una pendiente lineal creciente significativa al 10% de probabilidad ($p=0,088$). Por su parte, las pendientes correspondientes a los valores máximo y mínimo no alcanzan a expresar la misma seguridad estadística, aunque de todos modos, su comportamiento en ambos casos acompaña al incremento promedio.

La variabilidad climática y las condiciones de forraje y de manejo en la Provincia

La aptitud ganadera de cada región respecto a la cantidad y calidad de forraje disponible, a la vez que las recomendaciones de manejo más adaptadas a la disponibilidad climática se presentan en la Cuadro 3.

Los indicadores agroclimáticos asociados a las categorías detalladas y a sus condiciones de aptitud permiten evaluar a través de cada período decenal las modificaciones que se fueron suscitando en las recomendaciones de uso y manejo más adaptadas. La información sobre la aptitud de un área tiene carácter discreto ya que la asignación de una situación de manejo se establece para un rango del respectivo indicador agroclimático. En la Figura 5 se muestran las variaciones de frecuencias de las distintas categorías de aptitud según las décadas, para toda la Provincia. La valoración de cada período de 10 años con respecto a la situación del período total 1941-90 denota una

potencialidad muy particular en cada uno de ellos.

La condición promedio del período de 50 años se caracteriza por una clase 1 (IH < -20) presente en menos del 1% de la superficie de Córdoba. Un 83% corresponde a la clase 2 (IH de -20 a 0) que cubre una ancha faja central y la clase restante observable es la 3 (IH de 0 a 20), ubicada en el Este, con el 16% de la cobertura. El análisis de cada una de las décadas mostró que sólo la década 1951-60 tuvo una aptitud semejante al comportamiento medio 1941-90. En la primera (1941-50), alrededor del 20% (Figura 5) del territorio presentó la condición más extrema, que exige complementación alimentaria permanente. La década 1961-70 ubica al 97% de la superficie provincial en una situación de pastoreo normal con necesidad de henificación. Las condiciones climáticas en este caso parecen reducir por un lado la ocupación de las áreas más secas y restringir por el otro los sectores más húmedos. La situación de mayor aptitud de toda la serie corresponde a la década 1971-80, que muestra el 55% del territorio provincial con pastoreo normal. Finalmente, en la década 81/90 la condición normal se incrementa al 58% del territorio y se restringe el área sin limitaciones al 42%, manteniendo un contexto de aptitud más favorable respecto a la condición media.

CUADRO 3: Rangos del índice IH, calidad forrajera y prácticas de manejo según Burgos (1977).		
Table 3: Ranges of the IH index, quality of forage and management practices according to Burgos (1977).		
Clase	Rango del IH	Aptitud agroclimática y recomendación de manejo
1	< -20	Pastos de suelos áridos y salinos. Riego o alimentación complementaria.
2	-20 a 0	Pastos normales con necesidad de henificar por sequías ocasionales.
3	0 a 20	Pastos normales sin henificación.
4	> 20	Pastos deficitarios en calcio y fósforo.

