

# Propuesta metodológica para el control de la erosión por escorrentía en taludes

Fáber Chica-Toro<sup>1</sup>  
Diego Esaú Cardona Ramírez<sup>2</sup>

Methodological proposal for slope runoff erosion control

## Resumen

Para proponer una metodología que controle eficazmente la erosión hídrica por escorrentía en taludes, se utilizaron dos métodos de implementación de una cobertura vegetal (*Brachiaria decumbens*): terracedo de bajo costo y costales de fique. Ambos métodos se compararon contra una parcela control. La evaluación se realizó desde el mes de septiembre de 2013 hasta febrero de 2014. Para identificar cuál de los tratamientos-métodos fue el más eficaz en controlar la erosión se usaron parcelas tipo estaca. La metodología que logró controlar con mayor eficacia la erosión fue la de terracedo de bajo costo, más *Brachiaria decumbens*. Esta última logró disminuir hasta en un 65.97 % el movimiento de suelo, frente a suelo de la parcela control sin cobertura vegetal.

---

1 Ingeniero Agrónomo. M. Sc. Docente asistente. Grupo Biotecnología Vegetal. Universidad Católica de Oriente. fchica@uco.edu.co

---

2 I. Ambiental. Universidad Católica de Oriente. diego.e.c27@gmail.com

---

## Palabras clave

Erosión, precipitación, *Brachiaria decumbens*, parcelas tipo estaca, terracedo bajo costo.

---

## Abstract

In order to propose a methodology that effectively controls water erosion by slope runoff, two methods of implementing a plant cover (*Brachiaria decumbens*) were used: inexpensive terraces and fique bags. Both methods were compared against a control plot. The evaluation was carried out from September 2013 to February 2014. To identify which of the treatments-methods was the most effective in controlling the erosion, stake-type plots were used. The methodology that reached the most effective control of erosion was the one with low-cost terraces plus *Brachiaria decumbens*. This was able to reduce up to 65.97 % the movement of soil versus soil of the control plot without vegetation cover.

### Key words

Erosion, precipitation, *Brachiaria decumbens*, plots made with stakes, low-cost terraces

---

---

## Introducción

---

**L**a parte superficial de la corteza terrestre, comúnmente llamada como suelo, es un cuerpo natural que tiene muchas definiciones, y que dependen de quién las haga; varios autores, como Jaramillo, Parra y González (1994); Hillel (1998) y Tarbuck y Lutgens (1999), coinciden en cuanto a la importancia ambiental de este recurso, tanto en el papel que juega en la regulación del ciclo del agua como en la dinámica biológica. Por otro lado, cada región en el mundo tiene suelos que la caracterizan según su material parental y otros agentes que lo modifican; de esta manera, Hermelin (1992), aduce que los suelos del Oriente antioqueño deben ser tratados como un recurso no renovable, ya que el tiempo necesario para la destrucción de estos no es nada comparable con el tiempo requerido para su formación; contrario a lo que dice el Código de Recursos Naturales Renovables —Decreto-Ley 2811— (Colombia. Presidencia de la República, 1974), artículo 34, donde se definen la tierra, el suelo y el subsuelo como un recurso renovable.

La erosión entendida como el arrastre del suelo por el agua y por el viento, se ve en mayor proporción cuando este no presenta vegetación (Gómez, 1999). La erosión del suelo es tan antigua como los continentes y la agricultura, la actividad antrópica provoca su aceleración y hoy en día los seres humanos causan aproximadamente del 60 % al 80 %. Además,

dicho suelo erosionado va a parar a otros lugares, y a menudo se deposita en emplazamientos como manglares, puertos, canales navegables, entre otros, nada conveniente para muchas actividades humanas y para la conservación de este tipo de ambientes (Morgan, Quinton, Smith, Govers, Poesen, Auerswald, Chisci, Torri y Styczen, 1997; McNeill, 2003).

