

Metodologías sostenibles para el control de la erosión en laderas naturales y taludes artificiales*

Julián Rodrigo Quintero González**
Carolina Andrea Morcote Católico***

Recibido: 9 de mayo de 2012 Aprobado: 13 de junio de 2012

L'esperit Ingénieux Tunja - Colombia V.3 pp. 27 - 35 enero - diciembre 2012

Resumen

Se presentan los aspectos fundamentales y principales consideraciones para el tratamiento de taludes erosionados haciendo una descripción de los métodos hasta ahora desarrollados aplicados al control de la erosión. Se exponen los aspectos generales relacionados con el fenómeno de la erosión, el control de la erosión, los métodos de cobertura y los métodos de barrera, y que son actualmente utilizados para el tratamiento de laderas naturales y taludes artificiales erosionados o potencialmente erosivos en forma sostenible, considerando la puesta en práctica de diversas técnicas basadas en el aprovechamiento racional y preservación de los suelos, y la implementación de procesos constructivos coherentes con la topografía de las regiones en las cuales se presentan problemas de erosión.

PALABRAS CLAVE: Laderas Naturales, Taludes Artificiales, Erosión, Control de la Erosión.

Abstract

The aspects fundamental and main considerations for the treatment of erosive slopes making a description of the methods up to now developed applied to the control of the erosion are presented. The general aspects related with the phenomenon of the erosion, the control of the erosion, the covering methods and the barrier methods, and that they are used at the moment for the treatment of natural hillsides and artificial slopes erosive or potentially erosive in sustainable form are exposed, considering the setting in practice of diverse techniques based on the rational use and preservation of the soils, and the implementation of coherent constructive processes with the topography of the regions in which erosion problems are presented.

KEY WORDS: Natural hillsides, Artificial Slopes, Erosion, Control of the Erosion.

I. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo el fenómeno de la erosión y su estudio ha adquirido fuerza debido al constante crecimiento de las áreas erosionadas en diferentes regiones del planeta (Bork, H.-R., 2004). Las causas del origen de la erosión son atribuidas a diferentes factores que impulsan los procesos erosivos como la erosión interna, el cárcavamiento y eventualmente la degradación del suelo (C. Valentin, J. Poesen & Yong Li, 2005; Peter Houben, 2008). El conocimiento y análisis de la naturaleza de los factores que intervienen en la generación de problemas de erosión en laderas y taludes, ha generado el desarrollo de nuevas y mejores técnicas para el control de este fenómeno, permitiendo a la vez la obtención de mejores resultados al combinar con métodos convencionales (Bodnar, F. & De Graaff, J., 2003).

La selección de una técnica o método en particular responde a las características específicas de los suelos presentes en las áreas, regiones o países en los cuales se pretendan implementar las alternativas

* Artículo de investigación, como producto final del proyecto de investigación del mismo nombre.

** Ingeniero en Transporte y Vías, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Especialista en Geotecnia Vial y Pavimentos, Magíster(c) en Ingeniería Ambiental, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Docente área de Geotecnia, Facultad de Ingeniería Civil, UPTC. jrquinterog.itv@gmail.com, jqintero@ustatunja.edu.co

***Ingeniera Civil(c), Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. mcarolina-u@hotmail.com

tendientes a controlar los problemas de erosión (Suárez Díaz, 2002, 2001; Smith, 1992). A continuación se presenta una descripción de los principales aspectos relacionados con la naturaleza del fenómeno de la erosión y los métodos y técnicas hasta ahora desarrollados y que buscan dar tratamiento al problema de la erosión en laderas naturales y taludes artificiales, en el marco del aprovechamiento, preservación y uso racional del recurso suelo.

