

RESPUESTA DE LOS RENDIMIENTOS DE TRIGO Y MAÍZ A LA VARIACION DEL ALMACENAJE DE AGUA EN EL SUELO EN LA REGIÓN PAMPEANA

R. HURTADO, LILIANA SPESCHA y PAMELA TEXEIRA¹

Recibido: 21/05/99

Aceptado: 16/07/99

RESUMEN

Se correlacionaron los rendimientos de trigo y de maíz con el almacenaje de agua en el suelo durante la estación de crecimiento de cada cultivo, para determinar la importancia espacial y temporal de esta variable hidrológica en la determinación de los rendimientos. El estudio se realizó en cuatro provincias de la Región Pampeana (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y La Pampa) para el período 1969-1997. Se observó que para el trigo el almacenaje promedio mensual no explica la variabilidad interanual de los rendimientos, mientras que para el cultivo de maíz la variable en estudio, para el mes de enero, representa hasta el 50% de la variabilidad de los rendimientos en la región. La respuesta, encontrada para este cultivo, permite establecer un patrón espacial y temporal, entre el almacenaje de agua y los rendimientos.

Palabras clave. trigo, maíz, rendimiento, almacenaje de agua en el suelo.

RESPONSE OF CORN AND WHEAT YIELDS TO THE VARIATION OF SOIL WATER STORAGE IN THE PAMPA REGION

SUMMARY

A relationship between the wheat yield and corn yield and the soil water storage for the growing season of each crop was studied to determine the spatial and temporal importance of this hydrological variable. This investigation was carried out in four provinces of the Pampean region (Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y La Pampa) for the period 1969-1997. It was observed that, for the wheat crop, the monthly average water storage does not explain the interannual variations in wheat yields. Meanwhile, in the case of corn crop, the water storage in January represents up to 50% of the variability of the yield in the region. The results found for this crop allow us to establish a spatial and temporal pattern between the water storage and the yield.

Key words. wheat, corn, yield, soil water storage.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays L.*) y el trigo (*Triticum aestivum*) junto con la soja, son los cultivos más importantes de la Argentina. Desde el punto de vista económico, el maíz, en la última campaña representó el 45% de las exportaciones (S.A.G y P. 1996). Los cereales y las oleaginosas constituyeron el 53% del producto bruto agrícola y el 27,6% del producto bruto general del sector agropecuario. Además, el trigo argentino participa en un 10% del comercio triguero internacional.

Más del 90% del maíz y del trigo se producen en las cinco provincias que conforman la Región Pampeana: Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, La Pampa. Los cultivos se realizan en condiciones de secano, lo que implica que durante su ciclo vital dependen exclusivamente de las condiciones ambientales. Ambos cultivos, ya sea a nivel nacional, provincial o departamental tienen un sostenido crecimiento anual tanto en producción como en rendimiento, con fluctuaciones en más o en menos con respecto a la tendencia, atribuidas en gran medida a las variaciones meteorológicas.

¹Cátedra de Climatología Agrícola. Facultad de Agronomía. UBA Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina. Email: hurtado@mail.agro.uba.ar

Por lo expresado, el estudio de las variables hidrológicas como variables agroclimáticas en relación con los rendimientos, constituye un enfoque para explicar la producción de esos dos cultivos.

Para el cultivo de trigo la bibliografía sobre este tema es muy vasta. Solo como ejemplos, Pascale y Damario (1969) y Chimieleswski y Potts (1995), para estimar rendimientos, utilizaron las precipitaciones y el balance hidrológico, además de las temperaturas invernales. En el caso del maíz, Hoxmarx (1927), estimó el rendimiento por hectárea en las provincias de Buenos Aires y Córdoba obteniendo correlaciones significativas con las precipitaciones del mes de diciembre, y Marino (1947), para las localidades del norte de la provincia de Buenos Aires y del sur de Santa Fe, encontró que las precipitaciones del mes de diciembre tienen una influencia determinante en el rendimiento. Stuff (1969) concluyó que en Pergamino, siete de cada diez años los rendimientos pueden ser afectados por insuficientes precipitaciones durante el período crítico, y dos de cada diez son óptimos.

