

Caracterización de una microcuenca sembrada con soja de la región semiárida central de la provincia de Córdoba (Argentina)

Romero, L.; H., Apezteguía, G.F. Esmoriz, R. Sereno, A. Aoki, M. Ateca, R. Mendoza y W. Robledo

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es caracterizar una microcuenca agrícola en cuanto a topografía, suelo, comportamiento de la humedad edáfica y correlaciones con el rendimiento del cultivo de soja. El relieve y suelo resultaron representativos de una amplia zona con igual problemática erosiva. Los valores de humedad edáfica medidos fueron procesados mediante la metodología geoestadística que permitió una buena estimación de la distribución espacial y de la lámina total. Se utilizó el Balance Hidrológico Versátil para estimar humedad de suelo entre fechas de muestreo. Éste se mostró adecuado y explicó el comportamiento del cultivo.

Existe una coincidencia espacial y correlación lineal, entre el rendimiento del cultivo y la humedad del suelo en los ciclos de sequía.

Palabras clave: microcuenca, humedad edáfica, geoestadística, balance hidrológico.

Romero, L.; H. Apezteguía; G.F. Esmoriz; R. Sereno; A. Aoki, M. Ateca; R. Mendoza; W. Robledo, 1995. Characterization of a microbasin agricultural in the central zone of the province of Córdoba (Argentina). *Agriscientia* XII : 59-66.

SUMMARY

A project to evaluate water and soil conservation practices in a microbasin was designed. This work has the objective of its characterization through topography, soil, soil moisture, and yield. Relief and soil class were representative of a larger zone with similar water erosion problems. Measured soil moisture values were processed using geostatistical methods and this produced a good estimation of spatial distribution and total water content. The "versatile soil moisture budget"

was used to estimate soil moisture between sampling dates. It was found good correlation between soil moisture and soybean yield during drought.

Key words: microbasin, soil moisture, geostatistic, soil moisture budget, soybean yield.

Romero, L; H. Apezteguía; G.F. Esmoriz; R. Sereno; A. Aoki; M. Ateca; R. Mendoza; W. Robledo. Fac. Cs. Agropecuarias - U.N. de Córdoba. CC 509 - 5000 Córdoba - R. Argentina.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la erosión hídrica reviste gravedad en una franja de 40 a 60 Km de ancho, que se ubica al este de las Sierras Chicas y desde el norte de Villa del Totoral hasta Sampacho, al sur de la provincia de Córdoba (Argentina). Desde la ciudad de Córdoba (31° 19' LS, 64° 13' W) hacia el sur, el aumento del área sembrada con soja ha producido un incremento de la erosión (S.A.G.Y P., 1995). En los últimos años los perjuicios en obras de infraestructura en las propias ciudades y pueblos ha llamado la atención de la comunidad toda. La pérdida de productividad de los suelos es aún más grave. Apezteguía *et al.* (1987) estimaron una disminución de rendimientos en soja de 2.832.000 Kg/año para una superficie de 8.000 Ha en esa zona.

El principal factor que limita la producción en la región semiárida es la falta de humedad edáfica. Al planificar el escurrimiento superficial se mejora la captación del agua de lluvia y se disminuye la erosión (Ferré, 1995). Por sus propias características la planificación del escurrimiento con terrazas y canales puede aplicarse en una superficie relativamente grande y no en una parcela. Por ello debe realizarse la investigación considerando a la cuenca como unidad (Saxton *et al.*, 1971; Johnson *et al.*, 1979).

Se llevan a cabo desde hace tres años estudios de la dinámica del agua en una microcuenca de 8 Ha. Se denomina microcuenca porque se considera que una cuenca elemental tiene una superficie de 100 Ha. Se han llevado adelante estudios sistemáticos de variables meteorológicas, de almacenamiento de agua, fenológicas, de excedentes hídricos, etc. (Apezteguía *et al.*, 1993; Romero *et al.*, 1994)

En cuanto a la dificultad que conforma la variabilidad espacial sobre variables agronómicas, Vieira *et al.* (1983), basándose en la teoría de las variables regionalizadas (Matheron, 1971), ampliaron el procedimiento estadístico denominado geoestadística. Éste se basa en el concepto de que las variables aleatorias cercanas en el espacio tienden a es-

tar asociadas más fuertemente que aquellas más alejadas.

