Ciencia del Suelo 14: 42-46 1996

CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTOS PRODUCIDOS POR EROSION HIDRICA EN UNA MICROCUENCA DEL ARROYO DEL TALA (PROVINCIA DE BUENOS AIRES - ARGENTINA)

O J SANTANATOGLIA, C I CHAGAS, E A RIENZI, M G CASTIGLIONI, R SBATELLA

Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires. Av.San Martín 4453 (1417). Buenos Aires Argentina.

CHARACTERISTICS OF WATER EROSION SEDIMENTS PRODUCED IN A SMALL BASIN BELONGING TO TALA'S RIVER (BUENOS AIRES - ARGENTINA)

The organic carbon content and the particle size distribution of dispersed soils and sediments were studied in a 300 ha watershed in the Tala River Basin, San Pedro Department, Buenos Aires, Argentina. Samples were taken from the waterway area (sediments) and from the topsoil of the hillslope positions in the watershed. Sampling was performed in two periods under contrasting climate and management conditions. The organic carbon content of the sediments between sampling periods in the waterway were statistically different, whereas a significant organic carbon enrichment ratio was measured between the sediments and the soils in the hillslope positions. Larger silt content and less sand and clay content in the sediment relative to the hillslope soils were measured. The AGNPS model was employed to obtain estimates of the texture of the sediments sampled in several positions within the waterway area. Thus, the files of the model were fed with physiographic, edaphic, climate and management information from the watershed divided in 55 cells. The AGNPS estimated accurately the relationship between sand and clay content, and it underestimated the silt content of the sediments.

Key words: Watershed - Water erosion - Sediments - Texture - Organic carbon - AGNPS

INTRODUCCION

El proceso de erosión hídrica comprende subprocesos de erosión en surcos, entre surcos (comúnmente llamada erosión laminar) y cárcavas, dependiendo cada uno de ellos de la manera en que el material edáfico es desprendido y transportado fuera del sistema (Marelli 1989). La erosión entre surcos se produce generalmente en las áreas de escaso gradiente y/o cortas longitudes de pendiente, mientras que en sectores con mayor pendiente coexisten los dos primeros subprocesos mencionados. A su vez la erosión en cárcavas se genera en sectores con importante concentración de caudal hídrico, a menudo asociados a áreas de vaguadas naturales.

Cada tipo de erosión genera sedimentos con características diferenciales: la erosión entre surcos posee reducida capacidad de transporte (Meyer 1985), lo cual provoca el acarreo diferencial de partículas poco densas y de escaso tamaño tales como agregados muy pequeños, limos, arcilla y coloides orgánicos (Sharpley 1985, Chagas 1991, Rienzi, Michelena 1994; Rienzi, Genovés 1994), que poseen elevada capacidad contaminante. Además, al ser la erosión entre surcos un proceso de desgaste superficial, el material transportado proviene mayormente de ese sitio y no de la pared del surco como en la erosión en surcos. Es por esto que en parcelas donde predomina este último tipo de erosión, sus sedimentos presentan características similares a las del suelo original en cuanto a composición textural.

A nivel de cuenca, los fenómenos erosivos son complejos ya que se producen combinaciones de procesos en función de los diferentes tipos de suelo, de la variabilidad en los gradientes y longitudes de las pendientes y debido al uso y manejo diferencial de los lotes. Es por esto que la predicción de las características de los sedimentos generados a nivel de cuenca se ve enormemente dificultada. Avnimelech y Mc Henry (1984) ajustaron modelos empíricos que relacionaban las características de los sedimentos producidos en distintas cuencas de Estados Unidos, con los suelos correspondientes a las vertientes de las respectivas cuencas. En cambio, otros investigadores elaboraron modelos basados en procesos, como el AGNPS (Young *et al.* 1989). Este modelo de simulación considera al escurrimiento, los sedimentos, y el transporte de nutrientes que se producen en cuencas agrícolas.

