



## DEFICIENCIA DE AGUA EN EL SUELO CRÍTICA PARA EL RENDIMIENTO DEL TRIGO EN LA REGIÓN PAMPEANA ARGENTINA

R. HURTADO; ANALÍA FARONI; G. MURPHY; L. SERIO  
y MARÍA ELENA FERNANDEZ LONG<sup>1</sup>

Recibido: 26/02/09

Aceptado: 18/03/09

### RESUMEN

La producción mundial de trigo ha oscilado en los últimos años entre los 550 y 600 millones de toneladas. La Argentina participa en la producción mundial con un 2,5%, aproximadamente y es la duodécima productora mundial de los últimos años. En consecuencia el estudio de las variables que regulan su producción son de fundamental importancia para la economía argentina. Con los valores fenométricos de desvíos de los rendimientos y las deficiencias hídricas mensuales del período 1969 a 2006, de la Región Pampeana, correspondientes a las provincias de Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, La Pampa y Entre Ríos, se correlacionaron encontrándose que la misma explica aproximadamente el 35% de la variación del rendimiento de trigo y que el momento de mayor respuesta aparece en septiembre, fecha en que el cultivo se encuentra en su etapa media de floración. Además se observa que se producen desvíos de los rendimientos por encima del valor de la tendencia aun con niveles críticos de agua en el suelo, por debajo del nivel de equilibrio (0 mm), y que se ubican para el mes de mayor requerimiento hídrico del cultivo en 7,1 mm de deficiencia.

**Palabras clave.** Déficit hídrico, rendimiento de trigo, Región Pampeana.

### CRITICAL SOIL WATER DEFICIENCY FOR WHEAT'S YIELD IN PAMPAS REGION OF ARGENTINA

### ABSTRACT

The worldwide production of wheat has oscillated in the last years between 550 and 600 million tons. Argentina participates in the worldwide production with a 2,5%, approximately, and is the twelfth worldwide producer in the last years. Consequently the study of the variables that regulate their production is of fundamental importance for argentine economy. Values of deflections of the yields and monthly hydrological deficiencies of 1969 to 2006 period, of the Pampean Region, corresponding to the provinces of Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, La Pampa and Entre Ríos, were correlated. This variable explain, approximately, the 30% of the variation of wheat yield, and showed that the critical moment of the crop cycle appears in September, coincident with average date of flowering in the region. In addition it was observed that there are deflections of the yields over the value of the tendency with critical water levels in the soil below the equilibrium level (0 mm), and that it reach nearly 7,1 mm of deficiency in the month of greater hydric requirement of the crop.

**Key words.** Water deficiencies, wheat, yield, Pampeana Region.

<sup>1</sup>Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, Ciudad de Buenos Aires, C1417DSE. E-mail: hurtado@agro.uba.ar

## INTRODUCCIÓN

La producción mundial de trigo ha oscilado en los últimos años entre los 550 y 600 millones de toneladas. A nivel mundial la Argentina participa con el 2,5% de la producción y se ubica en el duodécimo lugar entre los países productores.

La siembra se realiza desde el invierno hasta el comienzo de la primavera y el ciclo concluye a fines de primavera o comienzos del verano, prevaleciendo en el país los cultivares de hábito primaveral con ciclos entre 130 y 210 días, según la región, época de siembra y material genético utilizado.

Más del 90% del trigo se produce en las cinco provincias que conforman la Región Pampeana: Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y La Pampa. Se realiza en condiciones de secano, por lo que su ciclo vital depende exclusivamente de las lluvias y las variaciones de sus rendimientos son en parte atribuibles a la variabilidad interanual de las mismas. Dicha variabilidad, bastante grande en la región (Rusticucci y Penalba, 2000; Serio y Martín, 2006) está relacionada con los efectos del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) (Grimm *et al.*, 2000; Scian, 2000; Spescha *et al.*, 2004) y con otros factores de variabilidad climática de escala regional (Barros *et al.*, 2000; Doyle y Barros, 2002) y su influencia sobre los rendimientos de los cultivos de granos fue estudiada, entre otros, por Hurtado y Berri, 1998; Spescha y Berri, 1998; Podestá *et al.*, 1999; Hurtado *et al.*, 2003 y Hurtado *et al.*, 2005.

El rendimiento es la variable que mejor caracteriza a una producción y la identificación de los componentes que lo determinan favorece la aplicación de prácticas que disminuyen su variación interanual. Numerosos autores señalan que son dos los componentes fundamentales que determinan el rendimiento: el número de granos y el peso final de los mismos. (Slafer, 1995; Slafer y Rawson 1996; Slafer, *et al.*, 1996; Calderini, 1999; Richards, 1996). El déficit hídrico puede provocar menor intercepción de la radiación solar por pérdida de turgencia y reducción de la producción de materia seca, dando por resultado un menor tamaño de los órganos que se encuentran en expansión (Daradanelli, *et al.*, 2003).

En la caracterización agroclimática del trigo para la República Argentina, Pascale y Damario (1961), hacen hincapié en la situación hídrica de los 30 días anteriores a la espigazón, período crítico determina-

do por Azzi (1939), donde la disponibilidad hídrica determina la magnitud de los rendimientos.

Sadras y Calviño (2001) realizaron estudios donde midieron los rendimientos de maíz, girasol, soja y trigo en suelos con diferentes profundidades, observando que este último cultivo presenta una mayor estabilidad de sus rendimientos debido a que su ciclo transcurre, principalmente, en una época del año en la que las demandas evaporativas son bajas o moderadas por lo que las deficiencias hídricas son menores que aquellas a las que pueden estar sometidos los cultivos de ciclo estival.

La cuantificación de la relación entre el déficit hídrico y el rendimiento del cultivo antes y durante el período crítico constituye, sin duda, información de carácter relevante para el monitoreo de la producción regional sobre la base del seguimiento del agua del suelo.

