

EROSIONABILIDAD ACANALADA DE UN ANDOSOL EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA EN LA MESETA TARASCA, MICHOACÁN

Rill Erodibility of an Andisol Under Two Tillage Systems in the Meseta Tarasca, Michoacán

Miguel A. Velásquez-Valle^{1‡}, Mario R. Martínez-Menes², Miguel Bravo-Espinosa¹, Jaime de J. Velázquez-García¹, Ken N. Potter³ y Mario Tiscareño-López⁴

RESUMEN

El parámetro de erosionabilidad acanalada (K_r) se utiliza para estimar el proceso de desprendimiento y acarreo de partículas de suelo por acción del flujo concentrado. La resistencia del suelo a este proceso depende directamente de las propiedades intrínsecas del mismo. Para determinar este parámetro en un Andisol, se utilizó un equipo acondicionado con una boquilla sumergible colocada a una distancia de 16.5 cm sobre la superficie del suelo que libera un gasto de agua a presión. La velocidad del flujo de agua se aplicó a 301, 464 y 556 cm s^{-1} . Los tratamientos evaluados fueron labranza convencional y de conservación (labranza cero más 100% de cobertura de residuos). Los resultados indican que las diferencias del parámetro de erosionabilidad acanalada entre labranza convencional y de conservación, 0.184 y 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$, respectivamente, son mayores antes de las lluvias, debido a las prácticas de preparación del suelo en el sistema convencional. Sin embargo, el valor de K_r para el tratamiento de labranza de conservación se encontró similar antes y después de la época de lluvia 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$ a causa de un proceso de consolidación de la capa superficial del suelo.

Palabras clave: erosión, flujo concentrado, índice jet, boquilla sumergible.

¹Centro Nacional de Investigaciones para Producción Sostenible, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 7-111, Morelia, Michoacán, México.

[‡] Autor responsable (velasquez.agustin@inifap.gob.mx)

² Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, estado de México.

³ USDA Grassland, Soil and Water Laboratory. Temple, TX.

⁴ Campo Experimental de Pabellón, INIFAP. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

Recibido: Octubre de 2003. Aceptado: Agosto de 2005.
Publicado en Terra *Latinoamericana* 24: 119-123.

SUMMARY

The rill erodibility parameter (K_r) is used to measure soil particle detachment and transport process by concentrated flow. Soil resistance to this process depends directly upon its intrinsic properties. Equipment with a submerged jet nozzle was used to apply water flow and to determine the K_r parameter for an Andisol. The submerged jet nozzle was adjusted to be 16.5 cm above soil surface and water flow velocity was applied at 301, 464, and 556 cm s^{-1} . The two tillage systems evaluated were conventional and conservation tillage (No till and 100% of crop residue for cover). Results indicated that rill erodibility differences between conventional and conservation tillage treatments, 0.184 y 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$, respectively, were more important before the rainy season due to soil preparation for the first treatment. However, K_r values for the conservation tillage treatment were equal before and after the rainy season 0.012 $\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$ caused by a soil surface consolidation process.

Index words: erosion, concentrated flow, jet index, submerged jet.

INTRODUCCIÓN

En los modelos de erosión basados en procesos hidrológicos y en mecánica de erosión como el 'water erosion prediction project' (WEPP) (Lane y Nearing, 1989) se utilizan ecuaciones de conservación de masa y *momentum* para simular con mayor precisión el proceso erosivo. En el modelo WEPP este proceso está representado por la ecuación propuesta por Foster y Meyer (1972):

$$\frac{dG}{dx} = D_i + D_f \quad (1)$$

donde: x representa la distancia en un plano (L), G es la carga de sedimento transportado ($M T^{-1} L^{-1}$), D_i es

la tasa de erosión del área entre canalillos ($M L^{-2} T^{-1}$) y D_f es la tasa de erosión en áreas de flujo concentrado ($M L^{-2} T^{-1}$). En el caso de desprendimiento de partículas de suelo en áreas de flujo concentrado, la tasa de erosión es modelada con la ecuación:

