

EFFECTO DEL GRADIENTE Y ASPECTO DE LA PENDIENTE EN LA EROSION DE LADERAS DE SECANO DE CHILE CENTRAL

Manuel Casanova, Julio Haberland, Oscar Seguel, Walter Luzio.
Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, mcasanov@uchile.cl

INTRODUCCIÓN. La geomorfología y el régimen pluviométrico determinan procesos de erosión hídrica alarmantes de los suelos de Chile. Este tipo de degradación es exacerbado por prácticas agrícolas inadecuadas, por eventos de precipitación concentrados en invierno y suelos en posición de ladera desprovistos de cubierta vegetal. Considerando que una de las zonas silvoagropecuarias con mayor degradación de suelos por erosión la constituye el secano de la Cordillera de la Costa, en el centro del país, se precisa estimar la dinámica erosiva de los suelos en esta macro-región ante distintos escenarios de uso del recurso.

Las características de las precipitaciones naturales (intensidad, duración y frecuencia) de la zona y su relación con la tasa de infiltración del suelo, determinan la cantidad de escorrentía superficial. En zonas de laderas, cuando la intensidad de precipitación es superior a la tasa de infiltración del suelo, no solo se produce la acumulación del agua en superficie, sino que se movilizada en la forma de escorrentía conjuntamente con suelo. Todo ello, en función de elementos de la pendiente tales como el gradiente (inclinación), el aspecto (exposición), el largo y configuración de la pendiente.

El objetivo de esta investigación es evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica en función del gradiente y el aspecto de la pendiente en un suelo del secano interior de la zona central de Chile.

MATERIALES Y MÉTODOS. El estudio se realizó (2002 y 2003) en dos laderas de exposición opuestas (polar y ecuatorial), en una microcuenca del secano interior de la zona central de Chile. Dentro de la estación experimental Germán Greve S. (33° 28' S – 70° 50' O), de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, los suelos de estas laderas se clasifican como Typic Haploxeroll. (4); el clima es descrito como templado mesotermal, estenotérmico, mediterráneo, semiárido.

Se establecieron 18 unidades experimentales o parcelas (2 x 1 m, delimitadas con latón) cuyo interior se mantuvo libre de vegetación. Nueve de

estas parcelas se localizaron en ladera de exposición ecuatorial (E) y otras nueve en ladera de exposición polar (P). Se dispusieron en tres rangos de gradiente de pendiente (11 - 16%, 19 - 21% y 26 - 29%) en cada ladera, considerando tres repeticiones. Previo al inicio del ensayo, los horizontes superficiales de cada parcela fueron muestreados para análisis físicos básicos, determinándose separados texturales (hidrómetro de Bouyoucos), densidad aparente (método del terrón), retención de agua a 33 y 1.500 kPa (olla y plato a presión) de acuerdo a Klute (9). La conductividad hidráulica saturada fue determinada con infiltrómetro de disco (1).

Para cada evento de precipitación natural se registró su intensidad (pluviógrafo mecánico), se midió el volumen total de escorrentía en cada una de las 18 parcelas (recibido en estanques), para en laboratorio determinar el contenido de sedimentos mediante una variante del método indicado por Veiga y Prado (11). En varias alícuotas del fluido, secadas a 70°C por 2 a 3 días, se determinó por gravimetría la masa de partículas desprendidas por erosión.

El ensayo se realizó bajo un diseño de parcelas divididas, en el cual las subparcelas correspondieron a cada evento de precipitación natural, ocho en total. Los tratamientos corresponden a 48 (combinación de 2 factores exposición, 3 gradientes de pendiente y 8 subparcelas o eventos). Los resultados se sometieron a ANDEVA y se realizó la prueba de comparación de medias por medio del método SNK (Student-Newman-Keuls), a un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN. En el Cuadro 1 se presenta la caracterización física general de los suelos de las unidades experimentales, advirtiéndose homogeneidad, entre las repeticiones del gradiente de pendiente (GP), contenido de agua inicial (W), la densidad aparente (Db), textura, retención de agua y conductividad hidráulica (K) del suelo.

Cuadro 1. Propiedades físicas del suelo en cada unidad experimental.