Bifani (1984), argumenta que la erosión hídrica, en gran parte producto de la escorrentía superficial, causa el mayor movimiento de tierras. Adicionalmente reporta que de los 747 millones de hectáreas que sufren

### "Los suelos del Oriente antioqueño deben ser tratados como un recurso no renovable".

erosión en Asia, 440 millones hectáreas son por escorrentía. Continúa presentando la situación para el África, en donde la relación es de 497 millones de hectáreas afectadas y, de estas, 227 millones se deben a este fenómeno de erosión hídrica por

escorrentía. Finalmente, aduce que en América del Sur el fenómeno lo presentan alrededor de 123 millones de hectáreas de las 243 afectadas de forma general; y en América Central y Norteamérica, el fenómeno afecta aproximadamente unos 106 millones de hectáreas.

La erosión ha adquirido con el paso del tiempo una magnitud tal, que hoy día se le considera uno de los principales problemas ambientales a nivel global, asociado en gran medida a la deforestación (León, 2001) y las actividades de construcciones civiles. Los taludes despojados de vegetación producto de la

infraestructura urbana, se convierten en áreas altamente vulnerables a la erosión hídrica por escorrentía, generando un impacto negativo en el ambiente. Sin embargo, la construcción urbana está altamente relacionada con el desarrollo, y desde lo ambiental se hacen necesarias soluciones que mitiguen este impacto. El mayor detonante de la situación planteada hasta el momento es la lluvia. Al respecto Morgan *et al.* (1997) plantean que los episodios lluviosos están íntimamente ligados al transporte del suelo y por ende a su degradación, razones por las cuales la erosión, no solo afecta el área donde se presenta el suceso, sino que el suelo erosionado es transportado por escorrentía. Un ejemplo de esto es el estudio realizado por Andara (2005) en el estado de Bolívar (Venezuela), donde estableció dos parcelas experimentales de erosión, en un área con una pendiente menor de 2 %, encontrando pérdidas de suelo de 8,01 y 9,47 mg/ha, respectivamente, para una precipitación total de 1321 mm durante el periodo de medición de la época lluviosa. La autora también reporta una considerable entrada de sedimentos a una fuente hídrica cercana. Referente a la situación detonante de la precipitación y su aceleración en el transporte de sedimentos Grosso, Restrepo, Sánchez y Avendaño y Mantilla (1996), argumentan que los ríos colombianos del Caribe y el Pacífico presentan las tasas más altas de sedimentación de todos los ríos de mediano a gran tamaño de América del Sur. Debido a la interacción de (1) altas tasas de escorrentía (1750–7300 mm año<sup>-1</sup>); (2) relieve abrupto dentro de las cuencas; (3) variabilidad baja en los valores de descarga

( $Q_{max} - Q_{min}$ ), (4) la descarga de sedimentos episódica, ya sea debido a eventos geológicos o anomalías climáticas; y (5) altas tasas de deforestación y la conversión del suelo debido a las actividades humanas.

La problemática planteada ha desencadenado gran cantidad de técnicas para su prevención, algunas de las cuales, como las mecánicas de ingeniería convencional (obras de concreto) son demasiado costosas. El diseño e implementación de las obras de control de erosión en taludes, requiere de un trabajo conjunto donde deben intervenir geólogos, ambientalistas, forestales, expertos en vegetación

nativa, ingenieros civiles, hidrólogos, hidráulicos y geotécnicos. La bioingeniería es una ciencia ampliamente utilizada en la solución a este problema, ya que estudia las propiedades técnicas y biológicas de las plantas vivas y su utilización como elementos de construcción en las obras de recuperación del entorno ambiental (Serrano, 2006). El mismo autor propone que la protección de la superficie del terreno generalmente se obtiene utilizando

vegetación como obra principal de estabilización, se debe tener especial cuidado en la selección del sistema de establecimiento de la cobertura vegetal y de las especies vegetales. Una de las técnicas propuestas consiste en el revestimiento de taludes con materiales vegetales vivos, principalmente semillas, panes de hierba y ramas vivas; otra técnica incluye el uso de material vegetal vivo o muerto para conseguir la estabilidad geotécnica del talud, además de varias técnicas mixtas de revestimiento, en las que se utilizan componentes or-

**"La construcción urbana está altamente relacionada con el desarrollo, y desde lo ambiental se hacen necesarias soluciones que mitiguen este impacto".**

gánicos como geomallas y mantas orgánicas; o inorgánicos, como las mallas metálicas, para el control de la erosión superficial.