$$D_f = D_c (1 - G/T_c) \quad (2)$$

donde: D_c es la capacidad de desprendimiento por flujo concentrado ($M L^{-2} T^{-1}$) y T_c es la capacidad de transporte de sedimentos del flujo ($M L^{-1} T^{-1}$). Cuando el esfuerzo cortante del flujo es mayor o excede al esfuerzo crítico, la capacidad de desprendimiento por flujo concentrado (D_c) se expresa como:

$$D_c = K_r (t_f - t_c) \quad (3)$$

donde: K_r es el parámetro de erosionabilidad acanalada ($1 T^{-1}$), t_f es el esfuerzo cortante promedio del flujo actuando sobre el suelo ($M L^2$) y t_c es el esfuerzo crítico cortante del suelo ($M L^2$) (Ascough *et al.*, 1997). Según estimaciones de Selby (1991), la proporción de sedimentos removida por la erosión acanalada varía de 50 a 90% en áreas de ladera con respecto a la erosión laminar.

Desde la década de los veinte, se empezó a reconocer que los suelos difieren en su capacidad para resistir el proceso de erosión (Bennett, 1926). Posteriormente, otros trabajos aportaron grandes conocimientos para clarificar la importancia del concepto de erosionabilidad del suelo en relación con el proceso de erosión hídrica (Middleton, 1930; Baver, 1933; Cook, 1936 y Wischmeier y Smith, 1965, citados por Bryan *et al.*, 1989). Sin embargo, todavía a finales de los ochenta no existía una clara definición del término de erosionabilidad del suelo (Bryan *et al.*, 1989). Una de las definiciones más aceptadas es la que propusieron Lal y Elliot (1994) e indica que la erosionabilidad acanalada (K_r) es el proceso de desprendimiento y acarreo de partículas de suelo por acción del flujo concentrado que se forma durante el escurrimiento. Existen evidencias de que el parámetro de erosionabilidad acanalada varía de acuerdo con el uso y tipo de suelo. Se han reportado rangos del parámetro K_r para diferentes usos; por ejemplo, para suelos agrícolas los intervalos observados fueron de 0.0008 a 0.0031 $s m^{-1}$ Norton y Brown (1992). En México, Villar *et al.* (1998) reportaron un valor del parámetro K_r de

0.0043 $s m^{-1}$ para suelos con uso agrícola del estado de Chiapas. En Andosoles con uso agrícola del estado de Michoacán, se reportaron valores de K_r de 0.0002 y 0.083 $s m^{-1}$ para sistemas de labranza cero (con 100% de cobertura de residuos) y convencional, respectivamente (Tiscareño *et al.*, 1999).

Los objetivos del presente estudio fueron: a) presentar un método alternativo para la determinación del parámetro erosionabilidad acanalada (K_r) y b) reportar los valores del parámetro K_r para dos sistemas de labranza en un Andosol.

MATERIALES Y MÉTODOS

El lugar donde se estableció el experimento se encuentra ubicado en la cuenca del Lago de Pátzcuaro en el estado de Michoacán. La unidad de suelos (FAO-UNESCO, 1990) representativa de la cuenca son los Andosoles. Estos suelos se caracterizan físicamente por una textura media a arenosa, con poca o nula pedregosidad superficial. Son suelos sin estructura y fácilmente erosionables por el agua y el viento, en especial cuando están secos o con un uso agrícola sin prácticas de conservación. La profundidad de los suelos, en general, es mayor que un metro. Considerando las condiciones fisiográficas de la región, la pendiente de los terrenos agrícolas en la cuenca varía de 2 a 45%. La mayoría de los suelos son de baja fertilidad, pobres en materia orgánica y con una densidad aparente menor que 0.8 $g cm^{-3}$ (Velásquez *et al.*, 1997). El sitio experimental se encuentra junto a la comunidad rural de Santa Isabel de Ajuno, en el municipio de Pátzcuaro, Michoacán. En este lugar, desde 1995 se establecieron varios tratamientos de manejo de suelo en lotes de escurrimiento tipo Wischmeier (Wischmeier y Smith, 1978) con el objetivo de realizar una evaluación de su impacto sobre aspectos hidrológicos y de erosión con el cultivo de maíz. A partir de ese año, el cultivo y manejo en los tratamientos de labranza han sido constantes.