El AGNPS ha sido probado en distintas cuencas en la parte centro norte de Estados Unidos y se ha encontrado un adecuado ajuste entre los resultados medidos y los estimados por el mismo. También fue probado en forma

preliminar en nuestro país (Chagas *et al.* 1993a). Al analizar principios básicos de este modelo fue posible advertir dos aspectos del mismo, que determinarían una falta de sensibilidad en la predicción de la variabilidad de los fenómenos erosivos en microcuencas con pendientes de reducido gradiente, como las encontradas en la Pampa Ondulada. El primero de ellos es que el AGNPS considera que parte del material desprendido por la erosión hídrica se transporta en forma de partículas elementales, y parte en forma de agregados, estando esta partición condicionada tan sólo por la textura del suelo presente en las vertientes de la cuenca. El otro aspecto a considerar es que este modelo no toma en cuenta la predominancia de la erosión laminar o de la erosión en surcos dentro de una determinada cuenca como un factor condicionante de la calidad de los sedimentos. En relación a esto se ha observado que para las condiciones de clima, fisiografía y suelos de la Pampa Ondulada se produce una importante participación relativa del fenómeno de erosión laminar (I Pla Sentis, comunicación personal), para el cual la producción de sedimentos resulta de difícil predicción (Nearing *et al.* 1990, Sharpley 1985).

Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) obtener información acerca de algunas características de los sedimentos generados en una microcuenca del Arroyo del Tala (textura y carbono orgánico) en relación a los suelos presentes en dicha microcuenca en el marco del análisis de procesos degradatorios en esos sistemas 2) comparar los resultados obtenidos con los estimados a partir del modelo AGNPS.

MATERIALES Y METODOS

Características de la cuenca

La microcuenca bajo estudio posee una superficie de 300 ha y está ubicada en la vertiente norte de la cuenca media del Arroyo del Tala, en la localidad de San Pedro, Provincia de Buenos Aires (Chagas *et al.* 1993b). Los suelos de la microcuenca corresponden a la serie Ramallo (Argiudol vértico) y sus fases por erosión (INTA 1973). El horizonte superficial de estos suelos posee en promedio 66 % de limo (47 % de limo fino y 19 % de limo grueso), y mediano contenido de materia orgánica (3 %), lo que los hace susceptibles a sufrir procesos de sellamiento y encostramiento ante el impacto de la gota de lluvia sobre suelo desnudo (FAO 1980). En las áreas con pendiente los gradientes de: 0-0,5%; 0,5-1% y 1-2% ocupan una superficie del: 22%; 35%; y 34% respectivamente, mientras que los sectores de vaguada abarcan el 9% de la superficie total de esta microcuenca.

El mapa de erosión a nivel de detalle (escala 1:20.000) elaborado en base a las pérdidas (erosión) o ganancias (sedimentación) de suelo que ocurrieron hasta el presente, indican que en esta microcuenca el 41 % de la superficie posee erosión severa, el 21 % del área posee erosión moderada, el 18 % posee erosión ligera y el 20 % restante sufrió sedimentación.

En la alta microcuenca el uso de la tierra es predominantemente agrícola, siendo la soja el cultivo más frecuente; mientras que en la mitad inferior se alterna la agricultura con la ganadería (Figura 1). Dentro del área de estudio no se utilizan prácticas conservacionistas, con la excepción de un lote sistematizado con terrazas desde hace 10 años. El drenaje natural de los suelos de la cuenca fue clasificado como moderadamente bueno de acuerdo con Soil Survey Staff (1951).

Análisis de las características de los suelos y época de muestreo

Se tomaron muestras del suelo superficial (0-10 cm) tanto en el área de vertiente (muestra compuesta de 15 submuestras) como en la vaguada (muestra compuesta de 10 submuestras), en dos épocas del año contrastantes en cuanto a las condiciones meteorológicas (Tabla 1), de cobertura y operaciones de labranzas (enero y junio de 1994). En la segunda fecha también se recogieron, entre 0 y 20 cm de profundidad, los sedimentos acumulados en una pequeña represa reguladora de caudales no erosivos existente a la salida de la microcuenca (Figura 1). La metodología seguida se adaptó a partir de los trabajos de Avnimelech y Mc Henry (1984), Walling (1988) y Neil y Mazari (1993).

