

## METODOLOGIA PARA EVALUAR EL RIESGO DE EROSION HIDRICA EN EL SUROESTE DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA, ARGENTINA

CANTU MP, BECKER A R, MUSSO T B

Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto, Ruta 36 Km 601, (X5800ZAB) Río Cuarto, Córdoba. E-mail mcantu@exa.unrc.edu.ar

Recibido 13 de noviembre de 2003, aceptado 25 de noviembre de 2004

### A METHODOLOGY TO EVALUATE WATER EROSION RISK IN THE SOUTHWEST OF CORDOBA PROVINCE, ARGENTINA.

The aim of this work was to prove a methodology to evaluate water erosion risk in La Colacha basin in the Southwest of Cordoba Province, Argentina. The susceptibility to soil erosion was established through the evaluation of parameters which are involved in water erosion such as geomorphologic, lithologic, previous erosion and soil parameters. In this area, changes in land use have produced an increment in water erosion processes due to the alteration of physical, chemical and biochemical soil conditions. This led us to consider these changes as the hazard. Erosion risk was considered as the product between susceptibility and hazard. Susceptibility, hazard and risk maps were obtained through a GIS.

The results showed that La Colacha basin presented low water erosion risk in most of its area. Units with slopes lower than 1% under a beef cattle production system did not present water erosion risk. Areas with slopes higher than 3% under a conventional tillage crop production system showed a moderately water erosion risk. Low water erosion risk classes corresponded to sites with intermediate slopes. This methodology permits to obtain a rapid assessment of water erosion risk and can be used in a medium scale territorial and environmental planification. The method can be applied in other environments through assigning indexes according with the characteristics of the site and with a right evaluation of land use pressure. The advantage of this methodology is that it may be easily applied using only a soil map.

**Key words:** Soil, Water Erosion, Risk, Cordoba

### INTRODUCCION

La cartografía de la erosión actual del suelo por el agua ha permitido obtener una evaluación del grado de afectación de una región por este proceso de degradación de suelos. Para la elaboración de un proyecto de Planificación y Ordenación Territorial y Ambiental es muy importante contar con una cartografía que permita evaluar la erosión potencial de una región. La evaluación del riesgo de erosión sería una herramienta adecuada para cumplir con este objetivo y para la toma de medidas de prevención del proceso erosivo.

Numerosas investigaciones de los diversos factores que afectan la pérdida de suelo por erosión hídrica (Smith, Wischmeier 1957; Wischmeier, Smith 1958; Wischmeier *et al.* 1958) permitieron establecer los primeros modelos empíricos para estimar la pérdida de suelo. Estos estudios llevaron al desarrollo de metodologías cuantitativas de evaluación

directa a partir de ensayos y de la medida de parámetros asociados a los sedimentos y al suelo (Gerlach 1966; Kirby, Morgan 1984; Sancho, *et al.* 1991), y de evaluación indirecta basados en métodos estadísticos (Fournier 1960), paramétricos (Wischmeier, Smith 1978; Williams *et al.* 1983; Renard *et al.* 1997) y físicos (Flanagan, Nearing 1995; Morgan *et al.* 1998 a, b). Paralelamente, se desarrollaron algunos métodos cualitativos para la obtención de una rápida percepción de los problemas de erosión que se basan en la cartografía de unidades de erosión, ambientales, geomorfológicas o de suelos que mantienen cierto grado de homogeneidad aplicando coeficientes de ponderación a los parámetros que controlan el proceso de erosión hídrica. Entre ellos se destaca el propuesto por Van Zuidan y Cancelado (1979) donde establecen unidades de susceptibilidad a la erosión a través de la valoración de los factores condicionantes del proceso de erosión. En Argentina, dicho

método fue aplicado con algunas adaptaciones por Degiovanni *et al.* (1995) y Sanabria *et al.* (1996). Otros métodos evalúan el riesgo de erosión (Ortíz *et al.* 1993) aplicando los parámetros de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (Wischmeier, Smith 1978). Cantú (1998) a partir del modelo de Van Zuidan y Cancelado (1979) desarrolló una metodología cualitativa con notación cuantitativa para evaluar el riesgo de erosión hídrica en una cuenca pedemontana de la provincia de Córdoba. El objetivo del presente trabajo es presentar y probar esta metodología, con algunas modificaciones, en la cuenca del arroyo La Colacha del Suroeste de Córdoba.