Por otra parte, para salvar el obstáculo que genera la variabilidad temporal sobre la cantidad de agua infiltrada, Burrough *et al.* (1994) proponen realizar muestreos con una frecuencia adecuadamente alta.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar esta microcuenca en cuanto a: topografía, suelo, comportamiento de la humedad edáfica y correlaciones con el rendimiento del cultivo de soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreos en el cultivo de soja

Los ensayos se han llevado a cabo durante dos ciclos de cultivo de soja (campanas 1991/92 1992/93). Las labores preparatorias fueron: cincelado y dos pasadas de cultivador de campo. Se sembró cortando la pendiente.

Se marcaron 57 puntos en una cuadrícula de 41,66 m. x 41,66 m. y en ellos se hicieron observaciones fenológicas quincenales utilizando la escala propuesta por Fehr y Caviness (1977), y al final del ciclo se cosecharon a mano 1,43 m lineales de soja con dos repeticiones en las dos temporadas.

Ubicación, topografía y suelo

Se eligió una microcuenca de 8 Ha, ubicada 25 Km al sur de la ciudad de Córdoba (31° 19' S, 64° 13' W) con una pendiente en sentido oeste-este, y delimitada mediante la construcción de bordos. Se ha optado por una superficie pequeña para poder medir cómo se distribuye el agua edáfica.

Se caracterizó mediante un relevamiento altimétrico en cuadrícula 20,83 m. x 20,83 m. con nivel de antejo, con lo que se obtuvo el plano de curvas de nivel. Este nivel de detalle se consideró adecuado dada la homogeneidad y gradiente del terreno.

Para describir el perfil del suelo se realizaron chequeos para luego abrir una calicata en un punto representativo. Ésta se describió según la técnica convencional, y de allí se extrajeron muestras para determinar pH, materia orgánica y densidad aparente.

Se midió infiltración con doble anillo en tres puntos de la microcuenca, partiendo del suelo en capacidad de campo.

Para observar la variabilidad espacial del cuerpo natural del suelo se midió con barreno el espesor del horizonte superficial y la profundidad del horizonte cálcico en toda la microcuenca.

Datos meteorológicos

Fueron registrados con instrumentos colocados en el lote. Se midió temperatura, humedad del aire (termohigrógrafo de Robinson) y precipitaciones (pluviómetros). Los datos de heliofanía efectiva se obtuvieron del Observatorio del Servicio Meteorológico Nacional de la ciudad de Córdoba, lo que se justifica por la escasa distancia entre el lugar de estudio y la estación meteorológica (25 Km).

Humedad edáfica- Determinación de la variabilidad espacial del agua del suelo, estimación de la lámina total:

En los 57 puntos se realizaron muestreos de suelo para determinar humedad por gravimetría. Las dimensiones de la cuadrícula fueron las mínimas que permitían muestrear toda la microcuenca en un mismo día. Las muestras se extrajeron con barreno, con dos repeticiones en la profundidad de 10-20, 40-50, 80-90 cm. Estos muestreos se realizaron en las fechas 7/2/92, 24/2/92, 20/3/92, 25/1/93 y 26/3/93 tratando de relevar diferentes condiciones de humedad edáfica y cubrir lo máximo posible del ciclo de los cultivos.

Los datos de humedad fueron transformados en lámina total hasta un metro y analizados mediante la metodología geoestadística. Se describe la asociación espacial de la variable a través de una modelización denominada semivariograma, para luego utilizarla en el proceso de interpolación estocástico, Kriging, disminuyendo la incertidumbre propia de otros métodos (Martínez Cob *et al.*, 1991; Apezteguía *et al.*, 1993). Todos los modelos tienen los siguientes parámetros: Nugget u ordenada al origen, Sill o Meseta valor al que tiende el semivariograma, y Range o Rango distancia dentro de la cual hay asociación espacial (Trangmar *et al.*, 1985; Di Pietro *et al.*, 1986). Los modelos de semivariograma fueron validados mediante validación cruzada (Vieira *et al.*, 1983).

