

# Identificación y valoración de los servicios ecológicos prestados por los suelos bajo distintas coberturas en la cuenca del río La Vieja, Colombia

**Miguel Angel Dossman<sup>1</sup>;**  
**Ligia María Arias-Giraldo<sup>2</sup>;**  
**Juan Carlos Camargo<sup>3</sup>**

Según el estudio, se ubicaron tres unidades de análisis en el rango de valoración “mejoramiento”, que representa un deterioro moderado de los servicios prestados por el suelo. Los índices de las unidades de análisis consideradas son útiles para orientar acciones en donde se requiere mayor atención y, en consecuencia, es necesario incentivar acciones tendientes a mejorar las condiciones a través de usos y prácticas adecuadas. Es posible monitorear el mejoramiento a través de los índices de la unidad de análisis y medir el nivel de resiliencia del ecosistema a las acciones que se implementan.

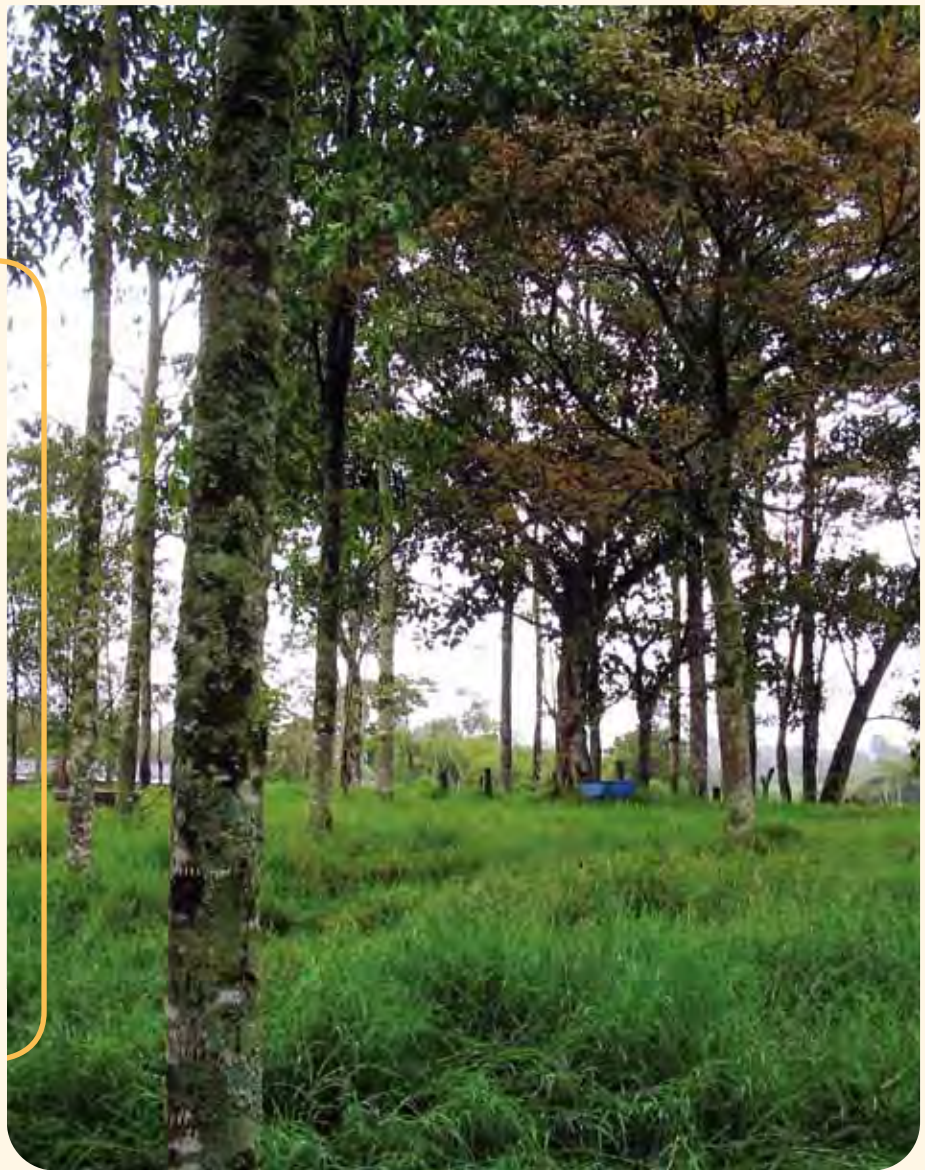


Foto: Miguel Angel Dossman.