### MATERIALES Y METODOS

El área donde se aplicó esta metodología está ubicada entre los 64° 39' y 64° 50' de Longitud Oeste y los 32° 54' 20" y 33° 03' 15" de Latitud Sur, con una superficie de 195,07 Km<sup>2</sup> (19.506,79 ha). Se caracteriza por presentar un relieve complejo, moderado a fuertemente ondulado con pendientes desde cortas (<200 m) hasta extremadamente largas (>3000 m) y gradientes de 1% al 10%. Los sedimentos aflorantes son loess y loess retransportado, y en menor medida aluviales. Los suelos dominantes son Hapludoles típicos con diverso grado de desarrollo de bien drenados a algo excesivamente drenados. En menor proporción se encuentran Argiudoles típicos, Natracuoles típicos y Entisoles. El clima es templado-subhúmedo con una marcada estación seca en invierno. La precipitación media anual es de 957 mm (Estación Meteorológica Establecimiento Los Chañares, 1941-2003) y se concentra en el período octubre-abril. Durante el período otoño-invierno y parte de la primavera, las precipitaciones son reducidas y no se producen intensidades de tipo erosivo. La actividad agrícola es de primavera-verano (soja, maíz y girasol), durante el período otoño-invierno los suelos quedan en barbecho o se instalan pasturas. El uso actual más importante, teniendo en cuenta el área ocupada por cada actividad, es agrícola con ganadería subordinada (59%), en segundo término ganadero con agricultura subordinada (21%) y, por último, ganadero (20%). La carta de suelos y el mapa de uso actual de la tierra se tomaron de Cantú (1998).

La metodología utilizada para evaluar el riesgo de erosión hídrica es cualitativa con notación cuantitativa y surge de establecer la susceptibilidad de erosión y la amenaza. En este trabajo se considera que la susceptibilidad representa la fragilidad del medio natural siendo esta la condición natural o intrínseca del sistema bajo análisis; la amenaza resulta de la confrontación del sistema natural con una

determinada actividad antrópica y el riesgo es el producto entre la susceptibilidad y la amenaza.

El criterio más común para evaluar la amenaza es considerar la probabilidad de que un evento se produzca en un determinado lapso. En base a esta consideración, lo óptimo sería considerar las precipitaciones como factor causal de la erosión hídrica. Para realizar esta evaluación se necesitaría determinar la recurrencia de las precipitaciones erosivas. Esto resulta poco viable debido a la variabilidad espacial y temporal que presentan dichas precipitaciones y a la escasa disponibilidad y baja densidad de estaciones meteorológicas que presenten una serie continua suficientemente larga (más de 20 años) con registros seriados que permitirían establecer intensidades que es lo que se debería utilizar para la obtención de un mapa de erosividad de las precipitaciones (factor R). Por otra parte, estos datos solo se encuentran para una estación que cubre una amplia región como es todo el sur de Córdoba con lo cual se introducirían errores a cualquier apreciación de la erosividad. Los procesos de erosión hídrica (cárcavas, surcos y laminar) se han manifestado en forma creciente en la región a partir del cambio en el uso de la tierra de predominantemente ganadero a predominantemente agrícola y aún más cuando se produce el paso de cultivos de invierno a estivales (Cantú *et al.* 1998). Esto determinó la elección de la confrontación del sistema natural con la actividad antrópica como amenaza, considerando que el cambio de uso de la tierra es un factor determinante del proceso de erosión hídrica ya que significa la alteración de la condición física, química y bioquímica del suelo y un cambio radical en la cobertura del suelo con el absoluto dominio de los cultivos estivales.

La susceptibilidad de erosión se establece a partir de la valoración de los parámetros que intervienen en el proceso de erosión hídrica, tales como, geomorfológicos, litológicos, de suelos y de erosión anterior. Entre los elementos del sistema natural analizados no se consideró la cobertura vegetal dado que la región está totalmente antropizada ya que no quedan áreas con vegetación natural en la zona de estudio. Por lo tanto, la cobertura varía fuertemente según el uso de la tierra presentando además una variación a lo largo del año según el ciclo de vida del cultivo o las pasturas. El uso de los rastrojos como cobertura no es eficaz debido a que los mismos son pastoreados durante el invierno y lo que queda se dispersa por la fuerte acción del viento en el período previo al inicio del ciclo húmedo. Por otra parte, no existe una relación constante entre el período de máxima cobertura y el período en cual se producen las precipitaciones más intensas.