El objetivo del presente estudio fue relacionar el promedio mensual del almacenaje diario de agua en el suelo con los rendimientos de los cultivos de trigo y maíz en la Región Pampeana. Esto permitirá determinar las épocas de mayor respuesta a la oferta hídrica en términos de almacenaje de agua en el suelo, así como su distribución espacial, con la finalidad de efectuar una cartografía de las correlaciones obtenidas.

En esta línea de trabajo se han desarrollado pocos estudios. Spescha y Aiello (1997), para el cultivo de soja en la provincia de Córdoba, estimaron que los almacenajes del agua en el suelo explican el 50% de la variabilidad de los rendimientos. Otros autores (Zaffanella y Zaffanella, 1960) obtuvieron una correlación significativa ($r=0,83$) entre la humedad del suelo medida en una parcela y los rendimientos de maíz en la misma durante los meses de diciembre y enero en Pergamino. Forte Lay y Troha (1994), en un trabajo inédito, encontraron una correlación altamente significativa entre los rendimientos de maíz en el partido de Pergamino y el promedio de los almacenajes diarios de agua en el suelo en diciembre y enero.

MATERIALES Y MÉTODO

Se utilizaron los datos meteorológicos diarios de precipitación del período 1969 - 1997, de las estaciones pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional, distribuidas en las provincias pampeanas de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe, La Pampa y Entre Ríos (Fig. 1). Los rendimientos correspondientes a 32 departamentos de las 4 primeras provincias para las campañas 69/70 a 96/97, de los cultivos de trigo y maíz, fueron suministrados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP, 1969/96).

Se estimó el promedio del almacenaje mensual de agua en el suelo mediante el balance hidrológico diario, con el software Agroagua versión 4,1 (Forte Lay *et al*, 1996), que utiliza las precipitaciones diarias, la evapotranspiración potencial diaria climática de Penman y las constantes hidrológicas de las localidades en estudio: capacidad de campo y punto de marchitez permanente, que corresponden a datos de ensayos realizados a campo (Burgos y Forte Lay, 1978).

Para cada departamento, se removió la tendencia de los rendimientos ($\Delta\eta$), con un filtro lineal, y los valores obtenidos se vincularon con los almacenajes de agua en el suelo mediante modelos de regresión lineal simple en los meses de cultivo del trigo (junio a diciembre) y del maíz (octubre a marzo).

Posteriormente, con los coeficientes de correlación "r" obtenidos, se trazaron isóneas para definir zonas

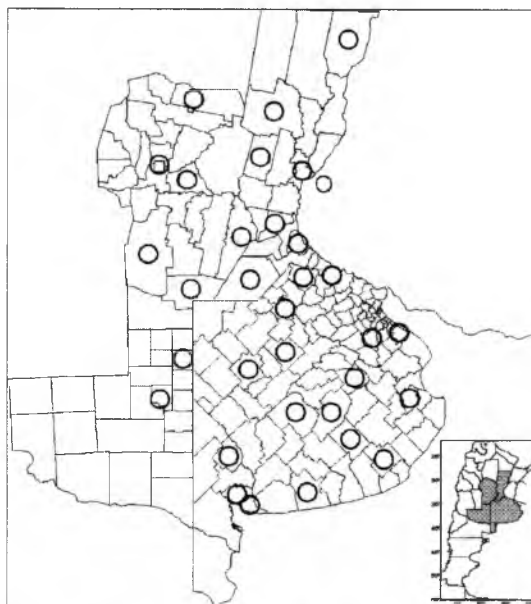


Figura 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas usadas en el análisis.

con igual nivel de correlación para cada mes y se marcaron las áreas con significancia estadística al 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el cultivo de maíz se observó que el coeficiente de correlación aumentó mes a mes hasta la etapa de máximo requerimiento hídrico, coincidente con la floración en casi todas las localidades, con valores máximos entre diciembre y enero.