Estimación de la humedad edáfica entre fechas de muestreo

Para esto se aplicó el modelo de Balance Hidrológico Versátil (BHV), utilizando una programación realizada por Solá y Ravelo (1988). Se requieren datos meteorológicos, de humedad de suelo y fenológicos del cultivo. El modelo utiliza varios parámetros de ajuste: 1) El coeficiente de cultivo K_j , que expresa el agua extraída por las raíces del cultivo de soja en cada estrato de profundidad. 2) El coeficiente de percolación. 3) La matriz de ajuste elaborada con valores de distintas curvas de secado del suelo. El coeficiente del cultivo utilizado fue el determinado por Dardanelli *et al.*, (1991), y el coeficiente de percolación y matriz de ajuste los determinados por Solá (1988). La profundidad del perfil explorado por raíces de soja para la zona de Manfredi es de 2,5 m (Dardanelli *et al.*, 1991). Para este trabajo se fijó la profundidad en 1,25 m, debido a la complejidad que significa la extracción de muestras de suelo para la determinación de humedad a mayor profundidad.

Se determinó el coeficiente de correlación y el error relativo entre valores observados y estimados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el plano de curvas de nivel (Fig. 1) se observa una pendiente general uniforme y ligeramente superior al 1 %, no obstante existen pequeñas variaciones locales que originan irregularidades en el terreno.

El suelo caracterizado se clasificó como Haplustol Típico de textura franco-limosa y el perfil modal presentó los siguientes horizontes: Ap 0-14 cm, A2 14-20 cm, Bw 20-40 cm, BC 40-60 cm, C 60-84 cm, Ck +84 cm., con 2,5% de materia orgánica, pH de 6,7 y 1,28 gr/cm³ de densidad aparente en Ap.

El horizonte A presentó un rango de 18 a 31 cm de espesor, alcanzando los mayores valores en las zonas planas. Esto estaría indicando erosión y deposición. La profundidad del horizonte Ck varía entre 67 y 115 cm y también sigue una tendencia similar.

Los valores de infiltración básica fueron 4, 6 y 11 mm/h en 3 posiciones diferentes de la cuenca.

Se compararon las características de suelo y relieve de la microcuenca con la unidad cartográfica correspondiente A41 del Mapa de Erosión de la provincia de Córdoba (Zamora *et al.*, 1985), y se encontraron coincidencias en el tipo de suelos: molisoles típicos de textura franco limosa; en el tipo de pen-

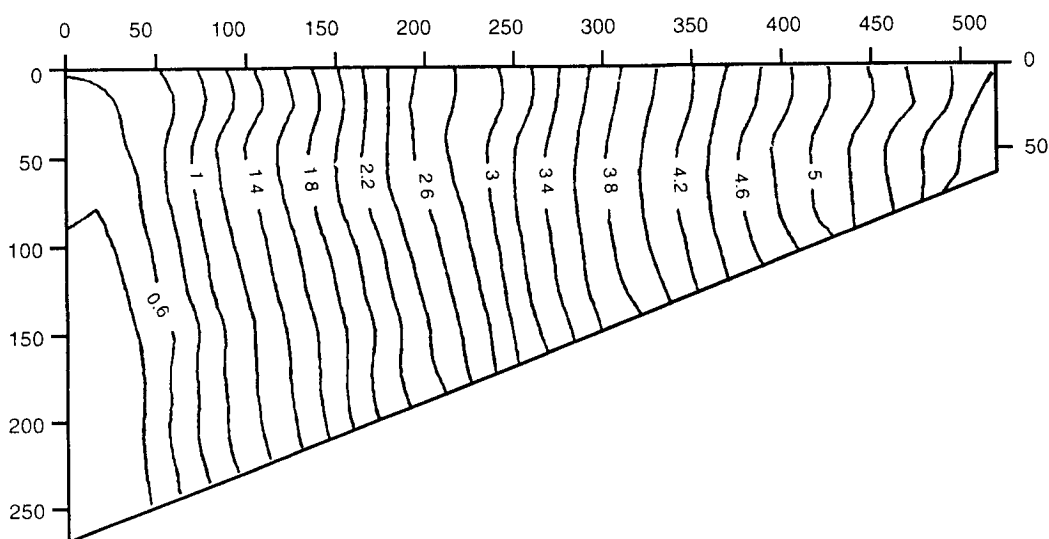


Figura 1. Plano de curvas de nivel de la microcuencia

dientes, suaves; y en el grado de erosión, ligera. Esto manifiesta el grado de representatividad del lote estudiado.

Con los datos de humedad registrados en 57 puntos, se calcularon los semivariogramas experimentales para diferentes rangos de distancia, y se ajustaron gráficamente sobre ellos modelos teóricos. A pesar de las diferentes condiciones iniciales de humedad del suelo y estado fenológico del cultivo, los modelos fueron todos exponenciales y los rangos donde se encontró asociación espacial oscilaron entre 110 y 135 m. En la Tabla 1 se pueden observar el estadio fenológico, la lámina media hasta un metro y los parámetros del semivariograma

Tabla 1. Estado fenológico, lámina media hasta 1 m y parámetros de la modelización, para las campañas 1991-1992 y 1992-1993.