II. EROSIÓN

La erosión puede considerarse como el conjunto de procesos de naturaleza física y química que desgastan y destruyen continuamente los suelos y rocas de la corteza terrestre; incluyen el transporte de material pero no la meteorización estática (Geotechnical Engineering Office, 1994). La mayoría de los procesos erosivos son resultado de la acción combinada de varios factores como el calor, el frío, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal (Vanacker, V., Govers, G., Poesen, J., Deckers, J., Dercon, G. & Loaiza, G., 2003; Poesen, J. & Valentín, C., 2003; Wu, Yongqiu & Cheng, Hong, 2005; Valentin, C., Rajot, J.-L. & Mitja, D., 2004), sin embargo, en algunos casos se presenta la predominancia de alguno de estos factores, un ejemplo de este fenómeno es el viento en las zonas áridas y desérticas (Naimi, M., Tayaa, M., Ouzizi, S., Ilha, C.R. & Kerby, M., 2003; Echeverría, Nora, Vallejos, Adrián G. & Silenzi, Juan C., 2006; Poesen, J. & Vandekerkhove, L., 2004; Avni, Y., 2005; C. Fitzjohn, J.L. Ternan, & A.G. Williams, 1998). En función del principal agente causante de la erosión y del tiempo en que sus efectos sobre la superficie terrestre tardan en manifestarse, se habla de erosión geológica o natural y de erosión acelerada. La primera es debida a la acción de agentes y procesos naturales que actúan a lo largo de millones de años; mientras que la erosión acelerada es el resultado de la acción antrópica y sus efectos se dejan sentir en un período de tiempo mucho menor.

A. Erosión en laderas naturales

Las laderas naturales son formaciones geológicas producto de la dinámica de los suelos a lo largo del tiempo, se encuentran superficialmente y tienen características propias como

su pendiente y cobertura que las diferencian de otros tipos de formaciones. La geología del terreno caracteriza el comportamiento que esté presente frente a condiciones de exposición, modificación o alteraciones debidas a factores internos y externos; sin lugar a duda uno de los factores externos de estudio más importantes en los suelos y en este caso en laderas es la erosión, la cual es producida por agentes como el viento actuando como medio de transporte del material formador, de la magnitud de la corriente de viento depende la intensidad de la erosión que evidentemente actúa conforme al tipo de ladera, ya sea árida, con cobertura vegetal, etc.



Otro agente erosivo en laderas es el agua que puede presentarse de diferentes formas según su origen: pluvial (lluvias), debido al impacto y la intensidad que generan las gotas de agua en la ladera se produce un desprendimiento de material que estará limitado por el tiempo que dure el fenómeno atmosférico (precipitación) como se puede observar en la Figura 1. De escorrentía, al presentarse una capa de agua sobre la ladera y dependiendo del tipo de material se produce un desprendimiento del mismo, y subterráneas, cuando la erosión es producida por el impacto que se genera en la ladera cuando hay surgimiento de agua subterránea. También existen otros agentes tales como la gravedad, el hielo, y el clima; que actúan de forma específica dependiendo del tipo de ladera natural.

Figura 1.
Inicio de proceso de erosión en ladera vía Tunja-Duitama
Fuente: Los autores

B. Erosión en taludes artificiales

Los taludes artificiales son generados por acción del hombre, estos se crean por alguna necesidad en la modificación del terreno, generalmente cuando se trabaja en una obra de ingeniería; estos tienen características propias dependiendo de su funcionalidad que son garantizadas de acuerdo al tipo de tratamiento que se les dé. De igual manera que las laderas naturales, los taludes son afectados por la erosión, agentes como el aire producen desprendimiento del material formador cuando se encuentra sin protección alguna.