El objetivo del presente estudio es establecer la magnitud de la relación entre los rendimientos a escala departamental y las deficiencias hídricas en las diferentes etapas del cultivo, analizar su distribución espacial y establecer los umbrales críticos de deficiencia de agua en el suelo a partir de los cuales se pueden esperar rendimientos por encima de la línea de tendencia.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de precipitación mensual del período 1969 a 2006, de 92 estaciones meteorológicas provenientes del Servicio Meteorológico Nacional, del INTA y de acopiadores privados, ubicadas en las cinco provincias de la Región Pampeana y en sus alrededores (Cuadro 1). Los datos de evapotranspiración potencial mensual se obtuvieron de valores climáticos mensuales del período 1971-2000 de acuerdo a la expresión de cálculo de FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Los rendimientos por partido o departamento fueron suministrados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación, para las campañas agrícolas 1969-70 al 2005-2006.

Las deficiencias mensuales se determinaron de enero de 1969 a diciembre de 2006, a partir del balance hidrológico mensual consecutivo de Pascale y Damario, 1977, basado en la propuesta de Thornthwaite y Matter. Para su estima-

ción se utilizó una capacidad de campo de 200 mm, hasta 1 m de profundidad, para toda la región.

Dado que los datos de rendimiento tienen una mayor resolución espacial que los datos meteorológicos, se procedió a estimar las deficiencias mensuales para cada departamento. Para ello, luego de calculadas las deficiencias para cada estación meteorológica, se efectuó una interpolación mediante el programa Surfer, Versión 7.00 (Golden Soft-

ware Inc.; Golden, CO, USA), utilizando el método Kriging. Este procedimiento se realizó para cada mes del ciclo del cultivo (mayo a diciembre) desde 1969 a 2006. Además, para los departamentos de mayor superficie se estimaron hasta tres valores de deficiencia en diferentes ubicaciones dentro del mismo partido (Cuadro 1). De esta forma surgieron 178 puntos de grilla para las situaciones hídricas mensuales (Fig. 1).

**CUADRO 1. Localidades analizadas en el estudio. Número entre paréntesis corresponde a la cantidad de datos utilizados para la misma localidad. Provincia de Buenos Aires (BA), provincia de Córdoba (C), provincia de Entre Ríos (ER), provincia de La Pampa (LP) y provincia de Santa Fe (SF).**

LOCALIDADES	LOCALIDADES	LOCALIDADES	LOCALIDADES
ADOLFO ALSINA (BA)	DAIREAUX (BA)	LINCOLN (BA)	SALADILLO (BA)
ALBERTI (BA)	DIAMANTE (ER)	LOBERIA (BA)	SALLIQUELO (BA)
ATREUCO (LP)	FEDERAL (ER)	LOBOS (BA)	SALTO (BA)
AYACUCHO (BA)(2)	GONZ. CHAVES (BA)	MAIPU (BA)	SAN ANT. de ARECO (BA)
AZUL (BA)	GRAL. ALVARADO (BA)	MAR CHIQUITA (BA)	SAN A. DE GILES (BA)
BAHIA BLANCA (BA)	GRAL. ALVEAR (BA)	MARACO (LP)	SAN CAYETANO (BA)
BALCARCE (BA)	GRAL. ARENALES (BA)	MARCOS JUAREZ (C)(3)	SAN CRISTOBAL (SF)(3)
BARADERO (BA)	GRAL. BELGRANO (BA)	MONTE (BA)	SAN JAVIER (SF) (3)
BELGRANO (SF)	GRAL. LAMADRID (BA)	NAVARRO (BA)	SAN JERONIMO (SF)
BOLIVAR (BA)	GRAL. LOPEZ (SF)(3)	NECOCHEA (BA)	SAN JUSTO (C) (3)
URUGUAY (ER)	GRAL. MADARIAGA (BA)	NOGOYA (ER)	SAN JUSTO (SF) (3)
CALAMUCHITA (C)	GRAL. OBLIGADO (SFA)(3)	9 DE JULIO (SF) (3)	SAN LORENZO (SF)
CAPITAL (LP)	GRAL. PINTO (BA)	OLAVARRIA (BA)	SAN MARTIN (SF)
CAP. SARMIENTO (BA)	GRAL. PUEYRREDON (BA)	PARANA (ER)	SAN NICOLAS (BA)
CARLOS CASARES (BA)	GRAL. ROCA (C) (3)	PATAGONES (BA)(2)	SAN PEDRO (BA)
CARLOS TEJEDOR (BA)	GRAL. SAN MARTIN (LP)	PEHUAJO (BA)	SANTA MARIA (C)
CARMEN de ARECO (BA)	GRAL. VIAMONTE (BA)	PELLEGRINI (BA)	TALA (ER)
CASEROS (ER)	GRAL. VILLEGAS (BA)	PERGAMINO (BA)	TANDIL (BA)
CASTELLANOS (SF) (2)	GUALEGUAY (ER) (3)	PTE. R. S. PEÑA (C)(2)	TAPALQUE (BA)
CATRILO (LP)	GUALEGUAYCHU (ER)(3)	PUAN (BA)	TERCERO ARRIBA (C)
CHACABUCO (BA)	GUAMINI (BA)	QUEMU QUEMU (LP)	TOAY (LP)
CHAPALEUFU (LP)	GUATRACHE (LP)	RAMALLO (BA)	TORNQUIST (BA)
CHASCOMUS (BA)	H. YRIGOYEN (BA)	RANCUL (LP)	TRENEL (LP)
CHIVILCOY (BA)	HUCAL (LP)	RAUCH (BA)	TRENQUE LAUQUEN (BA)
COLON (C)	IRIONDO (SF)	REALICO (LP)	TRES ARROYOS (BA)
COLON (BA)	JUAREZ (BA)	RIO CUARTO (C)(3)	UNION (C) (3)
COLON (ER)	JUAREZ CELMAN (C)(3)	RIO PRIMERO (C) (2)	UTRACAN (LP) (2)
CONCORDIA (ER)	JUNIN (BA)	RIO SEGUNDO (C)	25 DE MAYO (BA)
CONELO (LP)	LA CAPITAL (SF)	RIVADAVIA (BA)	VERA (SF) (3)
CONSTITUCION (SF)	LA PAZ (ER)	ROJAS (BA)	VICTORIA (ER) (3)
CNEL DORREGO (BA)	LAPRIDA (BA)	ROQUE PEREZ (BA)	VILLAGUAY (ER)
CNEL M. ROSALES (BA)	LAS COLONIAS (SF)(3)	ROSARIO (SF)	VILLARINO (BA)
CNEL. PRINGLES (BA)	LAS FLORES (BA)	SAAVEDRA (BA)	ZARATE (BA)
CNEL SUAREZ (BA)	LEANDRO N ALEM (BA)		