<sup>1</sup> Investigador. Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos CIEBREG. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. [mdossman@utp.edu.co](mailto:mdossman@utp.edu.co)  
<sup>2</sup> Investigadora CIEBREG. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. [larias@utp.edu.co](mailto:larias@utp.edu.co)  
<sup>3</sup> Profesor Asociado. Universidad Tecnológica de Pereira. Grupo de Investigación Gestión en Agroecosistemas Tropicales Andinos. Pereira, Colombia. [jupipec@utp.edu.co](mailto:jupipec@utp.edu.co)

## Resumen

Para la valoración no económica de los servicios ecológicos prestados por el suelo en la cuenca del río La Vieja (Colombia) se colectó información sobre propiedades físicas y bioquímicas de los suelos en 108 puntos con distintas coberturas y usos (bosque natural, guadua bambú, monocultivos, policultivos, pasturas y sistemas silvopastorales). Un análisis de los componentes principales permitió definir las variables con mayor peso en la variabilidad de los datos. Mediante un análisis de conglomerados se definieron tres unidades de análisis donde se determinaron cinco servicios ecológicos (disponibilidad de nutrientes, capacidad de enraizamiento, disponibilidad de agua, resistencia a la erosión y fijación de CO<sub>2</sub>). Después, mediante la ponderación de los valores de los servicios ecológicos, se determinaron los índices de uso de la tierra, servicio ecológico y unidad de análisis. Estos índices permitieron ponderar las unidades de análisis: la UA2 obtuvo el mayor índice (2,88), seguida por la UA1 (2,77) y la UA3 (2,40). Con esta cualificación se determinó que las tres unidades ecológicas se ubican en la categoría de mejoramiento para la prestación de servicios ecológicos del suelo.

**Palabras claves:** Servicios ambientales; utilización de la tierra; disponibilidad de nutrientes; enraizamiento; disponibilidad del agua; erosión; fijación de carbono; cobertura natural; río La Vieja, Colombia.

## Summary

**Identification and valuation of ecological services provided by soil under different vegetative covers in La Vieja River Basin, Colombia.** In order to carry out a non-economic valuation of the ecosystem services provided by soils in La Vieja river basin, information on physical and biochemical soil properties from 108 sites with different land cover was gathered (forest, bamboo, monoculture, policulture or mixed crop, pastures and silvopastoral systems). Variables with the highest variability were identified by means of an analysis of the main components; three units of analysis were defined through a cluster analysis. With threshold values assigned to soil characteristics, five ecosystem services were identified: nutrients availability, water availability, rooting capacity, erosion resistance and CO<sub>2</sub> fixation. Thereafter, values of ecosystem services were weighted to determine indices for land use, ecosystem service and unit of analysis. These indices were used to weight the units of analysis; unit 2 obtained the highest value (2.88), followed by unit 1 (2.77) and unit 3 (2.40). According to index values, the three units were categorised at level of improvement for the provision of soil ecosystem services.

**Keywords:** Ecosystem services; land use; nutrient availability; rooting; water availability; erosion; carbon fixation; natural coverage; La Vieja river, Colombia.

### Introducción

La valoración de los servicios ecológicos prestados por los diferentes ecosistemas en los paisajes rurales se ha consolidado como una estrategia de conservación y desarrollo sostenible que permite revertir los procesos de degradación y pérdida de biodiversidad. Con dicha estrategia se pretende que los sistemas productivos propios

de los paisajes rurales ayuden a su conservación y a la recuperación de la calidad de vida de los pobladores. Desde esta perspectiva, los planificadores, los generadores de políticas públicas y los tomadores de decisiones en los diferentes procesos de ordenamiento territorial, ocupación del territorio y manejo de los recursos naturales deben desarrollar una visión integradora y proponer

alternativas plausibles. Este es el caso de la valoración de los servicios ecológicos ofrecidos por los recursos naturales -y en especial del recurso suelo. Mediante la valoración de servicios ecológicos se busca compensar a los agricultores que aplican prácticas amigables con el entorno, por las ganancias financieras que sacrifican a corto plazo, con el fin de conservar y mantener las relaciones

funcionales entre el ámbito rural y el ámbito urbano.

El suelo, como conjunto de cuerpos naturales, está en continua evolución y cambia constantemente por condiciones naturales; sin embargo, el manejo realizado por el hombre es la principal causa del cambio de sus características. La mayoría de las veces, el manejo impacta en forma negativa; en consecuencia, se deterioran los servicios que el suelo provee al ecosistema y a las comunidades que lo utilizan como soporte para la generación de actividades productivas. Un manejo adecuado de la cobertura vegetal y buenas prácticas de manejo hacen que los servicios ecológicos mejoren, o por lo menos se mantengan.