El método y equipo utilizado en este estudio fueron descritos por Hanson (1991) y Allen *et al.* (1997). El equipo necesario para obtener los valores de campo se muestra en la Figura 1. La determinación en campo del parámetro de K_r consistió en aplicar a presión una cantidad de agua sobre el suelo y en función de las características y condición del suelo se cuantificó la respuesta

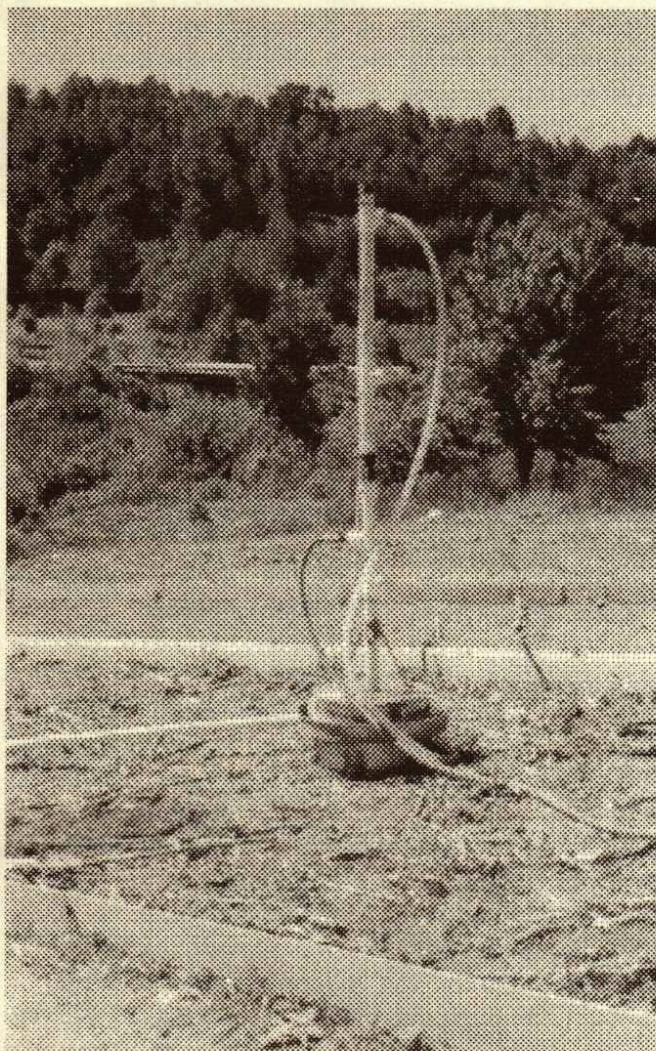


Figura 1. Determinación del parámetro K_r en un lote de escurrimiento de labranza de conservación en Santa Isabel de Ajuno, Pátzcuaro, Michoacán.

hidrológica. Inicialmente, la parte basal del equipo que es un anillo metálico, se enterró y se niveló. Después, sobre la parte galvanizada se colocó un acrílico para tener un nivel de referencia inicial de la superficie del suelo y se ubicó el tubo con la boquilla a la distancia correcta sobre la superficie del suelo (16.5 cm). Una vez realizado lo anterior, se llenó de agua el interior de la estructura galvanizada, evitando alterar físicamente la superficie del suelo. Antes de iniciar la prueba se puso nuevamente el tubo con la boquilla sobre la estructura galvanizada y con la fuente de energía se inyectó el agua dentro del mismo.

