

INCENTIVOS ECONÓMICOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE UN SISTEMA SILVOPASTORIL
UNA APLICACIÓN A LA CUENCA LA MIEL (CALDAS)

Paola Marcela Roldán Vásquez*

* Docente del Instituto de Estudios Económicos del Caribe de la Universidad del Norte. Este artículo se basa en el trabajo de grado de la autora “Incentivos económicos para la reconversión ganadera en la cuenca La Miel (Caldas)” para optar al título de Magister en Economía Ambiental y de los Recursos Naturales en la Universidad de los Andes. proldan@uninorte.edu.co
Correspondencia: Universidad del Norte, Km 5 vía a Puerto Colombia, A.A. 1569, Barranquilla (Colombia).

RESUMEN

En este artículo se plantea un incentivo costo-eficiente que permita la adopción de un sistema silvopastoril por parte de los ganaderos de la cuenca La Miel (Caldas); para ello se resuelve a través de programación lineal un modelo de optimización que permite entender las interrelaciones entre los sistemas ganadero y silvopastoril con las condiciones económicas y ambientales de la cuenca. Para hacerlo se utilizó información secundaria recolectada en la zona estudio. Los resultados obtenidos a partir de diversos escenarios planteados permitieron concluir que el mejor incentivo posible, dadas las restricciones ambientales y económicas, es aquel que iguala los beneficios netos de ambos sistemas productivos.

PALABRAS CLAVE : Uso de la tierra, modelos agroforestales, contaminación hídrica, incentivos económicos.

CLASIFICACIÓN JEL: Q15, Q23, Q53, R48.

ABSTRACT

In this document a cost efficient incentive is proposed to allow for the adoption of a Sylvopastoral system by the cattle raisers from La Miel basins (Caldas); a linear programming optimization model is solved to understand the relationship between the traditional cattle rising and the Sylvopastoral systems with the economic and environmental conditions in the basin. To perform the analysis secondary information collected in the study area. The results obtained from diverse scenarios allowed for the conclusion that the best incentive, given the economic and environmental restrictions amounts to the one that equals the net benefits of both productive systems.

KEY WORDS: Land use, agroforestry models, water pollution, economic incentives.

JEL CLASIFICATION: Q15, Q23, Q53, R48.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de producir alimentos en cantidad suficiente ha expandido las actividades agropecuarias hacia tierras marginales, lo cual ha acelerado los procesos de deforestación, erosión del suelo y otras formas de degradación de la tierra. Lo anterior ha incrementado los problemas ambientales, dentro de los cuales se destaca la contaminación hídrica, pues se han acelerado los problemas de eutroficación y colmatación de los cuerpos de agua. En Colombia, casos como el de la Laguna de Fúquene, la Laguna de Sonso, la cuenca del río La Miel –objeto de este estudio–, la Cuenca del río Chinchiná, entre otros, evidencian este hecho, pues estos cuerpos de agua presentan diversos problemas ambientales causados principalmente por las actividades económicas de cada una de las regiones.

Para afrontar este tipo de problemas, en diversas partes del mundo se han venido promocionando prácticas agrícolas de conservación como los sistemas agroforestales –combinación de árboles con cultivos agrícolas y/o ganado en un mismo sitio.

La institución pionera en investigación acerca de este tipo de sistemas productivos es el Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF), que realiza sus investigaciones principalmente en África y Asia. Las instituciones que han liderado este tipo de proyectos en Costa Rica, Colombia y Nicaragua son: el Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). En Colombia existe además otra institución vinculada con este tipo de investigación: la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).

Teniendo en cuenta las experiencias con sistemas agroforestales tenidas por las instituciones mencionadas anteriormente, puede

decirse que los problemas ambientales y sociales existentes en la cuenca la Miel, el interés por parte de entidades interinstitucionales que incluyen organismos privados, ONGs y agencias del sector gubernamental para coordinar actividades en la cuenca, hacen pensar que en esta región un modelo silvopastoril puede brindar una alternativa para alcanzar la sostenibilidad del sistema de producción ganadero y, como consecuencia, mejorar la calidad de vida de la población rural.

Sin embargo, a pesar de que un sistema silvopastoril podría traer una economía más diversa para los ganaderos del oriente de Caldas y, por ende, estimular la economía rural de la región, su adopción es más compleja que las actividades productivas tradicionales, pues requiere el establecimiento de una nueva combinación de insumos, productos y actividades. Este manejo más complejo y costoso, junto con los largos períodos requeridos para que sus beneficios totales sean completamente realizados, pueden disminuir las oportunidades de adopción del sistema. Son estos costos y dificultades a la hora de implementar un sistema silvopastoril los que hacen necesario un análisis económico que incluya un instrumento que permita incentivar su implementación. Es por esto que en este artículo se pretende determinar numéricamente un incentivo costo-eficiente que promueva la adopción de un sistema silvopastoril por parte de los ganaderos de la cuenca La Miel.

Este artículo está compuesto por una introducción y ocho secciones; la segunda sección se hace una breve descripción del área de estudio; en la tercera se muestra una revisión de la literatura asociada a los modelos agroforestales; en cuarto lugar se plantea teóricamente el modelo de maximización de beneficios por parte del productor, sujeto a las restricciones impuestas por el sistema y las condiciones ambientales; en las secciones quinta y sexta se describen los datos y la metodología utilizada; en séptimo lugar se muestra el análisis de los resultados; finalmente, en la sección ocho se presentan las conclusiones.

ACERCA DE LA CUENCA LA MIEL

La cuenca del río La Miel está localizada en la vertiente oriental de la cordillera Central, en el departamento de Caldas, tiene una extensión de 77.000 hectáreas y una población de aproximadamente 50.000 personas. Incluye siete municipios (Samaná, Norcasia, Pensilvania, Victoria, Marquetalia, Manzanares y Marulanda), localizados entre los 800 y 2.000 msnm, con un promedio histórico de precipitación de más de 7.000 mm/año, lo cual favorece una amplia red hidrográfica. En la franja altitudinal de 1.200 a 1.600 msnm, la actividad agrícola principal son las pequeñas plantaciones de café –el 90% es menor de dos hectáreas–, mientras que en las zonas marginales alta y baja la explotación extensiva de bovinos de cría constituye la principal fuente de ingresos (Condesan, 1999, p. 5-6).

La Miel es uno de los principales ríos que forman la amplia y compleja red hidrográfica del oriente de Caldas y representa el más importante recurso natural del departamento. No obstante, tiene significativos problemas sociales y medioambientales, dentro de los cuales se destacan el bajo nivel de calidad de vida de la población y pendientes superiores al 70%, lo cual hace que presente predominio de procesos erosivos y derrumbes. Estos problemas y el potencial hidroeléctrico que tiene la cuenca La Miel llevó a que el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN) y la Cooperación Técnica al Desarrollo de Alemania (GTZ)¹ la seleccionaran como sitio piloto para realizar un esfuerzo interinstitucional continuo, de largo plazo, en la búsqueda del desarrollo socioeconómico de la población rural con un manejo

¹ Entidades creadoras del Proyecto “Cuencas Andinas”, el cual pretende analizar las externalidades relacionadas con la dinámica hidrológica como eje prioritario para generar una nueva dinámica de desarrollo rural en las montañas de la región andina incluyendo cuencas de Colombia, Ecuador y Perú.

sostenible de los recursos naturales (Rivera, 1999). Al ser parte de este proyecto, en la cuenca La Miel se han realizado diversas investigaciones con el fin de identificar los sistemas agrícolas y diagnosticar los problemas socioeconómicos y ambientales de la región.