Figura 2. Erosión hídrica en talud vía Tunja-Motavita
Fuente: Los autores

El agua, en sus formas pluvial o de escorrentía, afectan el talud por el impacto que tanto las gotas de agua como el flujo generan en el mismo, produciendo en algunos casos infiltración y posteriormente un desprendimiento de material como se observa en la Figura 2, siendo importante mencionar que la pendiente que presenta el talud está directamente relacionada con la magnitud de afectación, pues es ésta la que regula la circulación del agua. Del mismo modo se puede producir erosión en menor grado de intensidad en los taludes por agentes tales como: la gravedad, debido a que se genera asentamiento y al haber presencia de fragmentos rocosos sensibiliza el talud y por efecto de la gravedad son transportados, y otros agentes como el hielo, el clima y la vida vegetal cuya acción genera diversos impactos en el talud.

III. CONTROL DE LA EROSIÓN

En general, los planes de manejo de la erosión están constituidos por varios aspectos: tratamiento de aguas superficiales, tratamiento de aguas subsuperficiales, tratamiento de coberturas o cubrimiento y métodos de barrera, los cuales han permitido que el estudio del fenómeno de la erosión haya sido dividido según su ocurrencia en tres figuras: erosión en taludes de carreteras, erosión en cárcavas y erosión en corrientes de agua, que son las tres manifestaciones más observadas en latitudes tropicales, caracterizando cada una de ellas y facilitando su estudio y análisis en el marco de la gestión ambiental.

La erosión en taludes es consecuencia de la modificación del terreno original, el cual al verse afectado de alguna u otra forma busca recuperar un estado de equilibrio, por esto es importante hacer un tratamiento adecuado y oportuno con el objeto de contrarrestar la acción de los agentes erosivos que lo afectan, para tal fin se han diseñado estrategias de acción que buscan no sólo estabilizar el talud sino controlar la erosión del mismo.

A. Tratamiento de aguas

1) Tratamiento de aguas superficiales

Siendo el agua el agente de mayor impacto en la erosión de laderas y taludes, y considerando las características que cada formación presenta, entre las que se cuentan: la pendiente, altura, material formado, funcionalidad, etc., es indispensable hacer un tratamiento de aguas superficiales enfocado en dichas características. Básicamente para taludes artificiales se trata de canalizar el agua que se genera por efecto de la lluvia, esta canalización debe hacerse desde la parte superior del talud y consecuentemente en el cuerpo del mismo para finalmente conducir el agua a un cauce natural. La canalización en la parte superior se hace por medio de zanjas de coronación que son dispuestas en dirección al lugar donde se construirán los disipadores de energía o los mecanismos retardadores del efecto directo del agua a la superficie (Ver Figura 3), estos son estructuras diseñadas para encausar el agua y poder controlarla, evitando así que por efecto de la lluvia se genere socavación en sectores vulnerables y por tanto erosión.



En cuando al tratamiento del agua superficial en laderas, no se implementan sistemas sofisticados, en cambio se usan estructuras o materiales que permitan controlar y regular el cauce del agua por el sector más apropiado de la ladera según sea el uso de la misma; esto con el fin de garantizar su funcionalidad.

2) Tratamiento de aguas subsuperficiales

Tanto en laderas naturales como en taludes artificiales la presencia de aguas subsuperficiales se convierte en un factor de estudio, comprendiendo que un agente como el agua ocasiona una agresión importante a la superficie cuando no es bien tratada. Sin embargo el tratamiento que se proporciona a taludes y a laderas difiere en el uso que se le dé a determinado suelo.

En taludes resulta indispensable realizar un estudio a profundidad que permita conocer qué efecto producirá el agua al modificar el terreno, pues en ocasiones se puede presentar brote de agua en la cara del talud, que de no ser controlada adecuadamente, ocasionará erosión y con esto la inestabilidad en el mismo. Es por esta razón que es importante considerar la posibilidad, y según sea necesario, de instalar filtros, los cuales son dispuestos en capas de suelo, muchas veces utilizando el mismo material formador, o en ocasiones según sea necesario se mezclan materiales para producir un efecto filtrador. Estos buscan generar pérdida de carga o energía del agua, dependiendo del tipo de suelo que se trate se determina el espesor y la magnitud del filtro; éste se proyecta en la

cara posterior del talud y sirve como mecanismos de prevención y control.