Cuando el nivel del agua alcanzó la salida, se registró el tiempo de inicio de la prueba. Después de diez minutos de iniciada, se suspendió la inyección de agua al tubo, éste se retiró y se determinó la

profundidad del orificio causada en el suelo por el chorro de agua. Esta operación se repitió dos veces cada diez minutos, antes de cambiar a la segunda y tercera posición de salida. Con este procedimiento en campo, por sitio de muestreo se obtienen nueve lecturas de la profundidad producida por el chorro de agua aplicada. Mediante un análisis de regresión lineal simple entre la profundidad producida (cm) en cada lectura y la presión utilizada, se obtuvo el valor de la pendiente de cada ecuación, el cual corresponde al índice (J_i); posteriormente, se substituyó este valor para obtener el valor de K_r (Hanson, 1991) en la ecuación:

$$K_r = 0.003 e^{385 J_i} \quad (4)$$

Para la realización de este estudio, se seleccionaron dos tratamientos de labranza contrastantes en intensidad de laboreo y porcentaje de cobertura con residuos en la superficie del suelo. El tratamiento de labranza convencional consiste en retirar el residuo de cultivo de la cosecha anterior, realizar prácticas de barbecho y rastreo antes de la siembra, y una escarda para el control de malezas como lo hace el productor de la región. El tratamiento de labranza de conservación permite dejar 100% de residuos de maíz de la cosecha anterior y sembrar, en forma directa, sin mover el suelo. Después de la cosecha del grano de maíz, el rastrojo se corta y se desmenuza simulando el picado de una desvaradora y se deja como cobertura sobre la superficie del suelo. Con esta cobertura por residuos y con la cobertura vegetal del cultivo durante el ciclo se asegura una protección adecuada al suelo por un mayor tiempo. La pendiente en los lotes de labranza convencional y de conservación es de 9.3 y 10.1%, respectivamente. Los efectos acumulados de cinco años de ambos tratamientos sobre algunas propiedades físicas y materia orgánica del suelo se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Propiedades físicas y materia orgánica del suelo en lotes de escurrimiento con labranza convencional y de conservación.

Variable	Unidad	Labranza convencional	Labranza de conservación
Materia orgánica	%	2.01	4.31
Densidad aparente	$g\ cm^{-3}$	0.95	0.89
Conductividad hidráulica saturada	$mm\ h^{-1}$	5.3	59.7

En campo, las fechas de determinación del parámetro K_r fueron el 10 de noviembre de 1999, después del periodo de lluvias (Potter *et al.*, 2002) y el 20 de marzo del 2000 (antes del periodo de lluvias). La condición física del suelo más contrastante entre estas dos fechas fue la falta de agregación entre las partículas de suelo, ya que en la fecha de determinación antes del periodo de lluvias, el suelo en el tratamiento de labranza convencional se encontraba totalmente "suelto" por la reciente aplicación de las prácticas de arado y rastreo. La condición del suelo en el lote de labranza de conservación, específicamente la capa superficial del suelo, permaneció estabilizada todo el año debido a procesos de formación de estructura (Tiscareño *et al.*, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2, se presentan los valores de K_r para las dos fechas de muestreo y los dos tratamientos de labranza.

Variación Estacional

Los resultados obtenidos señalan que la susceptibilidad del suelo a ser erosionado es modificada temporalmente por el manejo del suelo. La variación estacional más importante del parámetro K_r se observó en el tratamiento de labranza convencional, debido al manejo o a las actividades de movimiento de suelo realizadas. Es pertinente señalar que con el sistema de labranza convencional después de aplicar las escardas y hasta el final del ciclo de cultivo, existe un efecto de estabilización o consolidación de la capa superficial del suelo basado principalmente en un proceso de sellado de la misma (Hillel, 1980). Lo anterior

Cuadro 2. Variabilidad estacional del parámetro de erosionabilidad acanalada (K_r) para los tratamientos de labranza en Santa Isabel de Ajuno, Mich.