El material a analizar correspondiente a la vaguada se tomó en las intersecciones de alambrados y caminos, donde se verificó la ocurrencia de procesos de sedimentación del material previamente desprendido y transportado a través de la cuenca. Por otro lado el muestreo en áreas de vertiente se realizó con el objetivo de caracterizar el suelo en los sitios generadores de sedimentos. Esto último comprendió 10 lotes ubicados en posiciones fisiográficas representativas de la microcuenca: loma, media loma y pie de loma, siguiendo el criterio de Hall y Olson 1991 (Figura 1) De las muestras de suelo obtenidas se determinó su composición granulométrica, utilizando los métodos del hidrómetro y de la pipeta (Day 1965), y el contenido de carbono orgánico a través del método de Walkley y Black (1965).

Uso del modelo AGNPS

A través del sistema de información geográfica que posee este modelo (Young *et al.* 1989, Lo 1995) se volcaron las características fisiográficas, hidrológicas, edáficas y de uso de la tierra correspondientes a la cuenca para una época del año en que el suelo se hallaba descubierto, refinado y sujeto a la acción de lluvias erosivas (primavera) (Soil Conservation Service 1975). La cuenca fue dividida en un número de celdas tal que permitiera una pormenorizada representación de las distintas situaciones de paisaje que se hallan en las vertientes y a lo largo de la vaguada de acuerdo con Hall y Olson (1991). En total se definieron 56 celdas de 6 ha cada una, conformándose para esta cuenca una superficie rectangular con un máximo de 5 celdas de ancho y 12 celdas de largo (Figura 2).

Tabla 1. Lluvias acumuladas y agrupadas según su intensidad, caídas en la cuenca en los períodos previos a las dos fechas de muestreo.

Intensidad (mm d^{-1})	Período considerado	
	agosto/93 enero/94	febrero/94 junio/94
	(mm)	
0-15	183	109
15-30	237	107
30-45	73	43
+45	92	182

Los sitios seleccionados para la toma muestras de sedimentos en la vaguada correspondieron a las celdas 11, 27, 36, 41, 51 y 55. La precipitación escogida para simular los eventos, fue de 80 mm d^{-1}, correspondiente a una tormenta tipo II (Soil Conservation Service, 1975), que se consideró suficientemente intensa como para desprender y transportar sedimentos desde las laderas hasta la vaguada. Con el propósito de obtener una estimación de la composición textural de los sedimentos en los sitios de muestreo, se tuvo en consideración el grado de sedimentación de cada una de las fracciones texturales, la composición granulométrica del suelo original y la participación relativa de los agregados en el total de los sedimentos generados. Esto es debido a que el modelo discrimina el sedimento generado en cinco categorías: limo, arcilla, arena, agregados grandes y agregados pequeños. En la mitad inferior de la cuenca el uso de la tierra ha sido durante más de 20 años de tipo rotacional, mientras que en la alta microcuenca se ha realizado agricultura continua durante igual período. Estos elementos permiten suponer que la situación que se simuló en el presente trabajo, es representativa de los eventos hidrológicos que provocaron erosión en la cuenca durante los últimos 20 años, coincidentes con un ciclo climático de intensas precipitaciones.

Análisis de la información obtenida

La comparación entre las características de los sedimentos depositados en la vaguada y las correspondientes a los suelos de las laderas de la cuenca, se efectuó mediante un análisis de diferencia de medias empleando la distribución t (Neil, Mazari 1993). Por su parte, la comparación del contenido de carbono orgánico de los sedimentos presentes en la vaguada en dos fechas sucesivas de muestreo, se realizó mediante un test de muestras apareadas (Snedecor, Cochran 1989). Este test se efectuó analizando la media de las diferencias en el contenido de carbono orgánico registradas en cada sitio de muestreo entre enero/94 y junio/94. Por otro lado se procedió a comparar las características del material depositado en la vaguada, con el que resultó de aplicar el modelo AGNPS. Esta comparación se realizó a través de un análisis de regresión.

