

# Valoración ecológica de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo en fincas cafeteras en Belén de Umbría, Colombia

## Ecological assessment of ecosystem services provided by the soil on coffee farms in Belén de Umbría, Colombia

Bis Davinson Bedoya-Gómez<sup>1</sup>, Miguel Ángel Dossman-Gil<sup>2</sup>, Jeferson Marín-Fernández<sup>3</sup>

[Recibido: 21 de abril 2020, Aceptado: 27 de agosto 2020, Corregido: 17 de setiembre 2020, Publicado: 1 de enero 2021]

### Resumen

**[Introducción]:** Los beneficios que presta el suelo por medio de los servicios ecosistémicos de regulación, son importantes para el desarrollo de los sistemas productivos de café y son estratégicos para la adaptación al cambio climático. **[Objetivo]:** En la presente investigación se buscó valorar ecológicamente los servicios ecosistémicos prestados por el suelo en fincas cafeteras de La Cuchilla de San Juan. **[Metodología]:** Se colectó información en dos periodos de tiempo sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de 15 predios. Se delimitaron 3 unidades de análisis denominadas ventanas, donde se determinaron 6 servicios ecosistémicos (disponibilidad de nutrientes, de agua, de actividad microbiológica, capacidad de enraizamiento, resistencia a la erosión y sumidero de dióxido de carbono). Se definieron las variables con mayor peso en la variabilidad de los servicios ecosistémicos y se realizó un proceso de estandarización para el manejo adecuado de la información. Se generaron tres índices (óptimo, de comportamiento y de gestión). **[Resultados]:** Se identificó que la disponibilidad de nutrientes y de actividad microbiológica es baja, la resistencia a la erosión y sumidero de dióxido de carbono varía entre bajo y medio, en tanto, la disponibilidad de agua y capacidad de enraizamiento varía entre medio y alto. El predio El Consuelo, obtuvo la mejor valoración; La Mirla, Los Pinos y El Progreso fueron los predios con menor valoración. **[Conclusiones]:** Se pudo evidenciar que las dinámicas antrópicas han incidido directamente en las condiciones del suelo, y por ello, es importante la planificación predial de los territorios.

**Palabras clave:** Ecosistema; índices; predio; servicios de regulación; sistema de producción.

### Abstract

**[Introduction]:** The benefits provided by the soil through regulatory ecosystem services are important for the development of coffee production systems, as well as strategic for adaptation to climate change. **[Objective]:** This paper sought to ecologically assess the soil's ecosystem services on coffee farms in La Cuchilla de San Juan. **[Methodology]:** Information was collected on the physical, chemical, and biological properties of the soil of 15 farms in two time periods. Three units of analysis referred to as windows were established, and six ecosystem services were

1 Estudiante de Administración Ambiental, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia; [bisdavinson@utp.edu.co](mailto:bisdavinson@utp.edu.co); <https://orcid.org/0000-0002-7160-3066>

2 Docente e investigador, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia; [mdossman@utp.edu.co](mailto:mdossman@utp.edu.co); <https://orcid.org/0000-0002-1124-5068>

3 Estudiante de Administración Ambiental, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia; [jmarin698@utp.edu.co](mailto:jmarin698@utp.edu.co); <https://orcid.org/0000-0002-6927-2587>



determined (availability of nutrients, water, and microbiological activity, rooting capacity, resistance to erosion, and carbon dioxide sink). The variables with greater weight in the variability of ecosystem services were defined, and a standardization process was implemented for the adequate management of information. Three indices were generated (optimal, behavioral, and management). [Results]: It was identified that the availability of nutrients and microbiological activity is low, resistance to erosion and carbon dioxide sink varies between low and medium, while the availability of water and rooting capacity varies between medium and high. The El Consuelo property obtained the best assessment, while La Mirla, Los Pinos, and El Progreso were the properties with the lowest assessment. [Conclusions]: It was verified that anthropic dynamics have directly impacted soil conditions, and therefore, land planning is important.

**Keywords:** Ecosystem; farm; indices; production system; regulatory services.

## 1. Introducción

El suelo como componente natural es fundamental para el desarrollo de la vida. Al estar formado de materiales orgánicos, minerales, materia viva (Soil Survey Staff, 1994) y brindar elementos nutritivos a las plantas para su crecimiento (Arcila *et al.*, 2007), permite el desarrollo de actividades productivas, principalmente las relacionadas con la agricultura. Además, es vital para la preservación, restauración y conservación de los ecosistemas; la disponibilidad de agua de calidad, y la mitigación del cambio climático (Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 2017).

Las características del suelo, asociado a las condiciones climáticas y geográficas, han otorgado los escenarios para el desarrollo de diferentes sistemas de producción. En suelos tropicales y subtropicales, el café es uno de los sistemas de producción agrícola más importantes por su valor comercial (Panhuysen y Pierrot, 2014). Más de 80 países de Latinoamérica, África y Asia cultivan el café (Montero, 2018), por lo que proporcionan el sustento a rebasados los 20 000 000 de familias y alrededor de 100 000 000 de ellas están involucradas en sus diferentes procesos, a lo largo de la cadena productiva y comercial (Panhuysen y Pierrot, 2014). Por tanto, la caficultura es central para el desarrollo rural de la mayoría de los países caficultores y Colombia no es la excepción (Arcila *et al.*, 2007), al constituirse como el tercer país con mayor producción de café en grano y competir en el segmento de alta calidad (Montero, 2018).

En la actualidad, el cambio climático está alterando los ciclos de producción de muchos cultivos, entre ellos el del café (Descamps, 2017). Incluso, el programa que integra las instituciones cafetaleras centroamericanas —PROMECAFE—, hace más de una década sugirió realizar una reflexión acerca de los cambios que se deben implementar en los sistemas de producción cafetera, en función de brindar alternativas (PROMECAFE, 2007). En ese sentido, la caficultura debe proyectarse hacia cambios que reflejen su aporte a problemas ambientales globales (Virginio, 2008), como la vulnerabilidad, mitigación y adaptación al cambio climático (PROMECAFE, 2011).

Sin embargo, Colombia es un país carente de una reforma agraria, lo que dificulta y proyecta escenarios críticos para los caficultores que habitan las zonas montañosas, en términos





de adaptación al cambio climático y mejoramiento de la calidad de vida. Por ello, se han visto forzados a diversificar los cultivos, abandonar las plantaciones o migrar del campo a la ciudad (Montero, 2018). En aras de aportar insumos para una posible salida a la problemática, es necesario entender que la producción de café debe concebir su funcionamiento como un sistema y, a partir de ello, prospectar los modelos que permitan tanto el sostén de la biodiversidad como el mantenimiento de los servicios ecosistémicos (instrumento de adaptación al cambio climático).

Según lo explica Ossa (2016), un sistema se define como un conjunto de elementos interconectados, donde “el conjunto se comporta en forma organizada, coherentemente, como un todo integrado no deducible de sus partes” (p. 106). De tal manera, un sistema de producción agrícola no solo debe cernir su actividad a la planta de café, sus características y derivados, también debe comprender “la combinación (en tiempo y espacio) de los factores de producción disponibles en la propiedad rural”, en la que se incluyen “la fuerza de trabajo, conocimientos técnicos, la superficie agrícola utilizada, las mejoras, maquinarias y equipos agrícolas, el capital, entre otros, visando la producción de vegetales y animales” (Paz, 2015, p. 33).

Si bien los sistemas de café son fuente de ingreso y generación de empleo rural, se debe prestar especial atención a la familia, al campesino o productor, porque son ellos quienes, en última instancia, toman la decisión más importante de los manejos por realizar en el predio y los actores principales en la disminución de las brechas existentes entre sociedad-naturaleza, con el propósito de generar una producción ambientalmente sustentable.

Como resultado de las formas de manejo, los sistemas de producción de café consideran los siguientes sistemas: “tradicional, tecnificado, con semisombra y con sombra” (Arcila *et al.*, 2007, p. 19). Para el caso de la región cafetera colombiana, el mismo autor menciona que “se han identificado áreas homogéneas con características de suelo, relieve y clima denominadas ecotopos cafeteros, que definen el entorno o el ambiente principal de los sistemas de producción de café” (p.19). Además, de las condiciones físicas generadas por la ubicación geográfica y las climáticas, los sistemas van a estar en función de los arreglos y manejos que los propietarios de cada finca eligen, influenciados por aspectos a) socioculturales, como la tradición y la forma de organización; b) económicos, asociados a la disponibilidad de recursos monetarios, y c) externos, enlazados con la globalización, la tecnología y la asistencia técnica.