Tratamiento	Antes del temporal		Después del temporal [†]	
	J_i^+	K_r	J_i	K_r
		$\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$		$\text{cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$
Labranza convencional	0.0107	0.184	0.0031	0.010
Labranza de conservación	0.0037	0.012	0.0036	0.012

[†] Fuente: Potter *et al.* (2002). ⁺ J_i = parámetro de la Ecuación 4.

justifica la diferencia encontrada entre los valores reportados por Potter *et al.* (2002) y los encontrados en el presente estudio.

Por otro lado, con respecto al comportamiento de los valores de K_r en suelos bajo labranza de conservación, puede señalarse que la capa superficial del suelo no responde de manera diferente en un periodo corto de tiempo (de noviembre 1999 a marzo 2000); que permita encontrar valores de K_r diferentes, como los observados en el tratamiento de labranza convencional. Por ello, las tasas de pérdida de suelo que se han reportado en los lotes con labranza conservacionista han sido mas bajas con respecto a los tratamientos donde se realizan prácticas de movimiento de suelo (Velásquez *et al.*, 1997).

Impacto de los Tratamientos de Labranza

En la Figura 2, la pendiente positiva de la línea de regresión para labranza convencional (LT) indica que las capas superficiales del suelo no ofrecen resistencia al desprendimiento y remoción por la acción de la aplicación del flujo; mientras que en el caso de las capas superficiales del suelo con labranza de conservación (después de cinco años con este sistema de manejo) se han creado las condiciones para resistir la acción erosiva del flujo. La resistencia lograda en suelos con labranza de conservación es debida a incrementos en el contenido de materia orgánica que favorecen la formación de estructuras con mayor estabilidad (Tiscareño *et al.*, 1999; Hillel 1980).

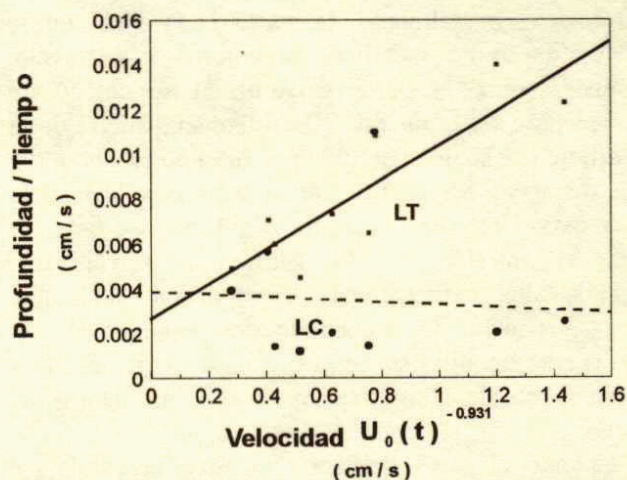


Figura 2. Relación entre la función de velocidad y la profundidad para los tratamientos de labranza convencional (LT) y de conservación (LC).

CONCLUSIONES

- Con el método propuesto por Hanson (1991) para determinar el parámetro de erosionabilidad acanalada (K_r) se identificaron diferencias entre los tratamientos de sistemas de labranza en estudio. Las principales diferencias se encontraron antes de la época de lluvia, debido a que la capa superficial del suelo en cada tratamiento presentó condiciones físicas contrastantes determinadas por su manejo.

- El parámetro de erosionabilidad acanalada (K_r) para un Andosol con labranza de conservación fue de $0.012 \text{ cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$ para antes y después del periodo de lluvias, que fueron las dos épocas de muestreo. Con respecto a la labranza convencional, el parámetro K_r observado fue de 0.184 y $0.010 \text{ cm}^3 (\text{N-s})^{-1}$, para antes y después de las dos épocas de muestreo, respectivamente. Estas diferencias sugieren que el manejo del suelo, de labranza cero más una cobertura de residuos de 100%, reduce la susceptibilidad de los Andosoles a erosionarse por la acción del flujo concentrado (erosión en surcos). Lo anterior tiene relevancia debido a que en la región se practica la agricultura de laderas (laboreo excesivo y sin cobertura) y los riesgos de formación de canalillos, arroyuelos y/o cárcavas dentro de las parcelas se incrementan con la ocurrencia de tormentas de alta intensidad.