### **Valoración de los servicios ecológicos del suelo**

Algunas funciones del suelo se asocian con la productividad y la biodiversidad (actividades agropecuarias y forestales), con la regulación de flujos de agua (ciclo hidrológico y su dinámica), con la filtración y amortiguamiento de la contaminación ambiental, y con los ciclos nutrimentales en procesos agropecuarios y forestales y dentro del ecosistema, o bien sirven de soporte estructural y de resistencia a la degradación física (estabilidad estructural) y la prevención de desastres por movimientos masales (Arshad y Coen 1992, Stork y Eggleton 1992, Visser y Parkinson 1992, Berry 1994, Kennedy y Papendick 1995, Franzluebbbers y Arshad 1997, Karlen et ál. 1997, Stenberg 1999, Franzluebbbers et ál. 1999, Singer y Ewing 2000).

Los servicios ecológicos prestados por el suelo son fundamentales para los demás servicios de los ecosistemas (suministro, de regulación y culturales) (MEA 2005). Recientemente, el tema de la valoración de servicios prestados por la naturaleza ha recibido

un impulso importante; en especial, se ha fortalecido la investigación relacionada con la valoración de los servicios previstos por el recurso agua y por la flora y fauna (Quezada 2003, Medellín 2002, Barzev 2002, Arango 1999). Sin embargo, todavía no se tiene mucha información relacionada con los servicios ecológicos prestados por el suelo, y la existente, normalmente es de índole general o no tiene en cuenta servicios fundamentales para la funcionalidad ecosistémica en coberturas protectoras y en diferentes niveles de sistemas de producción.

Para la valoración de los servicios prestados por los ecosistemas se han desarrollado dos líneas de investigación: la primera basada en la economía neoclásica (economía ambiental), la cual busca solucionar los problemas de corto plazo que surgen entre la economía y la ecología. La principal preocupación de la economía ambiental es la necesidad de internalizar el tema ambiental en los procesos de toma de decisiones para orientar los postulados del desarrollo sustentable<sup>4</sup>. La segunda línea de investigación es la economía ecológica, la cual se fundamenta en el principio de que *“la tierra tiene una capacidad limitada para mantener a los seres humanos y sus artefactos determinada por límites de combinaciones de recursos y umbrales ecológicos. Para mantener la economía operando de modo sustentable dentro de los límites es necesario establecer políticas ambientales específicas”* (Constanza et ál. 1999).

A partir de la valoración ecológica, este estudio busca construir una línea de base para la cuenca baja del río La Vieja, Ecorregión del Eje Cafetero, Colombia. Dicha línea de base servirá para el monitoreo y seguimiento de las acciones en los diferentes entes territoriales, en busca de la articulación armoniosa

entre el hombre y la naturaleza. Con el tiempo, este proceso será fundamental para el diseño de estrategias de pago por servicios ecológicos en diferentes zonas del país. De igual manera, se pretende ofrecer elementos fundamentales a las instituciones ambientalistas y de producción para el diseño, formulación y ejecución de proyectos que se enmarquen en la conservación de los recursos naturales y la producción agropecuaria y forestal. Se pretende, también, contribuir al mantenimiento, mejoramiento y restauración de los servicios ecológicos prestados por el suelo y de los procesos funcionales para el manejo adecuado de los ecosistemas por parte de las comunidades campesinas, con el fin de promover una utilización racional de los recursos de base.

### **El sitio de estudio**

La cuenca del río La Vieja se localiza en el centro-occidente de Colombia (4°04' - 4°49' norte y 75°24' - 75°57' oeste), en jurisdicción territorial de los departamentos del Quindío, Risaralda y Valle del Cauca. La cuenca tiene una extensión aproximada de 2925 km<sup>2</sup> y una población de 1.107.521 habitantes (378 hab/km<sup>2</sup>) (Carder-Fonade 2007). Si bien se prevé el desarrollo de herramientas teóricas y metodológicas que permitan valorar los servicios ecológicos que ofrecen los recursos naturales, para este estudio lo fundamental es la valoración de los servicios ecológicos del suelo bajo distintas coberturas naturales (transformadas y no transformadas) en la cuenca baja.

Para la determinación de las características de los suelos en la cuenca baja del río La Vieja, *a priori* se definieron tres unidades de análisis (UA), las cuales corresponden a tres posiciones en el paisaje y presentan rangos similares en altura sobre el nivel del mar, cobertura y

<sup>4</sup> Adaptado de CEPAL (1994).