El entorno social y ambiental brevemente descrito es lo que motiva la elección de esta zona geográfica para la realización de este estudio.

ESTADO DEL ARTE

La preocupación por el incremento en la deforestación y erosión llevó a que a comienzos de los años noventa se iniciara un profundo interés en investigación sobre el potencial de los sistemas agroforestales² para balancear el conflicto entre los objetivos ambientales y de seguridad alimentaria.

Según Pannell (2004), diversas investigaciones han encontrado que la agroforestería puede ser biológicamente más productiva, rentable y sustentable que los sistemas tradicionales o los monocultivos agrícolas, pues puede controlar las escorrentías y la erosión del suelo, lo cual reduce las pérdidas de agua, suelo, materia orgánica y nutrientes.

Esto ha llevado a que los modelos agroforestales estén siendo utilizados en varios países dependiendo de las necesidades de cada uno, pero con un objetivo claro de mejorar los ingresos de los productores a la vez que se protegen los recursos naturales. Un ejemplo de ello se encuentra en Sudáfrica, donde a mediados de los ochentas, el ICRAF inició sus investigaciones con esfuerzos para diagnosticar los sistemas agrícolas y sus restricciones para diseñar

2 Combinación de árboles o arbustos con cultivos agrícolas y/o ganado en un mismo sitio, bajo distintas formas de ordenamiento o en diferentes períodos de tiempo.

tecnologías agroforestales que permitieran mitigar los problemas ambientales y económicos de la región (Sotomayor, 2004).

A partir de 1991 el ICRAF orientó sus investigaciones hacia el entendimiento de las oportunidades y limitaciones de la agroforestería y la convirtió en su sistema de manejo de los recursos naturales y la promovió como un sistema de uso de la tierra benéfico para los pequeños productores en los países en desarrollo, especialmente en Asia y África (Böhringer, 2001).

En cuanto a la adopción agroforestal, Mercer (2004) encontró que al igual que en la adopción de sistemas de producción tradicional, las predicciones sobre la adopción de sistemas agroforestales siguen los lineamientos de la teoría económica, es decir, los agricultores invierten en sistemas agroforestales cuando las ganancias esperadas de los nuevos sistemas son más altas que sus antiguos sistemas productivos. Encontró además que quienes están más dispuestos a adoptar estos sistemas son los hogares que tienen mayor capital disponible, en términos de mayores ingresos o mayor dotación de recursos como tierra, capital, trabajo, experiencia y educación.

Arica y Yaggen (2005) encontraron que en la microcuenca La Encañada, en el norte de Perú, la altitud y la pendiente de la finca son los factores biofísicos que influyen en la adopción de sistemas agroforestales. La altitud influye porque el componente forestal protege los cultivos de las heladas y los vientos fríos, y la pendiente, porque los árboles ayudan a proteger los suelos y a ganar área agrícola.

Dentro de los sistemas agroforestales, el modelo silvopastoril³ es uno de los más importantes. Diversos autores muestran los beneficios ambientales y económicos de implementar sistemas silvopastoriles en condiciones de alta fragilidad, con recursos naturales degradados y bajos niveles de calidad de vida de la población. Por ejemplo, Rendal (1997) afirma que una de las ventajas

3 Combinación de árboles o arbustos con ganado en una misma unidad predial.

de los modelos silvopastoriles consiste en que están diseñados para obtener un producto maderable de alta calidad mientras proveen ingresos a corto plazo derivados de la ganadería y muchos beneficios ambientales. Pannell (2004) afirma que los árboles brindan al ganado sombra y protección contra el viento, lo cual reduce el estrés por calor o frío y hace que el rendimiento mejore y disminuya la mortalidad, pues los árboles pueden reducir el efecto del frío hasta un 50% o más. Por su parte, Sánchez (1998) considera que el principal beneficio del silvopastoreo es el efecto que tienen los árboles sobre el suelo, principalmente la disminución de la erosión a través de las hojas y otros residuos que caen de los árboles, que cubren el suelo e incrementan la materia orgánica a través de la continua degradación de las raíces y la descomposición de las hojas y demás residuos.

En Colombia, el uso de sistemas silvopastoriles en la producción ganadera ha tenido un gran auge en los últimos años, y quienes han liderado las investigaciones son el CIPAV y CORPOICA. Estas instituciones han realizado diversas investigaciones, orientadas principalmente hacia la identificación de las especies arbóreas que podrían adaptarse a regiones en las cuales sistemas silvopastoriles, o hacia el efecto que tiene el sistema sobre la ganancia en peso del ganado y la producción de leche⁴. Existen, sin embargo, algunos estudios realizados desde una perspectiva económica, como el de Laguado, Giraldo y Orregón (2005), que evalúa la viabilidad económica y ambiental de la implementación de un sistema silvopastoril, el cual recibiría pago por la captura de carbono mediante la venta de Certificados de reducción de emisiones (CERs); este estudio se realizó para el Bajo Cauca antioqueño. Otro trabajo es el de Forero y Torres (2005), quienes determinan el valor presente de un incentivo económico para inducir cambios sencillos en las prácticas productivas realizadas por diversos agricultores en cuatro

4 Para mayores detalles puede consultarse Sánchez (1998), Giraldo y Bolívar (2000) y Moreno y Latorre (2000).

microcuencas colombianas. Este último trabajo es el más parecido a lo que se analiza en este artículo. Sin embargo, a diferencia de éste, esta investigación determina, además del valor presente de un flujo de incentivos constante en el tiempo, un flujo de incentivos diferencial a través del período de estudio, con el fin de encontrar una senda óptima del incentivo que lo haga más costo eficiente.

Como lo afirman los autores mencionados, un modelo silvopastoril genera grandes beneficios económicos y ambientales para quienes lo implementan. Sin embargo, su adopción es más compleja que las actividades productivas tradicionales porque requiere el establecimiento de una nueva combinación de insumos, productos y actividades. Este manejo más complejo y costoso, junto con los largos períodos requeridos para que sus beneficios totales sean completamente realizados, pueden disminuir las oportunidades de adopción del sistema. Son estos costos y dificultades a la hora de implementar un sistema silvopastoril los que hacen necesario un instrumento para incentivar al ganadero a reconvertir el mayor número de hectáreas posible.

MARCO TEÓRICO

Si se quiere una reconversión eficiente, es necesario buscar el óptimo económico no sólo para el productor sino también para la entidad ambiental. Para hacer esto se propone un modelo basado en los siguientes supuestos:

El ganadero tiene en su finca un sistema productivo extensivo (G), el cual está aportando elevados niveles de sedimentación al recurso hídrico. Como se mencionó anteriormente, un sistema silvopastoril (S) disminuye la erosión del suelo y, por lo tanto, aporta niveles significativamente inferiores de sedimentos al agua. Sin embargo, este sistema no está siendo implementado por el ganadero, pues le resulta una actividad más costosa en el corto plazo.