Con el objetivo de ofrecer una alternativa para el control y manejo de la erosión por escorrentía en taludes del campus universitario de la Universidad Católica de Oriente, se evaluaron dos tratamientos para el establecimiento de la cobertura vegetal con *Brachiaria decumbens*: el primero un terraceo de bajo costo y un segundo con costales de fique. Su efecto sobre la disminución por escorrentía en el talud, se midió a través de parcelas de escorrentía tipo estaca.

## Metodología

Para plantear una metodología que controle efectivamente la erosión por escorrentía

en cortes de taludes, se estableció una gramínea (*Brachiaria decumbens*) como cobertura vegetal bajo dos sistemas de siembra-tratamientos: terraceo de bajo costo con guadua y fibra de fique, estas dos modalidades se compararon contra un área sin sembrar o tratamiento testigo.

En la figura 1 se presenta el área de trabajo, un talud ubicado dentro del campus de la Universidad Católica de Oriente, en el municipio de Rionegro (Antioquia), con un área de 36 m<sup>2</sup> (12 m × 3 m), un ángulo de inclinación de 40° y una pendiente aproximada del 88 % (coordenadas planas X = 857407 y Y = 1172047 sistema de coordenadas Colombia Bogotá Zone y con proyección Trasversal de Mercator Dátum Bogotá).



Figura 1. Estado inicial del talud.

Fuente: Cardona y Chica-Toro.

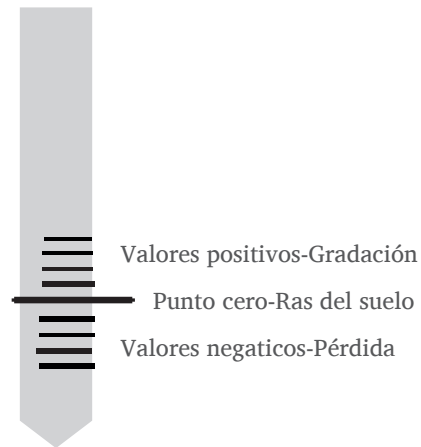
**Tratamientos:** se utilizaron dos tratamientos y un testigo relativo. El primero consistió en cubrir 12 m<sup>2</sup> del talud con costales de fique (1,2 m × 0,8 m) rellenos cada uno con aproximadamente 5 Kg de gallinaza + 20 g semillas de *Brachiaria decumbens* (parcela A). El segundo tratamiento consistió en la elaboración de 12 m<sup>2</sup> de terrazas de bajo costo con guadua + 20 Kg gallinaza + 500 g de semillas de *Brachiaria decumbens* (parcela C). Adicionalmente, también se dejó igual área descubierta como tratamiento testigo-control (parcela B). En la figura 2 se presenta la distribución de los tratamientos en el talud. Para garantizar su independencia, las parcelas se dividieron con tablas. Cada parcela o área evaluada consistió en un área de 4 m × 3 m = 12 m<sup>2</sup>.



**Figura 2.** Distribución de los tratamientos en las tres sub-áreas o parcelas.

**Fuente:** Cardona y Chica-Toro.

Para establecer cuál de los tratamientos logra disminuir con mayor eficiencia el arrastre de suelo por escorrentía, se planteó la estrategia de caracterización de la pérdida del suelo mediante sistema de parcelas de erosión tipo estaca planteado por Gómez (1999). Esta consiste en medir la gradación o pérdida de suelo en puntos de interés dentro del área de estudio. Se marcan estacas con un nivel de referencia o punto cero, generalmente se coloca un clavo y se gradúan en centímetros por encima y por debajo. Luego se clavan en el área de medición quedando el punto cero a ras del suelo (figura 3). Semanalmente se toman datos, obteniéndose valores positivos por encima o negativos por debajo del punto cero.