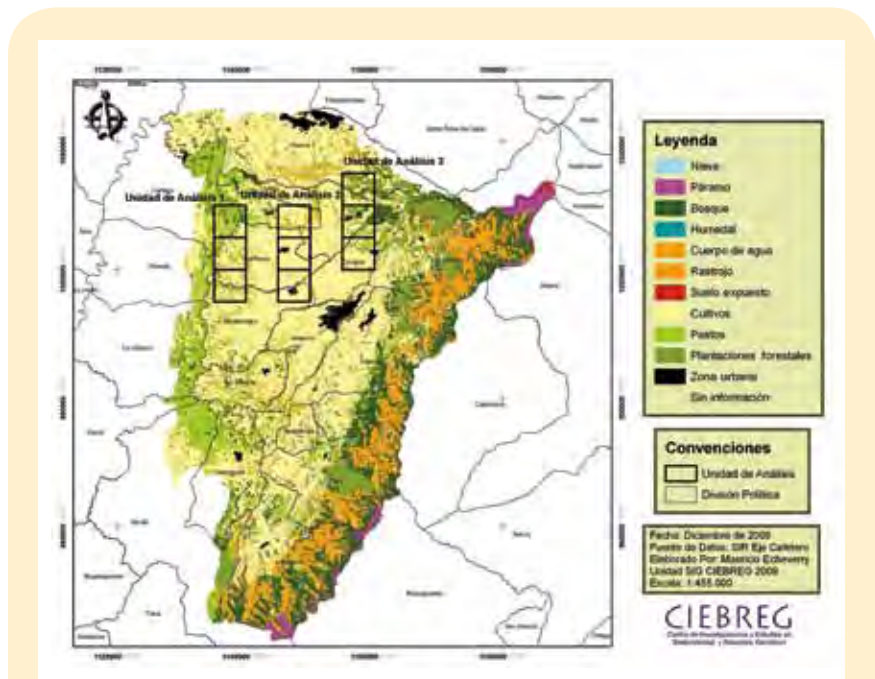
uso de la tierra y sistemas de producción. La delimitación de estas áreas se hizo por medio de sensores remotos y visitas de campo. Cada UA tiene un área de 7500 ha, en donde se tomaron muestras de suelo para identificar las características químicas, físicas y biológicas (Cuadro 1). Las unidades de muestreo dentro de cada unidad de análisis se definieron de acuerdo con el tipo de cobertura: cobertura natural o no transformada (bosques naturales y guadua) y cobertura transformada (monocultivos, policultivos, pasturas y sistemas silvopastoriles).

La UA1 se ubica en la zona más baja de la cuenca (1015-1200 msnm), en suelos compactados y con saturación de bases altas -especialmente en donde la ganadería es la principal actividad económica. En años recientes, en algunas áreas se han iniciado procesos de reconversión de la ganadería mediante el establecimiento de sistemas silvopastoriles. La UA2 se ubica en elevaciones medias (1250-1600 msnm), en áreas dedicadas a cultivos agrícolas en arreglos de varias especies o especie única, en suelos de mediana fertilidad. La UA3 se ubica en la parte media de la cuenca (1700-2000 msnm), en suelos con buenas propiedades físicas, aunque no muy fértiles; allí predominan las pasturas con acompañamiento de coberturas boscosas (Fig. 1).

Se definieron 108 puntos de muestreo: 13 en bosques, 6 en guadua, 15 en policultivos, 27 en monocultivos, 14 en pastos y 33 en sistemas silvopastoriles (Fig. 2). Para la evaluación de las propiedades físicas del suelo (densidad aparente y real, conductividad hidráulica, curvas de retención de humedad, compactación y estabilidad estructural) se tomaron muestras entre 0-15 cm, 15-30 cm y 45-50 cm en bolsa (muestra disturbada) y en cilindro de volumen conocido (muestra no disturbada). Para los análisis químicos y biológicos (acidez, bases,

**Cuadro 1.** Distribución del muestreo realizado en la cuenca del Río La Vieja

	UA1		UA2		UA3		Total	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
	<b>9</b>	<b>23,7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>30,3</b>	<b>19</b>	<b>17,6</b>
Bosque	3	33,3	0	0	10	100,0	13	68,5
Guadua	6	66,7	0	0	0	0,0	6	31,6
<b>Transformado</b>	<b>29</b>	<b>76,3</b>	<b>37</b>	<b>100</b>	<b>23</b>	<b>69,7</b>	<b>89</b>	<b>82,4</b>
Silvopastoril	16	55,2	2	5,4	9	39,1	27	30,3
Cítricos	1	3,4	5	13,5	0	0,0	6	6,7
Mixto	3	10,3	10	27,0	2	8,7	15	16,9
Pasturas	4	13,8	5	13,5	5	21,7	14	15,7
Café	1	3,4	4	10,8	2	8,7	7	7,9
Plátano	2	6,9	5	13,5	0	0,0	7	7,9
Yuca	0	0,0	5	13,5	0	0,0	5	5,6
Banco de forraje	0	0,0	0	0,0	5	21,7	5	5,6
Leucaena	1	3,4	0	0,0	0	0,0	1	1,1
Plantación guadua	1	3,4	0	0,0	0	0,0	1	1,1
Maíz	0	0,0	1	2,7	0	0,0	1	1,1
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>35,2</b>	<b>37</b>	<b>34,3</b>	<b>33</b>	<b>30,6</b>	<b>108</b>	<b>100,0</b>