La autoridad ambiental, como ente encargado, entre otras cosas, de la evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua en su jurisdicción, puede utilizar, para incentivar la reconversión del mayor número de hectáreas, diferentes herramientas, como transferencias, subsidios, impuestos, etc. Dado que los ganaderos de la cuenca La Miel son de bajos ingresos, las autoridades ambientales en colaboración con algunas ONG's y entidades privadas de la región están interesados en obtener recursos para apoyar las actividades de reconversión que permitan a la vez diversificar los ingresos de los ganaderos y disminuir la presión sobre los recursos naturales. Por lo tanto, se asume que se da al ganadero un incentivo I_s por cada hectárea reconvertida. Teniendo en cuenta que quien determina el incentivo es la autoridad ambiental, la cual es un ente que no quiere desperdiciar recursos, no le dará al ganadero más de lo que resulte necesario para que reconvierta al sistema silvopastoril el mayor número de hectáreas posible; es decir, la autoridad ambiental desea que I_s sea lo más pequeño posible.

El ganadero, por su parte, teniendo en cuenta I_s , quiere decidir cuánto reconvertir a silvopastoreo; para ello maximiza la suma en valor presente de los beneficios que le reporta la combinación de las actividades ganadera y silvopastoril, sujeta a las restricciones de capital (K), mano de obra familiar (L), generación de sedimentos (C)—los cuales pueden ser monitoreados por la autoridad ambiental— y tierra (N). La maximización le permite determinar el número de hectáreas que destinará a ganadería y silvopastoreo respectivamente, de manera que pueda obtener los máximos beneficios de estas dos actividades cumpliendo con las restricciones impuestas.

Como ya se mencionó, el ganadero desea maximizar la suma en valor presente de los beneficios netos de su actividad productiva, escogiendo cuántas hectáreas dedicar a cada sistema productivo. Dichos beneficios se expresan de la siguiente manera:

$$\pi_{nt} = \sum_{t=0}^T \rho^t (N_S \pi_{St} + N_G \pi_{Gt} + N_S I_{St}) \quad t = 0$$

T es el horizonte de tiempo que equivale a 15 años.

Donde $\rho = \frac{1}{1+r}$ es el factor de descuento y r la tasa de descuento; N_S y N_G representan el número de hectáreas destinadas a la producción silvopastoril y ganadera respectivamente; π_{st} y π_{gt} son los beneficios que obtiene el individuo de la actividad silvopastoril y ganadera, mientras que I_{St} es el incentivo que requiere el ganadero por hectárea reconvertida a silvopastoreo.

Las restricciones a las que se enfrenta el ganadero al maximizar su función objetivo son las siguientes: restricción de capital, la cual indica que la suma de los requerimientos de capital (insumos, implementación y sostenimiento) para llevar a cabo su actividad productiva durante los 15 años no debe superar el capital de que dispone el ganadero, más la transferencia que recibe por hectárea reconvertida durante el mismo período: $K_{Gt} N_G + K_{St} N_S \leq NK_t + N_S I_{St}$, donde K_t es el capital de que dispone el ganadero para invertir en su actividad productiva.

La restricción de mano de obra indica que los requerimientos de mano de obra para llevar a cabo la combinación ganadera y silvopastoril no deben exceder la disponibilidad de mano de obra familiar (L), pues en caso de que se exceda, se requiere la contratación de mano de obra adicional: $L_{Gt} N_G + L_{St} N_S \leq L_t$.

La restricción de tierra indica que la suma del número de hectáreas cultivadas en silvopastoreo y ganadería no debe superar el número de hectáreas totales de que dispone el ganadero: $N_S + N_G \leq N$, donde N es el número de hectáreas totales de que dispone el ganadero.

Por último, el ganadero se enfrenta a la restricción de sedimentos, la cual indica que el número total de sedimentos generado por

la actividad productiva no debe exceder un determinado nivel de sedimentos (C): $C_{Gt}N_G + C_{St}N_S \leq C_t$. Esta variable puede ser definida por la autoridad ambiental.

De esta forma, el ganadero busca maximizar:

$$\text{Max}_{N_S N_G} \pi_{nt} = \sum_{t=0}^T \rho^t (N_S \pi_{St} + N_G \pi_{Gt} + N_S I_{St}) \text{ s.a} \quad (1)$$

$$K_{Gt}N_G + K_{St}N_S \leq NK_t + N_S I_{St} \quad t = 0, 1, \dots, T \quad (2)$$

$$L_{Gt}N_G + L_{St}N_S \leq L_t \quad t = 0, 1, \dots, T \quad (3)$$

$$N_S + N_G \leq N \quad (4)$$

$$C_{Gt}N_G + C_{St}N_S \leq C_t \quad t = 0, 1, \dots, T \quad (5)$$

De la ecuación (4) se despeja $N_G = N - N_S$ y se reemplaza en las demás ecuaciones. Esto con el fin de dejar las ecuaciones únicamente en términos de N_S y maximizar solamente con respecto a esta variable. Por lo tanto, la función Lagrangiana para resolver el problema es:

$$\begin{aligned} L = & \sum_{t=0}^T \rho^t [N_S (\pi_{St} + I_{St}) + (N - N_S) \pi_{Gt}] + \lambda_1 [NK_t + N_S I_{St} - K_{Gt} \\ & (N - N_S) - K_{St} N_S] + \lambda_2 [L_t - L_{Gt} (N - N_S) - L_{St} N_S] + \lambda_3 [C_t - C_{Gt} \\ & (N - N_S) - C_{St} N_S] \end{aligned} \quad (6)$$

Donde λ_1 representa el precio sombra de una unidad adicional de Capital – la tasa de interés en un mercado perfecto–, λ_2 indica el costo de una unidad adicional de mano de obra –salario– y el λ_3 costo de dejar de producir una unidad adicional de sedimentos o el beneficio marginal de la reducción de sedimentos.

Esta función es lineal en la variable de decisión N_s , por lo que se requiere resolver condiciones de KUHN-TUCKER (CKT):

$$\frac{\partial L}{\partial N_s} = \pi_{St} + I_{St} - \pi_{Gt} + \lambda_1 [I_{St} + K_{Gt} - K_{St}] + \lambda_2 [L_{Gt} - L_{St}] + \lambda_3 [C_{Gt} - C_{St}] \leq 0 \quad (7)$$

$$N_s \frac{\partial L}{\partial N_s} = N_s [\pi_{St} + I_{St} - \pi_{Gt} + \lambda_1 [I_{St} + K_{Gt} - K_{St}] + \lambda_2 [L_{Gt} - L_{St}] + \lambda_3 [C_{Gt} - C_{St}]] = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_1} = NK_t + N_s I_{St} - (N - N_s) - K_{St} N_s \geq 0, \quad \lambda_1 \geq 0, \quad \lambda_1 \geq 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_2} = L_t - L_{Gt} (N - N_s) - L_{St} N_s \geq 0, \quad \lambda_2 \frac{\partial L}{\partial \lambda_2} \geq 0, \quad \lambda_2 \geq 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_3} = C_t - C_{Gt} (N - N_s) - C_{St} N_s \geq 0, \quad \lambda_3 \frac{\partial L}{\partial \lambda_3} \geq 0, \quad \lambda_3 \geq 0 \quad (11)$$

De lo anterior se resaltan dos aspectos:

a. La ecuación (8) puede expresarse de la siguiente forma:

$$\pi_{St} + I_{St} = \pi_{Gt} + \lambda_1 [K_{St} - K_{Gt} - I_{St}] + \lambda_2 [L_{St} - L_{Gt}] + \lambda_3 [C_{St} - C_{Gt}] \quad (12)$$

Lo cual indica que para que el ganadero adopte el sistema silvopastoril, los beneficios netos de esta actividad, más el incentivo dado al ganadero por hectárea reconvertida, deben ser iguales a los beneficios netos de la actividad ganadera, más una compensación por los requerimientos adicionales de capital y mano de obra que se tienen al implementar el silvopastoreo, más el beneficio marginal de la disminución de sedimentos.

b. Dado que N_5 entra en forma lineal en la función objetivo, pueden existir soluciones de esquina. Por esto, se decidió trabajar con simulación numérica, mediante programación lineal en Excel, utilizando la herramienta *Solver*.

