

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA INFILTRACIÓN SUPERFICIAL A ESCALA DE CUENCA AGRÍCOLA

González García, Miguel Angel

E.P.S. Universidad de Santiago de Compostela. Campus Universitario. 27002 Lugo

SUMMARY

Spatial variability analysis of surface infiltration at agricultural catchment

In the present work, a geostatistical methodology for the estimation of hydraulic conductivity is applied in a agricultural catchment. Results of two series of measurements are presented. The first serie was made in a stablished grassland and the second one in a recent seed grassland. Logarithmic transformation is made in the geostatistical analysis and this method produced a estimation map and a error map. Both maps are made in a raster SIG format, and can be used as inputs in hydrologic and erosion models.

Key words: Geostatistics, SIG, hydraulic conductivity.

RESUMEN

En el presente trabajo, se aplica la metodología geoestadística a la estimación de la conductividad hidráulica a nivel de una cuenca agrícola. Se presentan los resultados de una serie de medidas realizadas en pradera ya establecida y de otra serie en pradera recién sembrada. El análisis geoestadístico se realiza previa transformación logarítmica de los datos, y se resume en un mapa de estimaciones y en un mapa de varianza de las mismas. Ambos mapas están en formato de un SIG tipo raster y sirven de entrada en modelos hidrológicos de cálculo de erosión.

Palabras clave: Geoestadística, SIG, conductividad hidráulica.

INTRODUCCIÓN

Una de las propiedades que más afectan al ciclo hidrológico en general, y a la escorrentía y erosión en particular es la conductividad hidráulica. Siendo pues esta propiedad de gran importancia, nunca será excesivo el esfuerzo para lograr unas estimaciones con la máxima fiabilidad posible.

En este trabajo se realiza la medición de la conductividad hidráulica en una serie de puntos en una pequeña cuenca agrícola y la posterior estimación para toda la superficie de la misma, usando técnicas geoestadísticas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se midió la conductividad hidráulica en una serie de 36 puntos en una pequeña cuenca agrícola situada en Mabegondo (A Coruña) y posteriormente se estimó para toda la superficie de la misma mediante técnicas geoestadísticas. Del conjunto de las 36 medidas, 28 fueron realizadas en zona de pradera ya establecida, mientras que 8 fueron tomadas en zona de pradera recién sembrada.

Las medidas se efectuaron usando un infiltrómetro de tensión de 20 cm de diámetro, tomando los datos de conductividad a unas succiones de -20 cm (Ka), -10 cm (Kb), -2 cm (Kc) y la de saturación (Ks). El tensioinfiltrómetro utilizado se describe en GONZÁLEZ (1998) y en TABOADA *et al.* (1999). A la vez que la medida de conductividad hidráulica, se tomaron los datos de posición de cada punto con una estación total, con el fin de elaborar las coordenadas necesarias en el posterior tratamiento geoestadístico. Las posiciones donde se han medido los datos de conductividad hidráulica se encuentran en la figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es muy frecuente que en ciertas variables hidrológicas los mejores ajustes estadísticos no se den para los datos tomados directamente sino para sus logaritmos. Es por ello por lo que aquí se empieza analizando los dos tipos de datos, aunque posteriormente solo se hace el estudio completo con uno de ellos.

El primer paso en el análisis de los datos es la obtención de los parámetros estadísticos fundamentales. Estos están resumidos en la tabla 1 para el caso de los datos directos, y en la tabla 2 para el caso de sus logaritmos. Se puede comprobar en estas dos tablas, que

el coeficiente de asimetría es más cercano a 0 en el caso de los logaritmos. Así mismo el coeficiente de curtosis es más cercano a 3 también en el caso de los logaritmos. Por estos motivos podremos concluir que el conjunto de los logaritmos de los datos se asemeja mas a una distribución normal, que el conjunto de los datos directos. Esto es de vital importancia a la hora de realizar el análisis geoestadístico, pues estas técnicas son de aplicación idónea en el caso de conjuntos de datos que sigan una distribución normal.