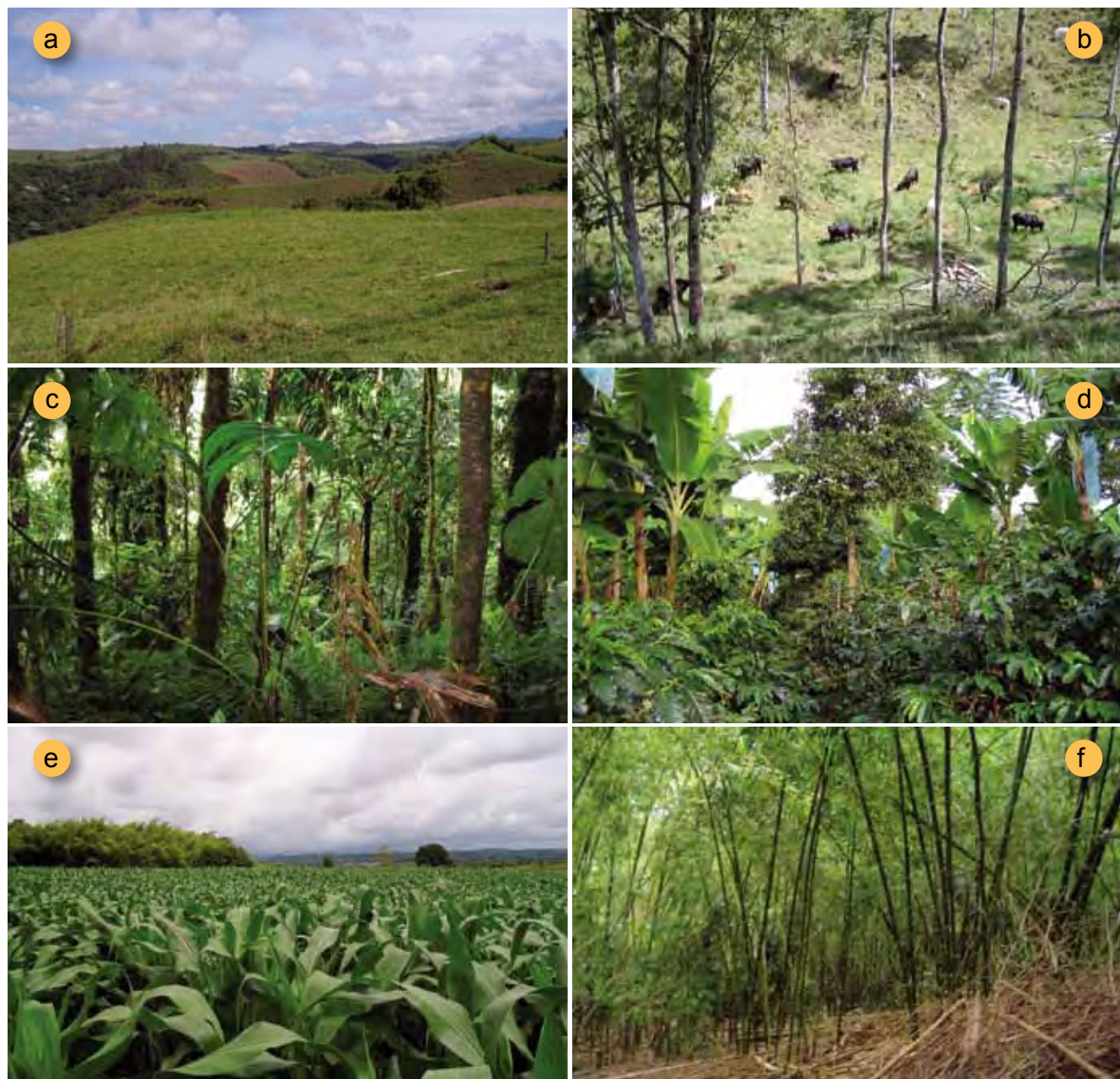


**Figura 1.** Ubicación de las unidades de análisis en la cuenca del río La Vieja

Fuente: Sistema de Información Regional, Ecorregión del Eje Cafetero.

capacidad de intercambio catiónico, fósforo y materia orgánica), las muestras se tomaron a profundidades de 0-25 y 25-50 cm. Las muestras fueron enviadas a los laboratorios para las respectivas determinacio-

nes. Con los resultados de los análisis de laboratorio (propiedades físicas y bioquímicas), se hizo un análisis de componentes principales para determinar cuáles variables tiene mayor peso en la variabilidad del conjunto



Fotos: Miguel Angel Dossman.