Parcela	GP	Retención de agua		Textura arcilla/limo/arena	Db Mg m ⁻³
		33 kPa	1500 kPa		
		-----(-)-----			
Eb1	14,4	10,7	20,1	20,0/25,0/55,0	1,6
Eb2	13,9	10,0	20,5	17,4/26,0/56,6	1,5
Eb3	13,4	10,5	20,0	17,5/26,4/56,1	1,6
Em1	19,2	17,2	20,3	19,0/25,5/55,5	1,7
Em2	19,9	15,2	19,9	19,1/28,0/52,9	1,6
Em3	21,0	14,4	19,7	19,2/28,4/52,4	1,7
Ea1	28,8	16,2	22,9	19,0/30,5/50,5	1,7
Ea2	28,3	14,2	22,8	24,8/33,7/41,5	1,7
Ea3	26,7	13,4	23,3	21,1/37,9/41,0	1,7
Pb1	13,7	15,9	20,0	19,0/25,5/55,5	1,4
Pb2	10,2	13,9	20,2	21,1/32,9/46,0	1,5
Pb3	15,7	13,1	20,2	21,2/33,3/45,5	1,4
Pm1	20,9	10,9	20,4	19,0/25,5/55,5	1,4
Pm2	20,0	10,4	20,4	19,3/26,1/54,6	1,4
Pm3	20,7	11,4	20,6	19,4/26,5/54,1	1,4
Pa1	27,9	9,50	22,3	19,0/25,5/55,5	1,7
Pa2	28,7	9,80	22,3	19,0/31,8/49,2	1,7
Pa3	26,4	10,0	22,2	19,1/32,2/48,7	1,7

Db: densidad aparente; GP: gradiente de pendiente; E y P: aspecto ecuatorial y polar; a, m, b: gradiente alto, medio y bajo; 1,2,3: repeticiones

Las precipitaciones naturales más importantes que se registraron durante el período de estudio, fueron denominadas con el término descriptivo F y cada evento se ordenó cronológicamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de la lluvia natural en cada evento

Evento	Fecha	Cantidad (mm)	Duración (h)	Intensidad		Lluvia previa (días)
				media	máxima	
				--(mm h ⁻¹)---		
F2	05-08-02	18,7	35,5	0,5	3,2	>25
F3	18-08-02	24,8	18,0	1,4	2,0	13
F4	23-08-02	49,9	12,0	4,2	3,9	5
F5	06-06-03	9,80	8,0	1,2	1,2	>25
F6	02-07-03	5,20	5,0	1,0	3,1	25
F7	10-07-03	24,1	20,0	1,2	2,3	8
F8	31-07-03	1,20	1,5	0,8	1,0	21
F9	04-08-03	3,10	3,5	0,9	1,9	4

Entre eventos, los valores significativamente mayores de erosión (*) se observan en los eventos F4 y F7 (Cuadro 3), para laderas de exposición ecuatorial y prácticamente en todos los gradientes de pendiente; para laderas de aspecto

polar este hecho solo se verifica en gradientes altos (Pa). Esto debido a que ambos eventos, en general, son los que presentan las características más propicias para que ocurra erosión; es decir, un tiempo menor desde la lluvia precedente, cantidad y duración mayores, más una elevada intensidad máxima de precipitación. En este sentido, el contenido inicial del agua del suelo es relevante en la tasa de erosión, pues, afecta la velocidad de saturación del suelo.

Entre las parcelas, solo para los eventos F2, F3 y F7 en exposición ecuatorial y gradiente de pendiente medio se observa una erosión mayor, reduciéndose las pérdidas a mayores gradientes. Para este comportamiento para gradientes medios de pendiente, varios autores (5, 8, 10) identifican un concepto de gradiente de pendiente crítico que indica que, si bien sobre él la escorrentía es mayor, no es así el arrastre de partículas gruesas.

Cuadro 3. Montos de erosión por evento de lluvia, aspecto de ladera y gradiente de pendiente.