Por lo dicho, las clasificaciones naturales y antrópicas se convierten en un eje de análisis para entender la relación de los elementos que componen el sistema de producción cafetero. De cierta manera, ese vínculo está mediado por los servicios ecosistémicos, uno de los mayores beneficios que el suelo le presta al hombre, definidos como aquellos que la sociedad adquiere de los ecosistemas, en términos económicos y culturales (Millennium Ecosystem Assessment [MEA], 2005). Daily (1997) agrega que son “las condiciones y los procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los componen, sostienen y satisfacen la vida humana” (p. 3) y, por tanto, los “cambios en la calidad o cantidad de los servicios de los ecosistemas tienen valor en la medida en que cambian los beneficios asociados con los seres humanos o los costos de las actividades” (Costanza *et al.*, 1997, p. 255).



Al respecto, los servicios ecosistémicos se clasifican de acuerdo con su función, pero, son los de regulación (MEA, 2005), los que “ayudan a mantener el equilibrio de las interacciones y condiciones de los ecosistemas” (Zaccagnini, 2014, p. 22). Por esta razón, es importante considerar el ligamen de estos servicios en la producción cafetera; son definidos de la siguiente manera.

- Disponibilidad de nutrientes: Es uno de los más importantes y evidentes, al brindar los nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo, a fin de producir alimentos y biomasa en general (Burbano, 2016).
- Resistencia a la erosión: Vista desde lo que explica Zhang et al., (2007) como “la importancia de mantener la estructura del suelo” (p. 255) ante “la posibilidad que puede presentar el suelo en mayor o menor grado a alterarse por efecto de las condiciones naturales o antrópicas” (Dossman, Camargo y Arias, 2009, p. 23); es de gran trascendencia para los sistemas cafeteros de Colombia, por su ubicación en zonas de montaña con elevadas pendientes.
- Capacidad de enraizamiento: Está representada por el desarrollo y la distribución de las raíces. Además de ser un factor sobresaliente en la productividad (Dossman et al., 2009), es fundamental en el crecimiento del cultivo de café, porque dependiendo de la facilidad con que las raíces puedan penetrar o no el suelo de forma lateral o en profundidad van a obtener el suministro de nutrientes y el agua suficiente para su desarrollo (Arcila et al., 2007).
- Disponibilidad de agua: En los agroecosistemas, es fundamental la capacidad de retención de agua disponible que el suelo proporciona para el buen funcionamiento y desarrollo de las especies que en él habitan (Dossman et al., 2009). Para el café y cualquier otra planta, este servicio representa el vehículo a través del cual los nutrientes se disuelven en el suelo y se mueven en la planta (Arcila et al., 2007).
- Sumidero de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>): En el marco del cambio climático y ante las circunstancias actuales de elevadas concentraciones de dióxido en la atmósfera (Burbano, 2016), el suelo, por sus características asociadas a condiciones climáticas y aportes de materia orgánica, puede facilitar o impedir la liberación de CO<sub>2</sub>, a través de la transformación de este en carbono orgánico (COS), con intermediación de los microorganismos y las plantas (Dossman et al., 2009).
- Disponibilidad de actividad microbiológica: “La actividad microbiana es importante para mantener la fertilidad del suelo y en la nutrición de las plantas” (Álvarez y Anzueto, 2004, p. 14). Además, “los microorganismos del suelo conducen la biodegradación de la materia orgánica y se establece como un importante reservorio lábil de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P)” Díaz y Acea (como se citó en Álvarez y Anzueto, 2004, p. 14).



En los últimos años, los servicios ecosistémicos se han visto afectados por los monocultivos, la aplicación de agroquímicos, los cambios en el uso del suelo y las dinámicas del cambio climático; factores que han incidido en el deterioro del suelo (erosión, pérdida del carbono orgánico, acidificación, desequilibrio de nutrientes, compactación, contaminación y pérdida de biodiversidad), llevándolo a un límite crítico (Food and Agriculture Organization [FAO], 2015) y afectando los sistemas productivos de café (Arcila *et al.*, 2007).

Por consiguiente, el objetivo del presente estudio fue realizar la valoración ecológica de los servicios ecosistémicos de regulación prestados por el suelo en fincas cafeteras de la Cuchilla de San Juan, municipio de Belén de Umbría, enmarcado en el proyecto de investigación “Servicios ecosistémicos, adaptación al cambio climático y planificación del territorio: Estrategias para el manejo de sistemas socioecológicos en la zona cafetera de Colombia”, financiado por Colciencias.

## 2. Metodología

### 2.1 Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en fincas cafeteras pertenecientes a la Asociación de Productores de Café “Cuchilla de San Juan”, municipio de Belén de Umbría, situado en el departamento de Risaralda. Limita al norte con los municipios Mistrató, Guática y Anserma; al sur, con Apía y Viterbo; al oriente, con los municipios de Risaralda y Anserma, y, al occidente, con Pueblo Rico (Corporación Autónoma Regional de Risaralda [CARDER], 2017).

El municipio protagonista hace parte de la gran cuenca del río Cauca y es atravesado por afluentes principales como el río Risaralda, el Guarne y la quebrada Santa Emilia; comprende zonas montañosas de la Cordillera Occidental, entre los 1 000 y 2 700 m s. n. m. (CARDER, 2017). El clima de la zona es bimodal, con 2 temporadas secas (diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto) y 2 lluviosas (marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre); posee una temperatura promedio de 23 °C y precipitación promedio de 2 217 milímetros por año.

### 2.2 Muestreo

Las fincas que integran la Asociación de Productores de Café son 103. Con el fin de determinar el muestreo de fincas, se realizaron encuestas de caracterización de los sistemas productivos, en las cuales se recopiló información sobre el tipo, manejo y uso de los cultivos de la finca; las características socioeconómicas de los productores, y los tipos de producción. Con estos datos, se definieron 3 ventanas acordes con las áreas óptimas y marginales en la producción de café.

- Área marginal alta: Mayor a 1 800 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.)  
En esta se encuentran 2 fincas, con suelos franco-arcillosos y pendiente ligeramente escarpada (25-50 %). El 92 % del sector muestreado corresponde a una cobertura de café y



un arreglo de cultivo mayor a 8 surcos de café por una barrera de plátano. El 8 % restante hace parte de otros arreglos de cultivo que no vinculan el café.

- Área óptima: Entre 1 400-1 800 m s. n. m.  
A esta pertenecen 12 fincas, con suelos franco-arcillosos y pendiente ligeramente escarpada (25-50 %). El 82 % de lo muestreado tiene coberturas de café, café-plátano-árboles dispersos, café-plátano disperso, café de 6-8 surcos por una barrera de plátano y café mayor a 8 surcos por una barrera de plátano. El porcentaje restante (18 %) conforma otros arreglos de cultivo que no vinculan el café.
- Área marginal baja: Menor a 1 400 m s. n. m.  
En esta se muestreó una finca, con suelo franco-arcilloso y pendiente ligeramente escarpada (25-50 %). El 100 % de zona muestreada corresponde a un arreglo de cultivo mayor a 8 surcos de café por una barrera de plátano.

El número de predios utilizado en el muestreo se determinó con la aplicación de la técnica de muestreo probabilístico por conglomerado (Guillen *et al.*, 2011), con base en los rangos altitudinales descriptos anteriormente y usando la variable de clasificación de tamaño del productor por unidad agrícola familiar (UAF) según el Departamento Nacional de Planeación [DNP] (2000).

- Microfundio: Menos de 0.5 UAF - menos de 3.125 ha
- Pequeña propiedad: De 0.5 a 2 UAF - de 3.125 a 12.5 ha
- Mediana propiedad: De 2 a 10 UAF - de 12.5 ha a 62.5 ha
- Gran propiedad: Más de 10 UAF - más de 62.5 ha

Para la recolección de los datos, se realizaron 2 muestreos de suelos en cada una de las fincas. El primero fue en enero del 2018 y corresponde a un periodo de bajas precipitaciones; el segundo, en marzo del mismo año y responde a un periodo de altas precipitaciones. A partir de estos, se identificaron las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, lo que permitió la valoración de los servicios ecosistémicos.