INFORMACIÓN UTILIZADA

La información utilizada para la realización de este trabajo es de tipo económico y biofísico principalmente. La información económica es importante porque permite evaluar si las ventajas ambientales de la alternativa silvopastoril son sostenibles en el sentido que generan a su vez ingresos económicos mayores o iguales que la ganadería extensiva; la información biológica, por su parte, permite establecer la relación de causalidad entre el uso de la tierra y el problema de sedimentación.

Se trabaja con la información promedio de los ganaderos de la región, aquellos que agrupan la menor proporción de hogares y poseen 13 hectáreas de tierra para explotar en ganadería extensiva. Son familias numerosas, conformadas por 7,3 personas, con una disponibilidad de 430 jornales al año, los cuales son utilizados en labores de la finca y poseen el mayor nivel de escolaridad (Betancourth *et al.*, 2004). Se trabaja con este tipo de ganadero, pues, como ya se mencionó, quienes están más dispuestos a adoptar sistemas silvopastoriles son los hogares con mayores niveles de ingresos, educación y son propietarios de los predios.

La información económica de los sistemas ganadero y silvopastoril fue proporcionada por la Fundación Eduquemos⁵ y algunos trabajos realizados por miembros de esta Fundación, como Arias, Betancourth y Rivera (2003) y Betancourt *et al.* (2004). Las

5 Entidad que promueve y desarrolla programas de educación, investigación ambiental y participación ciudadana en el departamento de Caldas. Para ver un análisis más detallado de la información ver Roldán (2006).

variables económicas (información individual promedia) utilizadas para la realización de esta investigación son: extensión de las fincas (ha), disponibilidad de mano de obra familiar (número de hombres en la familia entre 14 y 65 años de edad), jornales requeridos para el sostenimiento de la actividad ganadera e implementación y sostenimiento de la actividad silvopastoril; capital requerido y disponible para la realización de cada actividad, el cual incluye los costos de los insumos diferentes de la mano de obra; ingreso neto de cada actividad productiva (expresado en salarios mínimos legales vigentes equivalente a \$286.000, año 2001).

La información biofísica fue proporcionada por el Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), donde se simuló la pérdida de suelo t/ha/año para las coberturas pasto y silvopastoreo utilizando el modelo hidrológico “Soil & Water Assessment Tool –SWAT–”, el cual relaciona las condiciones de suelos, relieve, precipitación y uso de la tierra con la respuesta hidrológica.

El cuadro 1 contiene una breve descripción de las necesidades de capital y mano de obra que tiene una hectárea utilizada en los sistemas ganadero y silvopastoril. Como se observa, un ganadero de la cuenca La Miel requiere en promedio \$29.000 al año para el sostenimiento de una hectárea de tierra explotada en ganadería extensiva, los cuales utiliza para renovación de potreros y compra de medicamentos básicos para el ganado, como vacunas, sales mineralizadas y desparasitarios. Para la realización de estas labores utiliza anualmente en promedio 9 jornales por hectárea. Esto ocurre porque el sistema ganadero ya está implementado en la región, es decir, estos requerimientos son los mismos a lo largo del horizonte de análisis. Un aspecto importante en este punto consiste en que un ganadero promedio en la región tiene una disponibilidad anual de capital y mano de obra de \$29.000 y 33 jornales por hectárea respectivamente, lo cual indica que utiliza todo su capital disponible y una cantidad de jornales inferior

a la que posee, es decir, no requiere la contratación de jornales adicionales. En cuanto al costo de oportunidad de la tierra, puede decirse que en todos los escenarios propuestos se usa la totalidad de la tierra, por lo tanto, su costo de oportunidad es el mismo para todos los casos, y cuando se mira la diferencia en los beneficios de cada actividad, este costo se anula.

Para la implementación y mantenimiento de una hectárea utilizada en silvopastoreo⁶ se requiere en promedio \$74.040 al año; la razón de esta suma es la fuerte inversión que debe hacerse durante el primer año en compra de semillas y de fertilizantes y herbicidas durante los primeros años.

Para la realización de estas actividades (plantación de árboles, fertilización, deshierbas, podas y corte) se requiere en promedio 42 jornales. Teniendo en cuenta la disponibilidad de capital y mano de obra, \$29.000 y 33 jornales por hectárea respectivamente, puede decirse que son insuficientes, pues en promedio requiere \$45.040 adicionales y además debe contratar 9 jornales más, cada uno con un costo de \$12.000 (precio del jornal en 2001).

De lo anterior puede decirse que durante los primeros años, los requerimientos de capital y mano de obra que tiene un ganadero que desee implementar la actividad silvopastoril son superiores a la disponibilidad de capital y mano de obra que tiene para hacerlo. Esto hace necesario un incentivo para que la reconversión de ganadería extensiva a silvopastoreo sea una opción viable para el ganadero.

6 Durante el horizonte de análisis (15 años).

Cuadro 1
Promedio Requerimiento de Mano de obra y Capital:
Ganadería - Silvopastoreo

| | Requerimiento | | Necesidad adicional | | |
|---------------|---------------|----------------|---------------------|----------------|-----------|
| | Período | Mano de obra * | Capital** | Mano de obra * | Capital** |
| Ganadería | 15 años | 9 | 29.000 | | |
| Silvopastoreo | 15 años | 42 | 74.040 | 9 | 45.040 |

Fuente: Calculos propios con base en el trabajo de Ariás, Betancourth y Rivera (2003).

*jornal/ha/año ** \$/ha/año

Otra variable utilizada en el modelo son los beneficios netos anuales derivados de una hectárea utilizada en cada actividad productiva. La actividad ganadera llevada a cabo en la región genera beneficios básicamente por la venta del ganado. Por esta actividad, un ganadero de la región obtiene en promedio por hectárea utilizada en ganadería unos beneficios netos anuales de \$615.385. El sistema silvopastoril en promedio aporta al ganadero unos beneficios netos anuales de \$484.730, pues dichos beneficios son negativos durante los cuatro primeros años; ello se debe a que durante los primeros años de la instalación y sostenimiento del sistema se requiere una fuerte inversión. Después del quinto año, los ingresos del silvopastoreo son mucho mayores que los costos, y por lo tanto los beneficios netos son positivos, aunque inferiores a los obtenidos de una hectárea de tierra utilizada en ganadería extensiva, ya en el año 15, los beneficios del silvopastoreo superan con creces a los beneficios obtenidos por la actividad ganadera (Betancourth *et al.*, 2004).