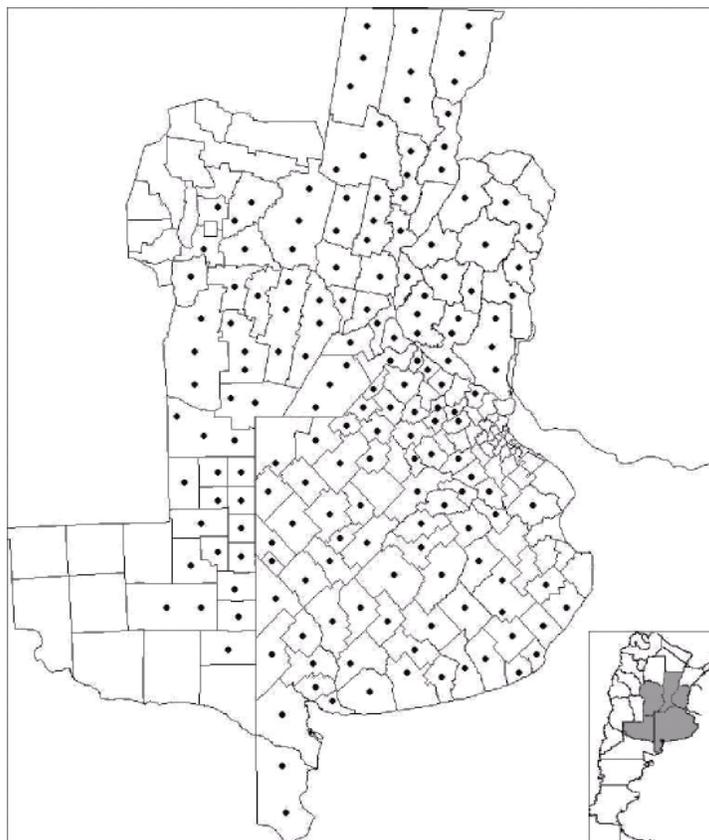


FIGURA 1. Ubicación de lugares con deficiencia hídrica mensual extraídos de la grilla generada desde 1969 al 2006, durante el ciclo del cultivo.

En las localidades analizadas, la evolución de los rendimientos a lo largo de los años, presenta una tendencia positiva, la cual, según diversos autores puede ser atribuida a la tecnología (Vossen, 1989; Dagnelie *et al.*, 1983; Dennet *et al.*, 1980; Odumodu & Griffiths, 1980; Palma y Dagnelie, 1993; Swanson y Nyankori, 1979; Sakamoto, 1978; Agrawal y Jain, 1982; Winter y Musick, 1993; Hough, 1990b y Smith, 1975). En consecuencia, se procedió a remover la tendencia y trabajar con los apartamientos respecto a la misma, utilizándose el procedimiento de descomposición estacional STL (Seasonal Trend decomposition based on Loess) (Cleveland, *et al.*, 1990) que consiste en descomponer la serie en los componentes de Baja Frecuencia (BF) y residual (CR).

Con respecto a las deficiencias no se realizó el mismo procedimiento, ya que se consideró que su fluctuación, ya

sea por la variación anual o debido a una onda de baja frecuencia, tienen incidencia en la producción final y por consiguiente en los rindes.

Una vez obtenido los residuos de los rendimientos y las deficiencias hídricas mensuales, se efectuó el análisis de correlación para todos los meses del ciclo del cultivo, mediante la metodología de Spearman ( $r_c$ ), debido a que ambas variables no presentaban una distribución normal. La prueba usada para determinar la significancia de la correlación fue la «t» de Student a un nivel del 95%.

Dado que los "rc" surgen de series de diferente número de términos, debido a que no todos los meses del ciclo ni todas las localidades presentan deficiencias hídricas, se realizaron mapas sombreando las zonas donde la significancia estadística de  $r_c$  («rs») era mayor al 95%, lo que permitió desligarse de esa circunstancia.

Para las localidades con coeficientes de correlación significativos en los meses de agosto y septiembre, se estimó a través de una regresión lineal entre los desvíos de los rendimientos y las deficiencias hídricas, el valor de este último a partir del cual la mayoría de los desvíos son positivos, lo que se denominó déficit hídrico crítico (DHC). No se realizó el estudio para meses posteriores debido a que la frecuencia de ocurrencia de deficiencias para algunas localidades es significativamente menor y los rc surgen de series de muy pocos términos.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Del análisis de correlación entre los desvíos de los rendimientos y las deficiencias hídricas mensuales y su significación, surge que se produce un aumento del

área con más del 95% de significación a medida que evoluciona el ciclo medio del cultivo desde la siembra a la floración (Fig. 2 a, b, c, d y e). Las primeras regiones con correlación significativa se observan al norte de la región en estudio, donde se realiza tempranamente la siembra de los cultivares de ciclo más largo.

En la Figura 2 a y b se puede observar que aparecen correlaciones significativas ( $r_s$ ) en mayo y junio, en el noroeste de Santa Fe y en algunas otras localidades aisladas de la Región Pampeana, correspondientes a la siembra de trigos de ciclo largo. Esta situación pone en evidencia la necesidad de agua del cultivo en las primeras etapas de su ciclo (Villar J., 1999).

La Figura 2 c, muestra, a través del área con  $r_s$ , el comienzo de la siembra en el norte de La Pampa.