**Figura 3.** Ilustración de la estaca graduada en cm para la medición.

**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez tratadas las parcelas, se procedió a distribuir ocho estacas en la base del talud por tratamiento. Para garantizar la independencia de los datos, cada grupo de estacas se separó con una lámina de zinc (figura 4).



**Figura 4.** Distribución de las estacas graduadas en la base del talud.

**Fuente:** Cardona y Chica-Toro

**Toma de datos:** Una vez instaladas las estacas (8 por tratamiento-parcela) en la base de cada talud y garantizada la independencia de los tratamientos, se tomaron mediciones cada 10 días, durante seis meses en la época comprendida entre septiembre del 2013 hasta febrero de 2014. La **variable respuesta** fue el suelo movido por parcela extrapolado a una hectárea, expresada en kg. Para obtener el valor de dicha variable se siguió la metodología propuesta por Gómez (1999), así:

1. Hallar altura promedio de las estacas

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=0}^n |h_i^+ + h_i^-|}{N}$$

Donde:

$\bar{H}$  = altura promedio de las estacas en metros.

$h_i^+$  = suma valores positivos de las estacas

$h_i^-$  = suma valores negativos de las estacas

$N$  = número de estacas

2. Hallar volumen de suelo perdido por parcela (VS) en metros cúbicos.

$$VS = \bar{H} \times Ae$$

Donde

$Ae$  = área evaluada en metros cuadrados.

3. Hallar masa suelo perdido por área evaluada ( $Sp$ ) en Kg o Mg

$$Sp = VS \times Da$$

Donde

$Da$  = densidad aparente por método cilindro biselado, en Kg ha<sup>-1</sup> o Mg m<sup>-3</sup>

4. Hallar la masa de suelo perdido por hectárea ( $SP$ ) en Kg ha<sup>-1</sup> o Mg ha<sup>-1</sup>

$$SP = \frac{Sp}{Ae} \times \frac{10000 \text{ m}^2}{ha}$$

Como elemento para la discusión y por su alta incidencia en la aplicación de la metodología, también se tomaron registros de precipitación en milímetros. Para las mediciones se instaló en el aérea de la evaluación un pluviómetro.

### Resultados y discusión

Para desarrollar la metodología planteada se tomaron datos semanales de acumulación o pérdida de suelo a través de las ocho estacas localizadas en la base del talud para cada tratamiento. Las mediciones se realiza-

ron en promedio cada 10 días, durante 157 días, para un total de 16 mediciones por estaca; desde el mes de septiembre de 2013 hasta el mes de febrero de 2014 (tabla 1). Así, para cada tratamiento-parcela se tomaron 128 datos (16 semanas de medición × 8 estacas). Los promedios para las ocho estacas a través de las 16 mediciones se presentan en la tabla 1. Por ejemplo, para el tratamiento A-Terrazas, el valor correspondiente a los primeros 10 días de acumulación de suelo de 0.24875 cm (≈ 0.25cm); se obtuvo de sumar los valores reportados para cada estaca, dividido por el número de estacas (8), así:

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=0}^n |0.07 + 0 + 0.04 + 0.08 + 0 + 0.3 + 0.8 + 0.7| \text{cm}}{8} = 0.24875 \text{cm} \approx 0.25 \text{cm}$$

**Tabla 1.** Altura promedio (H) del suelo en metros, medido en las ocho estacas por tratamiento para cada fecha

Fecha toma dato	Días acumulados	H del suelo medido en las estacas para cada tratamiento (cm)		
		A -Terrazas	B-Control	C-Costales fique
20/09/2013	0	0	0	0
30/09/2013	10	0.0025	0.0067	0.0054
10/10/2013	20	0.0031	0.0107	0.0067
21/10/2013	31	0.0042	0.0136	0.0083
31/10/2013	41	0.0046	0.0144	0.009
08/11/2013	49	0.0055	0.0174	0.011
18/11/2013	59	0.0064	0.0213	0.0119
28/11/2013	69	0.007	0.024	0.013
09/12/2013	80	0.0071	0.0255	0.0136
19/12/2013	90	0.0071	0.0265	0.0141
03/01/2014	105	0.0075	0.0277	0.0149
13/01/2014	115	0.0075	0.0277	0.0149
23/01/2014	125	0.0086	0.0294	0.0161
03/02/2014	136	0.0094	0.031	0.0171
13/02/2014	146	0.0104	0.0324	0.0181
24/02/2014	157	0.01225	0.036	0.01975

Las alturas promedio (tabla 1), fueron utilizadas para encontrar el volumen de suelo perdido (vs) en metros cúbicos (tabla 2).