Fecha	Estadio fenológico	Lámina media a 1 m	Modelos exponenciales		
			Nuggel	Sill	Range
25-1-93	R2 plena floración	196 mm	0	270	135
26-3-93	R7 comienzo de maduración	151 mm	0	255	110

modelizado. Con los modelos se interpolaron las láminas almacenadas para cada fecha (Fig. 3a, b). Se observa que las zonas secas y húmedas de la microcuencia permanecen estables.

La variabilidad espacial del contenido de humedad del suelo se vio reflejada en el análisis geostatístico. En los primeros estadios del cultivo esta variabilidad se explica por las diferencias en el microrelieve y labranzas, y luego, en estadios más avanzados, influirían más las variaciones de cobertura y la succión diferencial de agua del suelo por un desarrollo no homogéneo de las raíces de soja (Gil, 1994). Así lo sugiere el coeficiente de correlación entre lámina y altura de plantas que es de 0,07 el 25-1-93, y de 0,61 el 26-3-93. El valor del coeficiente de correlación de 0,61, resulta significativo dada la gran varianza que presentan los datos de tipo observacional de humedad edáfica.

En la Tabla 2 se presentan los valores de agua útil estimados (en mm) y los coeficientes de correlación (r) entre valores observados y estimados, para uno de los puntos donde se realizó el BHV. Los coeficientes de correlación son aceptables, pero los errores relativos son altos. Esto se debió a falta de ajuste del coeficiente de infiltración, el cual podrá mejorarse cuando se ajuste la técnica de infiltración. El comportamiento del BHV es similar en los restantes puntos.

La evaluación del modelo en la relación humedad del suelo-comportamiento del cultivo mostró una relación cualitativa positiva. El período reproductivo

Tabla 2. Coeficientes de correlación (r), error relativo entre valores de agua útil observados y estimados por el Balance Hidrológico Versátil en diferentes estratos de suelo, para un punto de la microcuenca.

	Profundidad del estrato (en cm)					
	0-5	5-12	12-26	26-57	57-91	91-125
Agua útil (mm)	10,56	15,84	26,41	52,81	52,81	52,81
Coefficiente de correlación (r)	0,68	0,67	0,80	0,95	0,89	0,82
Error relativo (%)	39	36	44	46	44	31

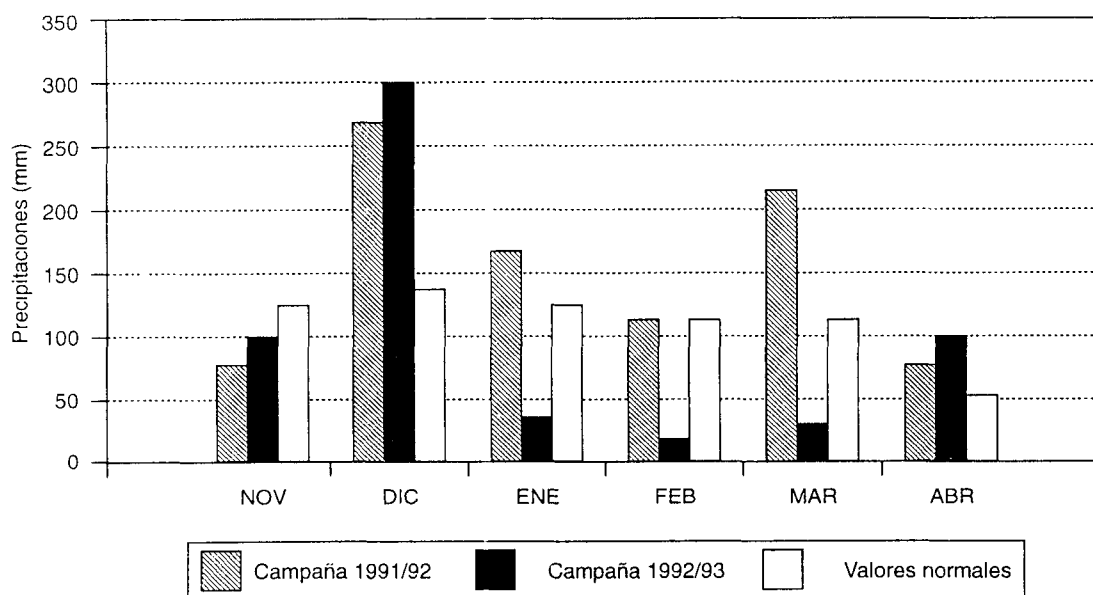
se redujo de 42 días (Fehr y Caviness, 1977) a 26 días y la altura de plantas de 94 cm, observados en un año húmedo, a 57 cm coincidiendo con estimaciones de humedad bajas.