Los procedimientos de ingreso, manipulación y operación de datos para la obtención de los mapas de susceptibilidad, amenaza y riesgo

han sido ejecutados con la aplicación de un sistema de información geográfica (SIG Arc View 3.2, ESRI, Redlands, EE.UU.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los aspectos geomorfológicos considerados para evaluar la susceptibilidad son el gradiente, la longitud y la forma de la pendiente. Para el gradiente se ha adoptado el esquema del Handbook N°18 (Soil Survey Staff 1993). En todos los casos se duplicó el índice en la medida que aumentaba el gradiente excepto en el valor extremo que se consideró excesivo duplicarlo (Tabla 1). Respecto a la longitud de la pendiente se adoptó la propuesta realizada por Cantú (1998) para la zona de estudio. El criterio es que a igual gradiente la longitud controla la energía del agua (Tabla 2). El valor del índice para las pendientes más largas está vinculado a la observación de campo. La forma de la pendiente se clasificó teniendo en cuenta las formas simples y mixtas, considerando aquellas perpendiculares al contorno o radiales que son las más vinculadas con la erosión del suelo. Los índices se establecieron teniendo en cuenta la facilidad de concentrarse el agua de acuerdo a la forma de la pendiente (Tabla 3).

En los aspectos litológicos y de suelos se consideró el espesor de los sedimentos superficiales o la profundidad de los mismos hasta la roca o algún sedimento cementado (calcretos, duripanes o silcretos, fragipanes, etc.); la homogeneidad de la granulometría y el grado de desarrollo del perfil del suelo que determina la presencia o no de estructuras pedológicas, el grado de estructuración y los contenidos de coloides, entre otras características. El criterio utilizado para establecer los índices de profundidad a la roca (Tabla 4) fue considerar que a menores espesores de sedimento la saturación es más rápida y aumenta la susceptibilidad. En el caso de las texturas, los índices fueron establecidos para las presentes en el área, teniendo en cuenta que las más susceptibles son aquellas de textura arena limosa o limo arenoso muy fino y las más gruesas son las menos susceptibles (Tabla 5). El índice por grado de desarrollo del perfil fue establecido teniendo en cuenta que en la región los suelos con horizonte Btn se encuentran en planos, son los más arcillosos y

con mayor resistencia a la erosión; y los suelos con secuencias A -AC-C o A -AC son los más frágiles (Tabla 6).

En relación a la erosión anterior, se consideró un esquema cualitativo surgido de la observación de campo y de la interpretación de aerofotografías, teniendo en cuenta los grados de erosión de suelo del Handbook N° 18 (Soil Survey Staff 1951). En este caso se considera que los suelos más erosionados son más susceptibles de erosionarse debido a que son suelos de bajo desarrollo, poco profundos y al erosionarse el horizonte superior quedan expuestos horizontes mucho más frágiles, con menor estructura y menor contenido de coloides. Se consideró sólo la erosión hídrica ya que provoca rasgos mucho más evidentes y persistentes en el tiempo (Tabla 7). Los valores del índice se duplican a medida que aumenta la erosión anterior.

En base a estos parámetros, se categorizó cada una de las unidades cartográficas de suelos teniendo en cuenta que la composición de las mismas no es homogénea siendo en muchos casos asociaciones y complejos. Esta falta de homogeneidad determina que los índices resultantes son obtenidos teniendo en cuenta los porcentajes de cada taxón de suelo dando valores no enteros. Una vez ejecutada esta etapa se procedió a hacer la sumatoria de los índices obteniéndose una serie de valores para cada unidad cartográfica. En base a los mismos se establecieron rangos y clases de susceptibilidad a la erosión hídrica teniendo en cuenta que la clase más baja resulta de la suma de los valores mínimos de cada parámetro (Tabla 8).