Como se mencionó anteriormente, el otro tipo de información utilizada para la realización del trabajo es la biofísica, que en este caso es el aporte de sedimentos que realiza anualmente una hectárea utilizada en ganadería extensiva o en silvopastoreo. El funcionamiento

del sistema ganadero actual aporta en promedio 53,3 toneladas de sedimentos por hectárea. La actividad silvopastoril, por su parte, aporta en promedio 16,6 toneladas de sedimentos durante el período analizado, pues a pesar de que durante los dos primeros años de implementación genera la misma cantidad de sedimentos que el sistema ganadero –sólo existen semillas y brotes de los árboles–, a partir del tercer año, el efecto sobre la erosión se empieza a notar, pues ya existen arbustos que disminuyen el proceso erosivo, y a partir del séptimo año, cuando los árboles tienen ya un tamaño considerable, la disminución de la erosión es notable.

METODOLOGÍA

En este artículo se plantea a través de la programación lineal un modelo de optimización con el fin de entender las interrelaciones entre los sistemas ganadero y silvopastoril con las condiciones económicas y ambientales de una finca ganadera promedio del área rural de los municipios de Samaná y Pensilvania en el departamento de Caldas.

Los modelos de optimización han sido ampliamente utilizados para modelar sistemas agroecológicos y relacionarlos con la problemática del manejo de los recursos naturales, principalmente porque permiten entender las interrelaciones entre los sistemas de producción en una cuenca y sus efectos sobre las condiciones socioeconómicas y ambientales de la misma (Quintero y Estrada, 2004). Este hecho y la posibilidad de realizar análisis de impacto *ex ante* –en períodos largos de tiempo– sobre cambios en las externalidades al modificarse el uso de la tierra o las prácticas de manejo hicieron que se optara por este tipo de modelos para la realización de este estudio, pues dichos cambios no podrían percibirse en un lapso de tiempo corto después de la modificación en la práctica de manejo, ya que están relacionados con procesos

biofísicos graduales en el tiempo. Además, dado que se están manejando muchas variables en un horizonte largo de tiempo, este tipo de modelo permite controlar estas variables y hacer modificaciones fácilmente.

El modelo está constituido con base en la relación entre restricciones y alternativas de decisión. Las restricciones corresponden a las limitaciones dadas por las capacidades económicas del sistema o por las consideraciones del productor o las políticas de la región; en este caso existen restricciones socioeconómicas de disponibilidad de mano de obra familiar, tierra y capital y restricciones ambientales de generación de sedimentos.

Las alternativas de decisión se refieren a las actividades realizadas (ganadería-silvopastoreo) y, por lo tanto, son las que el tomador de decisión puede controlar y cuyos valores determinan el impacto sobre el sistema.

La función objetivo es maximizar el valor presente del flujo de beneficios netos de la combinación ganadería - silvopastoreo, sujeta a las restricciones mencionadas anteriormente. El modelo está orientado a evaluar para un período de 15 años, teniendo en cuenta el nivel de transferencia óptimo, cuál es el número de hectáreas dedicadas a ganadería extensiva y silvopastoreo que maximiza la función objetivo sin violar las restricciones impuestas.

De esta manera, al optimizar esta función, el mejor beneficio neto posible en un período de 15 años está dado por el tipo de actividad que realice el productor y las restricciones que la limitan. Es decir, las alternativas de decisión deben ser ambientalmente sostenibles (cumplir con las restricciones ambientales) y económicamente viables (el beneficio neto de la nueva situación ser igual o superior al de la condición actual del productor).

Para la determinación del incentivo se realizaron diferentes etapas: la primera es, bajo el supuesto de que el incentivo debe ser fijo durante el horizonte de análisis, se realizó una búsqueda numérica

tomando diferentes valores. Partiendo de un nivel de incentivo cero y aumentándolo a intervalos de \$2.000 hasta \$4.700.000 –monto con el cual el ganadero reconvierte las trece hectáreas. Para cada valor del incentivo se simuló el comportamiento del sistema y se observó la reconversión realizada. La segunda etapa consistió en calcular para cada valor del incentivo, la elasticidad incentivo de la reconversión; esto con el fin de encontrar el valor óptimo del incentivo, el cual es el que garantiza la máxima reconversión.

En la última etapa se determinó la posibilidad de una senda de incentivo diferencial en el tiempo, con el fin de reducir los costos totales del mismo, logrando así disminuir el gasto en el incentivo.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Escenario actual: línea base

En este escenario se construyó el modelo mediante el análisis del flujo de beneficios netos de las dos actividades: ganadería y silvopastoreo sin incentivos. Estos flujos incorporan los costos e ingresos generados por la venta futura de madera, así como la venta derivada de los productos de la ganadería.

Cuando el incentivo no es incorporado dentro del sistema, los beneficios netos del sistema ganadero son mayores a los del sistema silvopastoril, y por tanto, la solución óptima del modelo muestra que el ganadero utiliza toda el área disponible en su actual sistema productivo –ganadería– y no implementa la actividad silvopastoril.

El cuadro 2 resume el sistema de producción actual de un ganadero promedio de los municipios de Samaná y Pensilvania. Como se observa, en caso de continuar con el sistema de producción actual en las 13 hectáreas que tiene disponibles, un ganadero promedio de la cuenca La Miel obtendrá en 15 años un beneficio neto de \$87.189.128. Requerirá un capital de \$5.655.000 y

utilizará para las labores en su finca 1.755 jornales. Es decir, utilizará exactamente el capital y número de jornales de que dispone. El aporte de sedimentos que realizará durante este período y por las 13 hectáreas es 10.395 toneladas.

Cuadro 2
Resumen Escenario Actual

| Características | Cantidad |
|-----------------------------|------------|
| Area utilizada (ha)* | 13 |
| Beneficio Neto** (\$/finca) | 87.189.128 |
| Mano de obra (jornal/finca) | 1.755 |
| Capital** (\$/finca) | 5.655.000 |
| Sedimentos (t/finca)*** | 10.395 |

Fuente: Cálculos propios.

* Hectárea

** Suma en valor presente de los flujos durante los 15 años. Tasa de descuento 5%

*** Tonelada

Escenario alternativo I

En el escenario anterior, en el cual el incentivo no es incorporado al modelo, el ganadero no implementa la actividad silvopastoril, pues su instalación requiere elevadas inversiones en capital y mano de obra. Por lo tanto, para que el silvopastoreo sea rentable en el corto plazo debe modificarse el flujo actual de beneficios, lo cual puede hacerse mediante un monto transferible al ganadero.

Es por esto que en esta parte se realiza una búsqueda numérica del incentivo óptimo que estimule al ganadero a implementar el sistema silvopastoril. El análisis se realizó a través de diferentes pasos: el primero fue suponer que el incentivo debe ser fijo a lo largo del período de análisis. La búsqueda se inició con un nivel

de incentivo cero, el cual fue aumentándose a intervalos de \$2000 hasta encontrar el monto con el cual el ganadero reconvierte sus trece hectáreas; este monto es \$470 000. El comportamiento del sistema fue simulado para cada monto del incentivo con el fin de observar la reconversión realizada.