La Figura 2 muestra los valores de precipitación mensual para el ciclo de la soja de las campañas 1991-92 y 1992-93, comparados con los valores medios de la ciudad de Córdoba para ese período. Se puede observar que durante la campaña 1991-92, las precipitaciones superaron los valores medios, mientras que para la campaña 1992-93 fueron significativamente menores. Esta diferencia fue mas acentuada durante las fases de floración y fructificación (enero a marzo), co-

rrespondiendo valores de 494 mm para la campaña 1991-92, 80 mm para la de 1992-93 y 299 mm como valor medio.

El rendimiento promedio en la campaña 1991-92 fue de 2890 Kg/ha y en 1992-93, 2130 Kg/ha. Esta disminución es atribuible a la importante sequía soportada durante las fases de floración y fructificación en la última campaña.

El análisis geoestadístico de los datos mostró que éstos no tenían buena estructura espacial en la primera campaña pero sí en la segunda. Puede observarse en las figuras 3 y 4 la coincidencia de isolíneas de rendimiento 1992-93 con las de humedad del suelo durante el ciclo. Además el coe-

**Figura 2.** Precipitación mensual para ciclos agrícolas 1991-92 y 1992-93, comparado con valores normales

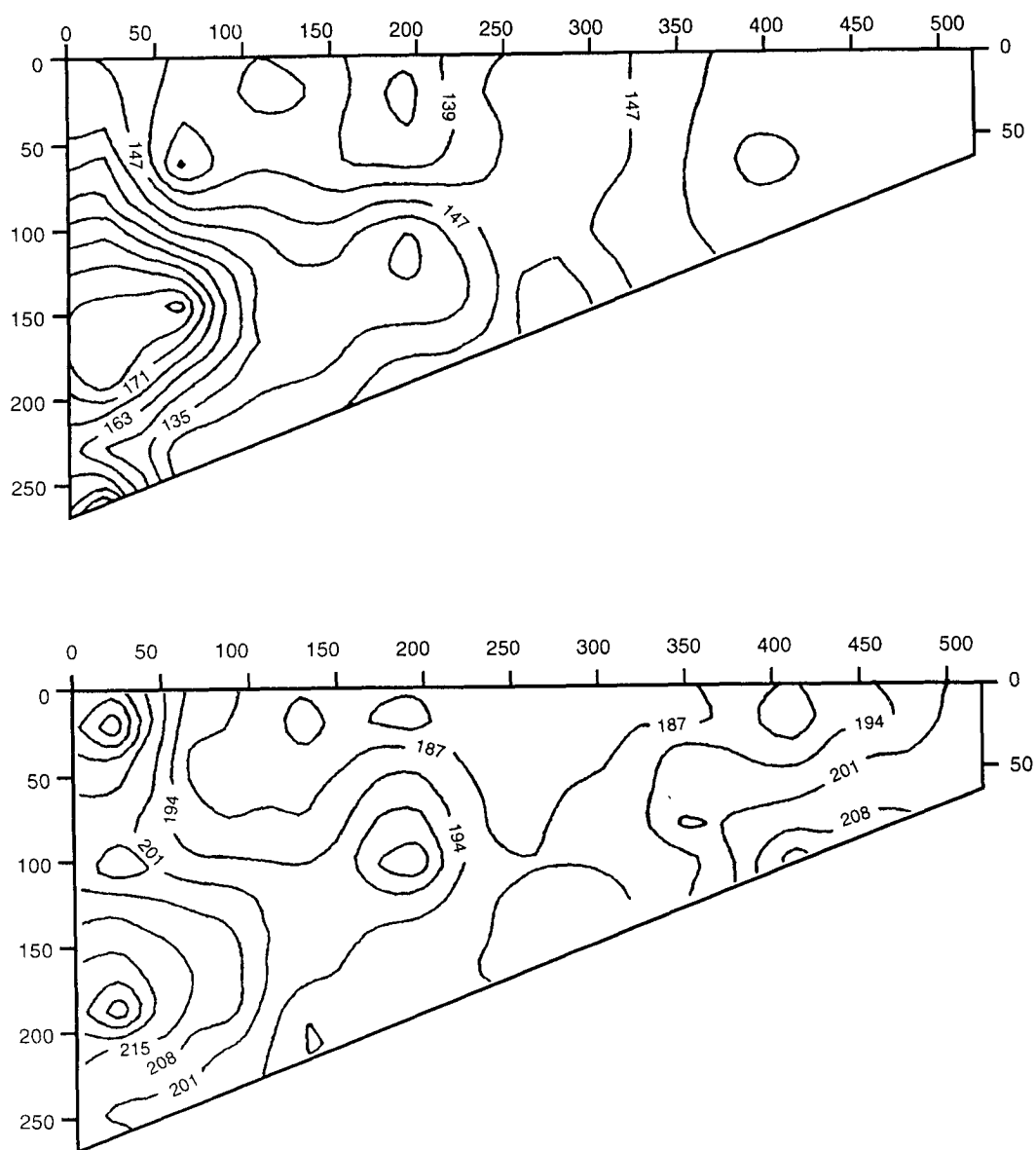


Figura 3. Isolíneas de lámina total (mm) hasta 1 m del 26-3-93 (a) y 25-1-93 (b)