El tratamiento que se proporciona en laderas naturales depende del tipo de suelo, basándose en la implantación de coberturas que autoregulen la cantidad de agua, por lo anterior se entiende que la implantación solo se realizará en laderas descapotadas y que algunos tipos de laderas cumplen una función autoreguladora.

B. Métodos de cobertura

Los métodos implementados buscan una protección de la superficie para evitar la presencia de zonas erosionadas, además son utilizados como medio de cubierta del rastro del desprendimiento del material por acción del hombre o de maquinaria.

De acuerdo al uso de la ladera o el talud se puede implementar coberturas como:

a) Cubierta vegetal

Otro de los mecanismos importantes en el control y prevención de la erosión es la cubierta vegetal; cuando se modifica la superficie topográfica para hacer un talud, se quita la cubierta propia del terreno dejando en exposición el material y dependiendo sus características presentará un comportamiento propio. Este material evidentemente es afectado por agentes como el agua, el aire, el hielo, entre otros ocasionando erosión; por tal motivo y para conservar las características requeridas del talud, es importante implan-

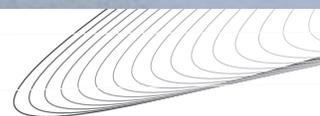
tar una cubierta vegetal, esta se puede hacer de diferentes formas según sea requerida, lo más importante es identificar cómo será afectado el talud y protegerlo, los materiales más recomendados para estas coberturas son pastos porque su adaptación al suelo es eficiente; la cubierta se puede hacer total o por franjas, buscando el mejor control de la erosión. Esta cubierta retiene el material transportado por escurrimiento y por necesidad vegetal absorbe agua, regulando así el efecto de los agentes sobre el talud. Además esta cobertura es implementada para que el talud tenga un mejor aspecto visual tal como se muestra en la Figura 4.

Este método es implementado en laderas descubiertas como medio de protección, por lo general se busca sobreponer una capa viva de material vegetal sobre la superficie del terreno (ladera), lo ideal es garantizar adaptación del material a la superficie; entre las cubiertas más empleadas están: cáscara de arroz, paja, pastos, hojas, etc.

b) Cultivos de cobertura y abono verde

Este método es implementado dependiendo del tipo de material del cual está compuesta la ladera o el talud. Existen diferentes tipos de cultivos de coberturas con los cuales se busca mantener las características de la formación al versen afectadas por agentes erosivos tales como el agua y el viento. Es recomendable que los cultivos se realicen con plantas nativas de la región garantizando adaptación al suelo; los cultivos vegetales en su proceso de desarrollo aportan protección a la ladera o al talud en aspectos tales como la infiltración de agua, la humedad del terreno, cohesión del material con ayuda de las raíces, y además sirven como medio de prevención de movimiento de masas. De la misma forma el abono verde se implementa para contrarrestar la erosión, la aplicabilidad de este es determinada por el tipo de suelo que se esté protegiendo, por ejemplo en laderas cuando tienen árboles de gran envergadura y se requiera mayor protección, se

Figura 4.
Implantación de
cubierta
Fuente: <http://www.hidrocesped.com.ar/trabajos/trabajo.php?ID=28>



hace un corte de las ramas y hojas superiores las cuales dispuestas sobre el suelo actuarán como medio para contrarrestar la erosión.

c) Mantos permanentes

Los mantos permanentes fabricados con fibras sintéticas resistentes a la luz ultravioleta, están diseñados como una cubierta artificial que brinda protección al talud frente a los agentes erosivos a los cuales está expuesto, también sirve como soporte en el proceso de colocación de vegetación (Véase Figura 5). De otra parte, pueden emplearse con buenos resultados en taludes con una pendiente fuerte, permitiendo además hacer una recuperación de la cobertura vegetal protegiendo el suelo fértil y favoreciendo el crecimiento de nueva vegetación en el talud.