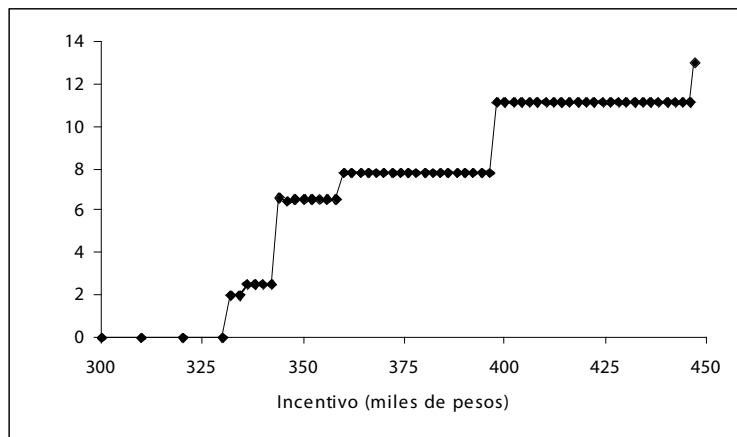


Figura 1. Área Reconvertida a Silvopastoreo para diferentes montos del Incentivo

Como se observa en la figura 1, para montos del incentivo inferiores a \$330.000 anuales por hectárea, el ganadero no realiza ninguna reconversión a silvopastoreo, solamente a partir de \$332.000 empieza a reconvertir. Hay que destacar en esta figura que pasar de un incentivo de \$332.000 a uno de \$334.000 implica aumentar significativamente el número de hectáreas reconvertidas, pues pasa de tener 2,51 hectáreas en silvopastoreo a 6,61, es decir, representa incrementar en un poco más de cuatro hectáreas el sistema silvopastoril. Otro aumento considerable en el número de hectáreas reconvertidas ocurre al aumentar el incentivo de \$396.000 a \$398.000,

pues se pasa de 7,83 ha a 11,18, lo cual implica un cambio de 3,5 ha. También es importante anotar en este punto que con un incentivo de \$447.000 por hectárea, el ganadero reconvierte todo su actual sistema productivo. En los intervalos de \$360.000 a \$390.000 y de \$400.000 a \$440.000 el nivel de reconversión del actual sistema productivo ante aumentos de \$2.000 en el incentivo es casi nulo.

El segundo paso consistió en calcular para cada monto la elasticidad de reconversión ante el incentivo, con el fin de encontrar el nivel óptimo del incentivo, que es el que garantiza la máxima reconversión, bajo el supuesto de que el nivel de incentivo que maximiza los retornos se encuentra donde la elasticidad de la reconversión al incentivo es máxima.

Como se observa en la figura 2, la mayor elasticidad incentivo de la reconversión se alcanza cuando se transfiere al ganadero durante los 15 años una cantidad de \$344.000 por hectárea reconvertida. Como se observó en la figura anterior, este aumento en el incentivo hace que el ganadero duplique el número de hectáreas destinadas a silvopastoreo. Por lo tanto, \$344.000 es un monto eficiente del incentivo, pues es el que garantiza el mayor número de hectáreas reconvertidas.

Con este nivel óptimo de incentivo (\$344.000) se simuló el comportamiento del sistema considerando las actividades ganadería extensiva y silvopastoreo. La solución óptima de este escenario determinó el número de hectáreas dedicadas a ganadería y el número de hectáreas dedicadas a silvopastoreo que cumpliendo con las restricciones impuestas, maximizan el valor presente de la suma de los beneficios netos del ganadero.

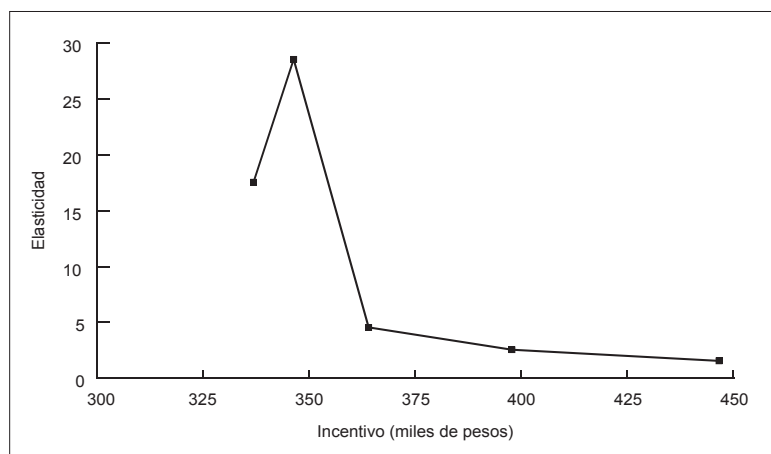


Figura 2. Elasticidad Arco Incentivo de la Reconversión

Como se observa en el cuadro 3, en caso de que el ganadero pueda acceder anualmente y durante los 15 años a una transferencia de \$344.000 por hectárea reconvertida, continuará con su actividad ganadera en 5,94 hectáreas, y en las 6,61 hectáreas restantes implementará el sistema silvopastoril. Como resultado de estas actividades obtendrá un beneficio neto de \$95.877.506; requerirá un capital de 9.560.619 y utilizará 4.785 jornales para realizar las labores en su finca. Por lo tanto, para realizar estas dos actividades, el ganadero requiere más capital y mano de obra del que tiene disponible. Comparado con el número de jornales que utiliza en el escenario base, requiere 3.030 jornales adicionales. El aporte total de sedimentos que realizará durante este período y por las 13 hectáreas es 6.469 toneladas, con un aporte de sedimentos máximo de 669 t/finca, el cual ocurre durante los dos primeros años de implementado el sistema silvopastoril y un aporte mínimo de 362, el cual ocurre a partir del séptimo año de implementado el sistema alternativo.

Este escenario disminuye el aporte de sedimentos con respecto al escenario actual en un 37,8 %, por lo tanto, desde el punto de

vista ambiental es una buena opción para contrarrestar el problema ambiental. Teniendo en cuenta que la alternativa debe ser viable tanto ambiental como económicamente, hay que analizar el impacto sobre los beneficios netos de los ganaderos. Como se observa, hubo un aumento en los beneficios netos de los ganaderos de \$8.678.378 al combinar el sistema ganadero con uno silvopastoril cuando el agricultor tiene acceso a una transferencia igual a \$344.000 durante los 15 años.

Cuadro 3
Resumen Escenario Alternativo I

| Características | Cantidad |
|--|------------|
| Area utilizada (ha)* | 12,55 |
| Area Ganadería (ha) | 5,94 |
| Area Silvopastoreo (ha) | 6,61 |
| Beneficio Neto** (\$/finca) | 95.877.506 |
| Mano de obra (jornal/finca) | 4785 |
| Capital** (\$/finca) | 9.560.619 |
| Sedimentos (t/finca)*** | 6.469 |
| Sedimentos Máximos (t/finca) | 669 |
| Sedimentos Mínimos (t/finca) | 362 |
| Valor presente Incentivo por hectárea | 3.749.132 |
| Valor presente Incentivo total área reconvertida | 24.767.735 |

Fuente: Cálculos propios.

* Hectárea

** Suma en valor presente de los flujos durante los 15 años. Tasa de descuento 5%

*** Tonelada

Escenario Alternativo II

En otro paso se calculó el monto del incentivo asumiendo que es igual a la diferencia de beneficios entre las dos actividades, $I_{St} = \pi_{Gt} - \pi_{St}$.