En cada una de las fincas, se seleccionaron parcelas correspondientes a un área circular de 2 000 metros cuadrados (m<sup>2</sup>), con un punto central de parcela y 25 metros (m) de diámetro.

Dentro de las parcelas se llevaron a cabo 3 repeticiones; para cada una de estas, se recolectaron 4 muestras de suelo disturbadas en bolsas y no disturbadas en cilindros de volumen conocido en coherencia con las siguientes profundidades: 0-5 centímetros (cm), 5-10 cm, 10-15 cm y mayor a los 45 cm, para el posterior análisis de las propiedades físicas. También se utilizaron



2 profundidades: 0-25 cm y 25-50 cm, para el examen de las propiedades químicas y microbiológicas (**Apéndice 1**).

Los resultados obtenidos fueron tabulados en una base de datos, utilizando la herramienta Microsoft Excel (2016).

## 2.3 Valoración ecológica de los servicios ecosistémicos

### 2.3.1 Variables seleccionadas para la valoración

Para la valoración de cada uno de los servicios ecosistémicos, se seleccionaron variables físicas, químicas y biológicas obtenidas en el muestreo de suelo (**Cuadro 1**). Los datos fueron sometidos a un proceso de estandarización, con el propósito de manejar adecuadamente la información. Los servicios evaluados se analizaron en los niveles de finca y de ventana.

A partir de la búsqueda de información científica relacionada con los servicios ecosistémicos que presta el suelo en zonas cafeteras, se definieron rangos de valoración (**Cuadro 2**) para cada variable, utilizando una escala cualitativa y cuantitativa.



**Cuadro 1.** Variables para la valoración ecológica de los servicios ecosistémicos.  
**Table 1.** Variables for the ecological assessment of ecosystem services.

| Servicio ecosistémico                             | Variable  | Método  |
|---|---|---|
| Disponibilidad de nutrientes                      | pH  | Rangos establecidos en la metodología propuesta por Ortega (1987, como se citó en Malagón et al., 1995) para la cualificación de la disponibilidad de nutrientes y los rangos de contenidos minerales del suelo más adecuados en el desarrollo del café colombiano (Valencia et al., 1989; Valencia y Arcila, 1977, como se citó en Arcila et al., 2007).   |
|   | Saturación de aluminio                                  |   |
|   | Capacidad de intercambio catiónico                      |   |
|   | Saturación de bases                                     |   |
|   | Bases totales   |   |
|   | Contenido de carbono orgánico                           |   |
| Resistencia a la erosión                          | Potasio y fósforo                                       | Adaptación de la metodología <i>corine land cover</i> para la clasificación de las coberturas, ponderación de isoyetas. A través del método de máximos y mínimos (De la Torre et al., 2005) de los resultados obtenidos, se determinaron los demás rangos de valoración.  |
|   | Tamaño de agregados                                     |   |
|   | Pendiente   |   |
|   | Cobertura vegetal                                       |   |
| Disponibilidad de agua                            | Estabilidad estructural Precipitación                   | Máximos y mínimos (De la Torre et al., 2005) con base en los valores de referencia muestreados en las fincas, para fijar los rangos de valoración.  |
|   | Mesoporos   |   |
|   | Agua aprovechable                                       |   |
| Capacidad de enraizamiento                        | Materia orgánica  | Los mejores suelos para el desarrollo del cultivo de café corresponden a los provenientes de cenizas volcánicas, con textura franca y presencia de espacios porosos (Grisales, 1977, como se citó en Arcila et al., 2007). Para la compactación, se tuvo como umbral máximo 3 mega pascales (MPa), debido a que este valor genera restricciones en el desarrollo de las raíces (Plaster, 2000; De León, 1998, como se citó en Dossman et al., 2009). Partiendo del método de máximos y mínimos (De la Torre et al., 2005), se establecieron los demás rangos de valoración. |
|   | Textura   |   |
|   | Porosidad   |   |
| Sumidero de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) | Compactación  | Máximos y mínimos (De la Torre et al., 2005) con base en los valores de referencia muestreados en las fincas, para definir los rangos de valoración.  |
|   | CO <sub>2</sub> fijado t/ha                             |   |
| Disponibilidad de actividad microbiológica        | Actividad biológica kg de CO <sub>2</sub> / ha de suelo | Metodología de actividad respiratoria de microorganismos que mide la cantidad de CO <sub>2</sub> / ha de suelo. Por medio del método de máximos y mínimos (De la Torre et al., 2005), se precisaron los demás rangos de valoración.   |

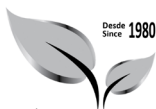




**Cuadro 2.** Rangos para cada variable analizada por servicio ecosistémico.  
**Table 2.** Ranges for each variable analyzed by ecosystem service.

| Servicio ecosistémico        | Característica             | Muy alto<br>5 | Alto<br>4                      | Moderado<br>3          | Bajo<br>2                 | Muy bajo<br>1 |
|------------------------------|----------------------------|---------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------|
| Disponibilidad de nutrientes | pH                         | 6.01-7.39     | 5.51-6                         | 5.01-5.5; 7.40-7.89    | 4.5-5; 7.9-8.5            | <4.5 >8.5     |
|                              | Saturación de aluminio (%) | <5            | 14-5.0                         | 29-15                  | 60-30                     | >60           |
|                              | CICA (cmol/kg S)           | >20.0         | 16.0-20.0                      | 11.0-15.0              | 5.0-10.0                  | <5.0          |
|                              | Saturación de bases (%)    | >70           | 51-70                          | 36-50                  | 11-35                     | <10           |
|                              | Bases totales (cmol/kg S)  | >16           | 12.01-16                       | 8.01-12                | 4.01-8                    | <4            |
| Resistencia a la erosión     | CO (%)                     | 4.22-5.39     | 2.91-4.10; 5.40-6.49           | 1.71-2.90; 6.50-7.60   | 0.50-1.70; >7.60          | <0.50         |
|                              | P (ppm)                    | >40           | 31-40                          | 21-30                  | 11.0-20                   | <10           |
|                              | K (cmol/kg S)              | >0.40         | 0.31-0.40                      | 0.21-0.30              | 0.10-0.20                 | <0.1          |
|                              | Tamaño de agregados (%)    | >90           | 90-80                          | 79-35                  | 34-25                     | <25           |
| Disponibilidad de agua       | Cobertura                  | Bosque        | Café-plátano-árboles dispersos | Café-plátano disperso  | Café-plátano por barreras | Monocultivo   |
|                              | Estabilidad estructural    | >5.00         | 3.01-5.00                      | 1.51-3.00              | 0.5-1.5                   | <0.5          |
|                              | Pendiente (%)              | <12           | 12-25                          | 25-50                  | 50-75                     | >75           |
|                              | Precipitación (mm)         | <1 000        | 1 000-1 500                    | 1 500-2 000            | 2 000-2 500               | >2 500        |
| Capacidad de enraizamiento   | Mesoporos                  | >17.5         | 17.5-12.5                      | 12.5-10.5              | 10.5-7.5                  | <7.5          |
|                              | Agua aprovechable (%)      | >10           | 7.5-10                         | 5.0-7.5                | 2.5-5.0                   | <2.5          |
|                              | Materia orgánica (%)       | 9.1-7.2       | 7.1-5.1                        | 5.0-3.0                | 2.9-1.0                   | <0.9          |
| Capacidad de enraizamiento   | Textura                    | Franco        | Franco-arcilloso               | Franco-arcillo-arenoso | Franco-arcillo-limoso     | Arcilloso     |
|                              | Porosidad total (%)        | >50           | 50-40                          | 40-30                  | 30-20                     | <20           |
|                              | Compactación (Mpa)         | <0.6          | 0.6-1.4                        | 1.4-2.2                | 2.2-3                     | >3            |