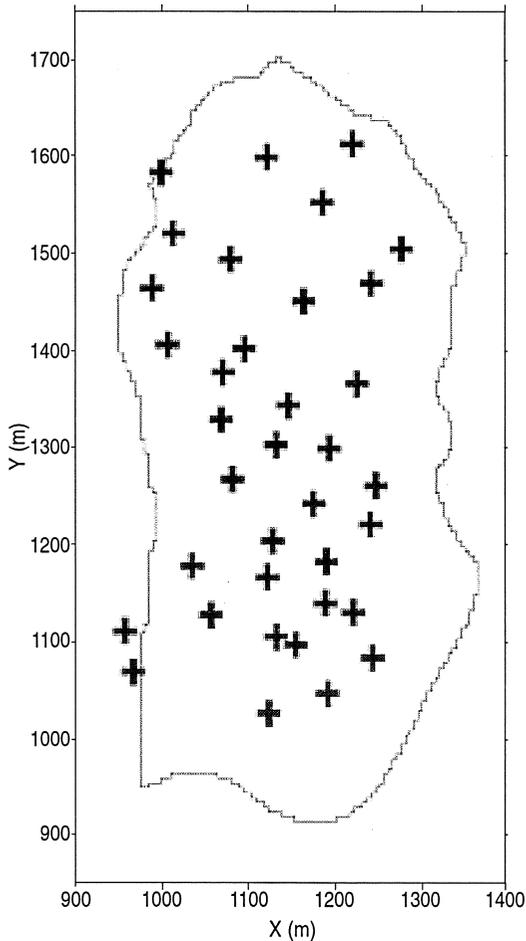


Figura 1. Puntos de medida de la conductividad hidráulica.

	Nº	Media	var.	co.var.	mín	máx	asím.	Curtosis
Ka	36	0,02	0,0002	64,4	0,003	0,065	1,04	3,37
Kb	36	0,10	0,0092	97,0	0,019	0,58	3,74	18,58
Kc	36	0,20	0,021	74,9	0,062	0,75	1,90	6,93
Ks	36	1,24	5,110	182,1	0,110	9,88	2,91	10,49

Tabla 1. Parámetros estadísticos básicos para los datos directos de conductividad hidráulica (cm/h).

	Nº	Media	var.	co.var.	mín.	máx	asím.	Curtosis
Ka	36	-1,71	0,087	-17,3	-2,56	-1,19	-0,35	3,16
Kb	36	-1,11	0,075	-24,7	-1,72	-0,23	0,75	4,60
Kc	36	-0,80	0,078	-34,8	-1,20	-0,12	0,42	2,45
Ks	36	-0,30	0,271	-175,4	-0,93	0,99	0,91	3,04

Tabla 2. Parámetros estadísticos básicos para los logaritmos de los datos de conductividad hidráulica (cm/h).

En las siguientes tablas aparecen los resultados estadísticos por separado del conjunto de valores correspondientes a la pradera y del conjunto de valores correspondientes a la zona recién sembrada.

En la tabla 3 se presentan los resultados estadísticos del conjunto de 28 medidas realizadas sobre pradera, y en la tabla 4 los resultados de los logaritmos de las medidas. En las tablas 5 y 6 aparecen respectivamente los resultados de los 8 datos de zona recién sembrada y de sus logaritmos.

Se puede observar en estas tablas que los valores máximo y mínimo de conductividad hidráulica saturada corresponden a la zona de pradera, siendo la media también superior en pradera que en el terreno labrado. También se puede observar una mayor uniformidad en la zona labrada que en la pradera, expresada mediante el coeficiente de variación. En cuanto a los datos de Ka hay que destacar su gran parecido tanto en la media como en los valores máximos y mínimos. Así mismo la uniformidad expresada como coeficiente de variación es bastante similar. En el caso de Kb el valor medio es mayor en el labrado que en la pradera, no obstante la uniformidad es menor en la pradera donde los valores máximo y mínimo son respectivamente mayor y menor que los del labrado. Para Kc se tiene una mayor media en el labrado, aunque la uniformidad viene a ser similar a la de pradera.

	Nº	Media	Var.	C.V. %	Mín.	Máx.	Asim.	Curtosis
Ka	28	0,025	0,0002	60,2	0,003	0,06	0,93	3,39
Kb	28	0,087	0,010	115,8	0,019	0,58	4,26	21,10
Kc	28	0,160	0,010	62,6	0,062	0,44	1,30	3,95
Ks	28	1,390	6,370	181,4	0,116	9,89	2,52	8,06

Tabla 3. Parámetros estadísticos básicos para los datos directos de conductividad hidráulica (cm/h) para las medidas sobre pradera establecida.