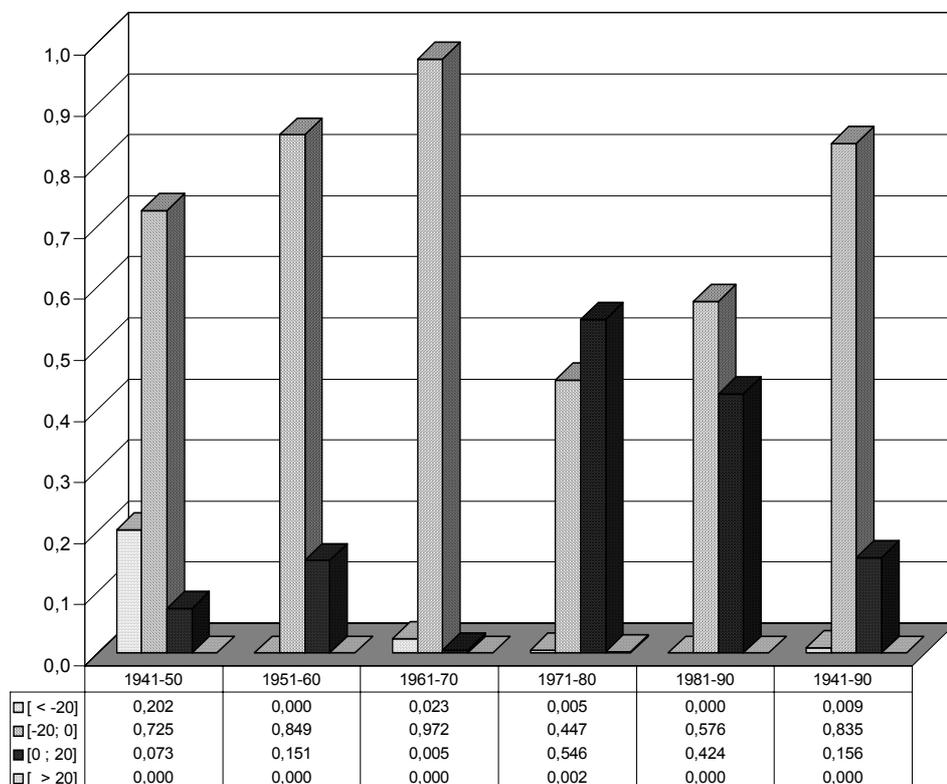


FIGURA 5: Histograma de frecuencias para cada una de las décadas y la condición media del período 1941-90, según clases de aptitud ganadera.

Figure 5: Histogram of frequencies for each one of the decades and the mean condition of 1941-90 period, according to classes of cattle aptitude.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A partir de la información climática analizada se observan variaciones productivas de importancia en distintas áreas de la provincia de Córdoba. Esta variación se expresa simultáneamente, a través de una tendencia positiva en el tiempo, del indicador de la disponibilidad de pasturas y de una tendencia opuesta del indicador de bienestar térmico, lo cual representa un cambio relevante para las posibilidades de la ganadería.

Al comienzo del período analizado predomina una condición menos favorable para la ganadería por condiciones de aridez, que res-

tringen la productividad de las pasturas con una marcada componente estacional. Hacia el final del período estudiado (1981-90) esta situación ha declinado, dando lugar a un incremento importante de las áreas sin limitaciones en cantidad y calidad del forraje.

La localización y significancia estadística de la tendencia que experimenta el IH no son homogéneas en las distintas áreas de la provincia de Córdoba. Así, algunos departamentos del Norte y del Sur presentan una tasa de incremento lineal significativa al 10% de probabilidad, en tanto que para los departamentos del centro existe menor evidencia para sostener este cambio.

Si bien muchas predicciones anticipan un calentamiento progresivo de la atmósfera (Bengtsson, 1994), el mes de enero en la provincia de Córdoba, para el corto período analizado, parece no acompañar esta proyección, de acuerdo al menos con la tasa de disminución que experimenta la temperatura media. Pascale y Damario (1994) señalan que durante el siglo XX se ha producido una disminución en la amplitud térmica mensual en Argentina más como consecuencia del aumento de las temperaturas mínimas, que por la disminución de las máximas.

El incremento progresivo del IH, dando lugar las dos últimas décadas a valores por encima del promedio (1941-90), configura un ambiente de menor restricción alimentaria para el ganado. De la misma forma la reducción que se ha detectado en las condiciones térmicas del verano supone un ambiente más confortable para el ganado no tolerante al calor. Estos resultados tienen importancia desde el punto de vista de la aptitud ganadera en particular y productiva en general, porque las variaciones que se han verificado de manera coincidente corresponden a un escenario de mayor aptitud, tanto para la producción de pasturas como con relación al confort del ganado. Al mismo tiempo, explican el desarrollo sostenido que han experimentado los sistemas productivos del Norte de la provincia los últimos años, el cual ha sido posible por la conjunción de un ambiente más favorable y la aplicación de nuevas tecnologías disponibles.

Por último, es necesario remarcar que los SIG permiten administrar y procesar cualquier dato o variable de carácter geográfico, no sólo indicadores climáticos, como muestra este trabajo. Otras propiedades físicas del ambiente (suelo, topografía, etc.), aspectos de naturaleza productiva (Existencias, Ganancia de peso, Productividad lechera, etc) o indicadores económicos, también pueden ser utilizados. La posibilidad que ofrecen estos sistemas informáticos de integrar y cruzar bases de datos físi-

cos, productivos y económicos en un contexto espacial constituye un recurso técnico indispensable para realizar evaluaciones de diagnóstico de los sistemas productivos y efectuar un análisis integrado sobre la realidad productiva de un territorio.