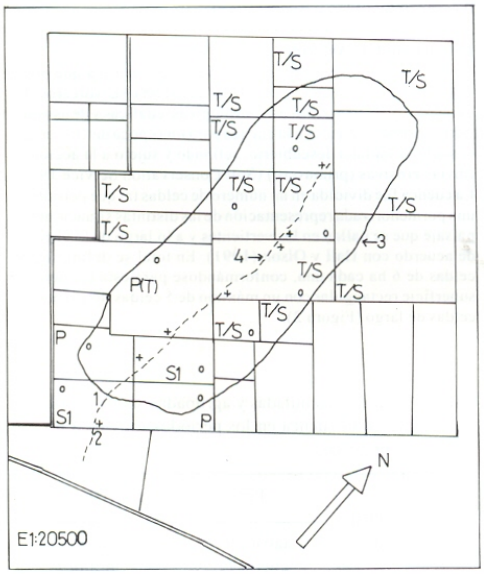

Figura 1. Uso de la tierra (P: pradera; P(T): pradera con terrazas; S1: soja de primera siembra; T/S: trigo-soja) y ubicación de los sitios de muestreo (o: vertientes; +: vaguada) dentro de la microcuenca. Referencias: 1 punto de cierre de la microcuenca para estudios hidrológicos, 2 represa, 3 límites de la microcuenca, 4 vaguada

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis del contenido de carbono orgánico

Los valores medios del contenido de carbono orgánico de los sedimentos muestreados en la vaguada en enero y junio de 1994 y el promedio de ambas fechas correspondiente a los suelos de las vertientes pueden visualizarse en la Figura 3. Cabe aclarar que este valor medio de carbono de las muestras recogidas en la vaguada en junio de 1994 coincidió con el de los sedimentos atrapados en la presa reguladora situada a la salida de la cuenca. El mayor contenido de carbono orgánico observado en junio de 1994 obedecería a la ocurrencia de lluvias más intensas en los meses previos a dicho muestreo (Tabla 1), resultando el enriquecimiento en carbono más visible en la mitad inferior de la cuenca. Esto último podría atribuírse al arrastre por las aguas de escurrimiento de sustancias carbonadas que se encontraban en forma libre o asociadas a fracciones minerales del suelo, las cuales provendrían de los lotes con soja de primera siembra (Figura 1), cosechados unos meses antes.

También en esa misma fecha de muestreo (junio/94) se pudo observar que el contenido de carbono orgánico de los sedimentos de la vaguada fue significativamente mayor ($P<0,05$) respecto del que se encontraba en los suelos de las vertientes; resultando el enriquecimiento promedio de dicho elemento de un 50%. Este valor resultó mas elevado que el estimado por Avnimelech y Mc Henry (1984) para cuencas de Estados Unidos, cuyos suelos poseían contenidos de carbono orgánico comparables a los de San Pedro. Si bien las causas de estas diferencias sólo pueden ser explicadas a través de un estudio más detallado del proceso erosivo en la microcuenca bajo estudio, los resultados hallados podrían estar asociados a la preponderancia de la erosión laminar sobre otro tipo de erosión

Análisis de la distribución de las partículas elementales

Avnimelech y Mc Henry (1984) observaron que a diferencia de lo que ocurría con el carbono orgánico, existía una importante dispersión en los valores del contenido de arcillas presentes en los sedimentos generados en las cuencas por ellos estudiadas. Esto les impedía ajustar modelos matemáticos que relacionaran la calidad de dichos sedimentos con las caracteristicas de

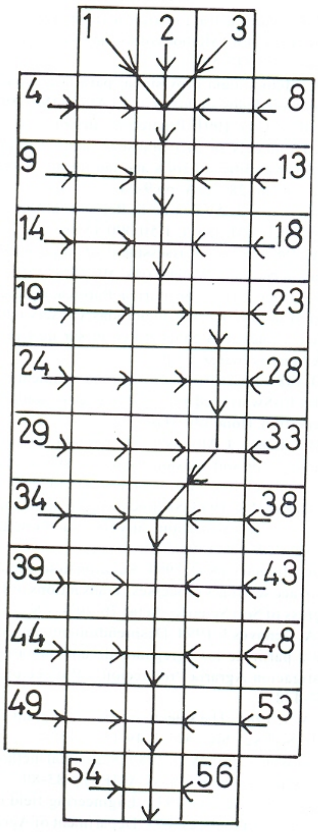

Figura 2. Grilla con celdas numeradas y dirección de los escurrimientos.