Para evaluar la amenaza se consideraron los tipos de uso de la tierra presentes en la región de estudio teniendo en cuenta que no hay áreas con ecosistemas naturales. En las unidades de uso agrícola no se aplican prácticas de conservación que disminuirían la amenaza (Cantú 1998). En la Tabla 9 se establecen los índices para cada tipo de amenaza considerando valores entre 0 y 1 como lo establecen la mayoría de las metodologías de riesgo (Foster, Hirata 1988). El valor 0 correspondería a áreas protegidas y el 1 a áreas con agricultura intensiva.

El riesgo de erosión se obtuvo del producto de la susceptibilidad con la amenaza. Los rangos de las clases se establecieron a partir de considerar la sumatoria de los valores mínimos y máximos para determinar los extremos (Tabla 10). En la Tabla 11 se muestran los resultados de la aplicación de esta metodología en la cuenca del Arroyo La Colacha. Aplicando esta información a través de un SIG se obtuvieron los mapas de susceptibilidad de erosión hídrica (Figura 1), amenaza (Figura 2) y de riesgo de erosión hídrica (Figura 3).

Los resultados obtenidos permiten establecer que el riesgo de erosión hídrica predominante en la cuenca del Arroyo La Colacha es bajo. El riesgo es nulo para las unidades con pendientes menores al 1% y con uso ganadero; es moderado en las áreas agrícolas con pendientes mayores a 3% y bajo para las pendientes intermedias. Esta valoración es coincidente con la percepción subjetiva desarrollada a lo largo de más de veinte años de investigaciones llevadas a cabo en la región. El proceso de mayor impacto visual, aunque no el de mayor expresión areal, es la formación de cárcavas. En cambio, los procesos de erosión en surcos y laminar tienen menor impacto visual porque las operaciones de labranza tienden a homogeneizar la superficie del terreno aunque arealmente afectan mayor superficie. El análisis de imágenes satelitales, fotografías aéreas, información histórica, cambio en el uso de la tierra y el climático ha permitido establecer que la instalación y retroceso de cárcavas, la erosión en surcos y la erosión laminar coinciden con ciclos climáticos muy húmedos con tormentas de alta intensidad pero de baja recurrencia y baja a nula cobertura vegetal. Todo ello a partir de la intensificación de la agricultura en la década del 50 (Cantú 1998; Cantú *et al.* 1998; Cantú, Becker 1999). Las mediciones de pérdida de suelo por erosión laminar en forma directa han dado valores relativamente bajos ( $0,25 - 1 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , aproximadamente  $0,05 - 0,1 \text{ mm año}^{-1}$ ), dependiendo del sistema de labranza (Becker *et al.* 2002) en la unidad cartográfica LAg coincidiendo con los resultados obtenidos con la metodología expuesta.

Se concluye que la metodología

aplicada es útil para obtener una aproximación a la evaluación del riesgo de erosión hídrica y puede ser utilizada para la planificación ambiental a mediana escala. El método puede ser utilizado en otros ambientes asignando índices adecuados a las características del medio con una correcta valoración de la presión del uso de la tierra.

Esta metodología es de diagnóstico rápido y puede ser fácilmente desarrollada a partir de la información suministrada por una Carta de Suelos, presente en la descripción de las unidades taxonómicas y las unidades cartográficas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Universidad Nacional de Río Cuarto mediante el subsidio 018/C146 y por la Agencia Córdoba Ciencia (Res. 129/2001).

#### REFERENCIAS

- Becker A, Cantú M, Ossana J, Grumelli M. 2002. El escurrimiento y las pérdidas de suelo por erosión hídrica laminar, bajos diferentes sistemas de labranza, en la región pedemontana del Suroeste de la provincia de Córdoba. XIX Congreso Nacional del Agua. Villa Carlos Paz, Argentina. 2002. CD 10 pp.
- Cantú M. 1998. Estudio Geocientífico para la Evaluación Ambiental y Ordenación Territorial de una Cuenca Pedemontana. Caso: Cuenca del Arroyo La Colacha, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Río Cuarto. Departamento de Geología. Río Cuarto. Argentina. 376 pp.
- Cantú M, Becker A. 1999. El impacto del uso intensivo de la tierra en áreas templadas del centro de la República Argentina. CD de la Conferencia Internacional Científica Medio Ambiente Siglo XXI. 7 pp. Santa Clara, Cuba.
- Cantú M, Becker A, Schiavo H. 1998. La fragilidad natural del suelo y el uso del territorio como factores condicionantes del proceso de erosión en la región pampeana subhúmeda, Argentina. Proceedings 16 Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo, Francia. CD Symposium 31. 7 pág.
- Degiovanni S, Blarasín M, Cabrera A. 1995. Cartografía de Diagnóstico y Prescriptiva como base para la actualización del catastro rural y para la planificación futura del uso de los recursos naturales. Área San Basilio-Monte de Los Gauchos. Parte I: Carta de deterioro actual y de susceptibilidad a la erosión de las tierras.