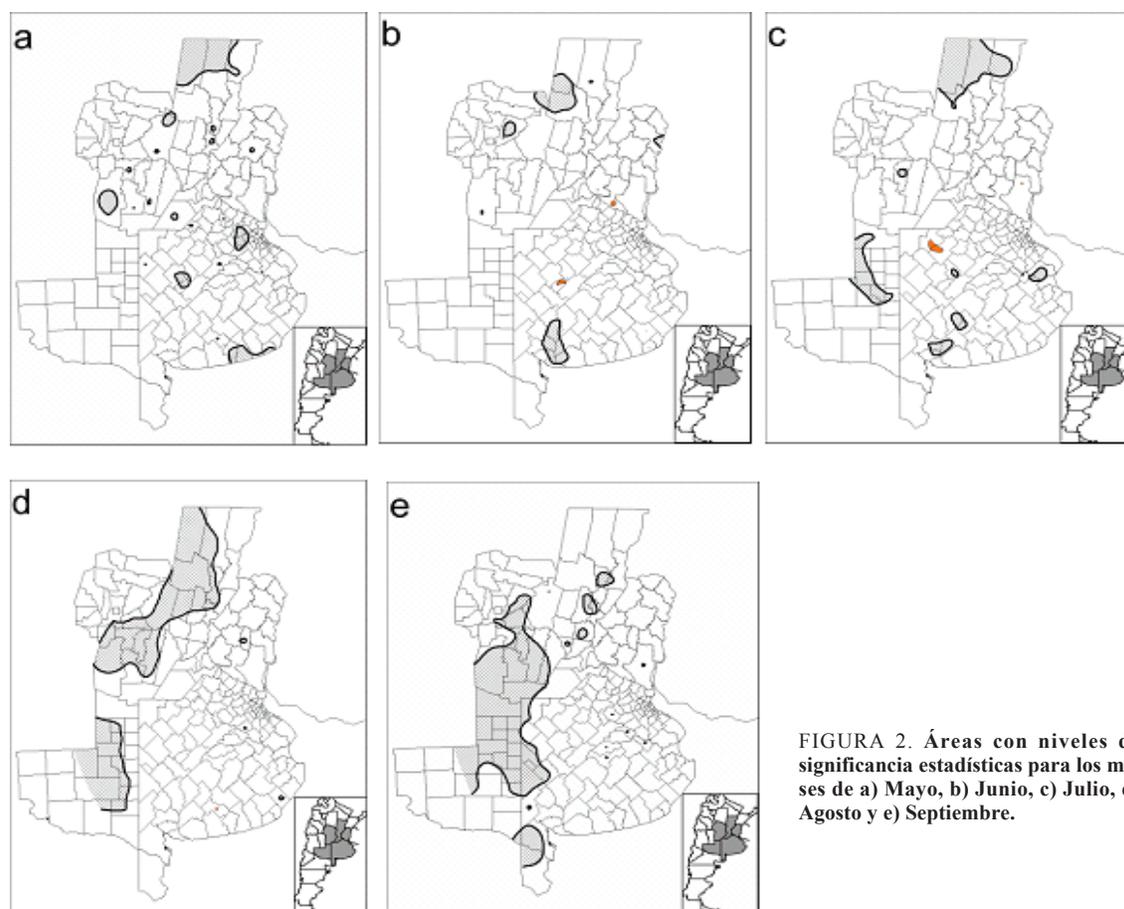


FIGURA 2. Áreas con niveles de significancia estadísticas para los meses de a) Mayo, b) Junio, c) Julio, d) Agosto y e) Septiembre.

Además, puede advertirse una pequeña zona, al noroeste de Buenos Aires, con «rs» que corresponden a coeficientes de correlación (rc) positivos, que reflejan la influencia de la alta disponibilidad hídrica en ese momento y lugar que puede producir mermas en los futuros rendimientos (Hurtado, 2008).

Con el avance del tiempo, coincidiendo con las últimas fechas de siembra de cultivares de ciclo corto y las floraciones más tempranas, se produce una expansión del área con «rs» (Fig. 2 d), constituyendo una amplia región que abarca el centro oeste de Santa Fe, centro este de Córdoba y centro de La Pampa.

En el mes de septiembre (Fig. 2 e), momento fenológico medio correspondiente a floración, queda bien definida, al oeste de la región en estudio, la zona con «rs»; en ella, las precipitaciones se concentran en el período cálido (70% del total anual se produce, de octubre a marzo), y la sensibilidad a las deficiencias hídricas se manifiesta con máxima intensidad, provocando las mayores variaciones en el rendimiento, lo que se manifiesta en los más altos coeficientes de correlación (Cuadro 2).

En los meses siguientes (octubre a diciembre), el área con rs va disminuyendo en extensión y valor de

rc correlación, aunque siempre situada hacia en el oeste de la Región Pampeana.

Con respecto a los valores de correlación se observa que los mismos fluctúan de acuerdo a la región y a la etapa del ciclo del cultivo, y que, las deficiencias hídricas del mes de septiembre explican alrededor del 35,8% de la varianza de los rendimientos.

La variación de los rc a lo largo del ciclo medio del trigo se muestran, para algunas localidades, en la Figura 3 a, b, c, d, e y f. El valor máximo corresponde al período de mayor sensibilidad del cultivo a las deficiencias de agua en el suelo y se ubica en el mes de septiembre, debido a que se producen en ese mes la espigazón y floración de los distintos cultivares.

Desde el centro de la provincia de Córdoba hacia el sur, los cultivares de ciclo intermedio florecen entre los últimos días de septiembre y los primeros días de octubre, cuando el riesgo de heladas tardías es menor al 10% (Salinas *et al.*, 2004) y existe una baja disponibilidad de agua útil (Forte Lay y Spescha, 2001), por lo que cualquier disminución en el déficit hídrico produce sensibles incrementos en los rendimientos.

CUADRO 2. Coeficientes de correlaciones (rc) para algunas localidades. (\*) Valores significativos al 95%.