los suelos presentes en las vertientes de las mencionadas cuencas. En nuestro trabajo se observó que la composición textural de los sedimentos no variaba significativamente entre las fechas de muestreo de enero y junio de 1994 a pesar del distinto volumen e intensidad de las lluvias caídas en los períodos analizados (Tabla 1). En los sedimentos se midió un enriquecimiento promedio en el contenido de limo del 45 % (P<0,01) mientras que el porcentaje de arcilla se redujo significativamente en un 68 % (P<0,01) y el contenido de arena también disminuyó en un 50 % (P<0,01) respecto de los suelos de las vertientes (Figura 4). Si bien alguno de estos resultados indicarían una preponderancia relativa del proceso de erosión laminar, se procedió a utilizar el modelo AGNPS con la finalidad de tener nuevos elementos para la discusión.

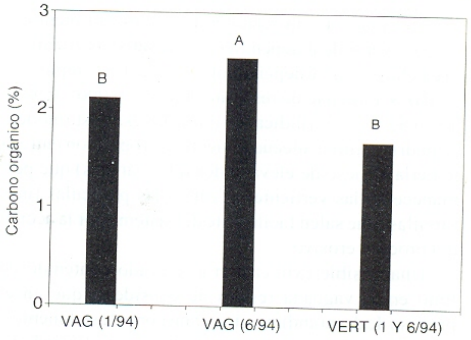

Figura 3. Valores medios de carbono orgánico en los sedimentos de la vaguada (VAG.) y en el suelo de las vertientes (VERT.), en las dos fechas de muestreo (enero y julio de 1994). Letras distintas implican diferencias estadísticas significativas (P<0,05).

Empleo del modelo AGNPS en la cuenca

Al simular una lluvia intensa (80 mm d^{-1}) se obtuvo un volúmen de escurrimiento de 30 mm (39%), que concuerda con los valores esperables para esta cuenca en similares condiciones de clima y suelo (Chagas *et al.* 1993b). Por su parte el modelo indica que de las 10 t ha^{-1} de suelo movilizadas por la erosión hídrica, tan sólo el 8% de esa cantidad habría salido fuera de la cuenca debido a los procesos de sedimentación. Los valores de limo estimados a partir de los resultados elaborados por el modelo, resultaron en promedio un 40% menores respecto a la proporción en que se encontró dicha partícula elemental en los sedimentos recogidos de la vaguada.

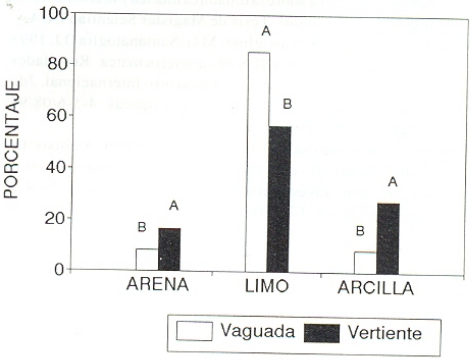

Figura 4. Distribución porcentual de las partículas elementales en los sedimentos de la vaguada y en los suelos de las vertientes. Letras distintas en cada partícula elemental, implican diferencias estadísticas significativas (P<0,01) entre lugares de muestreo

No obstante esto, la relación arcilla/arena obtenida a campo (variable independiente) fue satisfactoriamente predicha (variable dependiente) mediante el empleo del AGNPS. La ecuación resultante fue: $y = -0{,}006 + 0{,}973x$ ($r^2 = 0{,}85$, $P > 0{,}01$) indicando que a través de este modelo se podría estimar adecuadamente la proporción entre el material grueso de elevada densidad (arenas) que permanece en las vertientes, frente a las partículas finas (arcillas) que salen fácilmente del sistema por la acción del proceso erosivo.

Una posible explicación al elevado contenido de limo en la vaguada resulta de considerar que en el proceso de desprendimiento y transporte de sedimentos, existió una rotura de agregados mayor que la predicha por el modelo. El limo es una partícula elemental que abunda en los suelos de las vertientes de la microcuenca, encontrándose en un porcentaje del 60%. A su vez, esta fracción no promueve la formación de agregados y es transportada más fácilmente que la arena, al mismo tiempo que sedimenta más rápidamente que la arcilla. En consecuencia, resulta posible considerar que los porcentajes relativamente elevados de limo en los sedimentos de San Pedro estarían reflejando una importante rotura de agregados durante el proceso erosivo, acompañada por la sedimentación de parte del producto de dicha rotura, a lo largo de la vaguada.