En la mayoría de las localidades de la provincia de Buenos Aires (Fig. 2A) se observa que el período con significancia estadística es menor que en las localidades de las provincias de Córdoba y Santa Fe (Fig. 2B y Fig. 2C), con excepción de Pergamino, donde se supera el nivel de significancia desde octubre a marzo. En general en la mayoría de las estaciones, aumentan con el avance del período vegetativo con máximos en el mes de enero.

En la provincia de Córdoba las correlaciones son significativas desde la siembra en septiembre, con un máximo en enero y luego decrecen, probablemente porque el almacenaje de agua en el suelo desde el período previo a la siembra suele ser escaso, ya que las precipitaciones se concentran fundamentalmente en verano.

En la figura 3 se observan los coeficientes de correlación entre los rendimientos de maíz y el almacenaje de agua, que en el 85% de las localidades analizadas, está por encima del nivel de significancia estadística. La humedad edáfica de enero representa alrededor del 50% de la variabilidad, debido a que en la mayoría de las estaciones el maíz se encuentra en floración, fase fenológica con gran dependencia de la oferta hídrica.

El almacenaje de agua en el suelo es un parámetro agroclimático que explica la variabilidad de los rendimientos de maíz en la región pampeana, con una certeza entre el 32 al 51% dependiendo de la localidad.

Por este razonamiento se aconsejan, las siembras cada vez más tempranas, para que el período crítico para el agua, panojamiento/espigazón, se produzca en diciembre, mes frecuentemente con mayor disponibilidad hídrica en el suelo que enero en muchas localidades especialmente al este de la región.

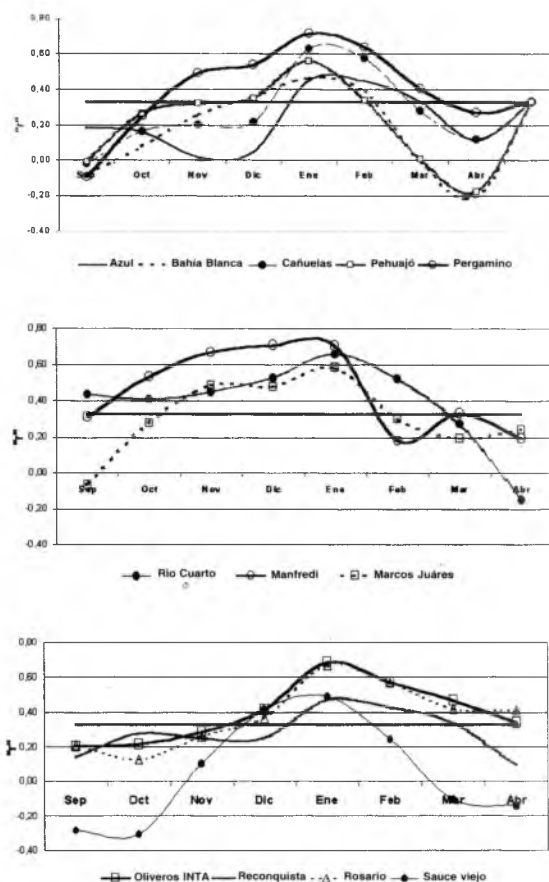


Figura 2. Correlaciones entre almacenaje de agua en el suelo y rendimiento para el ciclo de cultivo de maíz en algunas localidades de las provincias de A) Buenos Aires, B) Córdoba y C) Santa Fe.

En cuanto a la variabilidad espacial de los rendimientos, en relación con el almacenaje de agua en el suelo en el mes de octubre (Fig. 4 A), se observó que la mayor respuesta se encuentra en el área maicera-sojera del centro de Córdoba y el noreste de la provincia de Buenos Aires.

En noviembre (Fig. 4 B) la superficie se expande hacia Santa Fe. En diciembre (Fig. 4 C) el área continúa aumentando hasta llegar al mes de enero (Fig. 4 D) que en toda la región pampeana tiene correlaciones positivas, con excepción de una pequeña área del sur-sudeste de la provincia de Buenos Aires.