**Figura 2.**

a. Pastos  
d. Policultivos

b. Sistemas silvopastoriles  
e. Monocultivos

c. Bosque  
f. Guadales

de datos. Con estas variables, posteriormente, se realizó un análisis de conglomerados para agrupar los sitios muestreados y ratificar la clasificación preliminar.

Sobre cada unidad de análisis, y a partir de las características de los suelos, se establecieron rangos de valores y umbrales que permiten la definición de los servicios ecológicos.

La valoración de los servicios ecológicos de suelo se realiza a partir de la interpretación de los rangos del índice de la unidad de análisis (Cuadro 2). Para este procedimiento se tomaron en cuenta las variables físicas y bioquímicas de los suelos que definen cada uno de los servicios ecológicos. Luego, se ponderaron valores de los servicios ecológicos

para determinar los índices de uso de la tierra, servicio ecológico y unidad de análisis. El **índice de uso de la tierra** representa el valor asignado a cada uno de los servicios ecológicos para cada una de las coberturas y usos de la tierra en la unidad de análisis. El **índice del servicio ecológico** corresponde al valor de cada uno de los servicios ecológicos bajo

**Cuadro 2.** Valoración de los servicios ecológicos del suelo

Valor	Rango	Cualidad
<1	Muy bajo	Restauración
1,0 – 1,9	Bajo	
2,0 – 2,9	Medio	Mejoramiento
3,0 – 3,9	Alto	Mantenimiento
≥4	Muy alto	

una cobertura y el uso definido de la unidad de análisis. Finalmente, el **índice para la unidad de análisis** (índice de resultado) se obtiene del promedio ponderado de las diferentes coberturas y usos presentes en la unidad de análisis y los índices de uso. La unidad de análisis puede ser una finca, una cuenca, un núcleo de análisis, un municipio, una vereda, un departamento:

$$((\text{Índice de uso1} * \% \text{ del uso1}) + (\text{Índice de uso2} * \% \text{ del uso2}) \dots + (\text{Índice de uso n} * \% \text{ del uso n}))$$

### Resultados y discusión

En el marco de la presente investigación se identificaron cinco servicios ecológicos: disponibilidad de nutrientes, resistencia a la erosión, capacidad de enraizamiento, disponibilidad de agua y capacidad fijadora de dióxido de carbono. Cada uno de ellos se sustenta en las diferentes propiedades bioquímicas y físicas de los suelos.

Como se muestra en el Cuadro 3, en la UA1, el mayor índice de uso se registró en los bosques, la guadua y las pasturas (3,40). La actividad agrícola tuvo los índices más bajos, lo que hace pensar que esa actividad genera un impacto importante en las propiedades del suelo y deteriora los servicios que presta. En la UA2 la situación cambia y el valor más alto se registró en los sistemas silvopastoriles (de hecho, el índice más alto para las tres unidades de análisis). Debe tenerse en cuenta que en esta unidad de análisis no se tiene información para los bosques y la guadua. En la UA3, los índices más altos se registraron en los sistemas silvopastoriles y los pastos, seguido por el bosque y, por último, los sistemas agrarios.

En cuanto a los servicios ecológicos prestados por el suelo (Cuadro 4), los valores más altos en la UA1 mostraron la capacidad de enraizamiento (3,83), seguido por la

disponibilidad de nutrientes (3,67) y resistencia a la erosión (3,50). Estos resultados se sustentan en la dinámica y presencia de un fuerte componente ganadero, asociado con relictos de bosques y guadua. Los campesinos han generado una cultura ganadera aplicando un manejo adecuado. En general las fincas son de gran extensión (mayores de 100 ha), lo que hace que el impacto al suelo no sea tan fuerte. En esta unidad de análisis, los sistemas silvopastoriles presentaron un valor de 3,00 (Cuadro 3) lo cual hace pensar que el poco tiempo que tales sistemas han estado vigentes no ha sido suficiente para modificar las características del suelo, y que al momento de realizarse la reconversión había una alta degradación de las propiedades del suelo. De otro lado, la posición fisiográfica y el relieve han favorecido la acumulación de materiales volcánicos que han contribuido a incrementar la profundidad, mejorar la estructura y aumentar el espacio poroso del suelo, todo lo cual facilita la penetración de las raíces.

En la UA2, los servicios ecológicos con mayor índice fueron la capacidad de enraizamiento y la disponibilidad de agua (Cuadro 4). En esta unidad de análisis, el índice de servicios está muy relacionado con el grado de cobertura del suelo; los mejores índices se encuentran en sistemas con alta densidad de árboles, con mezclas de especies y con altos aportes de materia orgánica (leucaena en el caso del sistema silvopastoril). Se espera que también otros índices -como el de biodiversidad - mejoren en estos usos. Los usos que mostraron los índices más bajos corresponden a cultivos de una sola especie y con alta densidad de uso. En esta unidad se observó que los índices tienden a mejorar en la medida que el uso se asemeja a un sistema boscoso; desafortunadamente no se tiene información de los pocos bosques que se encuentran en esta unidad.