LOCALIDAD	Agosto	Septiembre	Octubre	LOCALIDAD	Agosto	Septiembre	Octubre
ADOLFO ALSINA		0,64*		LA CAPITAL		0,51*	
ATREUCO		0,56*		MARACO		0,61*	
BOLIVAR			0,57	MARCOS JUAREZ		0,50*	
CAPITAL (LP)		0,51*		NOGOYÁ			0,84*
CATRILO		0,68*		PELLEGRINI		0,60*	
CHAPALEUFU		0,58*		PTE. R.S. PEÑA		0,65*	
CHIVILCOY		0,54*		QUEMU QUEMU		0,68*	
CNEL M. ROSALES		0,50*		RANCUL	0,35*	0,63*	
COLÓN (ER)		0,50*		REALICO	0,33*	0,63*	
CONELO	0,41*	0,55*		RIO CUARTO		0,77*	
CNEL. DORREGO			0,53*	ROQUE PEREZ	0,36	0,74*	0,38
CNEL. SUAREZ			0,60*	SALADILLO			0,65*
GONZÁLEZ CHAVES			0,67*	SALLIQUELO		0,61*	0,41
GRAL. ALVEAR		0,56*	0,52	SAN JERONIMO		0,60*	0,39*
GRAL. BELGRANO		0,71*		TAPALQUE		0,55*	0,67*
GRAL. LAMADRID		0,42	0,77*	TORNQUIST			0,65*
GRAL. ROCA		0,60*	0,51*	TRENEL	0,38*	0,62*	
GUALEGUAYCHÚ		0,79*		UNION	0,35*	0,50*	
GUAMINÍ		0,54*		25 DE MAYO	0,58		0,61
JUAREZ CELMAN		0,67*		VICTORIA			0,52

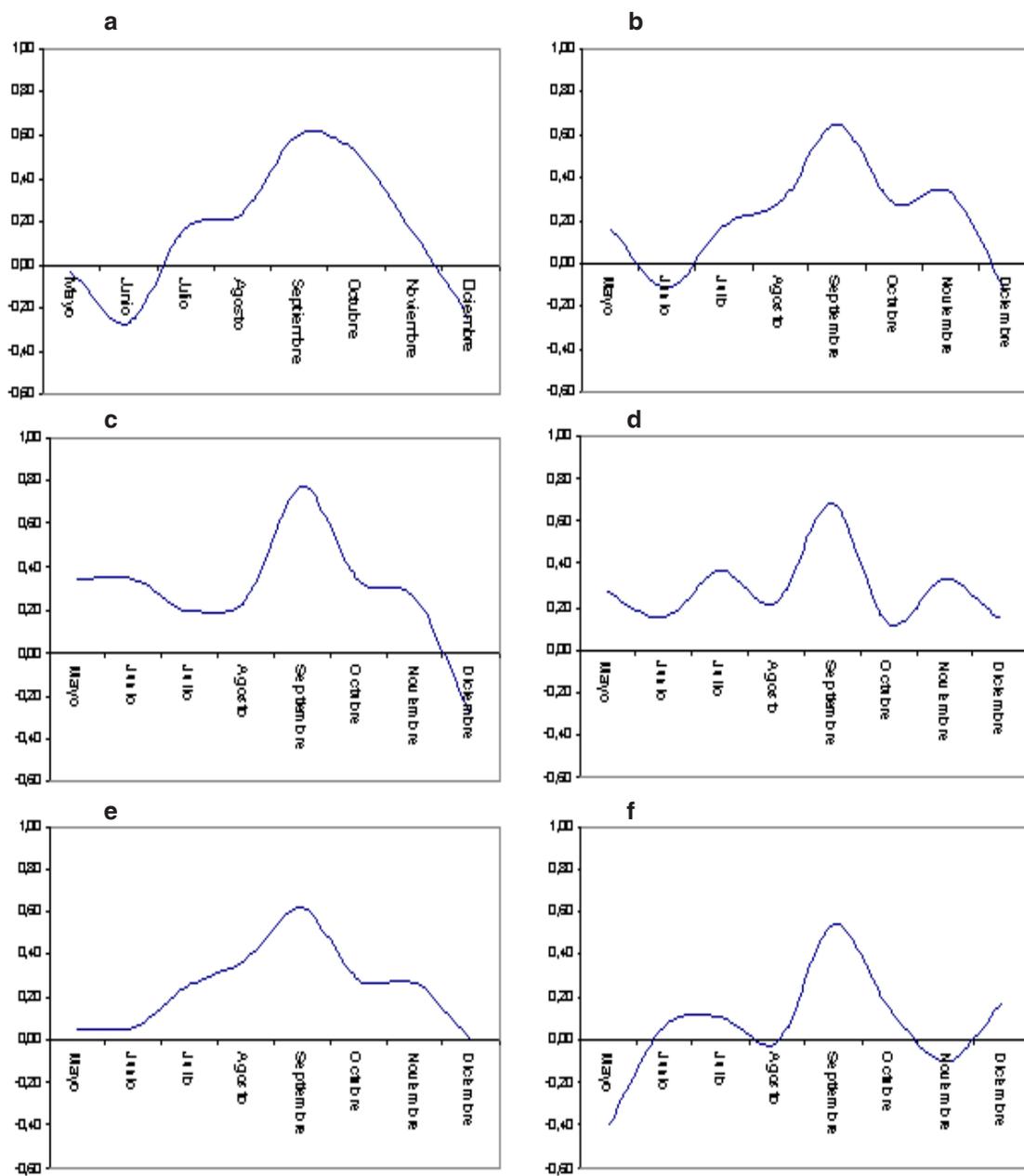


FIGURA 3. Variación del coeficiente de correlación para el ciclo del cultivo para las localidades de: a) General Roca (Cba.), b) Presidente Roque Sáenz Peña (Cba.), c) Río Cuarto (Cba.), d) Catriló (LP), e) Tornquist (BA) y f) Guaminí (BA).

La Figura 4 y 5 muestran, como ejemplo, algunas localidades en las que se determinó el DHC para los meses de agosto y septiembre.

Los DHC encontrados para los dos meses no son iguales en magnitud, ya que los mismos corresponden a momentos fenológicos distintos. En el Cuadro 3 puede observarse que, en general, los DHC para el mes de agosto corresponden a deficiencias mayores que para el mes de septiembre, ya que en este último, el cultivo presenta mayor susceptibilidad al agua en el suelo. También puede verse que no necesariamente el DHC debe estar en el nivel de equilibrio para que la mayoría de los rendimientos estén por encima del valor de la tendencia ya que esto ocurre aun con pequeñas deficiencias.

La circunstancia de que no se produzcan correlaciones estadísticamente significativas en la parte oriental de la región triguera pampeana, no implica la inexistencia de relación entre el déficit hídrico y los rendimientos del cultivo. Esto se debe, por una parte, a la escala de trabajo utilizada, que considera rendimientos departamentales y un paso mensual en la estimación de las deficiencias, a lo que se suma la mayor disponibilidad hídrica de dicha región, que termina por disimular deficiencias hídricas que se producen en escalas menores en espacio y tiempo. La asociación entre los rendimientos y las deficiencias de agua en esta zona se pondría de manifiesto si fuera posible utilizar rendimientos de superficies más reducidas y se usara un paso de tiempo de, por ejemplo, diez días, en la estimación de las deficiencias.