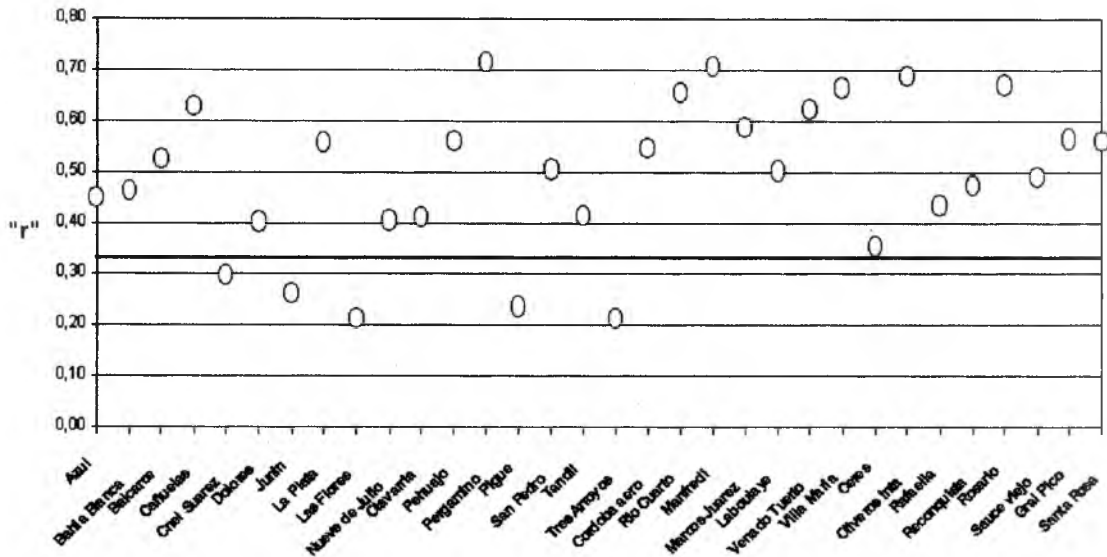


Figura 3. Coeficientes de correlación entre los rendimientos de maíz y almacenaje de agua (r) para el mes de enero en todas las localidades en estudio, delimitados por el nivel de significancia estadística de 0,33.

La dependencia de la variabilidad del rendimiento del trigo con el almacenaje de agua en el suelo no resultó tan relevante como en el caso del maíz. En la figura 5 se observan los valores de correlación para diferentes localidades y para los meses de septiembre y octubre, época en la que se generaliza la espigazón en la mayor parte de las localidades analizadas. La mayoría de los valores de " r " se encuentran dentro del rango sin significancia estadística (0,33), surgiendo de este análisis la escasa relación entre el rendimiento del trigo y el almacenaje de agua en el suelo.

Cabe destacar que la falta de repuesta del trigo al almacenaje de agua en el suelo, puede deberse al aumento de las precipitaciones en la región pampeana en las últimas décadas lo cual produjo un incremento en el almacenaje de agua en el suelo en octubre (período crítico para el trigo). Este efecto no fue tan notable en diciembre-enero (período crítico para el maíz) debido a la elevada evapotranspiración potencial en el verano.

Es decir que en general la variabilidad de la

reserva de agua en los suelos de la región triguera en primavera no descendería a valores limitantes para el cultivo de trigo al menos en el período de años considerado, sin embargo en septiembre aparece una correlación significativa en Manfredi, ya que en esa localidad marginal para el trigo las bajas reservas en ese mes, antes de la estación lluviosa suelen ser limitantes, no alcanzando el barbecho otoñal a compensar esa deficiencia.

La variabilidad espacial de la falta de correlación entre los rendimientos y el almacenaje de agua en el suelo en el mes de octubre se muestra en la figura 6 A, aun en disminución en noviembre, cuando coinciden las espigazones más atrasadas del sur de la región triguera argentina (Fig. 6 B)

CONCLUSIONES

- El maíz durante su ciclo de cultivo tiene una estrecha dependencia con el almacenaje de agua en el suelo, explicando entre un 35 a un 50 % de la variabilidad de los rendimientos, con una respuesta