ficiente de correlación entre rendimiento y láminas del período reproductivo fue de 0,12 y 0,67 respectivamente para las campañas 1991/92 y 1992/93.

En la campaña 1991-92, la abundancia de precipitaciones durante los períodos críticos del cultivo (floración y fructificación), hizo a la soja menos dependiente de la capacidad de captación del agua y conservación diferencial de la humedad del suelo en los distintos puntos. Y por lo tanto el rendimiento del cultivo no tuvo una asociación espa-

cial, ni correlación lineal tan buena como en el ciclo seco.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó la microcuena en cuanto a suelo y topografía y se la encontró representativa de un área mayor afectada por erosión hídrica.

- El comportamiento de la humedad edáfica se logró modelar adecuadamente a través del análisis geoestadístico, y se pudo estimar con el BHV.

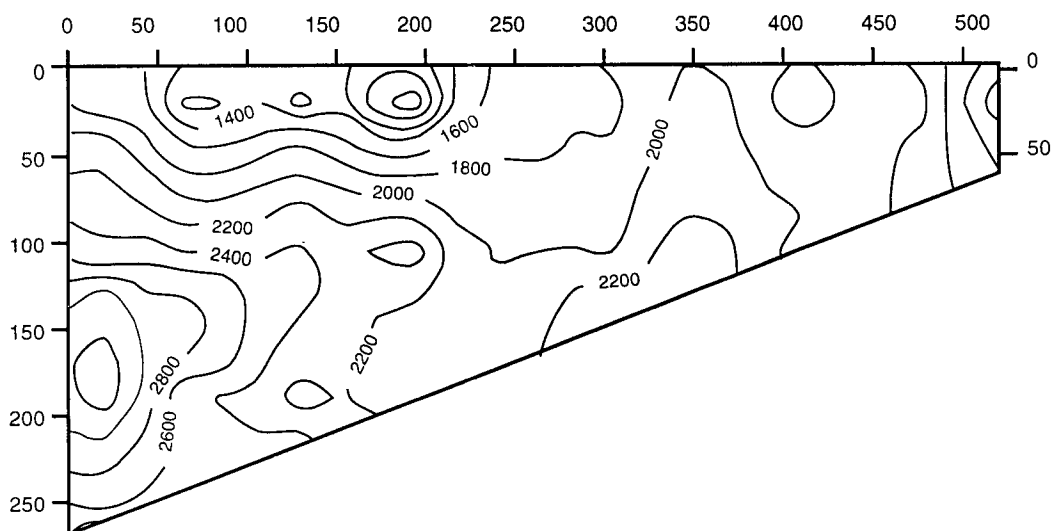


Figura 4. Isolinias de rendimiento de soja 1993 (Kg/Ha).

– Existe una coincidencia espacial y correlación lineal, entre el rendimiento del cultivo y la humedad del suelo en los ciclos de sequía.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias a los subsidios de CONICOR-Pcia. de Córdoba y del Programa de "Evaluación y control de la erosión hídrica como consecuencia de su impacto sobre el patrimonio regional público y privado"-SeCyT-U.N.Córdoba.