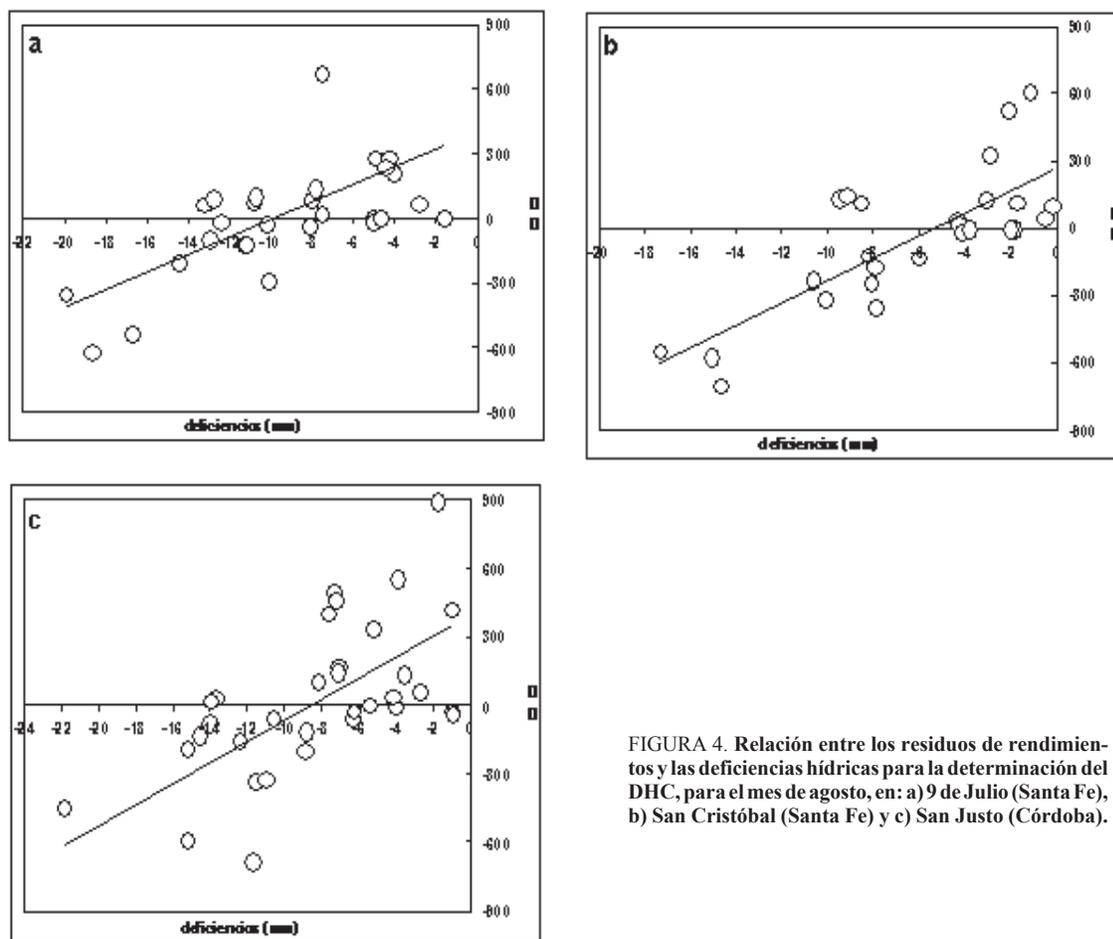


FIGURA 4. Relación entre los residuos de rendimientos y las deficiencias hídricas para la determinación del DHC, para el mes de agosto, en: a) 9 de Julio (Santa Fe), b) San Cristóbal (Santa Fe) y c) San Justo (Córdoba).

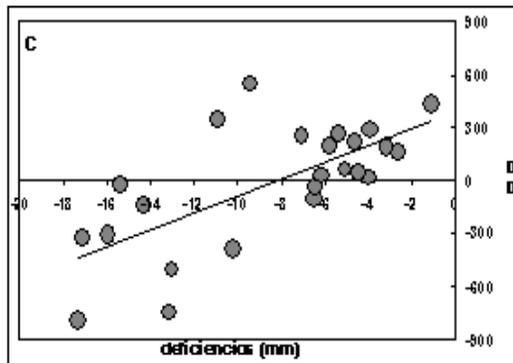
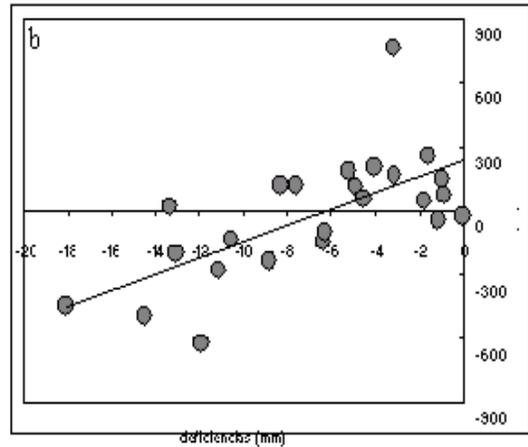
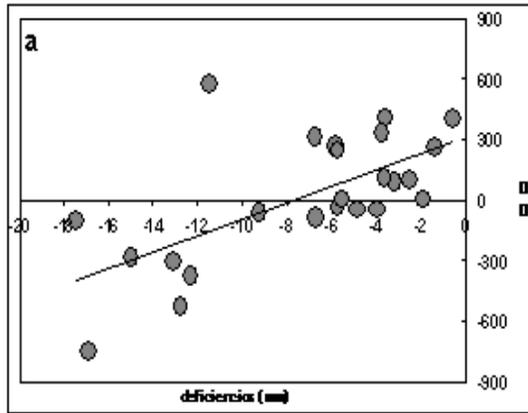


FIGURA 5. Relación entre los residuos de rendimientos y las deficiencias hídricas para la determinación del DHC, para el mes de septiembre, en: a) Conelo (La Pampa), b) General Roca (Córdoba) y c) Rancul (La Pampa).