LITERATURA CITADA

- Allen, P.M., J. Arnold y E. Jakubowski. 1997. Design and testing of a simple submerged-jet device for field determination of soil erodibility. *Environ. Eng. Geosciences* 3: 579 - 584.
- Ascough II, J.C., C. Baffaut, M.A. Nearing y B.Y. Liu. 1997. The WEPP watershed model: I. Hydrology and erosion. *Trans. ASAE* 40: 921-933.
- Bennett, H.H. 1926. Some comparisons of the properties of humid-tropical and humid-temperate American soils, with special reference to indicated relations between chemical composition and physical properties. *Soil Sci.* 21: 349-375.
- Bryan, R.B., G. Govers y J. Poesen. 1989. The concept of soil erodibility and some problems of assessment and application. *Catena* 16: 393-412.
- FAO-UNESCO. 1990. Mapa mundial de suelos, leyenda revisada. Versión en español, preparada por la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Roma, Italia.
- Foster, G.R. y L.D. Meyer. 1972. Transport of soil particles by shallow flow. *Trans. ASAE* 15: 99-102.
- Hanson, G.J. 1991. Development of a jet index to characterize erosion resistance in earthen spillways. *Trans. ASAE* 34: 2015-2020.
- Hillel, D. 1980. *Fundamentals of soil physics*. Academic Press. New York.
- Lal, R. y W. Elliot. 1994. Erodibility and erosivity. pp. 181-208. *In: Lal, R. (ed.). Soil erosion research methods*. 2nd ed. Soil and Water Conservation Society. Ankeny, IA.
- Lane, L.J. y M.A. Nearing (eds.). 1989. *Water Erosion Prediction Project: hillslope profile model documentation*. Report 2. National Soil Erosion Research Laboratory. US Department of Agriculture. West Lafayette, IN.
- Norton, L.D. y L.C. Brown. 1992. Time-effect on water erosion for ridge tillage. *Trans. ASAE* 35: 473-478.
- Potter, K.N., J. de J. Velázquez-García y H.A. Torbert. 2002. Use a submerged jet device to determine channel erodibility coefficients of selected soils of Mexico. *J. Soil Water Conserv.* 57: 272-277.
- Selby, M.J. 1991. *Hillslope materials and processes*. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Tiscareño, L.M., M. Tapia-Vargas, A.D. Báez-González y M. Velásquez-Valle. 1999. Simulación de lluvia para la caracterización hidrológica y de erosión de suelos bajo labranza convencional y labranza cero. pp. 99-114. *In: Uso de lluvia artificial para parametrizar modelos de procesos hidrológicos*. Libro Científico 1, Capítulo VII. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria-Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. Gómez Palacio, Durango, México.
- Velásquez-Valle, M.A., M. Tiscareño, R. Claverán y M. Gallardo. *Erosión y productividad bajo labranza de conservación*. I. Avances de investigación en suelos de Ando de Michoacán. 1997. Folleto Técnico 1. Centro Nacional de Investigación en Producción Sostenible-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Morelia, Michoacán, México.
- Villar-Sánchez, B., B. Figueroa-Sandoval, J.L. Oropeza-Mota, L. Landois-Palencia y V. Volke-Haller. 1998. Erosionabilidad de suelos y su impacto en la productividad del maíz en el trópico mexicano. *Agrociencia* 32: 199-207.
- Wischmeier, W.H. y D.D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA Handbook 537. US Government Printing Office. Washington, DC.