Los mantos permanentes tienen entre otras las siguientes ventajas:

- Fácil y rápida instalación.
- Protección inmediata del talud frente a agentes del interperismo cuando hay ausencia de vegetación.
- Alta resistencia frente a la acción de las fuerzas hidrodinámicas presentes en el talud.
- Contrarresta el efecto de salpicadura ocasionada por las gotas de lluvia cuando impactan con el suelo de la ladera o talud.
- Elimina la abrasión de los agentes erosivos sobre el suelo.
- Controla la escorrentía reduciendo la velocidad del flujo del agua.
- Impide el desprendimiento de la masa de suelo superficial.

C. Métodos de barrera

Los métodos de barrera buscan disminuir la energía de flujo de agentes como el agua, para que el efecto de arrastre y desprendimiento del material en las laderas y taludes sea menor y así evitar la erosión.

a) Terrazas Naturales

Tanto la topografía como el tipo de material que conforma la ladera determinan si es adecuado o no implementar este método que consiste en implantar en ciertos sectores de la ladera franjas de material vegetal como



pasto, que en su proceso de desarrollo natural generan desplazamiento de la superficie formando una terraza que finalmente sirve para retardar y contener el material erosionado por agentes como el agua y el viento. Este proceso requiere de tiempo, se estima que su formación puede tardar varios años.

Las terrazas pueden conformarse mediante la siembra de pasto a lo largo de las curvas a nivel, utilizando para ello pastos fibrosos con un sistema de raíz grueso y cultivando las franjas centrales de la tierra. Al cultivarse la tierra, la naturaleza mueve la tierra formando una terraza natural, permitiendo que el agua de lluvia pase a través de las franjas de pasto, depositando cualquier sedimento detrás del pasto. El uso del pasto Vetiver puede propor-

Figura 6.
Cultivo en terraza natural
http://www.vanguardia.com/imgplanos/Noticia_600x400/foto_grandes_400x300_noticia/2010/12/07/web_olave001_big_ce.jpg

cionar buenos resultados en el uso de barreras vivas. No se propaga hacia la tierra cultivada, produce semillas estériles, tiene poca plaga y puede sobrevivir en gran variedad de climas (P.A. Dalton, R.J. Smith A, & P.N.V. Truong, 1996; Dalton, P.A., 1993; National Research Council, 1993) (Ver Figura 6).

b) Terrazas artificiales

Este método es implementado como un sistema ideal para controlar la erosión, pero se deben conocer bien las características del terreno, pues en algunos casos es apropiado utilizarlos y en otros no; esto en función de la topografía del terreno, pues generalmente se usa para laderas de fuertes pendientes. El proceso que se realiza es conformar terrazas según sea la longitud de la ladera, estas se deben nivelar desde el subsuelo hasta la superficie controlando la uniformidad, y en ocasiones según sea la necesidad se refuerza con implantaciones de roca.

Las terrazas bien construidas son uno de los mejores métodos para controlar la erosión del suelo, sobretodo en taludes inclinados, sin embargo, las terrazas requieren mucha habilidad y trabajo pesado para construirlas. Es necesario nivelar cada terraza (primero nivelando el subsuelo y luego la superficie) y construir pilares fuertes (generalmente de roca) en los costados como se observa en la Figura 7.

Figura 7.
Proceso de conformación de
terrazza artificial
Fuente: <http://www.sanramoncr.com/wp-content/uploads/2010/08/talud-deslizamiento.jpg>

c) Arado a nivel

Siempre que sea posible, el suelo debe ser arado a lo largo de las curvas de nivel de la

topografía presente, nunca de arriba hacia abajo, ya que esto promueve la erosión. En este sentido, los programas de la conservación de laderas naturales deben quizás considerar nuevos y mejores proyectos de redistribución de tierra y ordenamiento del territorio acompañados de capacitación para agricultores, productores y la comunidad en general.