**Tabla 2.** Volumen final de suelo perdido por parcela (m<sup>3</sup>).

Volumen final de suelo perdido por parcela o tratamiento-VS (m <sup>3</sup> )			
Variable	A-Terrazas	B-Control	C-Costales fique
Área evaluada (Ae en m <sup>2</sup> )	12	12	12
Altura promedio estacas (Ae en m <sup>2</sup> )	0.01225	0.036	0.01975
Volumen final (VS en m <sup>3</sup> )	0.0196	0.058	0.03160

Para encontrar la masa de suelo perdido por parcela-tratamiento (Sp), se requiere conocer la densidad aparente del lote tratado. Para ello se tomaron tres muestras, una en cada parcela-tratamiento, a través del método del cilindro biselado. Los valores obtenidos y su promedio se presentan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Densidad aparente obtenida en el talud mediante el método del cilindro biselado.

Densidad aparente (Da) en Kg m <sup>-3</sup>			
Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Promedio
626	682	625	644

**Tabla 4.** Masa de suelo perdido por tratamiento-parcela.

Tratamiento-Parcela	Suelo perdido (Sp) en Kg
A-Terrazas	94,668
B-Control	278,208
C-Costales fique	152,628

Los valores para el suelo perdido-Sp (tabla 4), para cada tratamiento-parcela se obtienen de multiplicar vs por el valor promedio de la Da presentados en la figura 7.

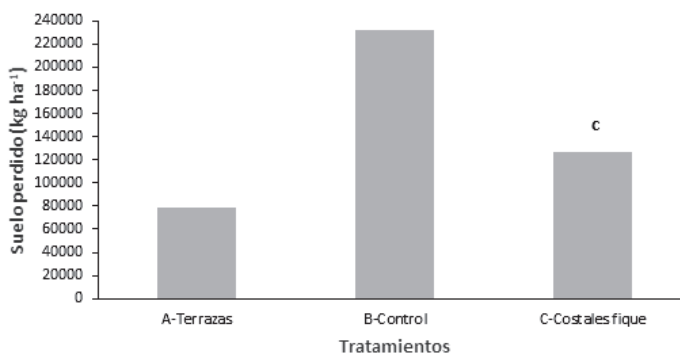
Finalmente se halló la masa de suelo perdido extrapolado a una hectárea —SP— (tabla 5). Se recuerda que el dato final para SP se halla con la última lectura de las estacas, esta es la lectura acumulada de los 157 días que duró la evaluación.

**Tabla 5.** Masa suelo perdido por ha-SP (Kg), para cada tratamiento extrapolada a una hectárea.

Tratamiento-parcela	Masa suelo perdido por ha-SP (Kg ha <sup>-1</sup> )
A-Terrazas	78890
B-Control	231840
C-Costales fique	127190

De los cálculos anteriores es posible inferir que, utilizando las metodologías de control propuestas, terraceo de bajo costo y costales de fique, se logra disminuir la pérdida de suelo producto de la escorrentía (figura 5). Para la parcela testigo (B-Control) se extrapola un movimiento de aproximadamente 231 840 kg

de suelo por hectárea durante el tiempo de evaluación. Este valor representa un 67,97 % más, frente al suelo que se espera se mueva en un terreno sometido a terraceo de bajo costo. Para el caso del método que se implementó con costales, la diferencia sería de 45,5 % aproximadamente a favor de este.