**Cuadro 3.** Índices de uso en las tres unidades de análisis evaluadas

UA No.	Índice del uso					
	Bosque	Guadua	Monocultivos	Policultivos	Pasturas	SSP
UA1	3,40	3,40	2,80	3,00	3,40	3,00
UA2	NR	NR	3,20	3,40	3,40	4,00
UA3	3,00	NR	2,60	2,80	3,20	3,20

UA= unidad de análisis, NR= sin registro, SSP= sistemas silvopastoriles

**Cuadro 4.** Índices de servicios ecológicos en las tres unidades de análisis evaluadas

UA No.	Índice del servicio				
	Disponibilidad de nutrientes	Resistencia a la erosión	Capacidad de enraizamiento	Disponibilidad de agua	Capacidad fijadora de CO <sub>2</sub>
1	3,67	3,50	3,83	2,00	2,83
2	3,25	3,50	4,00	4,00	3,50
3	2,40	3,40	4,00	1,80	3,20

De las tres unidades evaluadas, la UA3 es la que presenta los índices de servicios más bajos. No obstante, al igual que en las otras unidades, la capacidad de enraizamiento presentó el índice mayor, seguido de la resistencia a la erosión y la capacidad fijadora de CO<sub>2</sub> (Cuadro 4). Los índices de uso más alto de la unidad se presentaron en sistemas silvopastoriles y policultivos (Fig. 3), lo que tiene efecto en los servicios que el sistema ofrece. Se presentan mayores aportes de materia orgánica, hay menos procesos de mineralización y hay más acumulación de carbono orgánico y con ello mayor fijación de CO<sub>2</sub>. Esta dinámica se ve reflejada en la prestación de los servicios ecológicos del suelo.

Los mayores índices obtenidos para la capacidad de enraizamiento en las tres unidades confirman las buenas condiciones físicas del suelo y una estabilidad importante de las partículas que denotan una buena resistencia a la erosión. No obstante, a medida que se asciende en altitud, las condiciones de menor temperatura incrementan la acumulación de materia orgánica y mejoran las condiciones físicas, pero aumenta la acidez y disminuye la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

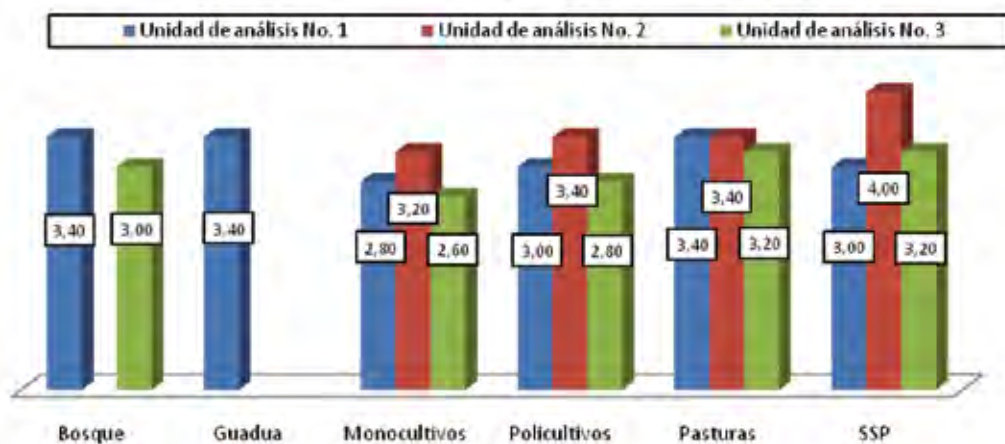


Foto: Miguel Angel Dossman.

**Figura 3.** Unidad de análisis 3: sistemas silvopastoriles con nogal (*Cordia alliodora*) en finca

En la Fig. 4 se pueden observar los tres índices de resultados para las unidades de análisis. Según los valores obtenidos, las tres unidades de análisis se ubicaron en el rango de valoración “mejoramiento”, que representa un deterioro moderado de los servicios prestados por el suelo. Los índices de las unidades

de análisis son útiles para orientar acciones en donde se requiere mayor atención y, en consecuencia, es necesario incentivar acciones tendientes a mejorar las condiciones a través de usos y prácticas adecuadas. Es posible monitorear el mejoramiento a través de los índices de la unidad de análisis y medir el nivel



**Figura 4.** Índices de resultado para las tres unidades de análisis evaluadas


de resiliencia del ecosistema a las acciones que se implementan.