| Servicio ecosistémico                      | Característica                                 | Muy alto<br>5  | Alto<br>4  | Moderado<br>3  | Bajo<br>2  | Muy bajo<br>1   |
|--|--|--|--|--|--|---|
| Sumidero de CO <sub>2</sub>                | CO <sub>2</sub> Fijado t/ha                    | Campaña 1 Ventana 1 = >855.844<br>Ventana 2 = >826.6675<br>Ventana 3 = >875.295                            | Campaña 1 Ventana 1 = 468.292-662.068<br>Ventana 2 = 452.3275-639.4975<br>Ventana 3 = 478.935-677.115    | Campaña 1 Ventana 1 = 274.516- 468.292<br>Ventana 2 = 265.1575- 452.3275<br>Ventana 3 = 280.755- 478.935 | Campaña 1 Ventana 1 = 80.74- 274.516<br>Ventana 2 = 77.9875- 265.1575<br>Ventana 3 = 82.575- 280.755 | Campaña 1 Ventana 1 = <80.75<br>Ventana 2 = <77.9875<br>Ventana 3 = <82.575 |
|  |  | Campaña 2 Ventana 1 = 271.3965- 462.9705<br>Ventana 2 = 268.277- 457.649<br>Ventana 3 = 408.6545- 697.1165 | Campaña 2 Ventana 1 = 462.9705-654.5445<br>Ventana 2 = 457.649- 647.021<br>Ventana 3 = 697.1165-985.5785 | Campaña 2 Ventana 1 = 79.8225- 271.3965<br>Ventana 2 = 78.905- 268.277<br>Ventana 3 = 10.1925- 408.6545  | Campaña 2 Ventana 1 = <79.825<br>Ventana 2 = <78.905<br>Ventana 3 = <10.1925                         |   |
| Disponibilidad de actividad microbiológica | Actividad biológica (Kg CO <sub>2</sub> /ha S) | 3.09-3.83  | 2.34-3.08  | 1.59-2.33  | 0.84-1.58  | 0.09-0.83   |



### 2.3.2 Prácticas de manejo para el análisis de la valoración

Se realizó un taller con los productores de cada uno de los predios, para conocer las prácticas de manejo que desarrollaban, con el afán de analizar las incidencias que estas tienen en los servicios ecosistémicos valorados. De igual forma, se tuvo en cuenta las acciones para mantener o conservar las buenas condiciones del suelo y el control fitosanitario; la información fue tabulada en un formato titulado “prácticas agronómicas” (**Apéndice 2**).

## 2.4 Índices

Para la valoración ecológica de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo, se generaron índices, con el fin de cualificar la calidad del servicio frente a la unidad de análisis. De acuerdo con esto, se construyeron 3 índices: óptimo, integral de comportamiento y de gestión. Cada uno de ellos se calculó para los 2 periodos de muestreo; sin embargo, como principio de precaución, solo se tuvo en cuenta el de menor valor.

### 2.4.1 Índice óptimo

Corresponde al punto ideal en el que se deben encontrar los servicios valorados, en función de garantizar las mejores condiciones para el sistema productivo. Lo ideal para los 6 servicios evaluados es que cada uno alcance la escala de valoración 5 (muy alto). Para el cálculo de este índice, se tuvo en cuenta principios del método de la rosa de los vientos, así como el perímetro, la apoteca y la longitud; cuando la valoración no cumple con la finalidad ideal, se constituyen los objetivos de mantenimiento, mejoramiento y restauración.

### 2.4.2 Índice integral de comportamiento

Mide cómo se encuentran los servicios ecosistémicos frente al tipo de cobertura que posee cada finca. Para el cálculo de esta, se utilizó la valoración cuantitativa de cada servicio, así como principios del método de la rosa de los vientos, para determinar el espacio que ocupan los 6 servicios valorados respecto al área total en porcentaje.

### 2.4.3 Índice integral de gestión

Se da como resultado de la diferencia entre el área del índice óptimo y la del índice de comportamiento que, de acuerdo con el rango de clasificación (**Cuadro 3**), establece la prioridad en la toma de decisiones y las actividades por realizar, para llevar los servicios al índice óptimo.



**Cuadro 3.** Rango de clasificación para índice de gestión.  
**Table 3.** Classification range for management index.

| Valor (%) | Valoración                       | Descripción   |
|-----------|----------------------------------|---|
| >80       | Alta prioridad de restauración   | Indica un máximo deterioro de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo, así que en este se deben implementar acciones de restauración encaminadas a recuperar las condiciones mínimas y generar la funcionalidad ecológica.   |
| 79-60     | Media prioridad de restauración  | Refleja un deterioro crítico de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo.   |
| 59-40     | Prioridad de mejoramiento        | Señala un deterioro moderado de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo, de modo que en él deben promoverse acciones en conjunto con las actividades productivas, con el fin de moderar la inversión en términos económicos. |
| 39-20     | Media prioridad de mantenimiento | Manifiesta un buen estado de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo, sin embargo, se pueden motivar acciones que mejoren sus condiciones a un nivel de total funcionalidad.   |
| <20       | Baja prioridad de mantenimiento  | Revela que los servicios ecosistémicos prestados por el suelo se encuentran en sus condiciones mínimas y la funcionalidad ecológica es plena.   |

### 3. Resultados

Los resultados están dados por la valoración de cada uno de los servicios (**Cuadro 4**) y los índices integrales de valoración (**Cuadro 5**) para cada finca, en relación con la ventana a la que pertenece.



**Cuadro 4.** Resultados obtenidos en la valoración de servicios.  
**Table 4.** Results obtained in the assessment of services.

| Ventana            | Finca                  | Valoración de servicios*     |                        |                          |                            |                             |  |  |
|--------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|--|
|                    |                        | Disponibilidad de nutrientes | Disponibilidad de agua | Resistencia a la erosión | Capacidad de enraizamiento | Sumidero de CO <sub>2</sub> | Disponibilidad de actividad microbiológica |  |
| Área marginal alta | La Perla               | 2                            | 3                      | 3                        | 4                          | 3                           | 2  |  |
|                    | El Tabor               | 3                            | 4                      | 2                        | 3                          | 3                           | 2  |  |
| Área óptima        | La Pedrera             | 2                            | 4                      | 2                        | 4                          | 3                           | 2  |  |
|                    | La Empresa             | 2                            | 4                      | 2                        | 4                          | 3                           | 3  |  |
|                    | La Pradera             | 2                            | 3                      | 2                        | 4                          | 3                           | 2  |  |
|                    | Bolivia                | 2                            | 4                      | 3                        | 3                          | 3                           | 2  |  |
|                    | Alejandría             | 2                            | 4                      | 3                        | 4                          | 3                           | 2  |  |
|                    | El Progreso            | 2                            | 3                      | 3                        | 3                          | 2                           | 2  |  |
|                    | Los Pinos              | 2                            | 3                      | 3                        | 3                          | 2                           | 2  |  |
|                    | La Bella               | 2                            | 3                      | 3                        | 4                          | 2                           | 3  |  |
|                    | El Porvenir            | 2                            | 3                      | 3                        | 4                          | 3                           | 2  |  |
|                    | La Gloria - El Turpial | 2                            | 4                      | 2                        | 4                          | 3                           | 2  |  |
| Área marginal baja | La Mirla               | 2                            | 3                      | 3                        | 3                          | 2                           | 2  |  |
|                    | El Consuelo            | 3                            | 4                      | 3                        | 4                          | 3                           | 2  |  |
|                    | La Miranda             | 2                            | 3                      | 3                        | 4                          | 3                           | 2  |  |

\* Para la valoración de cada uno de los servicios, se utilizó la escala de 1 a 5: 1 muy bajo; 2 bajo; 3 moderado; 4 alto; 5 muy alto.



