

# Erosión y escorrentía: indicadores de respuesta temprana del suelo a distintas coberturas en la zona cafetera de Colombia

Jose Alexander Rodríguez<sup>1</sup>;  
Juan Carlos Camargo García<sup>2</sup>

La variable pérdida de suelo parece ser eficiente para medir los efectos de determinados usos sobre el suelo en el periodo evaluado. Para la variable escorrentía hasta el momento no se observan cambios importantes entre tratamientos; posiblemente sea necesario hacer evaluaciones en etapas más tardías del proyecto para identificar posibles diferencias o efectos de los tratamientos sobre esta variable. Ambas variables pueden ser útiles para la toma de decisiones sobre el establecimiento de estrategias para restaurar áreas degradadas y también como evidencia de cuáles coberturas pueden generar efectos negativos y positivos sobre el suelo.

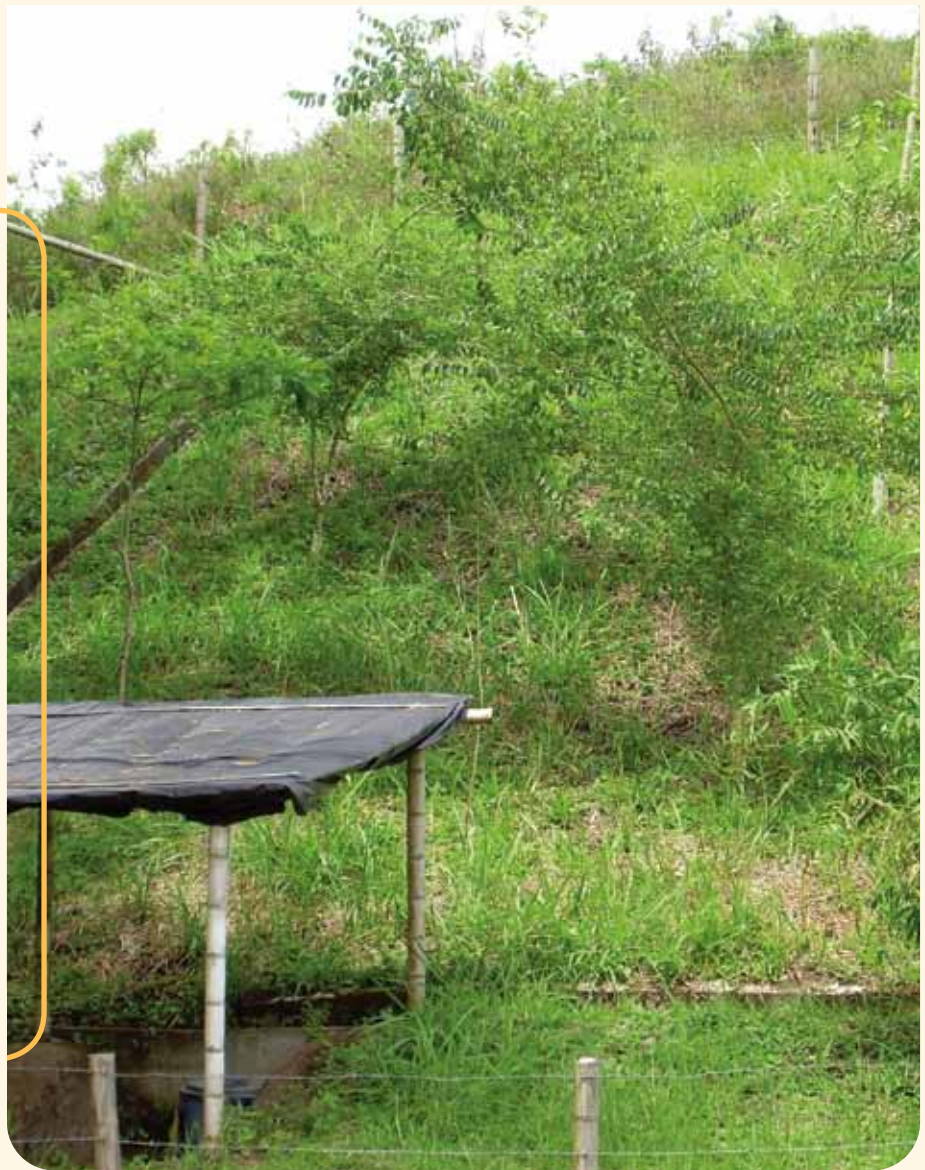


Foto: José Alexander Rodríguez.