En este caso, el incentivo representa los beneficios que el ganadero deja de percibir debido a la implementación del nuevo sistema productivo. Para ello, se buscó una senda de subsidio que cumpla con esta igualdad, poniendo como fijo el número de hectáreas de pasto y silvopastoreo, de manera que cada actividad ocupe la mitad del área disponible: 6.5 ha. Con esto se encontró un subsidio diferencial en el tiempo que reduce el gasto en el incentivo por hectárea reconvenida.

Como se observa en la figura 3, el monto de este incentivo diferencial en el tiempo tiene en cuenta que durante los primeros años de implementación del sistema silvopastoril es cuando el ganadero requiere más capital y mano de obra; es por esto que el monto del incentivo va disminuyendo a través del tiempo; iniciando con montos grandes durante los primeros años –similares a los obtenidos en el escenario alternativo I– y continuando con montos pequeños durante los últimos períodos.

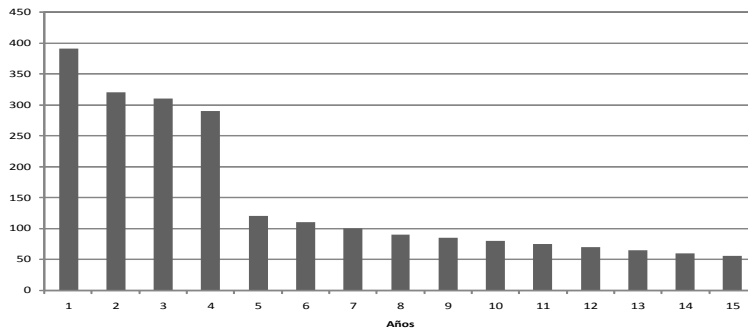


Figura 3. Incentivo Diferencial en el Tiempo

Al simular el comportamiento del sistema incorporando la senda del incentivo diferencial en el tiempo se obtuvo que, como resultado de implementar la actividad silvopastoril en 6,5 hectáreas y en las restantes 6,5 dejar su actual sistema productivo (cuadro 4), obtendrá un beneficio neto de \$87.189.128 y generará durante este período y por las 13 hectáreas 6.890 toneladas de sedimentos, con un aporte

máximo de 693 t/finca, el cual ocurre durante los dos primeros años de implementación del sistema silvopastoril y un aporte mínimo de 392 toneladas a partir del séptimo año. Requerirá un capital de \$9.692.800 por las 13 hectáreas y una mano de obra de 4.797 jornales. Por lo tanto, al igual que en el escenario anterior, para realizar estas dos actividades, el ganadero requiere más capital y mano de obra del que tiene disponible. Con respecto al escenario base, requiere 3.042 jornales adicionales.

Este escenario disminuye el aporte de sedimentos con respecto al escenario actual en un 33,7%, por lo tanto, desde el punto de vista ambiental sería una buena opción para contrarrestar el problema ambiental. Analizando el impacto sobre los beneficios netos de los ganaderos, se observa que obtienen exactamente los beneficios que derivan en el escenario actual. Este escenario es el que menor gasto en incentivo requiere, \$12.796.148, lo cual reduce el gasto en incentivo en 48,3% con respecto al escenario alternativo I.

Cuadro 4
Resumen Escenario Alternativo II

| Características | Cantidad |
|--|------------|
| Area utilizada (ha)* | 13 |
| Area Ganadería (ha) | 6,5 |
| Area Silvopastoreo (ha) | 6,5 |
| Beneficio Neto** (\$/finca) | 87.189.128 |
| Mano de obra (jornal/finca) | 4.797 |
| Capital** (\$/finca) | 9.692.800 |
| Sedimentos (t/finca)*** | 6.890 |
| Sedimentos Máximos (t/finca) | 693 |
| Sedimentos Mínimos (t/finca) | 392 |
| Valor presente Incentivo por hectárea | 1.968.368 |
| Valor presente Incentivo total área reconvertida | 12.796.148 |

Fuente: Cálculos propios. * Hectárea ** Suma en valor presente de los flujos durante los 15 años. Tasa de descuento 5% *** Tonelada

Resumen Diferentes Escenarios Alternativos

En el cuadro 5 se resumen los resultados del escenario base de las dos alternativas explicadas anteriormente y del caso en que se reconvierten las trece hectáreas de la finca.

Como se observa en el cuadro, en caso de que el ganadero pueda acceder durante los 15 años a un incentivo de \$4.904.388 (equivalente a \$447.000 anual por hectárea), implementará la actividad silvopastoril en las 13 hectáreas.

Como resultado de esta actividad obtendrá un beneficio de \$108.932.203 y generará 3.385 toneladas de sedimentos, con un aporte máximo de sedimentos de 693 t/finca y un aporte mínimo de 90 toneladas/finca. Utilizará un capital de \$13.973.600 y una mano de obra de 7.839 jornales.

Con respecto al escenario actual, esta alternativa disminuye el aporte de sedimentos en un 67,4%, por lo tanto, desde el punto de vista ambiental es una buena opción. Desde el punto de vista del ganadero también lo es, pues sus beneficios netos se incrementan en \$21.743.075, es decir, en aproximadamente un 25%.

Sin embargo, desde el punto de vista del presupuesto de la autoridad ambiental no es una buena opción, pues con respecto al escenario alternativo II se incrementa considerablemente el gasto en el incentivo, ya que pasa de \$24.767.735 a \$63.332.003, es decir, el gasto en el incentivo se incrementa en \$38.564.268.

Cuadro 5
Resumen Diferentes Alternativas

| Características | Ganadería | Alternativa I | Alternativa II | Silvopas- toreo |
|--|------------|------------------|-------------------|--------------------|
| Area utilizada (ha)* | 13 | 12,55 | 13 | 13 |
| Area Ganadería (ha) | 13 | 5,94 | 6,5 | 0 |
| Area Silvopastoreo (ha) | 0 | 6,61 | 6,5 | 13 |
| Beneficio Neto** (\$/finca) | 87.189.128 | 95.877.506 | 87.189.128 | 108.932.203 |
| Mano de obra (jornal/finca) | 1.755 | 4.785 | 4.797 | 7.839 |
| Capital** (\$/finca) | 5.655.000 | 9.560.619 | 9.692.800 | 13.730.600 |
| Sedimentos (t/finca)*** | 10.395 | 6.469 | 6.890 | 3.385 |
| Sedimentos Máximos (t/finca) | 693 | 669 | 693 | 693 |
| Sedimentos Mínimos (t/finca) | 693 | 362 | 392 | 90 |
| Valor presente Incentivo por hectárea | 0 | 24.767.735 | 12.796.148 | 63.332.003 |
| Valor presente Incentivo total área reconvertida | 0 | 24.767.735 | 12.796.148 | 63.332.003 |

Fuente: Cálculos propios.

* Hectárea

** Suma en valor presente de los flujos durante los 15 años. Tasa de descuento 5%

*** Tonelada

De lo anterior puede decirse que a pesar de que las tres alternativas cumplen con el objetivo de disminuir los sedimentos –unas en mayor medida que otras– hay que tener en cuenta el costo de hacerlo. Para ello se calculó el costo de reducir la generación de una tonelada de sedimentos, el cual es presentado en el cuadro 6.