BIBLIOGRAFÍA

- BENGTSSON, L. 1994. Climate of the 21st century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 72:3-29.
- BIANCA, W. 1977. Animal response to meteorological stress as a function of age. *Biometeorology*, 4(1): 119-131.
- BURGOS, J.J. y VIDAL, A.L. 1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thonrthwaite. *Meteoros*, N°1: 3-32.
- 1977. El clima en la producción de ganado tropical. In: *Ganadería Tropical* (M.B. Helman), Cap.1: 3-32.
- BURROUGH, P.A. 1986. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Clarendon Press, Oxford. 197 p.
- CARTER, T.R. y SAARIKKO, R.A. 1996. Estimating regional crop potential in Finland under a changing climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79:301-313.
- de la CASA, A.C. 2002. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias Agropecuarias.
- EASTMAN, J.R. 1999. IDRISI 32. Guide to GIS and image processing. Clark University. 170 p.
- HESS, T.M., STEPHENS, W. y MARYAH, U.M. 1995. Rainfall trends in North East Arid Zone of Nigeria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 74:87-97.
- LUCERO, O.A. 1994. Inundaciones en Córdoba: Evidencia estadística de un cambio climático en las lluvias sobre la ciudad de Córdoba (Argentina). Actas de la VI Reunión Argentina de Agrometeorología, 77-79, AADA.
- MackERRON, D.K.L. 1996. Climate Change-from impact to interaction. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79:ix-xiii.
- MICHALCZYK, K.W. 1979. The effect of climatic variations on the significance of agricultural planning data. *Agricultural Meteorology*, 20:319-326.

- PASCALÉ, A.J. y DAMARIO, E.A. 1993-94. Tendencia de la amplitud térmica en la Argentina desde 1901 hasta 1990. *Rev. Fac. Agronomía* 14 (2): 127-138.
- PEIRIS D.R., CRAWFORD, J.W., GRASHOFF, C., JEFFERIES, R.A., PORTER, J.R. y MARSHALL, B. 1996. A simulation study of crop growth and development under climatic change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 79:271-287.
- PETERSEN, G.W., BELL, J.C., McSWEENEY, K., NIELSEN, G.A. y ROBERT, P.C. 1995. Geographic Information Systems in Agronomy. *Advances in Agronomy*, 55:67-111.
- PINTO, H.S. y PREUSS, A. 1975. Uso do computador no calculo do balance hídrico climático. *Rev. Turrialba. Instituto Interamericano de las Ciencias Agrícolas*, 25(2): 199-201.
- PITTOCK, A.B. y NIX, H.A. 1986. The effect of changing climate on australian biomass production. A preliminary study. *Climatic Change*, 8:243-255.
- PUIGDEFÁREGAS, 1998. Variabilidad climática y sus consecuencias sobre la sostenibilidad de los sistemas agrarios. Capítulo 3. p. 41-70. *Agricultura Sostenible*. R. M. Jiménez Díaz y J. Lamo de Espinosa, Coordinadores. Ed. Ediciones Mundi-Prensa.
- RODRÍGUEZ, A.R. y de la CASA, A.C. 1991. Regiones hídricas de la República Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias (UNC)*, Vol. VII: 31-40.
- SIERRA, E.M., HURTADO, R.H. y SPECHA, L. 1994. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana 1941-1990. *Rev. Fac. Agronomía*, 14(2): 139-144.
- SMN. 1958. Estadísticas Climatológicas 1941-1950. Publicación B₁, N° 3.
- 1975. Estadísticas Climatológicas 1951-1960. Serie B, N° 6.
- 1981. Estadística Climatológica 1961-1970. Publicación B, N° 35.
- 1986. Estadísticas Meteorológicas 1971-1980. Publicación B, N° 36.
- 1992. Estadísticas Climatológicas 1981-1990. Publicación B, N° 37.
- TABIOS, G.Q. y SALAS, J.D. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resour. Bull.*, 21:365-380.