- Publicación Especial N° 3 Asociación Argentina Geología Aplicada Ingeniería. p. 80-97.
- Flanagan DC, Nearing MA. 1995. USDA-Water Erosion Prediction Project Hillslope Profile and Watershed Model Documentation. NSERL Report N° 10. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory West Lafayette, Indiana 47907.
- Foster S, Hirata R. 1988. Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Manual del CEPIS. OPS Y OMS. Lima, Perú.
- Fournier F. 1960. Climat et érosion. Ed. Presses Universitaires de France 201 p. Paris.
- Gerlach T. 1966. Wspolczesby rozwój stokow w dorzeczu gornego Grajcarka (Berkid Wysoki-Karpaty Zachodnie). Prace Geograf. IG PAN 52.
- Kirby MJ, Morgan R. 1984. Erosión de Suelos. Ed. Limusa, S.A. Mexico. 375 pp.
- Morgan RPC, Quinton JN., Smith R E, Govers G J., Poesen JWA, Auerswald K, Chisci G., Torri D, Stycen ME, Folly AJV, 1998a. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): documentation and user guide, version 3.6; Silsoe College, Cranfield University, Silsoe (Bedford). Reino Unido. 22 pp.
- Morgan, RPC, Quinton JN., Smith RE, Govers GJ., Poesen JWA, Auerswald K., Chisci G, Torri D., Stycen ME. 1998b. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surface Processes and Landforms. Vol. 23. p. 527-544.
- Ortíz J; Albaladejo J; Alvarez J; Guillén F; Mena M. 1993. Evaluación del riesgo de erosión hídrica en los suelos agrícolas de la región de Murcia. Problemática Geoambiental y Desarrollo. V Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio. Murcia, España. Tomo I:701-708.
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook N°703. USDA. Government Printing Office. 384 pp. Washington, DC.
- Sanabria J; Arguello G; Manzur A. 1996. Aplicación del método de susceptibilidad a la erosión de Van Zuidan y Cancelado en la cuenca baja del Arroyo San Agustín, Córdoba, Argentina. XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Aguas de Lindoia, Brasil. CD, 06-069.
- Sancho C, Benito G, Gutierrez, M. 1991. Agujas de erosión y perfiladores microtopográficos. Cuadernos Técnicos de la Sociedad Estudios Geomorfológicos 2. 28 pp. Geoforma Ediciones.
- Smith D, Wischmeier WH. 1957. Factors affecting sheet and rill erosion. Trans. Am. Geophys. Union. 38:889-896.
- Soil Survey Staff. 1951. Soil survey manual. Agriculture Handbook 18. 2a. Edic. USDA. Government Printing Office. 503 pp. Washington, DC.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. Agriculture Handbook 18. 3a. Edic. USDA. Government Printing Office. 437 pp. Washington, DC.
- Van Zuidan RA, FI Cancelado. 1979. ITC Textbook of Photo-Interpretation Terrain analysis and classification using aerial photographs. Vol. VII. p. 3-25. International Institute for Aerial Survey and earth Sciences (ITC), Eschende, The Netherlands.
- Williams J, Renard KG, Dyke PT. 1983. EPIC A new method for assessing erosion's effect on soil productivity. J. Soil and Water Cons. 38(5): 381-383.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Am. Geophys. Union, 39:285-291.
- Wischmeier WH; Smith DD, Uhland RE. 1958. Evaluation of factors in the soil-loss equation. Agric. Eng. 39:458-462.
- Wischmeier WH, Smith DD 1978. Predicting rainfall-erosion losses. Agriculture Handbook N° 537. USDA. 380 pp. Washington.