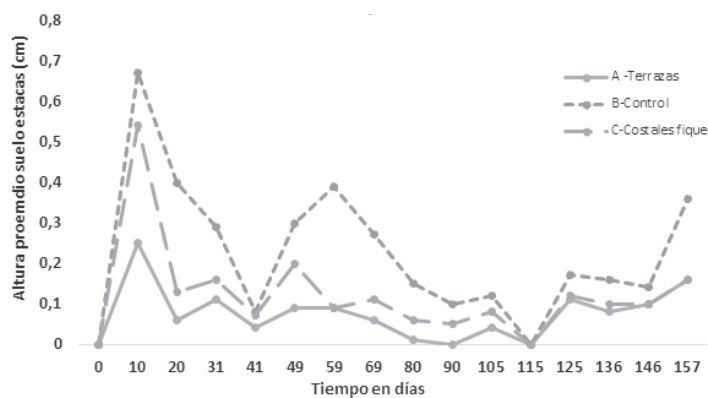
**Figura 5.** Comportamiento de tres tratamientos para el control erosivo por escorrentía. Tratamientos con letra disímil presentan diferencia estadísticamente significativa.

**Fuente:** Elaboración propia.

En la figura 6 se presenta el comportamiento erosivo de los tratamientos a través del tiempo. Se observa que, existiendo diferencia en la cantidad de suelo medido en las estacas, el comportamiento general de la curva es idéntico para todos los tratamientos. Una mayor pérdida de suelo se presentó al momento que se constru-

yeron las parcelas, debido posiblemente a que se encontraban con el suelo descubierto.

Sin embargo, se aprecia que el mayor movimiento de suelo ocurrió en la parcela-tratamiento control o testigo durante toda la evaluación. Este comportamiento respalda los resultados presentados en la figura 5.



**Figura 6.** Acumulación del suelo medido en las estacas por tratamiento a través del tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

No obstante, la evidencia de las gráficas en cuanto al beneficio de utilizar métodos que mitiguen la erosión por escorrentía, los datos obtenidos de movimiento de suelo al final de la evaluación se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados presentados en la tabla 6 reportan que se presentó diferencia altamente significativa entre los tratamientos (valor  $P = 0,0000$ ).

**Tabla 6.** Anava para altura final de acumulación de suelo por tratamiento.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	23.5833	2	11.7917	53.48	0.0000
Intra grupos	4.63	21	0.220476		
Total (Corr.)	28.2133	23			

Una vez se encontró diferencia estadística entre los tratamientos se procedió a realizar una prueba de medias Tuckey HSD, con el valor de significancia del 95 %. Esta prueba arrojó tres grupos homogéneos (tabla 7). Ello indica que, al coincidir el número de grupos homogéneos con el número de tratamientos, entre todas las metodologías evaluadas se pre-

sentó diferencia estadísticamente significativa. En la tabla 7 se observa que el mayor valor fue para el tratamiento testigo B-Control con una media de 3.6; el menor valor de la media con un 1 225, lo arrojó el tratamiento A-Terrazas, indicando que este último fue el tratamiento en el que menos suelo se acumuló en las estacas durante el periodo de evaluación.

**Tabla 7.** Grupos homogéneos para altura final de acumulación de suelo por tratamiento

Tratamiento	Casos	Media	Grupos Homogéneos
A-Terrazas	8	1.225	A
C-Costales fique	8	1.975	B
B-Control	8	3.6	C

Esta investigación evaluó metodologías para disminuir el impacto de la erosión por escorrentía. Este tipo de erosión tiene un detonante principal, el agua a través de la precipitación. Para identificar esta relación escorrentía-precipitación, semanalmente durante el tiempo que duro el experimento, se tomaron los milímetros acumulados en dos pluviómetros instalados en la parcela. Los datos presentados son el promedio aritmético. Para evidenciar la relación erosión-escorrentía-precipitación, en la figura 7 se presentan los datos de suelo movido y la precipitación. Estos últimos fueron divididos por 100 por efectos de escala al momento de graficar, por ejemplo, para el día 10 la precipitación real fue de

77,9 mm, sin embargo, en la gráfica se presenta como 0,779 mm. El total de precipitación durante los 157 días de evaluación fue de 429 mm. Se observan en la figura dos períodos de precipitación bien marcados. El primero desde el momento de la instalación de las parcelas hasta aproximadamente los días 59-60. Durante este tiempo la acumulación fue unos 344,5 mm. Un segundo período desde el día 61 hasta el día 157 que finalizó la toma de datos, con unos 84,5 mm de lluvia acumulados. Las tendencias de las líneas de la figura 14 indican una alta relación entre los períodos de máxima y mínima precipitación con los períodos de máxima y mínima acumulación de suelo en las estacas de los tratamientos.