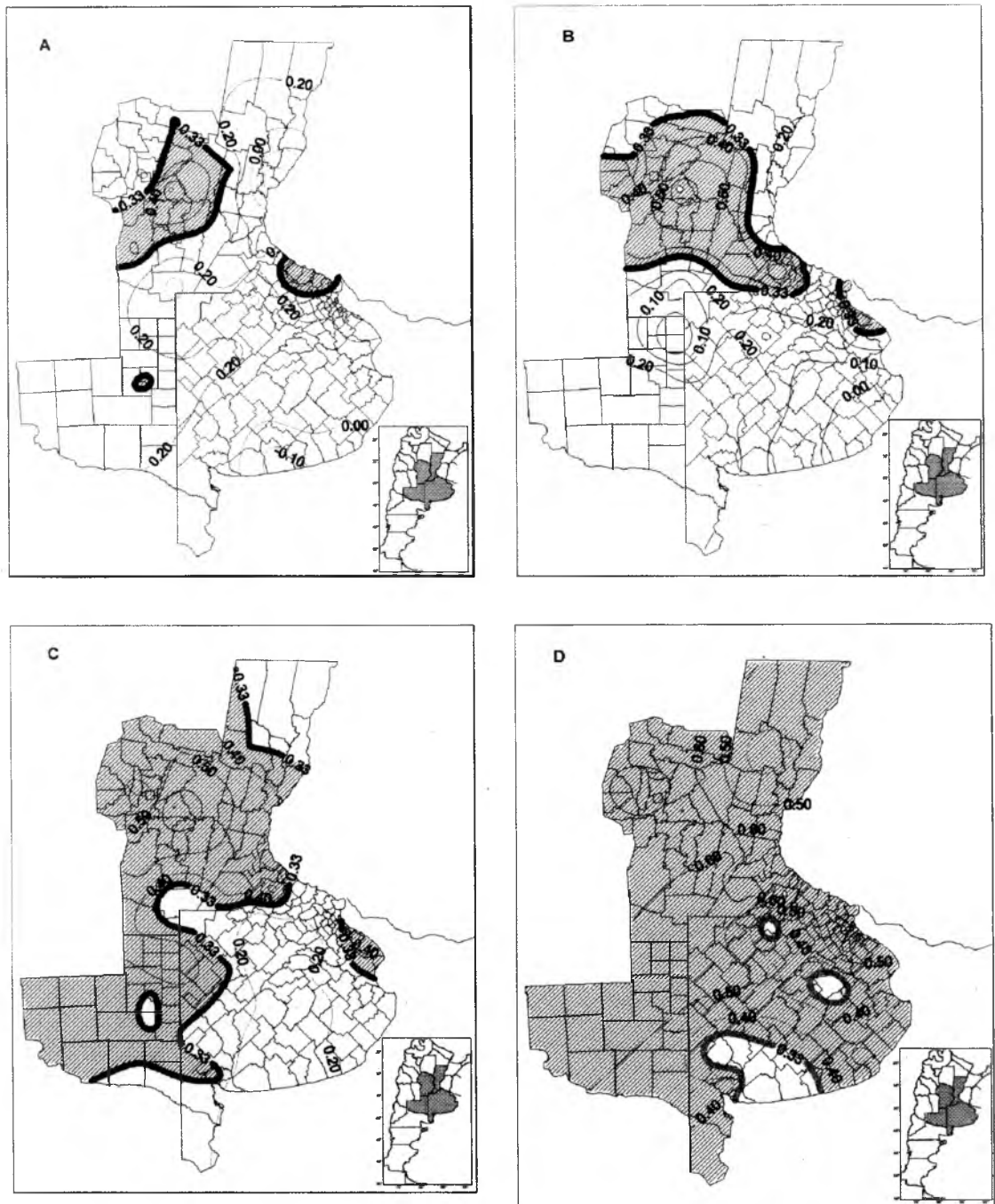


Figura 4: Variabilidad espacial de la relación entre el almacenaje de agua en el suelo y los rendimientos de maíz para los meses de octubre (A), noviembre (B), diciembre (C) y enero (D).