BIBLIOGRAFÍA

- Apezteguía, H.P., H.E. Amaya y L. Crusta, 1987. Medición de pérdidas de suelo y disminución de los rendimientos de soja debidos a la erosión hídrica en la región semiárida central de Córdoba. *Ciencia del Suelo*. Vol. 5 N° 1 (51-55)
- Apezteguía, H.P., R. Sereno, R.I. Mendoza, G.F. Esmoriz, M.R. Ateca, A. Aoki y C.W. Robledo, 1993. Distribución espacial de la humedad del suelo en una microcuenca de 8 Ha XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - Mendoza
- Burrough, P.A., J. Bouma and S.R. Yates, 1994. The state of the art in pedometrics. *Geoderma* 62, 311.
- Dardanelli, J., M.R. Ateca, G. Edreira y R. Zanvetor, 1991. Calibración y aplicación del Balance Hidrológico Versátil en suelos bajo dos sistemas de labranzas. *Actas V Reunión Argentina de Agrometeorología*. 63-72.
- Di Pietro, L. B., L. Marban de Ravera y V. Richter de Kleber, 1986. Variabilidad espacial de parámetros físicos y químicos de un suelo de Pergamino. *Ciencia del Suelo* 4(2).
- Fehr, W.R. and C.E. Caviness, 1977. Stages of soybean development. Cooperative Extension Service. Iowa State University. Ames-Iowa 50011. 17 pp.
- Ferré, M, 1995. La acción del INTA en la conservación del suelo. En: "El deterioro de las tierras de la República Argentina". S.A.G. y P. Buenos Aires, Argentina. pp. 222-235.
- Gil, R, 1994. Crecimiento radical de la soja en un suelo Haplustol éntico del centro de la Provincia de Córdoba. Efecto de la humedad y resistencia mecánica del suelo. Tesis Master of Science. Fac. Agr. Esc. Postgrado UNBA.
- Johnson, H.P., J.L. Baker, W.D. Shrader and J.M. Lafien, 1979. Tillage system effects on sediment and nutrients in runoff from small watersheds *Trans ASAE*, 22(5):1110-1114.
- Martinez-Cob, A., R.H. Cuenca y J.Ma. Faci, 1991. Geostatística multivariante aplicada a estudios regionales de evapotranspiración. *Investigación agraria. Prod y protección vegetal*. Vol. 7. Nro. 3:287-307.
- Matheron, G, 1971. The theory of regionalized variables and its application. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique*, Fas. 5, C.G Fontainebleau.
- Romero, L, G.F Esmoriz, A. Aoki, H. Apezteguía, R. Sereno, C.W Robledo, M.R Ateca y R. Mendoza, 1994. Caracterización de una microcuenca agrícola de la zona central de la provincia de Córdoba. 1994. Congreso Internacional de Ingeniería Rural -Morón (Bs. As.), Actas.
- S.A.G. y P. (Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca), 1995. El deterioro de los suelos en la República Ar-

- gentina (Cap. II). El deterioro de las tierras en las provincias argentinas (Cap. III). En: "El deterioro de las tierras en la República Argentina". S.A.G. y P. Buenos Aires, Argentina. pp. 23-187.
- Saxton, K.E., A.M. Asce, R.G. Spomer y L.A. Kramer, 1971. Hidrology and erosion of loessial watersheds. *J. Hydraulics Div.* 97(HY11):1835-1851.
- Sola, J.C., 1988. Calibración y aplicación del balance versátil de humedad del suelo en la región semiárida de Córdoba. *Rev. Fac. de Agronomía (UBA)*. 9 (1-2): 29-40.
- Sola, J.C. y A.C. Ravelo, 1988. Manual operativo del balance hidrológico versátil. Asociación Argentina de Agrometeorología. 12 pp.
- Trangmar, B.B, R.S. Yost and G. Uehara, 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advan. Agron.* 38:45-94.
- Vieira, S.R, J.L. Hatfield, D.R. Nielsen y J.W. Biggar, 1983. Geostatistic theory and application to variability of some agronomical properties. *Hilgardia* 51:1-75.
- Zamora, E.M. y B. Jarsun, 1985. Mapa de erosión de la provincia de Córdoba. SMAG Y RR. Pcia. de Córdoba. 46 pp.