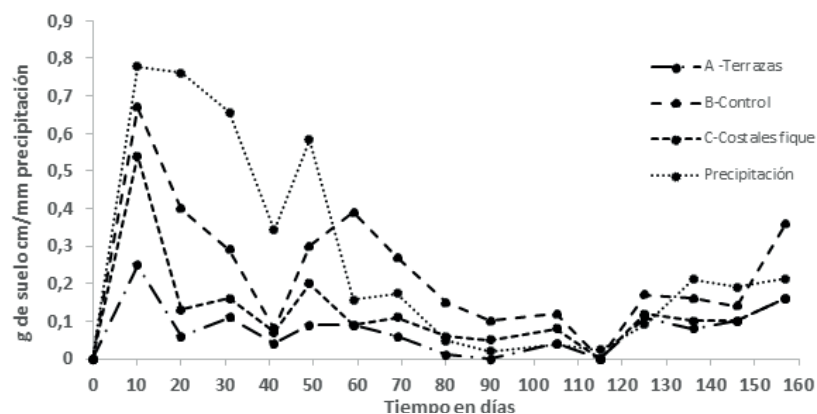


Figura 7. Comportamiento de los tratamientos frente a la precipitación a través del tiempo de evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

Estos datos reflejan el marcado impacto que tiene la lluvia en la erosión por escorrentía y coinciden con la argumentación presentada por Morgan *et al.* (1997). Como soporte estadístico los valores fueron sometidos a pruebas de correlación de Pearson. Para todos los casos los coeficientes superaron el 0,94 (tabla 8)

Tabla 8. Coeficientes de correlación entre tratamientos-parcelas y la precipitación.

Coeficientes de correlación Pearson	
Entre la masa de erosión de la parcela A y la precipitación acumuladas	0,943
Entre la masa de erosión de la parcela B y la precipitación acumuladas	0,967
Entre la masa de erosión de la parcela C y la precipitación acumuladas	0,969

El movimiento de suelo fue mayor al inicio del trabajo, coincide además por tener las máximas precipitaciones, con el menor tiempo de revegetalización del material utilizado. La especie para la cobertura vegetal alcanzó un cubrimiento del 100 %, aproximadamente al día 105 después de sembrada, tiempo en el que coincide con la disminución en la acumulación de suelo en las estacas. Esto significa que la cobertura vegetal sí funciona como un factor atemperante del efecto erosivo de la lluvia. Estudios realizados por Bienes y Torcal (1997), reportan que en la evaluación de tres tratamientos establecidos para el control de la erosión durante tres años, de los cuales, en el último año, la erosión por escorrentía no presentó grandes diferencias en los tratamientos utilizados (cultivo de cebada, pastizales y vegetación natural). En ambos estudios las épocas de menor erosión se reportan cuando las coberturas están plenamente establecidas.

La especie *Brachiaria decumbens* presentó un desarrollo óptimo debido a su comportamiento en la revegetalización del terreno. Desde el décimo día en la parcela A-Terrazas, se observó que las plántulas de la especie estaban germinando y estableciéndose uniformemente, y desde el día 30 se observó lo mismo en la Parcela C-Costales fique, Esto demuestra gran potencial de la especie en procesos de revegetación de suelos desnudos con fines de controlar la erosión. Los resultados arrojados por este trabajo son comparables con un estudio hecho por Ariel, Rojas y Gonzales (1985), el cual utilizó cinco especies de leguminosas forrajeras para el control de la erosión en el pie de monte oriental de la cordillera occidental del departamento del Valle del Cauca, las cuales durante los primeros 30 días, por encontrarse en periodo de adaptación, las cinco especies mostraron defoliaciones y retardo en el crecimiento. En la figura 8 se presenta el estado inicial y final del talud tratado bajo la metodología propuesta en esta investigación.