<sup>1</sup> Estudiante M.Sc. Ecotecnología. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira Investigador CIEBREG. pauloalejo@yahoo.com. AA097. 3426743.

<sup>2</sup> Profesor Asociado. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Investigador CIEBREG. jupipe@utp.edu.co. AA097. 3137208.

## Resumen

La erosión hídrica (pérdida de suelo) y la escorrentía fueron evaluadas como posibles indicadores del efecto a un año plazo de distintas coberturas sobre las características del suelo. La evaluación se realizó en Montenegro (Quindío, Colombia). Para tal fin, se estableció un experimento con un diseño de bloques completos al azar, cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron las coberturas del suelo, sucesión natural, plantación de árboles, plantación de guadua, cultivos limpios y pasturas (cobertura inicial), establecidas en parcelas de 108 m<sup>2</sup>. Al final del periodo de evaluación (12 meses) se encontró que la pérdida de suelo fue significativamente más alta ( $P < 0.05$ ) bajo cultivos limpios (0,59 t/ha), mientras que bajo la plantación de árboles maderables se presentó la pérdida menor (0,25 t/ha). Para la escorrentía se estimó un promedio de 1,25 m<sup>3</sup>/ha entre las coberturas evaluadas; no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos. Los resultados muestran que la erosión puede ser un indicador eficiente para detectar cambios tempranos en el suelo, asociados con la cobertura. Esta información resulta útil para promover prácticas asociadas al uso adecuado del recurso suelo.

**Palabras claves:** Escorrentía; erosión; conservación de suelos; restauración de suelos; análisis del suelo; sucesión natural; plantación de árboles; guadua; cultivos limpios; pastizales; mecanismos de desarrollo limpio; zona cafetera; Colombia.

## Summary

**Erosion and runoff: Indicators of soil early response to different covers in the Colombian coffee region.** Erosion (soil loss) and runoff were experimentally measured to determine early changes on soils under different land covers. The experiment was established in a cattle farm located in Montenegro (Quindío, Colombia). The experimental design consisted of randomised blocks with five treatments and three replications. Treatments corresponded to five soil covers: natural succession, timber tree plantation, guadua bamboo plantation, pastures, and crops (corn and beans) established on 108 m<sup>2</sup> plots. After twelve months of evaluation, erosion resulted significantly ( $p < 0.05$ ) higher (0.59 t/ha) under crops; under guadua bamboo plantation the soil loss was the lowest (0.25 t/ha). The runoff showed similar and not significant ( $p > 0.05$ ) values among the treatments evaluated (average of 1.25 m<sup>3</sup>/ha). Erosion seems to be an efficient indicator to early assess the effect of soil cover on soil loss. It can be useful for monitoring changes on soils in short periods and to provide information for making decisions on adequate soil uses.

**Keywords:** Runoff; erosion; soil conservation; soil improvement; soil analysis; natural succession; timber tree plantation; guadua; crops; pastures; clean development mechanism; coffee zone; Colombia.

### Introducción

La degradación del suelo implica la pérdida de su capacidad productiva debido a la disminución de la fertilidad natural y el deterioro de las propiedades físicas. Este proceso se presenta en forma acelerada como consecuencia de prácticas inadecuadas dentro de los sistemas de producción agropecuaria, por lo que es necesario pro-

mover acciones que contribuyan al mejoramiento y conservación de los agroecosistemas (Harris et ál. 1996, Fao-Unesco 1998).

En la zona cafetera de Colombia, durante los últimos años se han dado cambios importantes en el uso de la tierra -especialmente hacia pasturas-, lo que ha implicado efectos negativos asociados con la compactación y la erosión del suelo (CARDER 2007).