Evento	Ea	Em	Eb	Pa	Pm	Pb
	-----Mg ha ⁻¹ -----					
F2	0,048a	0,289b	0,039a	0,069a	0,068a	0,060a
F3	0,070a	0,167b	0,030a	0,065a	0,025a	0,058a
F4	1,121a *	1,405a *	0,722a *	0,741a *	0,297a	0,903a
F5	0,027a	0,024a	0,040a	0,022a	0,013a	0,010a
F6	0,055a	0,102a	0,032a	0,088a	0,021a	0,025a
F7	0,467a	0,663b *	0,288a *	0,446a*	0,181a	0,082a
F8	0,003a	0,004a	0,001a	0,006a	0,009a	0,007a
F9	0,009a	0,021a	0,006a	0,008a	0,008a	0,008a

Letras distintas en una fila indican que hay diferencias significativas y (*) dentro de una columna, indican que hay diferencias significativas ANDEVA ($\alpha=0,05$).

Por otra parte, la conductividad hidráulica permitiría explicar también los valores de erosión diferentes observados entre gradientes de pendiente (7). Los valores de conductividad hidráulica insaturada, previamente determinadas en ambas laderas (1), muestran una tendencia a aumentar con incrementos en el gradientes de pendiente.

Entre laderas, se aprecia que casi en la totalidad de los eventos, para el gradiente alto y medio, una tendencia a haber más erosión en la ladera de exposición ecuatorial. Esto es coincidente con lo expuesto por otros autores (2, 3, 6) en el sentido que los suelos de ladera de exposición ecuatorial son más erodables que los suelos de exposición polar para el mismo gradiente de pendiente. Al comparar gradientes de pendiente bajo (Eb y Pb) la tendencia no es tan clara.

CONCLUSIONES. Las características de los eventos de lluvia natural (intensidad y duración) y las condiciones de suelo precedentes en ellos, particularmente de contenido de agua del suelo, determinaron significativamente la magnitud de la erosión hídrica generada.

Los suelos de exposición ecuatorial tienden a presentar valores de erosión superiores a aquellos generados en laderas de exposición polar, como un reflejo de su mayor erodabilidad.

Se identifica un concepto de gradiente de pendiente crítico, observado por muchos autores, que indica que si bien sobre este umbral la escorrentía es mayor, no lo es el arrastre de partículas gruesas, lo que se manifiesta en un menor registro de separados texturales, particularmente a gradientes altos de pendiente comparados a gradientes medios.

LITERATURA CITADA

1. Casanova, M.; Messing, I. and Joel, A. 2000. Influence of aspect and slope gradient on hydraulic conductivity measured by tension infiltrometer. *Hydrological Processes*, 14: 155-164.
2. Cerdà, A. 1996. Seasonal variability of infiltration rates under contrasting slope conditions in southeast Spain. *Geoderma*, 69: 217 - 232.
3. Cerdà, A. 1997. Seasonal changes of infiltration rates in a mediterranean scrubland on limestones. *Journal of Hydrology*, 198: 209 - 225.
4. CIREN-Chile, 1996. CIREN-CHILE. 1996. Estudio agrológico, Región Metropolitana. Tomos 1 y 2. Centro de Información de Recursos Naturales, Chile. Publicación 115. 464 p.
5. Evans R. 1980. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal control: an empirical viewpoint. pp: 109-128. *In*: M. J. Kirkby and R. P. C. Morgan (eds). *Soil erosion*. Chichester, John Wiley. 312 p.
6. Hanna, Y. A.; Harlan, P. W. and Lewis, D. T. 1982. Soil available water as influenced by landscape position and aspect. *Agronomy Journal*, 74: 999 – 1.004.
7. Huang, C.; Gascuel-Oudou, C.; Cros-Crayot, S. 2001. Hillslope topographic and hydrologic effects on overland flow and erosion. *Catena*, 46: 177-188.
8. Jen-Chen Fan and Min-Fon Wu, 2001. Effects of soil strength, texture, slope steepness and rainfall intensity on interrill erodibility of some soils in Taiwan. pp: 588-593. *In*: Proceeding 10th International Soil Conservation Organization Conference, Purdue University.
9. Klute A. 1986. *Methods of soil analysis*. 2nd ed. ASA and SSSA. Madison WI. Vol. 1, 1.188 p.
10. Morgan, R.P.C. 2005. *Soil erosion and conservation* (3th Ed.). National Soil Resources Institute, Cranfield University. Blackwell Publishing. 305 p.
11. Veiga M. da y Prado L. do. 1993. Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos. Food and Agriculture Organization, Italia. Documento de Campo N° 1. 34 p.