	Nº	Media	Var.	C.V. %	Mín.	Máx.	Asim.	Curtosis
Ka	28	-1,68	0,088	-17,6	-2,56	-1,19	-0,70	3,72
Kb	28	-1,17	0,071	-22,7	-1,72	-0,23	1,32	6,68
Kc	28	-0,87	0,061	-28,5	-1,20	-0,35	0,39	2,15
Ks	28	-0,31	0,320	-185,2	-0,93	0,99	0,92	2,79

Tabla 4. Parámetros estadísticos básicos para los logaritmos de los datos de conductividad hidráulica sobre pradera establecida.

	Nº	Media	Var.	C.V. %	Mín.	Máx.	Asim.	Curtosis
Ka	8	0,021	0,0003	79,6	0,010	0,06	1,53	3,92
Kb	8	0,14	0,003	42,9	0,087	0,29	1,65	4,60
Kc	8	0,32	0,042	63,1	0,110	0,75	1,03	2,86
Ks	8	0,72	0,349	82,64	0,199	2,13	1,53	4,26

Tabla 5. Parámetros estadísticos básicos para los datos directos de conductividad hidráulica (cm/h) sobre pradera recién sembrada.

	Nº	Media	Var.	C.V. %	Mín.	Máx.	Asim.	Curtosis
Ka	8	-1,78	0,074	-15,33	-1,99	-1,22	1,05	2,56
Kb	8	-0,88	0,024	-17,5	-1,06	-0,54	1,06	3,36
Kc	8	-0,57	0,067	-45,5	-0,94	-0,12	0,30	1,96
Ks	8	-0,27	0,100	-118,3	-0,70	0,33	0,42	2,24

Tabla 6. Parámetros estadísticos básicos para los logaritmos de los datos de conductividad hidráulica sobre pradera recién sembrada.

Se realizó un tratamiento geoestadístico de los datos para todas las variables estudiadas. Por razones de espacio, y dado que la conductividad hidráulica saturada es de todas la más importante para el estudio de la erosión, solo se expondrán en este trabajo los datos correspondientes a esta última. El primer paso del tratamiento geoestadístico fue buscar una expresión que modelizara la posible dependencia espacial existente de los logaritmos de los datos. Esto se consiguió ajustando un semivariograma esférico de 0.06 de pepita, meseta en 0.27 y alcance de 169 m. El siguiente paso fue el de realizar el krigado, es decir la estimación de la variable en otros puntos del dominio espacial donde esta no fue medida, usando los valores muestrales y el modelo de dependencia espacial. El resultado de este proceso es un conjunto de datos que se pueden representar en forma de mapa. Los resultados obtenidos fueron de dos tipos, el primero fue el conjunto de estimaciones del logaritmo de la conductividad hidráulica saturada, y el segundo el conjunto de valores de varianza de la estimación. La forma de representación fue la de un formato GIS de tipo Raster. Para la realización del krigado se usó el programa GSTAT (PEBES-MA, 1997) que proporciona resultados representados en mapas GIS raster interpretables por PCRaster (VAN DEURSEN and WESSELING, 1992), utilizando un krigado en bloques con un tamaño de celda de 5 x 5 m. El último paso fue la inversión de la transformación logarítmica, es decir transformar los logaritmos de los datos obtenidos mediante el krigado en valores de conductividad hidráulica saturada. Para ello se usaron las utilidades del programa PCRaster lo cual permitió obtener mapas en formato GIS de conductividad hidráulica. Es evidente la indudable ventaja de este proceso de síntesis de datos puesto que estos mapas pueden servir de entrada en modelos que simulen procesos naturales como la erosión. Así la conductividad hidráulica es un parámetro que puede presentar grandes variaciones a nivel espacial por lo que el uso de valores medios de un área determinada, puede ser frecuentemente fuente de inexactitudes y ejecuciones poco eficientes de los modelos. Es por ello que el trabajar con valores estimados para dominios muy pequeños (como las celdas de un mapa raster) proporciona una información de gran calidad puesto que no solo se tienen en cuenta los valores, sino que también se observa su distribución espacial y la forma en que esta puede afectar a la salida de un modelo.