**Cuadro 5.** Resultados obtenidos en los índices para cada ventana.  
**Table 5.** Results obtained in the indices for each window.

| Ventana            | Finca                  | Cobertura  | Índice óptimo (%) | Índice de comportamiento (%) | Índice integral de gestión (%) | Valoración                      |
|--------------------|------------------------|--|-------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Área marginal alta | La Perla               | De 2 a 5 surcos de café por una barrera de plátano | 100               | 32                           | 68                             | Media prioridad de restauración |
|                    | El Tabor               | Café   | 100               | 36                           | 64                             | Media prioridad de restauración |
|                    | La Pedrera             | Más de 8 surcos de café por una barrera de plátano | 100               | 35                           | 65                             | Media prioridad de restauración |
|                    | La Empresa             | Café   | 100               | 42                           | 58                             | Prioridad de mejoramiento       |
|                    | La Pradera             | Café   | 100               | 30                           | 70                             | Media prioridad de restauración |
|                    | Bolivia                | Café-plátano-árboles dispersos                     | 100               | 36                           | 64                             | Media prioridad de restauración |
|                    | Alejandría             | Café-plátano-árboles dispersos                     | 100               | 39                           | 61                             | Media prioridad de restauración |
|                    | El Progreso            | Café-plátano-árboles dispersos                     | 100               | 26                           | 74                             | Media prioridad de restauración |
|                    | Los Pinos              | Café-plátano-árboles dispersos                     | 100               | 27                           | 73                             | Media prioridad de restauración |
|                    | La Bella               | Café-plátano-árboles dispersos                     | 100               | 35                           | 65                             | Media prioridad de restauración |
| Área óptima        | El Porvenir            | Café-plátano-árboles dispersos                     | 100               | 35                           | 65                             | Media prioridad de restauración |
|                    | La Gloria - El Turpial | De 6 a 8 surcos de café por una barrera de plátano | 100               | 38                           | 62                             | Media prioridad de restauración |
|                    | La Mirla               | De 6 a 8 surcos de café por una barrera de plátano | 100               | 26                           | 74                             | Media prioridad de restauración |
|                    | El Consuelo            | Café-plátano disperso                              | 100               | 43                           | 57                             | Prioridad de mejoramiento       |
|                    | La Miranda             | De 2 a 5 surcos de café por una barrera de plátano | 100               | 34                           | 66                             | Media prioridad de restauración |



#### 4. Discusión

La discusión se desarrolló con base en los servicios evaluados y los índices integrales de valoración que se definieron para cada una de las fincas y su correspondiente ventana, teniendo en cuenta las formas de manejo que lleva a cabo cada productor en su terreno.

##### 4.1 Área marginal alta

El 33.33 % de los servicios observados presentó un nivel bajo; dichas condiciones se encuentran asociadas a suelos bajos en fertilidad, tal como se mostró en el análisis de suelo, y al uso de herbicidas e insecticidas (**Apéndice 2**) que afectan directamente los microorganismos que habitan la superficie (Odum y Barret, 2006). En el nivel general, se muestra que servicios como resistencia a la erosión, disponibilidad de nutrientes y sumidero de CO<sub>2</sub> se alternaron en la escala de valoración entre un nivel bajo y uno medio, propiciado por condiciones como bajos contenidos de materia orgánica, suelos estructuralmente inestables y con inclinaciones ligeramente escarpadas, donde los esfuerzos que han hecho los productores por realizar labranza mínima y aplicar materia orgánica no han sido suficientes.

En relación con los servicios de disponibilidad de agua y capacidad de enraizamiento, La Perla y El Tabor obtuvieron una valoración media y alta; aunque es importante mencionar que mientras el valor más alto para La Perla fue en el servicio de capacidad de enraizamiento, el de El Tabor se presentó en el servicio de disponibilidad de agua. No obstante, cuando se analizan los resultados del muestreo, se observa que el agua aprovechable del predio La Perla, para la campaña 2, se encontraba en un nivel intermedio, condición que afectó allí directamente el servicio, en tanto El Tabor dejó ver una textura arcillosa, lo que favoreció su capacidad de retención de agua (Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [INTAGRI], 2017). En ese sentido, se justifica por qué, a pesar de pertenecer a la misma ventana (área marginal alta), se dieron diferencias en algunos servicios.

Finalmente, es fundamental resaltar que en cuanto al índice de comportamiento no se presentaron diferencias significativas, con un 32 % y 36 % para La Perla y El Tabor en su orden respectivo. Ambos arrojaron como resultado que se deben emprender o promover acciones hacia una media prioridad de restauración, en función de fortalecer los servicios que se encuentran en un nivel bajo y medio, realizando aplicación de materia orgánica, disminuyendo el uso de agroquímicos e implementado nuevos arreglos de cultivos.

##### 4.2 Área óptima

Para esta unidad de análisis, se evidencia que de los 12 predios analizados 10 presentan media prioridad de restauración (83.33 %), con áreas asociadas a coberturas de café-plátano, colmadas de árboles dispersos y café-plátano en barreras; solo los predios La Empresa y El Consuelo se encuentran en prioridad de mejoramiento, relacionado con coberturas de café-plátano disperso y monocultivo de café. Lo anterior indica que, si bien el tipo de cobertura influye directamente





en el estado de los servicios ecosistémicos, no es la única determinante en su valoración y, por ende, variables como precipitación, pendiente, tipo de suelo, geografía y actividades antrópicas (**Apéndice 2**) también influyen en las diferencias de los resultados obtenidos, pues aquellas son propias de cada sistema productivo de café.

En función de ello, es importante que los propietarios de estos predios realicen procesos de gestión ambiental, los cuales permitan apuntar al mejoramiento integral de los servicios ecosistémicos desde las propiedades físicas, donde acciones como la disminución del uso de herbicidas y plaguicidas es un factor importante para recuperar la disponibilidad de actividad microbiológica (Odum y Barret, 2006). De igual forma, la aplicación de materia orgánica y la implementación de técnicas de manejo (labranza mínima y planificación por lotes), como línea estratégica en los cultivos de café, son fundamentales para conservar y mejorar continuamente los servicios ecosistémicos que presta el suelo.

No obstante, resulta esencial mencionar que los predios La Pedrera, La Pradera, Bolivia, La Bella, El Porvenir y La Gloria-El Turpial presentan un comportamiento similar en los resultados obtenidos y, por tanto, se encuentran en media prioridad de mantenimiento. Dicha situación indica que las formas de manejo y la asistencia técnica para los sistemas productivos de café han sido similares, independientemente de las condiciones propias de cada uno; esto, asimismo, refiere que las actividades antrópicas tienen un impacto mayor al de las restricciones impuestas por el medio natural. Según el taller de suelos, realizado con los propietarios y productores de los predios, se evidencia la planificación por medio de lotes, con miras a la siembra y recolección, pero no se ha tomado en cuenta para la gestión diferenciada de las prácticas culturales acordes con las condiciones del territorio, pues el uso de agroquímicos, actividades de labranza y densidad de siembra se realizan de modo semejante dentro de los predios (**Apéndice 2**).

Adicional a lo dicho, es importante ejecutar tareas de carácter prioritario, que permitan mantener las condiciones de disponibilidad de agua y capacidad de enraizamiento encontradas en el territorio, servicios que son determinantes para el establecimiento de los cultivos de café y la productividad de estos (Dossman, 2009). A su vez, deben implementarse acciones que permitan mejorar el acervo de nutrientes, asociado a una baja fertilidad en la mayoría de los predios, la resistencia a la erosión, el sumidero de CO<sub>2</sub> y la actividad microbiológica. Medidas como la transformación hacia sistemas agroforestales, el manejo de la pendiente y la planificación por lotes son sustanciales no solo para la mejora integral de los servicios ecosistémicos, sino también como forma de adaptación al cambio climático (Burbano, 2016).

Finalmente, en los resultados obtenidos para esta unidad de análisis se puede observar que los predios La Mirla, Los Pinos y El Progreso mostraron los índices de comportamiento más bajos, con un 26 %, los 2 primeros y un 27 % para el tercer predio. De igual manera, la valoración por servicios indica que los 3 predios presentan un nivel bajo en la disponibilidad de nutrientes, sumidero de CO<sub>2</sub> y actividad microbiológica; en tanto, los otros 3 servicios presentan un nivel de valoración medio. Si bien la evaluación vislumbra que se encuentran en media prioridad de mejoramiento como los predios antes mencionados, el índice de gestión para La Mirla (73 %),





Los Pinos (74 %) y El Progreso (74 %) permite inferir que se deben realizar mayores esfuerzos en su recuperación y, por lo tanto, las acciones por desarrollar es preciso implementarlas con más prontitud.