### Conclusiones

La herramienta de valoración utilizada en este trabajo puede emplearse en diferentes ámbitos. En el sector académico, facilita la ejecución de proyectos para determinar las condiciones del suelo, sus relaciones con los ecosistemas y las prácticas de manejo de suelos. En el sector productivo, sirve a productores, campesinos y/o propietarios interesados en darle un manejo adecuado a sus recursos; a las instituciones de fomento agrícola, interesadas en valorar el estado de los servicios ecológicos del suelo, les ayuda a evaluar los impactos a los que están siendo sometidos los paisajes rurales.

Asimismo, esta herramienta permite generar una base importante para la toma de decisiones y el reconocimiento de líneas estratégicas para la conservación y la producción, con el mínimo impacto a los suelos. La colaboración con organizaciones no gubernamentales que trabajan en el sector rural y ambiental incrementaría el interés por calificar los servicios ecológicos del suelo y su funcionalidad en los ecosistemas de los paisajes rurales.

La valoración como metodología busca ampliar el conocimiento y las habilidades para el análisis de los procesos inherentes a la dinámica del sector rural, permite jerarquizar los problemas asociados con las prácticas y la calidad de los suelos en las diferentes cobertu-

ras en el territorio, y ayuda para que en forma integral se busquen soluciones a la problemática rural. No obstante, la valoración hace explícita sus limitaciones y sus exigencias en términos de recursos y de información. En este estudio no fue posible abordar el conocimiento de otras disciplinas y saberes, en especial desde las ciencias sociales. Con ello se sugiere la vital exigencia de articularla con visiones menos técnicas, pero de igual o mayor importancia, que permitan incorporar el conocimiento de los trabajadores del campo, ya que son ellos quienes aportan la experiencia del trabajo cotidiano, la visión del territorio y la riqueza cultural que pretende como fin último cualquier trabajo de investigación. 

### Literatura citada

- Arango, LA. 1999. Valoración económica de un recurso natural: el caso del humedal Juan Amarillo en Bogotá. Tesis de Maestría. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes.
- Arshad, MA; Cohen, GM. 1992. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:25 – 31.
- Barzev, R. 2002. Valoración económica integral de los bienes y servicios ambientales de la Reserva del Hombre y la Biosfera de Río Plátano (en línea). Consultado en mayo 2009. Disponible en <http://www.biomeso.net/grafdocto/valoracion.pdf>
- Berry, EC. 1994. Earthworms and other fauna in the soil. In Hatfield, JL; Steward, BA. (Ed.). *Soil biology: effects on soil quality*. Boca Raton, FL, Lewis Publishers.
- CARDER - FONADE (Ministerio del Medio Ambiente). 2007. Convenio No. 1068. ECORREGIÓN EJE CAFETERO: Un Territorio de Oportunidades. Proyecto: «Construcción de un Ordenamiento Territorial para el Desarrollo Sostenible en la Ecorregión del Eje Cafetero. Colombia
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 1994. *Economía y ecología: dos ciencias y una responsabilidad frente a la naturaleza*.
- Constanza, R; Comberland, J; Daly, H; Goodland, R; Norgaard, R. 1999. Una introducción a la economía ecológica. México, Compañía Editorial Continental.
- Franzluubbers, AJ; Langdale, GW; Schomberg, HH. 1999. Soil carbon, nitrogen, and aggregation in response to type and frequency of tillage. *Soil Science Society of America Journal* 63:349-355.
- Franzluubbers, AJ; Arshad, MA. 1997. Particulate organic carbon content and potential mineralization as affected by tillage and texture *Soil Science Society of America Journal* 61:1382-1386.
- Karlen, DL; Mausbach, MJ; Doran, JW; Cline, RG; Harris, RF; Schuman, GE. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61:4-10.
- Kennedy, AC; Papendick, RI. 1995. Microbial characteristics of soil quality. *Journal of soil and water conservation*. 50:243-248.
- Medellín, H. 2002. Valoración económica ambiental de páramos: la valoración económica como herramienta de gestión ambiental. Primer Congreso Mundial de Páramos. Tomo1. Simposio Contabilidad y Servicios Ambientales. [13 al 18 de mayo del 2001, Paipa, Colombia]. Disponible en <http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/congresoparamo/valoracion.pdf>
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC.
- Quezada, VO. 2003. Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de las praderas altoandinas en el Perú: políticas para el manejo sostenible. III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas [9 al 13 de junio del 2003, Arequipa, Perú].
- Singer, MJ; Ewing, S. 2000. Soil quality. In *Handbook of soil science*. Chapter 11. Boca Raton, FL, CRC Press. p. 271-298.
- Stork, NE; Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(1-2):23-32
- Stenberg, B. 1999. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Acta Agric.Scand. (sect B) Soil and Plants Sci.* 49:1-24.
- Visser, S; Parkinson, D. 1992. Soil biological criteria as indicators of soil quality: Soil microorganisms. *Am. J. Alternat Agric.* 7(1/2):33-37.