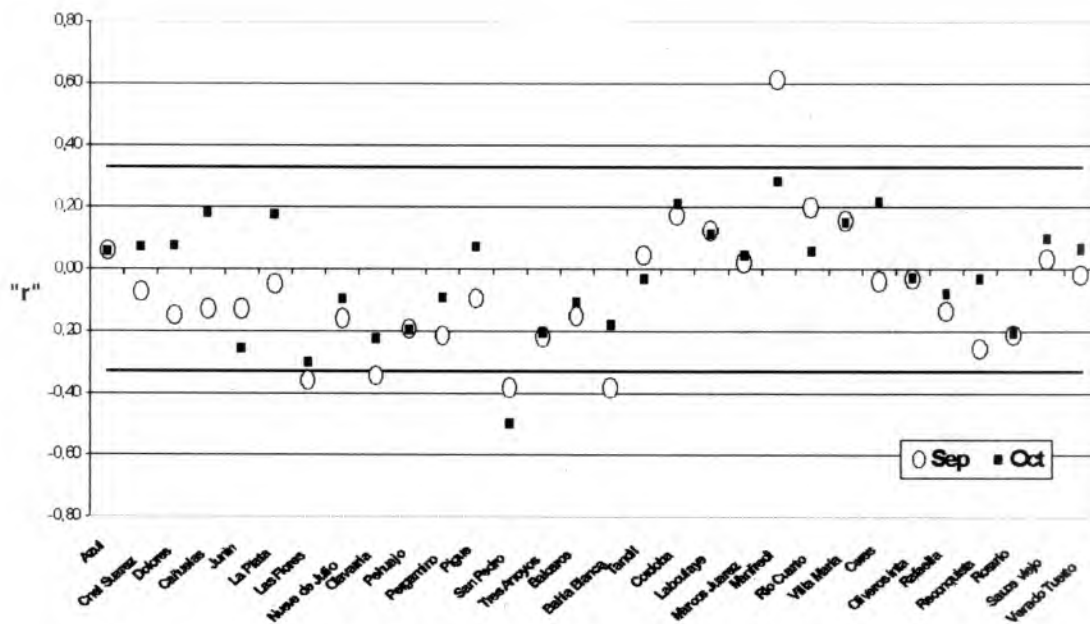


Figura 5: Coeficientes de correlación entre los rendimientos de trigo y almacenaje de agua (r) para el mes de septiembre y octubre en todas las localidades en estudio, delimitados por el nivel de significancia estadística de $\pm 0,33$.