#### 4.3 Área marginal baja

El 50 % de los servicios valorados corresponde a un nivel medio, representado por la disponibilidad de agua, resistencia a la erosión y sumidero de CO<sub>2</sub>. La disponibilidad de nutrientes y de actividad microbiológica se encuentran en un nivel bajo (33.33 %). Además, la capacidad de enraizamiento fue el único servicio que se mantuvo en un nivel alto (16.67 % de los servicios valorados).

En relación con ello, factores como el aumento de la temperatura por el nivel altitudinal al que se encuentra (<1 400 m s. n. m.), una pendiente ligeramente escarpada, el uso de herbicidas e insecticidas y la aplicación de materia orgánica (**Apéndice 2**) tuvieron incidencia directa en su comportamiento. Además, es una zona donde los procesos de humificación se dan rápidamente, lo cual requiere nuevos arreglos de cultivos, bacterias fijadoras de nutrientes y administración constante de materia orgánica.

A pesar de que fue el único predio en el área marginal baja, no fue el de condiciones más deficientes respecto al área marginal alta y al área óptima. Tampoco, posee diferencias significativas en los análisis realizados y en las prácticas de manejo; el índice de comportamiento es similar, pues muestra que se deben promover acciones en una media prioridad de restauración, la cual procure el mejoramiento de los servicios. De igual manera, es de tener en cuenta que una sola finca no es representativa para esta área, pues se trata de zonas marginales donde los sistemas productivos de café presentan limitaciones naturales para su desarrollo.

A modo general, la conducta de los servicios valorados es parecido en las 3 ventanas; se esperaba que el área óptima manifestara resultados con mejores condiciones respecto a las marginales alta y baja. Sin embargo, esto no se logró evidenciar, puesto que las formas de manejo son homogéneas en cada una de las ventanas. Además, la cobertura tampoco es un factor de diferencia entre las áreas, debido a que esta característica con monocultivo en café (Finca La Empresa) logró presentar mejores resultados en comparación con otros arreglos de cultivo. Es importante resaltar que los únicos predios (El Consuelo y La Empresa) que presentaron prioridad de mejoramiento se encuentran en el área óptima, el resto posee media prioridad de restauración. No obstante, los predios de las áreas marginales alta y baja son poco representativos frente al área óptima (que posee 12 predios), lo cual dificulta realizar comparaciones entre los servicios.

#### 5. Conclusiones

La valoración de servicios ecosistémicos realizada en el presente trabajo hizo frente a las limitantes teóricas existentes en relación con el tema, a través de la implementación de una metodología que articula el conocimiento con la práctica y permite generar información local



sobre el estado de esos servicios ecosistémicos (en este caso de regulación), para la toma de decisiones (aplicando índices) sobre las líneas estratégicas de conservación, adaptación al cambio climático y mejoramiento de la calidad de vida de los productores de café. Asimismo, la evaluación por servicios ecosistémicos e índices es una herramienta propositiva, que puede ser usada desde diferentes ámbitos: a) social, los campesinos pueden aprender a hacer un manejo adecuado de sus predios, planificar, conocer condiciones geográficas y físico-químicas, mejorar la producción y disminuir el deterioro del suelo; b) académico, en la implementación de proyectos que pretendan cualificar los servicios ecosistémicos, identificar las relaciones presentes en los sistemas y conocer los impactos de las prácticas de manejo de la caficultura; c) institucional, en la inclusión del examen de servicios ecosistémicos en los planes, programas y proyectos para su restauración, mejora o mantenimiento.

Según lo expuesto, la herramienta permitió conocer que, de los sistemas productivos de café estudiados, 13 predios de las 3 ventanas (alta, baja y óptima) presentaron un índice de gestión orientado a la media prioridad de restauración de los servicios y solo 2 (área óptima) en prioridad de mejoramiento. Esto evidencia un nivel crítico en el deterioro de los servicios ecosistémicos prestados por el suelo. Los resultados obtenidos por cada servicio también lo confirman: el comportamiento fue bajo en la disponibilidad de nutrientes y de actividad microbológica; bajo y medio en la resistencia a la erosión y sumidero de CO<sub>2</sub>, y solo medio y alto en la disponibilidad de agua y capacidad de enraizamiento.

Lo previo quiere decir que, independientemente de los factores climáticos y geográficos, las dinámicas antrópicas han sido más incidentes en el deterioro de los servicios de la zona cafetera; por ende, se requiere estudios locales para conocer y proponer estrategias que se acerquen a la realidad de los territorios. Por ejemplo, el manejo de la pendiente es una necesidad latente que los productores deben conocer; prueba de ello es que el predio El Consuelo, con una pendiente moderadamente inclinada (la más baja entre los predios [7-12 %]), fue el que mostró mejor estado de sus servicios ecosistémicos y el único con un nivel medio en la disponibilidad de nutrientes.

Por último, es importante considerar que los sistemas productivos de café presentan la misma tendencia en el tipo de semilla, arreglos y asistencia técnica, es decir, hay una estandarización de las prácticas de manejo, influenciadas por un ente institucional en común (Federación Nacional de Cafeteros), hecho que propicia un aumento en la productividad y un deterioro de los servicios ecosistémicos. Ello da cuenta de la necesidad de que institucionalmente se rompa con el modelo imperante desarrollado en la producción cafetera del país, por lo que se debe poner al mismo nivel de la productividad el bienestar de los productores y las condiciones de los servicios ecosistémicos. Para esto, se sugiere realizar procesos de planificación sectorial en los predios, acordes con el entorno geográfico y previo estudio de las propiedades físicas-químicas y biológicas (**Apéndice 3**). Es de gran importancia que la academia continúe generando información sobre los servicios ecosistémicos y que transmita los avances del conocimiento a



los productores. Finalmente, debe haber una disposición real por parte de los actores cafeteros a romper la barrera cultural de las formas de producir café.

## 6. Ética y conflicto de intereses

Las personas autoras declaran que han cumplido totalmente con todos los requisitos éticos y legales pertinentes, tanto durante el estudio como en la producción del manuscrito; que no hay conflictos de intereses de ningún tipo; que todas las fuentes financieras se mencionan completa y claramente en la sección de agradecimientos; y que están totalmente de acuerdo con la versión final editada del artículo.

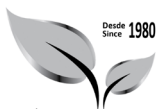
## 7. Agradecimientos

El procedimiento de investigación estuvo enmarcado en el proyecto “Servicios ecosistémicos, adaptación al cambio climático y planificación del territorio: Estrategias para el manejo de sistemas socioecológicos en la zona cafetera de Colombia”, financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (COLCIENCIAS). Por ello, se expresa agradecimiento al grupo de investigación en Gestión de Agroecosistemas Tropicales Andinos (GATA) de la Universidad Tecnológica de Pereira, por brindarnos la oportunidad de participar en el proyecto, el apoyo y el compromiso durante el proceso; a la Asociación de Productores de Café, de alta calidad, Cuchilla de San Juan de Belén de Umbría-Risaralda, por el tiempo, la disponibilidad y la participación en las actividades establecidas durante el desarrollo de la investigación; finalmente, a la Revista y a las personas revisoras anónimas, por sus observaciones a la versión final del documento.