CUADRO 3. Datos de deficiencia hídrica crítica para localidades con correlaciones significativas al 95%, para los meses de agosto y septiembre. Las localidades sombreadas corresponden a aquellas que se repiten en ambos meses.

Agosto		Septiembre	
Localidad	Intersección	Localidad	Intersección
ATREUCO	-6,2	ATREUCO	-5
CALAMUCHITA	-8,2	BELGRANO	-11,5
CAPITAL	-6,3	CAPITAL	-7,1
CASTELLANOS	-7,5	CHAPALEUFU	-3,8
CONELO	-9,2	CONELO	-8,2
GRAL SAN MARTIN	-10,8	GRAL ROCA	-4,5
HUCAL	-7,4	GRAL SAN MARTIN	-9,7
JUAREZ CELMAN	-5,5	GUATRACHE	-7,1
LAS COLONIAS	-9,5	JUAREZ CELMAN	-4
9 DE JULIO	7,5	LACAPITAL	-6,6
RANCUL	-10,7	LAS COLONIAS	-10,8
REALICO	-6,7	MARCOS JUAREZ	-4,4
RIO CUARTO	-5,9	PATAGONES	-2,5
RIO SEGUNDO	-8,9	PTE. ROQUE S. PEÑA	-4,2
SAN CRISTOBAL	-5,5	PUAN	-5,5
SAN JUSTO	-8,8	RANCUL	-8,2
TERCERO ARRIBA	-8,2	REALICO	-5,5
TOAY	-5,4	RIO CUARTO	-5,7
TRENEL	-5,1	RIO PRIMERO	-8,8
UNION	-5,3	RIO SEGUNDO	-7,9
UTRACAN	-8,7	SAN JERONIMO	-10,9
VERA	-5,2	SAN JUSTO	-6
		SANTA MARIA	-12,8
		TRENEL	-4,4
		UNION	-4,8
		UTRACAN	-7,9
		VILLARINO	-5,9

De todas formas, surge claramente que es en la parte occidental de la región triguera pampeana donde los rendimientos son más afectados por la falta de agua en el suelo.

### CONCLUSIONES

Hay una expansión del área con correlaciones significativas a medida que avanzan las etapas fenológicas del cultivo desde la siembra hasta floración.

En las localidades con correlaciones significativas, la variación mensual de los coeficientes de correlación permite encontrar el período crítico del cultivo respecto a la disponibilidad hídrica, ubicándolo mayoritariamente en setiembre.

El área de máxima extensión con correlaciones significativas corresponde al mes de setiembre, coincidiendo con el mes de la floración del cultivo en la mayor parte de la región.

En las localidades con correlaciones significativas, la deficiencia hídrica de setiembre explica, en promedio, alrededor del 35,8% de la varianza de los rendimientos.

Los rendimientos departamentales pueden estar por encima de la línea de tendencia aún con situaciones levemente deficitarias. En efecto, el déficit hídrico crítico para el mes de setiembre tiene, para localidades con correlaciones significativas, un valor medio de 6,8 mm de deficiencia de agua.

La parte occidental de la región triguera pampeana es la que presenta la mayor sensibilidad a la deficiencia de agua para la escala de trabajo utilizada en el presente estudio.

### BIBLIOGRAFÍA

- AGGRAWAL, R. and R.C. JAIN. 1982. Composite model for forecasting rice yields. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 52: 177-181.
- ALLEN, R.G.; L.S. PEREIRA; D. RAES and M. SMITH. 1998. «Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements». FAO Irrigation and drainage paper N° 56. Rome, Italy.
- AZZI, G. 1939. Trattato di ecologia agraria - l'ambiente fisico e la produzione agraria. Torino: Societa Editrice Internazionale, Roma, Italia.
- BARROS, V.; M. GONZÁLEZ; B. LIEBMANN and I. CAMILLONI. 2000. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual summer rainfall variability in southern South America. *Theor. Appl. Climatol.* 67: 123-133.
- CALDERINI, D.F.; L.G. ABELEDO; R. SAVIN and G.A. SLAFER. 1999. Effect of temperature and carpel size during pre-anthesis on potential grain weight in wheat. *Journal of Agricultural Science* 132: 21-30.
- CLEVELAND, R.B.; S.W. CLEVELAND; J.E. MACRAE and I. TERPENNING. 1990. A seasonal trend decomposition procedure based on loess. *J. Offic. Stat.* 6: 3-73.
- DAGNELIE, P.; R. PALM and A. ISTASSE. 1983. Prévission de productions agricoles dans six pays de la Communauté Economique Européenne. *Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat* Gembloux, Belgium.
- DARDANELLI, J.; D. COLLINO; M.E. OTEGUI y V. SADRAS. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. *En: E. Satorre; R. Benech Arnold; G. Slafer; E. de la Fuente; D. Miralles; M.E. Otegui y R. Savin (eds.). Producción de cultivos de granos. Bases funcionales para su manejo.* Ed. Facultad de Agronomía, Buenos Aires. pp 377-440.
- DENNETT, M.D.; J. ELSTON and R. DIEGO. 1980. Weather and yield of tobacco, sugar beet and wheat in Europe. *Agricultural Meteorology* 21: 249-263.
- DOYLE, M. and V. BARROS. 2002. Midsummer low-level circulation and precipitation in subtropical South America and related sea surface temperature anomalies in the South Atlantic. *J. Climate* 15: 3394-3410.
- EITZINGER J.; M.S. STASTNA; Z.Z. ZALUD and M. DUBROVSKY. 2003. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agricultural Water Management* 61: 195-217.