Volviendo al caso de estudio, se pueden observar en las siguientes figuras los resultados obtenidos mediante el análisis anteriormente descrito.

En la figura 2 se puede observar el mapa resultante del krigado de los logaritmos de la conductividad hidráulica. Este mapa no es en si mismo fácilmente utilizable sin hacer la transformación. No obstante si que presenta un gran interés el mapa de varianzas de la

estimación, que da una idea de la distribución espacial de los errores de estimación. Este mapa viene reflejado en la figura 3, donde se puede observar que las menores varianzas de la estimación están situadas en la zona central. En la zona superior aparecen las mayores varianzas debido principalmente a la menor densidad de puntos de muestreo.

En la figura 4 se presenta el mapa de conductividades hidráulicas una vez deshecha la transformación logarítmica donde se pueden observar las zonas de mayores valores de conductividad y las zonas de menores valores.

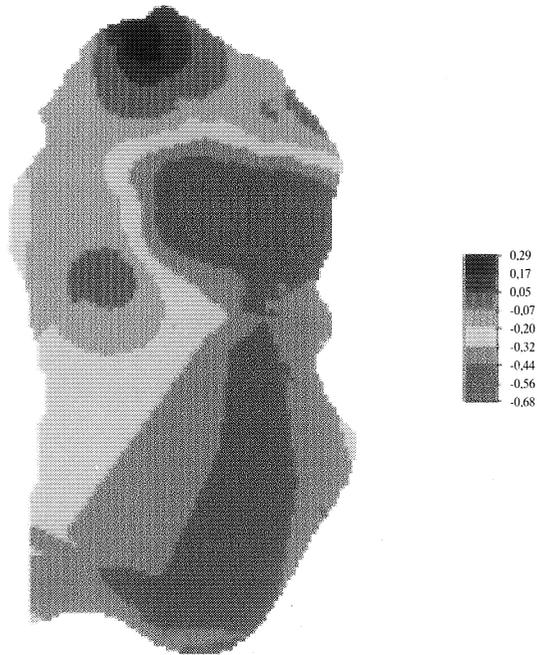


Figura 2. Mapa de la estimación del logaritmo de la conductividad hidráulica saturada (cm/h) mediante kriging.

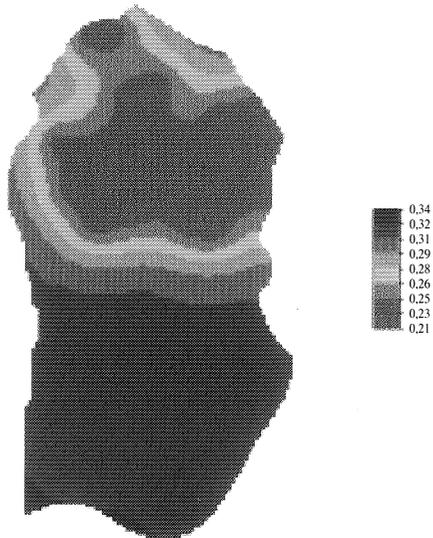


Figura 3. Mapa de la varianza de la estimación del logaritmo de la conductividad hidráulica saturada (cm/h) mediante kriging.

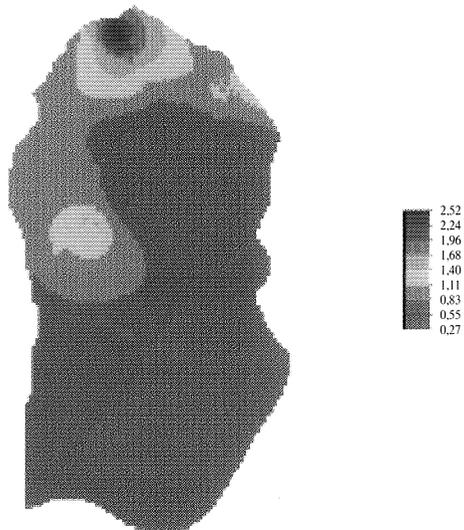


Figura 4. Mapa de conductividad hidráulica saturada (cm/h) para la estimación mediante kriging, sin la transformación logarítmica.