Para disminuir tales efectos negativos, se emplean distintas acciones y prácticas; en la mayoría de los casos, se parte del aislamiento de algunas áreas para promover la sucesión natural (SER 2002), o acciones de reforestación con especies arbóreas. La introducción de especies arbóreas dentro de pasturas mejora las condiciones del suelo y del sistema en general (Russo 1990, Restrepo et ál. 2004, Viveros et

ál. 2003). Esta condición también se ha observado en la zona cafetera de Colombia (Camargo et ál. 2007, Calle 2003). Una especie frecuentemente usada en el eje cafetero es la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth), un bambú leñoso que durante décadas ha sido usado comercial y artesanalmente (Londoño 1998, Camargo 2006). Debido a su rápido crecimiento y sistema de rizomas, esta especie ofrece ventajas en estrategias de restauración de áreas degradadas, como plantación, o como parte de obras biomecánicas (Camargo et ál. 2003, Castaño 2001, Rodríguez y Sepúlveda 2004, Ospina 2002). Algunos estudios en la zona cafetera demuestran que las propiedades físicas del suelo mejoran bajo rodales de guadua, y que tales mejoras se mantienen aun después de aprovechada la especie (Rodríguez y Sepúlveda 2004).

Con este trabajo se busca cuantificar la erosión y la escorrentía como variables para medir el efecto de la cobertura de la tierra en periodos cortos y dilucidar las mejores alternativas para promover el uso adecuado del recurso suelo entre productores e instituciones.

#### Características del área de estudio

El experimento se realizó en La Finca Nápoles, ubicada en el centro occidente del departamento del Quindío, municipio de Montenegro. El sitio se encuentra a 1100 msnm, con temperatura media de 24°C y 1600 mm de precipitación promedio anual. De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1996), la finca se encuentra dentro de la formación vegetal bosque húmedo premontano.

Los suelos del área se originaron, en su mayor parte, a partir de cenizas volcánicas depositadas sobre el abanico fluvio-volcánico Pereira-Armenia (Camargo et ál. 2001). En la finca, en particular, predominan suelos del orden andisol (Typic hapludands) perte-

necientes a la asociación Tebaida Alejandría. Estos suelos son profundos, bien drenados, con buena estructura y textura media, ligeramente ácidos y moderadamente susceptibles a la erosión. La finca tiene un área total de 228 ha de las cuales 40,5 ha se encuentran bajo pasturas, 88,4 ha bajo bosques dominados por guadua y el resto bajo cultivos como piña, cítricos y yuca (93,6 ha) (Gamboa y Solarte 2007). Aproximadamente 204 ha de la superficie del predio presentan una topografía suave con pendientes entre 10-25%; el área restante corresponde a valles profundos, con pendientes muy escarpadas que alcanzan el 100%.

Para la selección del sitio del experimento, se delimitaron todas las áreas bajo pasturas mediante fotointerpretación sobre una imagen Quick Bird con resolución de hasta 52 cm. Posteriormente, mediante la verificación en campo se identificó y se seleccionó un área de 0,5 ha de pendiente homogénea (36%) con evidencias de degradación del suelo (erosión y terracetos).

#### Diseño experimental

En el año 2005, se estableció un experimento con un diseño de bloques completos al azar. Se usaron parcelas de 9 x 12 m (108 m<sup>2</sup>) donde se aplicaron cinco tratamientos con tres repeticiones para un total de 15 parcelas. Los tratamientos fueron los siguientes:

- T1. Sucesión natural
- T2. Plantación de árboles maderables
- T3. Plantación de guadua
- T4. Cultivos limpios (maíz y frijol)
- T5. Pastura

Estos tratamientos fueron elegidos teniendo en cuenta los usos predominantes en la zona de estudio. La precipitación se midió mediante la instalación de un pluviómetro ubicado cerca del área del experimento. Durante el periodo de evaluación, se realizaron mediciones dos veces al día (6 am y 6 pm).

#### Manejo de los tratamientos

Las parcelas bajo el tratamiento de **sucesión natural** fueron aisladas con cercas de alambre de púa; la vegetación natural se dejó crecer sin restricciones.

En las parcelas bajo el tratamiento de **árboles maderables** se usaron tres especies arbóreas nativas: nogal cafetero (*Cordia alliodora*), dinde (*Chlorophora tinctoria*) y caracolí (*Anacardium excelsum*). Los plántones fueron plantados con un espaciamiento de 3 x 6 m, para un total de seis árboles por parcela (555 árboles por hectárea). Cada seis meses se realizó un mantenimiento: plateo (limpieza alrededor de cada árbol) a un diámetro de 1,5 m y aplicación de 250 g de fertilizante (NPK) por árbol.

En las parcelas bajo el tratamiento de **guadua** se establecieron seis plántulas por parcela con un espaciamiento de 3 x 6 m, para un total de 555 árboles por ha. Periódicamente, se realizó un plateo a alrededor de cada plántula y se aplicaron 250 g de fertilizante (NPK) por planta.