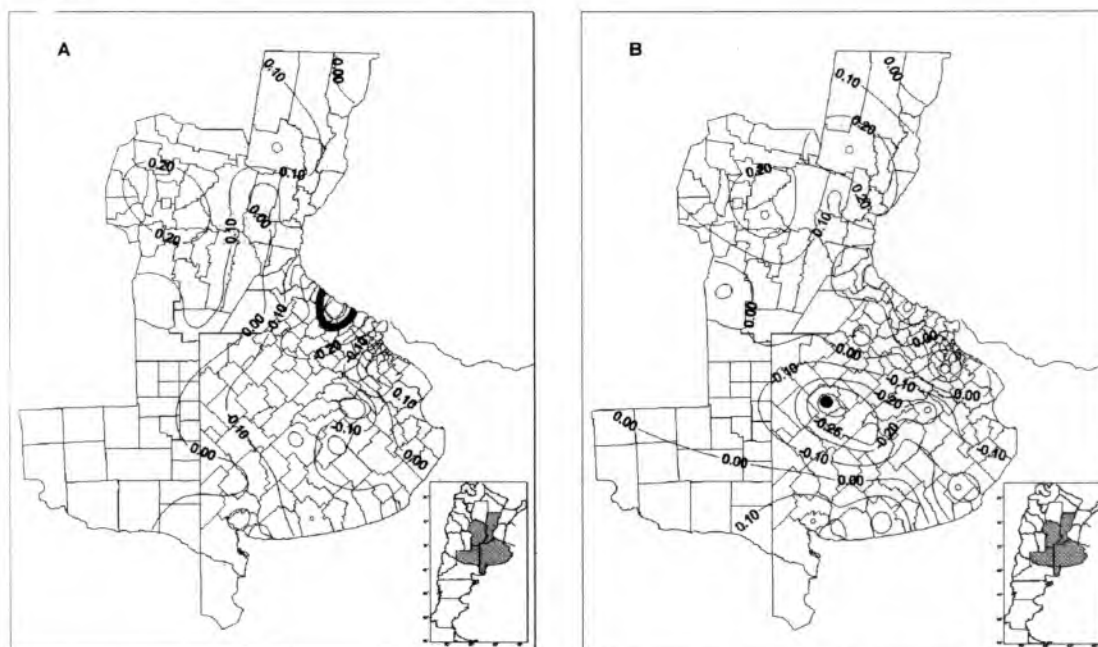


Figura 6: Variabilidad espacial de la relación entre el almacenaje de agua en el suelo y los rendimientos de trigo para los meses de octubre (A) y noviembre (B).

espacial al almacenaje de agua en el suelo en el mes de enero para toda la Región Pampeana.

- En el trigo no se determinó en general una dependencia temporal ni espacial entre los rendimientos y el almacenaje de agua en el suelo. Se supone que esto es consecuencia de la escasa variabilidad observada en los altos almacenajes del invierno en la mayor parte de la región triguera que se prolongan hasta el principio de la primavera, a lo que se suma en la realidad el efecto de los barbechos previos a la siembra, técnica muy difundida y que contribuye a aumentar las altas reservas

invernales que por la baja evapotranspiración de la época son muy conservativas. Los resultados sugieren que en un período de años más prolongado podría esperarse una mayor respuesta en el área marginal noroeste de la región con inviernos muy secos que determinan reservas de agua edáfica primaveral insuficientes.

- En ambos cultivos y usando el mismo método de estimación del almacenaje sería posible encontrar mayores correlaciones trabajando en una escala mas pequeña.

BIBLIOGRAFÍA

- BURGOS, J.J. y J.A. FORTE LAY. 1978. Capacidad de almacenaje de agua en los suelos de la Región pampeana. Taller Argentino-Estadounidense sobre sequías. CONICET-NSF, Mar del Plata. *Editor J.J. Burgos*. Buenos Aires, Argentina. Pág. 162-180.
- CHIMIELESWSKI, F. M. y J.M. POTTS. 1995. The relationship between crop yields from an experiment in southern England and longterm climate variations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 73: 43-66.
- FORTE LAY, J.A y A. TROHA. 1994. Estimación diaria del balance hídrico para el estudio de los rendimientos en maíz en Pergamino. *GEOACTA (AAGG)*. Argentina. 17(1): 69-78.
- FORTE LAY, J.A.; J.L.AIELLO y J. KUBA. 1996. Software AGROAGUA Versión 4.1. Resumen publicado en la revista *Agrosoft'95* .4 pág.
- HOXMAX, G. 1927. El maíz en la Argentina. Los rendimientos y las condiciones climáticas. *Sec. Prop. Inf. M.A.* N° 69. 44: 1-44. Buenos Aires.
- MARINO, A.E. 1947. Estudio estadístico de la correlación entre las lluvias y los rendimientos del maíz. *Rev. Arg. de Agronomía*. 14 (3) :41-50. Buenos Aires.
- PASCALÉ, A. J. y DAMARIO, E. A. 1969. Aptitud agroclimática de la provincia del Chaco para el cultivo del trigo. *Rev. Fac. Agronomía*. 17(3): 49-61.
- SAGyP. (1969/96). Estimaciones Agrícolas. Secretaria de Agricultura Ganadería y Pesca. Ministerio de Economía.
- SPESCHA, L. y J. L. AIELLO. 1997. Relación entre el rendimiento de soja y el almacenaje de agua en el suelo de la Provincia de Córdoba. *Actas VII Reunión Argentina y I Latinoamericana de Agrometeorología*. Sección I: 83-85.
- STUFF, R. 1969. Probabilidades de lluvias en la zona E.E.R.A. Pergamino. *Informe Técnico N° 93*. INTA Pergamino. 6 pág.
- ZAFFANELLA, M.R.J. y M.G ZAFANELLA. 1960. Rendimientos decrecientes de maíz en relación con factores edafoclimáticos. *IDIA* .150: 33-43.