Ksat (mm/h)	Superficie (m ²)
2,6	21950
3,6	82000
4,6	37475
5,6	34975
6,,6	27950
7,6	18250
8,6	11075
9,6	5775
10,6	3375
11,6	2050
12,6	1425
13,6	1000
14,6	725
15,6	775
16,6	500
17,6	325
18,6	150
19,6	25

Tabla 7. Superficies (m²) correspondientes a diversos intervalos de conductividad hidráulica saturada para krigeado.

En la tabla 7 se resumen los resultados del mapa de la figura 4. Así se pueden observar las superficies que comprenden los diversos intervalos de conductividad hidráulica representados mediante su marca de clase.

Según esta tabla la máxima superficie es la que corresponde a 3,6 mm/h, mientras que para conductividades superiores a 10 mm/h las superficies descienden bastante, y para valores superiores a 15 mm/h son ya muy pequeñas.

En la figura 5 aparece la gráfica acumulativa de porcentaje de superficie por debajo de un valor dado de conductividad hidráulica, donde se puede constatar lo comentado anteriormente.

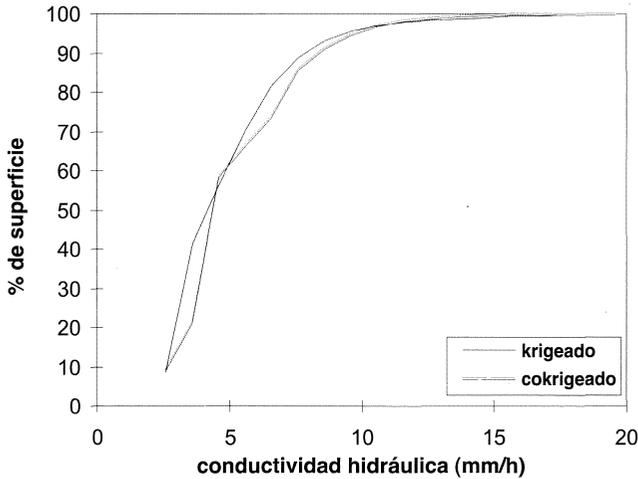


Figura 5. Porcentaje de superficie de la cuenca situado por debajo de un umbral dado de conductividad hidráulica saturada para las estimaciones de krigado.

CONCLUSIONES

Como conclusión de todo lo dicho, se puede extraer la importancia de las herramientas geoestadísticas para lograr correctas estimaciones de variables que posean una estructura espacial identificable. Estas herramientas pueden combinarse con herramientas GIS, dando lugar a unas representaciones de una indudable aplicación en ciertos modelos hidrológicos y de cálculo de erosión. Para la estimación de la conductividad hidráulica estos métodos son de gran utilidad sobre todo en el caso de existencia de una estructura espacial. Así, esta propiedad presenta unas grandes variaciones en el espacio que harían arriesgado el empleo en modelos de valores medios. Por ello el uso de mapas donde se reflejen estas variaciones espaciales significa una mejora en la ejecución de los modelos.

AGRADECIMIENTOS: Este trabajo se llevó a cabo en el marco del proyecto FAIR 1 CT95-0458, financiado por la Unión Europea.

BIBLIOGRAFÍA

- GONZÁLEZ M. A. (1998). *Propiedades hidrodinámicas en zona non saturada e a sua relación cos procesos hidrolóxicos*. Tesis Doctoral. Universidade de Santiago de Compostela. 228 pp.
- PEBESMA, E. J. (1997). Gstat user's manual. Netherlands Centre for Geo-Ecological Research. Faculty of Enviromental Science. University of Amsterdam. Amsterdam. 81 pp.
- TABOADA, M. M., LADO, M., DIÉGUEZ, A. y PAZ, A. (1999). Evolución temporal de la infiltración superficial a escala de parcela. En: *Avances sobre el estudio de la erosión hídrica*, editado por Paz, A. y Taboada, M. T. Universidad de A Coruña. pp. 101-128.
- Van DEURSEN, W. P. A. and WESSELING, C. G. (1992). The PCRaster package. Technical Report of the Department of Physical Geography. University of Utrecht. The Netherlands. 198 pp.