En las parcelas donde se aplicó el tratamiento de **cultivos limpios** (maíz y frijol), se eliminó manualmente la cobertura de pasto y el suelo se aflojó con un azadón. Posteriormente, se sembraron semillas de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) a distancias de 0,8 m entre hileras y 0,5 m entre plántulas. Como los periodos de cosecha de estas especies son de aproximadamente seis meses, se alternaron durante el periodo de evaluación.

El tratamiento con **pasturas** representa el estado inicial de la cobertura en el sitio. Para hacer una equivalencia a la carga animal usada, en las parcelas con este tratamiento se permitió el pastoreo de un animal joven (aproximadamente 140 kg) por tres días cada mes durante el tiempo de evaluación.

### Mediciones y análisis de la información

La escorrentía y la erosión fueron las variables de respuesta usadas para comparar la eficiencia de los tratamientos en la protección del suelo. La primera se evaluó diariamente por un periodo de ocho meses y se midió en metros cúbicos por hectárea; la segunda se midió semanalmente durante 12 meses y se expresó en toneladas por hectárea. Todas las mediciones se empezaron a tomar un año después de haberse establecido los tratamientos.

En cada parcela se construyó un sistema de drenaje que recogiera en la parte inferior el agua y el suelo después de cualquier evento de lluvia (Foto 1). El agua y los sedimentos canalizados por el sistema de drenaje se depositaron en dos canecas colectoras de 140 L cada una, ubicadas de forma contigua, de manera que cuando la primera caneca se llena completamente, el agua y los sedimentos empiezan a pasar a la segunda (Foto 2). Así, fue posible efectuar mediciones sin pérdidas de agua ni de sedimentos ante probables eventos de precipitación de alta intensidad y duración. El suelo recolectado se llevó al laboratorio, donde se pesó y secó durante 24 horas a 105°C para obtener su masa (t/ha). El agua de escorrentía se midió en campo mediante un balde y una probeta y se expresó en litros.

Para determinar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, los valores totales de pérdida de suelo y escorrentía se compararon mediante análisis de varianza. Posteriormente, se realizaron comparaciones entre medias usando la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95%. También se realizó un análisis de correlación entre las variables evaluadas, con el software SPSS 10 para Windows (Ferrán 2003).



Fotos: José Alexander Rodríguez.

## Resultados y discusión

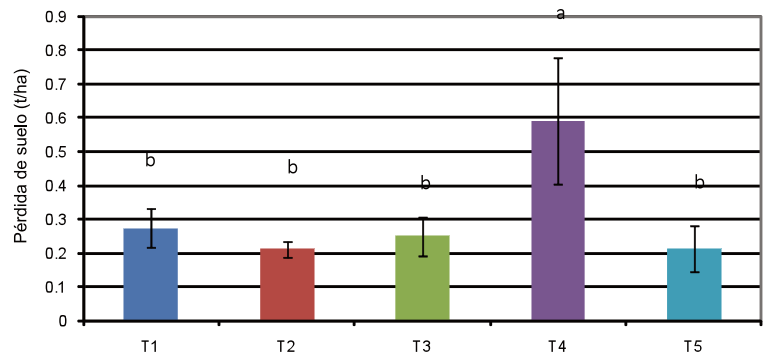
### Pérdida de suelo

Después de un año de evaluación, la pérdida de suelo resultó significativamente mayor ( $P < 0,05$ ) para el tratamiento de cultivos limpios (0,59 t/ha), seguido por sucesión natural (0,27t/ha), árboles maderables (0,211 t/ha), pastura (0,214 t/ha) y plantaciones de guadua (0,249 t/ha) (Fig. 1). De acuerdo con los análisis, el único tratamiento que mostró ser estadísticamente diferente fue el de cultivos limpios ( $p=0.007$ ). Estos resultados evidencian que la eliminación de la cobertura total del suelo es un factor determinante para la erosión. Las otras coberturas evaluadas generan algún grado de protección y hacen menos severo el proceso de pérdida de suelo. Es factible que con el tiempo, se empiecen a observar cambios relacionados con las características específicas de cada cobertura.