**Figura 8.** Estado inicial (izquierda), tratamientos de terraceo-costales y estado final (derecha) de las parcelas del talud después de 157 días.

**Fuente:** Cardona y Chica-Toro.

## Conclusiones

La metodología que logró el mayor control de la erosión hídrica por escorrentía fue el tratamiento que utilizó el terracedo de bajo costo, más cobertura vegetal con *Brachiaria decumbens*. Este logró disminuir en un 65,97 %, frente al tratamiento-parcela control y en un 37,97 % frente al tratamiento con costales de fique.

Existe una alta correlación entre las mayores precipitaciones y la erosión por escorrentía causada por la lluvia en ausencia de cobertura vegetal.

## Referencias Bibliográficas

---

- Andara, Z. (2005). *Diseño de un sistema de drenaje para controlar y minimizar la erosión y transporte de sedimentos en la vertiente sur de la mina de hierro Los Hurrancos, cuenca alta del río Arasiama*. (Tesis Universidad Nacional Experimental de Guayana. Estado Bolívar, Venezuela). Universidad Nacional Experimental de Guayana.
- Ariel, A.; Gil, I.; Rojas, S. D. y González, A. (1985). Comportamiento de cinco leguminosas forrajeras como cobertura de áreas fuertemente erodadas del pie de monte de la cordillera occidental en el Valle del Cauca. *Acta agronómica*, 35 (2), 42-51.
- Bienes, R. y Torcal, L. (1997). Influencia del manejo del suelo sobre la erosión en depósitos de terrazas (El Encin y Marchamalo). *Cuaternario y Geomorfología*, 11(3-4), 113-124.
- Bifani, P. (1984). *Desarrollo y medio ambiente*. Madrid, España: Monografías de D.G.M.
- Colombia. Presidencia de la República. (1974, 18 de diciembre). *Decreto 2811 "Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente"*. Bogotá.
-

- 
- Gómez, E. (1999). *Procesos erosivos: estrategias para su caracterización e implementación de sus prácticas básicas de control y prevención*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia- sede Medellín, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales y Ecológicas-ICNE.
- Grosso-Vargas, J. L., Restrepo, R.; Sánchez-Arias, L. E.; Avendaño-Remolina, D. y Mantilla, I. (1996). *Evaluación de las especies de manglar como alternativa de tratamiento de metales pesados y salinidad en efluentes industriales de la producción petrolera*. Resúmenes y Trabajos 2nd. Internal. Symp. Environ. Geoch. In Tropical Countries, Ingeominas/Ideam/UFF. Cartagena, Colombia. Nov.18-21.
- Hermelin, M. (1992). Los suelos del Oriente antioqueño un recurso no renovable. *Bull inst fr études andines*, 21 (1), 25-36.
- Hillel, D. (1998). *Environmental soil physics*. San Diego (ee. uu.): Academic Press.
- Jaramillo, D. F.; Parra, L. N. y González, L. H. (1994). *El recurso suelo en Colombia: Distribución y evaluación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Leon, J. D. (2001). *Estudio y control de la erosión hídrica*. Medellín: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
- McNeill, J. R. (2003). Algo nuevo bajo el sol. Historia medioambiental del mundo en el siglo XX. Madrid: Alianza.
- Morgan, R. P. C.; Quinon, J. N.; Smith, R. E.; Govers, G.; Poesen, J. W. A.; Auerswald, K.; Chisci, G.; Torri, D. y Styczen, M. E. (1997). The European soil erosion model (eurosem): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth surface processes and landforms*, 23, 527-544.
- Serrano, J. A. (2006). *Bioingeniería como ayuda a la solución de estabilización en taludes que presentan una amenaza geotécnica en la escarpa occidental de la meseta de Bucaramanga*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Recuperado de: [repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7547/2/144371.pdf](http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/7547/2/144371.pdf)
- Tarback, E. y Lutgens, F. (1999). *Ciencias de la tierra: Una introducción a la geología física*. (6.<sup>a</sup> ed.). Madrid: Prentice-Hall Iberia.
-