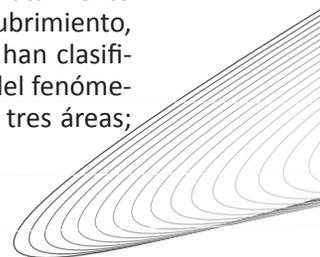
Casi cualquier material disponible se puede usar para construir barreras a lo largo de las curvas, como por ejemplo: cañas y hojas de cultivos anteriores, piedras y franjas de pasto (barreras vivas) (Greenway D.R., 1998). Las zanjas y los camellones se pueden reforzar sembrando pasto o árboles.

IV. CONCLUSIONES

La erosión es un fenómeno en el cual intervienen múltiples factores, entre estos se encuentran: el calor, el frío, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal. De igual forma, la erosión se puede presentar como resultado de la predominancia de uno de estos factores o como resultado de la combinación de varios de ellos en diferentes regiones de la superficie terrestre.

Se pueden diferenciar dos tipos principales de erosión en función del principal agente causante de este fenómeno y del tiempo que sus efectos sobre la superficie terrestre tardan en manifestarse. El primer tipo, la erosión geológica o natural, es ocasionada por la acción de agentes y procesos naturales que actúan a través de grandes períodos de tiempo, el segundo, la erosión acelerada, se origina por la acción antrópica cuyos impactos se evidencian a más corto plazo.

En la actualidad, el control de la erosión considera tres enfoques básicos para el desarrollo de métodos de tratamiento; tratamiento de aguas superficiales, tratamiento de aguas subsuperficiales y tratamiento de coberturas o cubrimiento, los cuales a su vez, han clasificado la ocurrencia del fenómeno de la erosión en tres áreas;



erosión en taludes de carreteras, erosión en cárcavas y erosión en corrientes de agua.

Los métodos de cobertura como la cubierta vegetal y los cultivos de cobertura y abono verde se presentan como técnicas con gran aplicabilidad y buenos resultados dado que disminuyen los efectos ocasionados por el agua, preservando al mismo tiempo la fertilidad del suelo.

Las técnicas denominadas métodos de barrera, las cuales se fundamentan en la reducción de la cantidad de suelo transportado y la preservación de agua, representan una buena alternativa para el control de la erosión, cuya aplicabilidad depende de las características particulares de la región en la cual se pretende implementar el método. Entre los métodos más comunes de este tipo se tienen las terrazas artificiales, las barreras a nivel y las terrazas naturales.

etapas de diseño y planeación para la implementación de cualquier tipo de método para el control de la erosión.

Es importante realizar estudios geotécnicos cuando la utilidad del terreno lo requiera, en general en obras de ingeniería de gran envergadura, con el fin de determinar las características del suelo tales como humedad, límites de consistencia, plasticidad, cohesión, pues éstas permiten percibir el comportamiento del suelo frente a cambios de estado.

De igual forma, las variables relacionadas con las características de las laderas y taludes artificiales y las características propias de la región en la cual se encuentra localizado el fenómeno de erosión deben ser estudiadas en detalle a la hora de formular cualquier tipo de alternativa considerando además la naturaleza del método que se pretende implementar.

V. RECOMENDACIONES

Es imprescindible tener en cuenta que las características de los suelos en laderas y taludes consideradas por los métodos hasta ahora desarrollados a nivel mundial pueden ser diferentes a las de los suelos encontrados en la geografía Colombiana, por lo cual se recomienda tener un especial cuidado en las



Fuente:
http://www.ellitoral.com/diarios/2010/04/13/politica/POL-01-web-images/1_aa_opt.jpeg