A través del tiempo, la pérdida de suelo estuvo asociada a la precipitación; los valores más altos coincidieron con el mes de diciembre cuando se presentó la

mayor precipitación (Fig. 2). Esto se evidenció en los análisis de correlación que mostraron una relación significativa ( $p < 0,05$ ) entre pluviosidad y pérdida de suelo ( $p = 0,04$ ). Estos resultados muestran tendencias similares a las observadas por

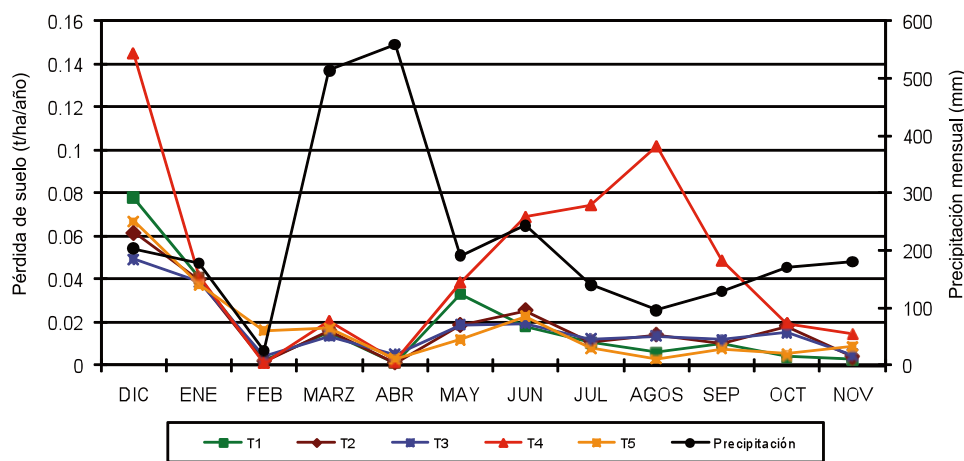
Rodríguez y Sepúlveda (2004), quienes evaluaron la pérdida de suelo en un periodo de tiempo similar y bajo diferentes coberturas -entre ellas guadua y cultivos limpios. En ese estudio, el cultivo limpio perdió mayor cantidad de suelo (2,61 t/ha),



**Figura 1.** Promedio de pérdida de suelo durante un año en t/ha por tratamiento, Finca Nápoles, Quindío, Colombia

T1 = Sucesión natural                      T2 = Plantación de árboles maderables  
T3 = Plantación de guadua manejo      T4 = Cultivos limpios  
T5 = pastura

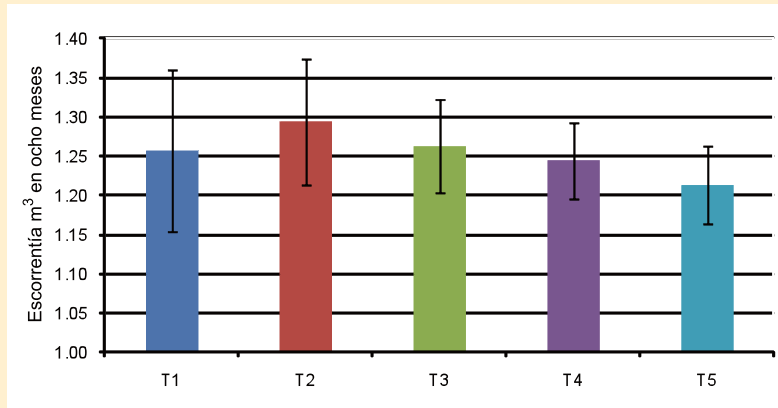
Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).



**Figura 2.** Pérdida mensual de suelo t/ha promedio por tratamiento durante un periodo de un año, Finca Nápoles, Quindío, Colombia

T1 = Sucesión natural                      T2 = Plantación de árboles maderables                      T3 = Plantación de guadua manejo  
T4 = Cultivos limpios                      T5 = pastura

Las líneas verticales representan la desviación estándar.



**Figura 3.** Promedio de escorrentía en m<sup>3</sup>/ha estimado por tratamiento durante un periodo de ocho meses, Finca Nápoles, Quindío, Colombia

T1 = Sucesión natural                      T2 = Plantación de árboles maderables  
T3 = Plantación de guadua manejo      T4 = Cultivos limpios  
T5 = pastura

Las líneas verticales sobre las barras representan la desviación estándar.

tados obtenidos con los de otros estudios, debido a que las condiciones del área donde se estableció el experimento son particulares para cada caso. No obstante, se quiere resaltar la coincidencia cuando se mide la erosión bajo cultivos limpios -la más alta en todos los casos registrados, incluyendo este estudio.