## 8. Referencias

- Álvarez, J. y Anzueto, M. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agroagencia*, 38, 13-22. [https://www.researchgate.net/publication/28134252\\_Actividad\\_microbiana\\_del\\_suelo\\_bajo\\_diferentes\\_sistemas\\_de\\_produccion\\_de\\_maiz\\_en\\_los\\_altos\\_de\\_chiapas\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/28134252_Actividad_microbiana_del_suelo_bajo_diferentes_sistemas_de_produccion_de_maiz_en_los_altos_de_chiapas_Mexico)
- Arcila, J.; Farfán, F.; Moreno, A.; Salazar, L. e Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia. Fitotecnia, prácticas de cultivo, caficultura, manejo de cafetales*. Colombia: Editorial Blanecolor Ltda.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Corporación Autónoma Regional de Risaralda [CARDER]. (2017). Sistema de Información Ambiental y Estadístico. Belén de Umbría, Colombia. <http://siae.Costanza.gov.co/belen-de-umbria/belen-de-umbria-datos-generales>



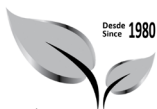


- Costanza, R.; Arge, R.; Groot, R.; Farber, S.; Grasso, S.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; Neill, R.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Sutton, P. y Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics Research and Applications*, 387, 253-260. [https://www.biodiversity.ru/programs/ecoservices/library/common/doc/Costanza\\_1997.pdf](https://www.biodiversity.ru/programs/ecoservices/library/common/doc/Costanza_1997.pdf) <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Daily, G. (1997). *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Washington, California. [https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=Mwy8BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Nature%27s+Services:+Societal+Dependence+On+Natural+Ecosystems&ots=0-653BSGzP&sig=C7G-PTiRRwnumsJ4t\\_vl6x7Rt5Q#v=onepage&q=Nature's%20Services%3A%20Societal%20Dependence%20On%20Natural%20Ecosystems&f=false](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=Mwy8BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&dq=Nature%27s+Services:+Societal+Dependence+On+Natural+Ecosystems&ots=0-653BSGzP&sig=C7G-PTiRRwnumsJ4t_vl6x7Rt5Q#v=onepage&q=Nature's%20Services%3A%20Societal%20Dependence%20On%20Natural%20Ecosystems&f=false)
- De la Torre, A.; Suescún, C. y Alarcón, S. (2005). El método de máximos y mínimos de Fermat. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(2), 31-37. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69520207>
- Departamento Nacional de Planeación [DNP]. (2000). *Manual Metodológico para la determinación de la Unidad Agrícola Familiar Promedio Municipal*. Centro de Impresión Digital - Cartographics S. A. Bogotá D. C. <https://www.dane.gov.co/files/dig/ManualUAF.pdf>
- Descamps, P. (2017). *Técnicas para la producción sostenible de café frente al cambio climático: Acciones climáticas en el sector agropecuario*. San José, Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F08-10929.pdf>
- Dossman, M.; Arias, L. y Camargo, J. (2009). *Guía metodológica para la determinación de servicios ecológicos prestados por el suelo*. Colombia: Publiprint LTDA.
- Guillen, A.; Badii, M.; Prado, J.; Abreu, L. y Valenzuela, J. (2011). Concepto y Aplicación de Muestreo Conglomerado y Sistemático. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 6(2), 186-194. [http://www.spentamexico.org/v6-n2/6\(2\)186-194.pdf](http://www.spentamexico.org/v6-n2/6(2)186-194.pdf)
- Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura [INTAGRI]. (2017). *Requerimientos de clima y suelo para el cultivo de papa. Serie hortalizas*. Núm. 10. México. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>
- Malagón, D.; Pulido, C.; Llinas, R y Chamorro, C (1995). *Suelos de Colombia, origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. Washington, D.C.: World Resources Institute <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>



- Montero, A. (2018). *Café, revolución verde, regulación y liberalización del mercado (1950-2017) Costa Rica* (tesis de Doctorado en Historia Económica). Universidad de Barcelona. [https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/663396/AMM\\_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/663396/AMM_TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Odum, E. y Barrett, G. (2006). *Fundamentos de ecología*. 5.ª edición. México: Ed. CENGAGE Learning.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO] y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo [GTIS]. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS)*. [Resumen Técnico]. Roma, Italia. p. 1.
- Ossa, C. (2016). *Teoría General de Sistemas. Conceptos y aplicaciones. Colección de textos académicos*. Colombia: Editorial UTP. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/7424>
- Panhuisen, S. y Pierrot, J. (2014). *Coffee Barometer*. Hivos, IUCN Nederland, Oxfam Novib, Solidaridad, WWF. [https://www.preventionweb.net/files/38295\\_coffeebarometer2014report0.pdf](https://www.preventionweb.net/files/38295_coffeebarometer2014report0.pdf)
- PROMECAFE. (2007). *La caficultura y los cambios climáticos*. Guatemala: Boletín no. 111, abril-junio. <https://promecafe.net/?p=1221>
- PROMECAFE. (2011). *Por el desarrollo de la caficultura regional*. Guatemala: Boletín no. 127, abril-junio. <http://promecafe.net/documents/Boletines/boletin127.pdf>
- Paz, A. (2015). Enfoque sistémico en administración rural: Estudio de la unidad de producción familiar. *Ciencias Administrativas*, año 3, no. 5. ISSN, 2314-3738. <http://revistas.unlp.edu.ar/CADM>
- Sociedad Española de la Ciencia del Suelo [SECS]. (2017). *Libro Blanco sobre el tratamiento del suelo en los libros de texto de Enseñanza Secundaria Obligatoria y de Bachillerato en España*. 2.ª edición. Lleida: Diputación de Lleida. <http://www.secs.com.es>
- Soil Survey Staff. (1994). *Keys to Soil Taxonomy*. 6<sup>th</sup> edition. United States Department of Agriculture: Soil Conservation Service. [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051858.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051858.pdf)
- Virginio, E. (2008). *Cafetales para servicios ecosistémicos, con énfasis en el potencial de sumideros de carbono: El caso de cooperativas cafetaleras afiliadas a COOCAFE - Costa Rica*. CATIE- FUNCAFOR-COOCAFE-OIKOCREDIT. [Informe final]. [https://www.researchgate.net/publication/272181060\\_Cafetales\\_para\\_servicios\\_ecosistemicos\\_con\\_énfasis\\_en\\_el\\_potencial\\_de\\_sumideros\\_de\\_carbono\\_El\\_caso\\_de\\_cooperativas\\_cafetaleras\\_afiliadas\\_a\\_COOCAFE\\_Costa\\_Rica/link/54de79640cf2510fcee3d7cc/download](https://www.researchgate.net/publication/272181060_Cafetales_para_servicios_ecosistemicos_con_énfasis_en_el_potencial_de_sumideros_de_carbono_El_caso_de_cooperativas_cafetaleras_afiliadas_a_COOCAFE_Costa_Rica/link/54de79640cf2510fcee3d7cc/download)





Zaccagnini, M.; Wilson, M. y Oszust, D. (2014). *Manual de Buenas Prácticas para la Conservación del suelo, la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*. Buenos Aires, Argentina: Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 95 p.

Zhang, W.; Ricketts, T.; Kremen, C.; Carney, K. y Swinton, S. (2007). Ecosystem services and disservices to agriculture. *Ecological Economics*, 64(2), 253-260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024>



## 9. Apéndices

**Apéndice 1.** Variables analizadas con el muestreo.

**Appendix 1.** Variables analyzed with sampling.

| Variables   |  |  |
|---|--|--|
| Físicas   | Químicas   | Microbiológicas  |
| Conductividad hidráulica saturada                   | pH   | Actividad respiratoria de microorganismos que mide la cantidad de kg CO <sub>2</sub> / ha de suelo |
| Densidad real                                       | Conductividad eléctrica (dS/m)                               |  |
| Porosidad total                                     | Nitrógeno total %  |  |
| Humedad de campo                                    | Materia orgánica %   |  |
| Humedad gravimétrica (HG) pF 0;1.87; 3.0; 4.17      | Carbono orgánico del suelo (COS) %                           |  |
| Humedad volumétrica (HV) pF 0; 1.87; 2.5; 3.0; 4.17 | Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) %                      |  |
| % Agua aprovechable (AA)                            | Fósforo (P) ppm  |  |
| Macroporos %  | Calcio (Ca) cmol/kg S  |  |
| Mesoporos %   | Magnesio (Mg) cmol/kg S                                      |  |
| Microporos %  | Potasio (K) cmol/kg S  |  |
| Distribución de agregados                           | Aluminio (Al) cmol/kg S                                      |  |
| >6.3 mm   | Sodio (Na) cmol/kg S   |  |
| 6-4.5 mm  | Bases totales (BT) cmol/kg S                                 |  |
| 4.5-2 mm  | Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) cmol/kg S |  |
| 2-1 mm  | Capacidad de intercambio catiónico (CIC) cmol/kg S           |  |
| 1-0.5mm   | Saturación de bases %  |  |
| 0.5-0.25mm  | Saturación de aluminio %                                     |  |
| 0.25-0.125mm  | Hierro (Fe) ppm  |  |
| <0.125mm  | Manganeso (Mn) ppm   |  |
| Diámetro ponderado medio (DPM)                      | Cobre (Cu) ppm   |  |
| % agregados   | Zinc (Zn) ppm  |  |
| >2mm  | Boro (B) ppm   |  |
| 2-1 mm  | Azufre (S) ppm   |  |
| 1-0.5 mm  | Arena %  |  |
| 0.5-0.25 mm   | Arcilla %  |  |
| 0.25-0.125mm  | Limo %   |  |
| Estabilidad estructural (mm)                        | Clase textural   |  |
| Masa del suelo kg                                   | Fertilidad   |  |
|   | CO <sub>2</sub> Fijado por masa de Suelo t/ha                |  |