REFERENCIAS

Avnimelech Y, Mc Henry J R, 1984. Enrichment of transported sediments with organic carbon, nutrients and clay. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:259-266

Chagas C I, 1991. Efectos de la rugosidad superficial y el nivel de degradación física sobre la dinámica hídrica y la erosión entre surcos en un Argiudol. Tésis de Magister Scientiae UBA

Chagas C I, Rienzi E A, Castiglioni M G, Santanatoglia O J, 1993 a. Uso del modelo AGNPS en la microcuenca. Resultados preliminares. En actas del 1er Encuentro Internacional, 2do Encuentro Nacional de Comités de Cuencas .4-5-6/08/93 Villa Carlos Paz. Córdoba. Argentina

Chagas C I, Santanatoglia O J, Rienzi E A, 1993 b. Análisis del escurrimiento de una microcuenca utilizando distintas metodologías. Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales 8: 177-190

Day P R, 1965. Particle fractionation and particle-size analysis. *In*: C.A.Black (Ed.) Methods of soil analysis. Part I. Am.Soc. Agr. No 9. pp 545-567.

FAO 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos Vol I FAO ROMA 86 pp.

Hall G F, Olson C G, 1991. Predicting variability of soils from landscape models. *In*: M.J. Mausbach and L.P.Wilding (Ed.) Spatial variabilities of soils and landforms. SSSA Special Publication no.28, USA. pp 9-24

INTA 1973. Carta de Suelos de la República Argentina Hoja 3360-33 Pérez Millán, E 1:50.000 45 pp.

Lo K F A, 1995. Erosion assessment of large watersheds in Taiwan. J. Soil and Water Cons. 50: 180-183

Marelli H J, 1989. La erosión hídrica. Publicación técnica N° 1. Proyecto de alternativas mejoradas conservacionistas de producción agricola ganadera en el sur de Córdoba.EEA INTA Marcos Juarez. 20 pp.

Meyer L D, 1985. Interrill erosion rates and sediment characteristics. En El-Swaify (ed.) Int. conference on soil erosion and conservation. Honolulu, Hawaii

Nearing M A, Lane L J, Alberts E E, Laflen J M, 1990. Prediction technology for soil erosion by water, status and research needs. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:1702-1711

Neil D T, Mazari R K, 1993. Sediment yield mapping using small dam sedimentation surveys, southern tablelands, New South Wales. Catena 20:13-25

Rienzi E A, Michelena R O, 1994. Relation to soil detachment at the surface sealing's processes. Transactions of 15th World Congress of Soil Science. Actas 7b:207-208

Rienzi E A, Genovés J, 1994. Desprendimiento de partículas de suelo a partir de los agregados de una cama de siembra. Investigación Agraria Producción y Protección Vegetales 9:427-438

Sharpley A N, 1985. The selective erosion of plant nutrients in runoff. Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1527-1534

Snedecor G W, Cochran W G, 1989. Statistical methods. 8th Edn (Iowa State University Press/AMES).p.83-89

Soil Conservation Service 1975. Engineering field manual for Conservation Practices. U.S. Department of Agriculture

Soil Survey Staff 1951. Soil survey manual Washington DC USDA Agric. Handbook N° 18, 503 pp.

Walkley y Black, 1965. Organic matter method. *In*: C. A. Black (Ed) Methods of soil analysis. Part 2. Am.Soc.Agr. No 9. pp 1372-1376.

Walling D E, 1988. Measuring sediment yield from river basins. In: Lal R.(ed) Soil erosion research methods. Soil and Water Cons. Soc.,Iowa, USA,and Int. Soc. of Soil Sci., Wageningen, Holland; pp 39-73

Young, R A, Onstad, C A, Bosch, D D, Anderson, W P, 1989. AGNPS: A non point source pollution model for evaluating agricultural watersheds. J. Soil and Water Cons. 44 : 168-172