### Escorrentía

Durante el periodo analizado no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > 0.05$ ) para esta variable. En todos los tratamientos se obtuvo un promedio de 1,25 m<sup>3</sup>/ha; el valor más alto se dio en el tratamiento de árboles maderables (1,29 m<sup>3</sup>/ha) (Fig. 3). Este resultado puede estar asociado a las buenas características físicas de los suelos predominantes en esta área: porosidad total alta y buena capacidad de infiltración; asimismo, la intensidad de los eventos de precipitación no suele ser alta, lo que facilita el proceso de infiltración.

### Conclusiones

La variable pérdida de suelo parece ser eficiente para medir los efectos de determinados usos sobre el suelo en el periodo evaluado. La cobertura con guadua resulta, en promedio, la más eficiente en términos de protección del suelo, mientras que la eliminación de la cobertura (cultivos limpios) representa un gran aumento en la susceptibilidad a la erosión.

Para la variable escorrentía hasta el momento no se observan cambios importantes entre tratamientos; posiblemente sea necesario hacer evaluaciones en etapas más tardías del proyecto para identificar posibles diferencias o efectos de los tratamientos sobre esta variable. Las condiciones naturales de los suelos en el sitio del experimento parecen favorecer considerablemente la infiltración del agua, motivo por el cual el porcentaje de escorrentía resulta bajo con respecto a la precipitación (0,5%).

Foto: José Alexander Rodríguez.



Parcelas con tratamiento de pasturas en Quindío, Colombia

en tanto que bajo guadua solamente se perdió 0,08 t/ha. De igual manera, estos valores de pérdida de suelo coinciden con investigaciones hechas por De León et ál. (1998), quienes hablan de una pérdida anual de 0,7 t/ha en áreas con pendientes entre 12-25%. Los resultados también son consistentes con los observados por Arsenault y Bonn (2005), Carmona

et ál. (2003), Obando (2000), Durán et ál. (2004) y Viveros et ál. (2003) quienes asocian la erosión con la intensidad de manejo que se le da al suelo: un manejo intensivo incrementa la degradación, lo cual se refleja en pérdida de productividad y de soporte para las plantas.

En este estudio no se pretende comparar directamente los resul-

El área experimental estuvo más de 100 años bajo cobertura de potreros; a pesar de esto, la variable pérdida de suelo muestra sensibilidad a corto plazo para determinar el efecto de la cobertura sobre el suelo, que para el caso de este estudio aún conserva buenas características.

Las variables pérdida de suelo y escorrentía pueden ser útiles también para la toma de decisiones sobre el establecimiento de estrategias para restaurar áreas degradadas y también como evidencia de cuáles coberturas pueden generar efectos negativos y positivos sobre el suelo.

### Agradecimientos

Esta investigación se realizó gracias al proyecto “Estrategias de conformación y fortalecimiento de empresas rurales, con base en la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) en el eje Cafetero de Colombia” contrato No. 165-2004 financiado por COLCIENCIAS. Queremos agradecer al señor Eduardo Marulanda propietario de la Finca Nápoles, Montenegro Quindío, quien facilitó el área para la realización de este trabajo y co-financió a través de la empresa Bambú de Colombia el mencionado proyecto. Agradecemos también a la Universidad Tecnológica de Pereira, que contribuyó en forma importante con apoyo logístico y financiero. Un agradecimiento muy especial a nuestra compañera y amiga Carolina Larrarte Plata, Q.E.P.D., quien falleció durante la ejecución del proyecto. Durante la fase de esta investigación también fue importante el apoyo del Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos, CIEBREG, en la marco del proyecto “Valoración de los Bienes y Servicios de la Biodiversidad para el Desarrollo Sostenible de Paisajes Rurales Colombianos: Complejo Ecorregional Andes del Norte”.