- GRIMM, A.M.; V.R. BARROS and M.E. DOYLE. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate* 13: 35-58.
- HOOGENBOOM, G. 2000. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agric. For. Meteorol.* 103: 137-157.
- HOUGH, M.N. 1990b. Agrometeorological aspects of crops in the United Kingdom and Ireland. A review for sugar beet, oilseed rape, peas, wheat, barley, oats, potatoes, apples and pears. EUR 13039. In: Office for Official Publications of the EU, Luxembourg pp 310.
- HURTADO, R. 2008. Relación entre el rendimiento del cultivo de trigo y el almacenaje estimado de agua en el suelo, en las cinco provincias pampeanas. Tesis de maestría en Meteorología Agrícola. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Facultad de Agronomía, UBA. 102 pag.
- HURTADO, R. y G. BERRI. 1998. Relación entre los rendimientos trigueros y el fenómeno del ENSO en la región pampeana, en el periodo 1970-1997. X Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, Brasil. Publicado en CD-ROM por SBMET.
- HURTADO, R.; L. SERIO; L. SPESCHA; M.E. FERNÁNDEZ LONG y G. MURPHY. 2005. Análisis de la sensibilidad de distintos índices del ENSO para explicar los rendimientos de maíz en la región pampeana. *Rev. Fac. Agronomía UBA* 25: 53-60.
- HURTADO, R.; L. SPESCHA; M.E. FERNÁNDEZ LONG y G. MURPHY. 2003. Evaluación del ENSO como predictor de los rendimientos de maíz en la Región Pampeana (Argentina). *Rev. Fac. Agronomía UBA* 23: 131-140.
- LYON, D.J.; WALTER W. STROUP and RANDALL E. BROWN. 1998. Crop production and soil water storage in long-term winter wheat fallow tillage experiments. *Soil & Tillage Research* 49: 19-27.
- ODUMODU, O.L. and J.F. GRIFFITS. 1980. Some techniques for predicting winter wheat yields in major wheat producing crop districts of Texas and Oklahoma. *Agricultural Meteorology* 22: 267-279.
- PALM, R. et P. DAGNELIE. 1993. Tendances générales et effets du climat dans la prévision des rendements agricoles des différents pays des C.E. EUR 15106 FR, Office for Official Publications of the EU, Luxembourg, pp 128.
- PASCALE, A. y E. DAMARIO. 1961. Agroclimatología del cultivo de trigo en la Rep. Arg. Bs.As. *Rev. Fac. Agr. y Vet. Bs. As.* Tomo XV Entrega I:1-119p. (Solicitar a los autores).
- PASCALE, A.J. y E.A. DAMARIO. 1977. El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. *Rev. Facultad de Agronomía de La Plata* 53(1-2): 15-34.
- PODESTÁ, G.; C. MESSINA; M. GRONDONA and G. MAGRÍN. 1999. Associations between grain crop yields in Central-Eastern Argentina and El Niño-Southern Oscillation. *J. Appl. Meteorol.* 38: 1488-1498.
- RICHARDS, R.A. 1996. Increasing the potential yield in wheat: Manipulating source and sinks. In: Reynolds M.P.; S. Rajaram and A. McNab (eds.), Increasing Yield Potential in wheat: Breaking the barriers. CIMMYT. Mexico. D. F. Pp: 134-149.
- RUSTICUCCI, M. and O. PENALBA. 2000. Interdecadal changes in the precipitation seasonal.
- SADRAS, V.O. and P.A. CALVIÑO. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, maize, sunflower and wheat. *Agronomy-Journal* 93(3): 577-583.
- SAKAMOTO, S. 1978. The Z-index as a variable for crop yield estimation. *Agricultural Meteorology* 19: 305-313.
- SALINAS, A.; E. MARTELOTTO; J.P. GIUBERGIA; V. CAPUCCINO; P. SALAS y E. LOVERA. 2004. Selección de variedades en trigo. Proyecto regional de agricultura sustentable e impacto agroambiental. INTA EEA Manfredi. <http://www.riego.orgar/resuCult/>.
- SCIAN, B. 2000. Evidencias de la señal del SOI sobre la variabilidad de las lluvias en la región semiárida pampeana. *Meteorológica* 25: 3-13.
- SERIO, L. y P. MARTÍN. 2006. Cambios en los valores centrales y extremos de las distribuciones mensuales de precipitación en el centro-este de Argentina. *Actas de la XI Reunión Argentina de Agrometeorología*. La Plata, Argentina. pp 279-280.
- SHEPHERD A.; S.M. MCGINN and G.C.L. WYSEURE. 2002. Simulation of the effect of water shortage on the yields of winter wheat in North-East England. *Ecological Modelling* 147: 41-52.
- SLAFER, G.A. 1995. Wheat development as affected by radiation at two temperatures. *Journal-of-Agronomy-and-Crop-Science* 175(4): 249-263.

- SLAFER, G.A. and H.M. RAWSON. 1984. Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: a re-examination of some assumptions made by physiologists and modelers. *Aust. J. Plant Physiol.* 21: 393-426.
- SLAFER, G.A. and H.M. RAWSON. 1996. Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. *Field-Crops-Research* 46(1/3): 1-13.
- SMITH, L.P. 1975. Methods in agricultural meteorology. *Developments in Atmospheric Science* 3.
- SPESCHA, LILIANA; G.M. MURPHY; R. HURTADO y MARÍA E. FERNÁNDEZ LONG. 2004. «Número de días con precipitación en años «Niño» y «Niña» en la Región Pampeana Argentina». *Rev. Facultad de Agronomía* 24(3): 197-202.
- SPESCHA, L. y G. BERRI. 1998. Acerca del efecto de El Niño sobre los rendimientos de soja en la región pampeana argentina. X Congreso Brasileiro de Meteorología. Brasília, Brasil. Publicado en CD-ROM por SBMET.
- SWANSON, E.R. and J.C. NYANKORI. 1979. Influence of weather and technology on corn and soybean yield trends. *Agricultural Meteorology* 20: 327-342.
- VILLAR, J. 1999. Economía del agua en el cultivo de trigo en el área centro de Santa Fe. Información Técnica N° 234. INTA EEA Rafaela, Santa Fe. [http:// Rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/informac234.htm](http://Rafaela.inta.gov.ar/publicaciones/informac234.htm).
- VOSSEN, P. 1989. An agrometeorological contribution to quantitative and qualitative rainy season quality monitoring in Botswana. Ph.D. thesis. Faculty of Agricultural Sciences, State University of Gent Belgium.
- WINTER, S.R. and J.T. MUSICK. 1993. Wheat planting date effects on soil water extraction and grain yield. *Agron. J.* 85: 912-916.