*Unidades:* Milímetros (mm); Porcentaje (%); Partes por millón (ppm); Kilogramos (kg); Centímol/kilogramo suelo (cmol/kg S); Toneladas/hectárea (t/ha); Decisimemens/metro(dS/m)



**Apéndice 2.** Prácticas agronómicas en las fincas.  
**Appendix 2.** Agronomic practices on farms.

| Ventana                | Finca       | Manejo  | Persona(s) productora(s)   |                                    |
|------------------------|-------------|---|--|------------------------------------|
| Área marginal alta     | La Perla    | Control con fab y detergente la araña roja.<br>Labranza mínima.<br>Conservación de bosques.   | Gonzalo de Jesús Pérez Muñoz   |                                    |
|                        | El Tabor    | Fumigar con Sistemin para controlar la araña roja y, para el mal rosado, inyectar el palo con Derosan.<br>Incorporar materia orgánica al suelo, en especial la cereza o pulpa del café, y labranza cero.  | Orlando de Jesús Quintero Mesa   |                                    |
|                        | La Pedrera  | Eliminación de los árboles de café por plaga de yaga macana.<br>Labranza mínima, manejo de arvenses y aplicación de pulpa al plátano.   | Edilson de Jesús Posada Garcés   |                                    |
|                        | La Empresa  | Aplicación de Lorsban y abono, cada 3 meses con producción, además de pollinaza y pulpa de café.  | Martha Isabel Impatá Mesa  |                                    |
|                        | La Pradera  | Pocas veces se fumiga.<br>Labranza mínima, en la cual se desyerba y se deja los residuos sobre el suelo, a manera de protección.  | Humberto Toro Vélez  |                                    |
|                        | Bolivia     | Control biológico para vigilar las plagas.<br>Limpias con guadaña y, en algunos lotes, con herbicida (matamalezas).   | Héctor Javier Montes Aristizábal   |                                    |
|                        | Alejandría  | Aplicación de herbicida y utilización de la guadaña. Para el control de la broca, aplica Beauveria Bassiana y nitrato de potasio con estacionaria.  | Jairo de Jesús Duque Zapata  |                                    |
|                        | El Progreso | Control de la broca de manera manual y con trampas. La primera se hace echando las brocas en una botella de gaseosa; posteriormente, les echa agua y las deja en promedio 3 días para que se mueran.<br>Las trampas, están hechas con botellas de gaseosa, se llenan de agua y se pone un gotero hacia arriba con 5 ml de alcohol etílico y 5 ml de etanol. | Juan Pablo Muñoz López Robinson Villarreal   |                                    |
|                        | Área óptima | Los Pinos   | Control químico con fungicidas e insecticidas para el hongo, la palomilla, cochinilla, nemátodos y roya.<br>Además, se realiza labranza mínima, control de arvenses con guadaña, riego de pulpa y siembra de árboles para controlar la erosión en algunos lotes. | Antonio Orlando Preciado Velásquez |
|                        |             | La Bella  | Control de malezas solamente en el plato y mantenimiento coberturas de herbáceas.<br>Aplicación de químicos para fertilizar y fumigación cuando la enfermedad está muy avanzada.   | Consuelo de Jesús Lozano de Moreno |
| El Porvenir            |             | Aplicación de herbicida una vez al año.<br>Fumigaciones para fertilizar; además, con miras a la eliminación del picudo en el plátano.<br>Utiliza la guadaña, el machete y la media luna para deshojar el plátano.   | José Daniel Pérez Cardona  |                                    |
| La Gloria - El Turpial |             | Aplicación de fertilizantes, coberturas vivas, labranza con machetes e incorporación de materia orgánica.<br>Para el control de broca, se recolecta los granos de café caídos al suelo.   | Pedro Antonio Velásquez Flórez   |                                    |
| La Miria               |             | Siembra de árboles para conservar agua.<br>Manejo de aguas.<br>Tanque de lixiviados.<br>Cercas vivas.<br>Rompevientos.<br>Beneficios de sombrío para la erosión.<br>Incorporación de materia orgánica.  | Margarita Díaz Monsalve  |                                    |
|                        |             | Uso de químicos para el control de plagas.<br>Riego de pulpa, desyerbas a mano y con guadaña.   | Libardo De Jesús Flórez Aricapa  |                                    |





| Ventana            | Finca      | Manejo  | Persona(s) productora(s)         |
|--------------------|------------|---|----------------------------------|
| Área marginal baja | La Miranda | Insecticidas cuando aparece la broca.<br>Incorporación de materia orgánica. | Miguel Fernando<br>García Montes |

**Apéndice 3.** Acciones por desarrollar por cada tipo de estrategia.  
**Appendix 3.** Actions to be carried out for each type of strategy.

| Tipo de estrategia | Estrategia  | Disponibilidad de nutrientes | Disponibilidad de agua | Resistencia a la erosión | Capacidad de enraizamiento | Sumidero de CO <sub>2</sub> | Disponibilidad actividad microbiológica |
|--------------------|---|------------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|---|
| Autónomas          | Aplicación de materia orgánica, teniendo en cuenta que el proceso de humificación y mineralización está en función de las condiciones geográficas y climáticas.*    | x                            | x                      | x                        |                            | x                           | x                                       |
|                    | Manejo de arvenses de interferencia media y baja con los cafetales, considerando las especies aptas acorde con las condiciones geográficas y climáticas.**          |                              | x                      | x                        |                            |                             | x                                       |
| Autónomas          | Barreras vivas, teniendo en cuenta el tipo de especie que se adapte a las condiciones geográficas y climáticas, y que no se perjudiquen los sistemas productivos.** |                              |                        | x                        | x                          |                             |   |
|                    | Adecuar canales de desagües en los caminos y cultivos, que permitan el correcto flujo del agua.   |                              |                        | x                        |                            |                             |   |
|                    | Conservar hojarasca en el suelo.  | x                            |                        | x                        |                            | x                           | x                                       |
|                    | Asociación de cultivos.**   | x                            |                        | x                        |                            |                             | x                                       |
| Autónomas          | Siembra de especies arbóreas para sombrió.**  | x                            | x                      | x                        | x                          | x                           | x                                       |
|                    | Mínima labranza.  |                              |                        |                          |                            |                             | x                                       |



|  |   |  |  |  |  |   |  |  |   |   |
|--|---|--|--|--|--|---|--|--|---|---|
| Fertilización con productos orgánicos.   | x |  |  |  |  |   |  |  |   |   |
| Planificadas   |   |  |  |  |  |   |  |  |   | x |
| Evitar pérdida de cobertura vegetal a través de quemadas.  |   |  |  |  |  | x |  |  |   |   |
| Establecimiento de sistemas agroforestales, teniendo en cuenta el tipo de especie, las condiciones geográficas y climáticas y el área de distribución.** |   |  |  |  |  |   |  |  |   |   |
| Mixtas   | x |  |  |  |  | x |  |  |   | x |
| Siembra en curva nivel.  |   |  |  |  |  |   |  |  | x |   |

\* Procesos de humificación y mineralización varían en función de las condiciones geográficas y climáticas.  
\*\* El manejo, las especies y el tipo de arreglo varían en función de las condiciones geográficas y climáticas.

*Autónomas*: Son acciones realizadas de forma empírica por los campesinos, considerando el acceso y la disponibilidad de recursos. *Planificadas*: Están diseñadas con objetivos de planificación desde organismos institucionales, donde se brinda orientación a los productores para prevenir y mitigar problemas ambientales y fitosanitarios que se presentan en los sistemas productivos y así mejorar tanto el rendimiento como la productividad cafetera. *Mixtas*: Son acciones que se complementan con elementos tanto de las estrategias autónomas como de las planificadas.