### Literatura citada

- Arsenault, A; Bonn, f. 2005. Evaluation of soil erosion protective cover by crop residues using vegetation indices and spectral mixture analysis of multispectral and hyperspectral data. *Catena* 62(2005): 157-172.
- Calle, Z. 2003. Restauración de suelos y vegetación nativa: ideas para una ganadería andina sostenible. Cali, Colombia, Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav).
- Camargo, JC. 2006. Growth and productivity of the bamboo species *Guadua angustifolia* Kunth in the coffee region of Colombia. PhD. Thesis. Göttingen, Deutschland, Göttingen Universityät.
- Camargo, JC; Dossman, MA; Cardona, G. 2001. Estudio semidetallado de suelos del Departamento del Quindío. Montenegro, Quindío, Corporación Regional del Quindío, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Camargo, JC; Gaviria, J; Cardona, G. 2007. Sistemas silvopastoriles con árboles maderables dentro de pasturas: Estrategias para su establecimiento. Pereira, Colombia, Postregraph. 84 p.
- Camargo, JC; Morales, T; García, JH; Giraldo, L. 2003. Informe anual técnico-financiero proyecto: Dinámica poblacional de la guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) bajo diferentes condiciones de sitio y de manejo silvicultural en el eje cafetero de Colombia. Pereira (Risaralda), Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira.
- CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risaralda). 2007. Situación de los recursos naturales y el medio ambiente en Risaralda. Pereira, Colombia. 98 p.
- Carmona, P; Isaza, J; Obando, F. 2003. Erosividad de lluvias y erodabilidad de un andisol en la zona andina central de Colombia. *Revista Suelos Ecuatoriales* 33(2): 87-94.
- Castaño, F. 2001. Definición técnica de un régimen de aprovechamiento de bosques de guadua (*Guadua angustifolia* Kunth) y su incidencia en la sostenibilidad, sanidad y rentabilidad del recurso. Experiencias en la provincia del Valle del Cauca, Colombia y provincia de Guayaquil, Ecuador. Cali, Colombia, Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), Agencia Internacional para el Desarrollo (AID-INFORDE).
- De León, GF; Payán, ZF; Sánchez, SR. 1998. Identificación of soil compacted layers using a cone digital penetrometer. *Terra Latinoamericana* 16(4): 303-307.
- Durán, VH; Francia, JR; Martínez, A. 2004. Impact of vegetative cover on runoff and soil erosion at hillslope scale in Lanjaron, Spain. *The environmentalist* 24(1): 39-48.
- FAO – Unesco. 1998. Vigilancia de los recursos de tierra y agua dulce: calidad y utilización. Roma, Italia, Comité de Agricultura.
- Ferrán, AM. 2003. SPSS para Windows, Análisis Estadístico. Madrid, España, McGraw-Hill.
- Gamboa, RD; Solarte, JG. 2007. Tipificación de sistemas agroforestales de dos fincas de la parte baja de la cuenca de río La Vieja –municipios de Montenegro y Quimbaya, Departamento del Quindío. Trabajo de Grado Ingeniería Agroforestal. Montenegro y Quimbaya (Quindío), Colombia, Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. 46 p.
- Harris, JA; Birch, P; Palmer, JP. 1996. Land restoration and reclamation: Principles and practice. Londres, Inglaterra, Longman.
- Holdridge, L. 1996. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- Londoño, X. 1998. Evaluation of bamboo resources in Latin America. Montenegro (Quindío), Colombia. International Network for Bamboo and Rattan. Final report. No. 96-8300-01-4.
- Obando, FH. 2000. Methods to quantify the impacts of water erosion on productivity of tropical soils. *Revista Suelos Ecuatoriales* 30(1): 67-75.
- Ospina, RM. 2002. Factores que determinan las características florísticas y estructurales de los fragmentos dominados por *Guadua angustifolia* Kunt en el eje cafetero colombiano y su relación con el aprovechamiento de guadua. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Restrepo, C; Ibrahim, M; Harvey, CA; Harmand, JM; Morales, J. 2004. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en el trópico seco en Cañas, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 11 (41-42): 29-36.
- Rodríguez, JA; Sepúlveda, IC. 2004. Beneficios ambientales en la disminución de la erosión y la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos bajo rodales de guadua en el Eje Cafetero Colombiano. Trabajo de grado. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales.
- Russo, RO. 1990. Evaluating *Alnus acuminata* as a component in agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 10: 241-252.
- SER (Society for Ecological Restoration). 2002. Ponencia introductoria sobre la restauración ecológica. Disponible en [www.ser.org](http://www.ser.org).
- Viveros, R; Jaramillo, ARA; Amézquita, E. 2003. Evaluación del impacto del manejo físico de los suelos en un vertisol bajo uso intensivo del CIAT. *Revista Suelos Ecuatoriales* 33(2): 105-113.