Cuadro 6
 Valor Presente del Costo Medio por Tonelada Reducida en
 Comparación con el Escenario Actual

| Características | Alternativa I | Alternativa II | Alternativa III |
|--|---------------|----------------|-----------------|
| Reducción de sedimentos (t/finca)* | 3.926 | 3.050 | 7.010 |
| Costo medio por tonelada reducida (\$/ton) | 6.309 | 3.651 | 9.035 |

Fuente: Cálculos propios.

*Tonelada por finca

** Pesos por tonelada

Como se observa, a pesar de que las tres alternativas disminuyen los sedimentos –en diferente medida–, la tercera tiene un costo muy elevado de hacerlo. En este sentido, las opciones de los extremos: Ganadería extensiva y Silvopastoreo –mostradas en la tabla 5– no son viables; la primera, porque produce elevados niveles de sedimentación y la segunda, porque a pesar de que disminuye en gran medida los niveles de generación de sedimentos, los costos de reducir una tonelada de sedimentos superan con creces el costo por tonelada reducida que tienen las otras dos alternativas. Por lo tanto, una alternativa costo-eficiente se encuentra en la combinación de los dos sistemas.

Como se observa en el cuadro 6, la reducción en la generación de sedimentos que se presenta en las alternativas I y II no difiere mucho (3.926 t/finca) y (3.050 t/finca) respectivamente. Sin embargo, el costo por tonelada reducida que tiene el escenario alternativo II es mucho menor que el del escenario alternativo I. Esto hace que la combinación de ganadería y silvopastoreo con la seda de subsidio diferencial en el tiempo presentada en la alternativa

II sea la mejor opción, pues cumple con el objetivo ambiental de reducir los sedimentos, lo hace al menor costo por tonelada reducida y conserva a la vez los ingresos actuales de los ganaderos.

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema silvopastoril en la zona de estudio puede brindar una alternativa para disminuir la generación de sedimentos aportados principalmente por el sistema de ganadería extensiva existente en la región. No obstante, esta práctica por sí sola no es atractiva para los usuarios de la tierra, debido principalmente a los elevados costos de implementación y mantenimiento del sistema. Dichos costos hacen necesario un instrumento que permita incentivar su implementación.

De los tres posibles escenarios planteados para determinar el instrumento, se dedujo que el mejor incentivo para promover la adopción del sistema silvopastoril en la zona de estudio es aquel diferencial en el tiempo, pues no solamente redujo el aporte de sedimentos al recurso hídrico sino que lo hizo al menor costo posible. En otras palabras, de los diferentes incentivos planteados, la senda diferencial en el tiempo es la más costo - eficiente, ya que logró el objetivo de reducir los niveles de sedimentos, lo hizo al menor costo por tonelada reducida y conservó los beneficios netos de los ganaderos.

Esta senda de incentivo diferencial en el tiempo llevó al ganadero a implementar la actividad silvopastoril en 6,5 de las 13 hectáreas que tiene disponibles; con ello, redujo el aporte de sedimentos con respecto al escenario actual en un 33,7%, a un costo de \$63.651 por tonelada reducida, y al mismo tiempo preservó sus actuales ganancias netas en \$87.189.128.

Un aspecto importante que se debe tener en cuenta es que dado que la información utilizada para la realización de este trabajo es

para un ganadero promedio de la cuenca, existen restricciones y limitaciones en el análisis, pues se está asumiendo que todas las fincas están aportando el mismo nivel de sedimentos —sin importar su ubicación con respecto al recurso hídrico. En este sentido, puede estarse sobreestimando el aporte total de sedimentos y, por lo tanto, el monto del incentivo. Si cambiaran de alguna forma los supuestos, los resultados podrían ser diferentes.

La inclusión de información espacial mejoraría mucho los resultados, pues sería posible tener información acerca de la distancia de las fincas al recurso hídrico y la variabilidad en el aporte de sedimentos de cada una de ellas, pues una finca ubicada lejos del río puede tener menor impacto ambiental que una finca cercana al río. En este sentido, el incentivo tendría en cuenta el impacto de la distancia de las fincas sobre la calidad ambiental de la cuenca.

REFERENCIAS

- Arias, J., Betancouth, A. y Rivera, B. (2003). Tipificación de los sistemas de producción agropecuaria de las subcuencas de los ríos San Antonio, Santa Marta y Moro, en la cuenca del río La Miel. Tesis de grado, Universidad de Caldas (Manizales).
- Arica, D. y Yanggen, D. (2005). Análisis de la viabilidad económica y la adopción de la agroforestería en los Andes del Norte de Perú: Estudio de caso realizado de barreras vivas en la Microcuenca La Encañada, Cajamarca (Perú). Presentado al SEPIA, realizado en Trujillo desde el 16 al 19 de agosto.
- Betancourth, A., Cano, N., Henao, J. e Hincapié, D. (2004). Caracterización y diseño de alternativas agroforestales sostenibles para una finca piloto en la selva La Florencia (Caldas). Tesis de grado, Universidad de Caldas (Manizales).
- Böhringer, A. (2001). Facilitating the wider use of agroforestry for development in southern Africa *Development in Practice*,

- vol. 11, N° 4.
- Condesan (1999). LA CUENCA DE LA MIEL, COLOMBIA. Anticipándonos a la paz, construyendo un proceso de desarrollo sostenible en la selva de La Florencia.
- Forero, J, y Torres, L. (2005). *Determinación de Incentivos Económicos para la recuperación de microcuencas andinas en Colombia: Metodología y Aplicaciones*. Bogotá: Universidad Javeriana.
- Giraldo, L. y Bolívar, D. (2000). Evaluación de un sistema silvopastoril de acacia decurrens asociada con pasto kikuyo, *Pennisetum clandestinum*, en clima frío de Colombia. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
- Laguado, W., Giraldo, L. y Orregón, S. (2005). Viabilidad ambiental y financiera de los sistemas silvopastoriles del Bajo Cauca antioqueño como parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Documento presentado en el sexto simposio latinoamericano “Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios”: IESA-AL-VI. Manizales (Colombia).
- Mercer, D. (2004). Adoption of Agroforestry innovations in the tropics: a review. United States Department of Agriculture (USDA) - Forest Service. Research Triangle Park, NC.
- Moreno, V. y Latorre, S. (2001). Sistema silvopastoril guayaba grama natural en la hoya del río Suárez. Bucaramanga: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).
- Pannell, D. (2004). Enhancing the environmental benefits of agroforestry through government policy mechanisms. En I. Nuberg (Ed.), *Agroforestry for Natural Resource Management*.
- Quintero, M y Estrada, R. (2004). Modelo de Optimización para evaluación *ex-ante* de alternativas productivas que permitan internalizar las externalidades ambientales en cuencas de la región Andina. Colombia: Centro de Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Rendal, A. (1997). La Agroforestería en Cuba. Santiago (Chile):

- Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe.
- Rivera, B. (1999). Evaluación de las políticas de conservación en la selva La Florencia. Tesis de grado, Universidad de Caldas (Manizales).
- Roldán, P. (2006). Incentivos económicos para la reconversión ganadera en la Cuenca la Miel (Caldas). Tesis de grado, Universidad de los Andes (Bogotá).
- Sánchez, T. (1998). Cultivo en callejones: Un sistema alternativo de producción sostenible en zonas de ladera del oriente caldense. La Dorada (Caldas): Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).
- Sotomayor, A. (2004). *Modelos Agroforestales para un desarrollo sostenible de la agricultura familiar campesina*. Chile: Universidad de Concepción.