REFERENCIAS

- Avni, Y. (2005). Gully incision as a key factor in desertification in an arid environment, the Negev highlands, Israel. *Catena* 63, 185–220.
- Bodna'r, F., de Graaff, J. (2003). Factors influencing adoption of soil and water conservation in southern Mali. *Land Degrad. Dev.* 14, 515–525.
- Bork, H.-R. (2004). Soil erosion during the 20th century. Examples from South Africa, the Americas, China and Europe. In: Li, Y., Poesen, J., Valentin, C. (Eds.), *Gully Erosion Under Global Change*. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu, China, pp. 3–10.
- C. Fitzjohn, J.L. Ternan, A.G. Williams (1998). Soil moisture variability in a semi-arid gully catchment: implications for runoff and erosion control. *Catena* 32: 55–70.
- C. Valentin, J. Poesen, Yong Li (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena* 63: 132–153.
- Dalton, P.A. (1993). The hydraulics of vetiver grass. B.Eng. (Agric) Honours Thesis, University of Southern Queensland, Toowoomba.
- Hays, O.E. and Clarke, N., 1941.
- Echeverría, Nora E; Vallejos, Adrián G. & Silenzi, Juan C (2006). Erodabilidad de suelos del sur de la región semiárida argentina. *Ci. suelo argentina* 24. 9 p.
- Geotechnical Engineering Office (1994). *Geotechnical manual for slopes*. Civil Engineering Department. Hong Kong. p. 118-121.
- Greenway D.R. (1998). Biotechnical slope protection in Hong Kong. IECA Soilstabilization series Volume 5. *Methods and Techniques for Using Bioengineering to Control Erosion*. p. 399-411.
- Peter Houben (2008). Scale linkage and contingency effects of field-scale and hillslope-scale controls of long-term soil erosion: Anthropogeomorphic sediment flux in agricultural loess watersheds of Southern Germany. *Geomorphology* 101: 172–191.
- Naimi, M., Tayaa, M., Ouzizi, S., Ilha, C.R., Kerby, M. (2003). Dynamique de l'érosion par ravinement dans un bassin versant du Rif occidental au Maroc. *Se´cheresse* 14 (2), 95–100.
- National Research Council (1993). *Vetiver Grass, A Thin Green Line Against Erosion*. National Academy, Washington, DC.
- P.A. Dalton, R.J. Smith a, and P.N.V. Truong (1996). Vetiver grass hedges for erosion control on a cropped flood plain: hedge hydraulics. *Agricultural Water Management* 3 1 – 1996. pp. 91 – 104.
- Poesen, J. Valentin, C. (Eds.) (2003). *Gully Erosion and Global Change*. *Catena* 50 (2–4), pp. 87–564. Special issue.
- Poesen, J., Vandekerckhove, L. (2004). Assessment of gully headcut retreat rates in a semi-arid environment over different time-scales. In: Li, Y., Poesen, J., Valentin, C. (Eds.), *Gully Erosion Under Global Change*. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu, China, pp. 29–56.
- Smith (1992). Precipitation. *Handbook of hydrology*. Madiment D.R. editor. McGraw-Hill Inc. p. 3.1 - 3.47.
- Suarez Jaime. (2001). *Erosion control in tropical areas*. Industrial University of Santander. Bucaramanga – Colombia.
- Suárez Díaz, Jaime (2002). *Erosion control basics in tropical areas*. 10 p. Disponible en: <http://www.unperiodico.unal.edu.co/en/dper/article/tecnicas-para-prevenir-derrumbes/>
- Valentin, C., Rajot, J.-L., Mitja, D. (2004). Responses of soil crusting, runoff and erosion to fallowing in the subhumid and semi-arid regions of West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104, 287–302.
- Vanacker, V., Govers, G., Poesen, J., Deckers, J., Dercon, G., Loaiza, G. (2003). The impact of environmental change on the intensity and spatial pattern of water erosion in a semi arid mountainous Andean environment. *Catena* 513 (4), 329–347.
- Wu, Yongqiu, Cheng, Hong (2005). Monitoring of gully erosion on the Loess Plateau of China using a global positioning system. *Catena* 63, 154–166.

