



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

**Impacto del pago por servicios ambientales y la asistencia técnica  
en la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles en la cuenca  
del río La Vieja, Colombia**

por

Yuly Catalina Zapata Arango

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

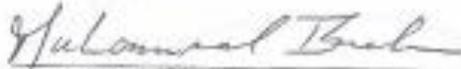
*Magister Scientiae* en Manejo y Conservación de  
Bosques Tropicales y Biodiversidad

Turrialba, Costa Rica, 2012

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y CONSERVACIÓN  
DE BOSQUES TROPICALES Y BIODIVERSIDAD**

**FIRMANTES:**



Muhammad Ibrahim, Ph.D.  
Co-Director de tesis



Juan Robalino, Ph.D.  
Co-Director de tesis

David Barton, Ph.D.

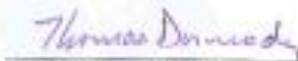
Miembro Comité Consejero

Antonio Solarte, M.Sc.

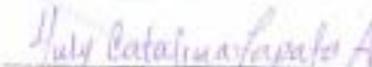
Miembro Comité Consejero



Diego Lybar, M.Sc.  
Miembro Comité Consejero



Thomas Dormody, Ph.D.  
Decano de la Escuela de Posgrado



Yuly Catalina Zapata Araujo  
Candidata

## **DEDICATORIA**

Este trabajo y toda la maestría se la dedico a Dios, por darme la salud y bienestar necesarios  
para llevar a cabo este propósito.

A mi familia, quienes me apoyaron en todos los buenos y no tan buenos momentos. Este  
resultado es para disfrutarlo con ustedes.

Muchas gracias

## AGRADECIMIENTOS

A David Barton, coordinador del proyecto PESILA, por su contribución a la financiación de este trabajo. Muchas gracias por su apoyo incondicional y haber posibilitado que este estudio fuera una realidad.

Al profesor Juan Robalino, porque confió en mí y sobre todo me tuvo paciencia. Porque paso a paso me enseñó a aprender temas nuevos y muy interesantes. Porque me dedicó el tiempo y me brindó su ayuda en todo momento que lo necesité. Porque todo fue ¡Súper!.

Al profesor Muhhamad Ibrahim, porque me entendió y me apoyó en las decisiones que tomé. Porque siempre se preocupó por mi bienestar en Catie. Me brindó su apoyo incondicional y fue un excelente concejero.

A Diego Tobar, porque me escuchó en medio de tantas ocupaciones. Porque me ayudó con su experiencia a culminar la tesis y con sus colombianadas me sacaba de la rutina.

En Cipav al director Enrique Murgueitio, quien generó las posibilidades para el desarrollo de este trabajo. A Antonio Solarte, por su permanente colaboración, porque nunca perdió la FÉ en que PESILA sería aprobado. A Andrés Felipe Zuluaga por la colaboración y orientación en el desarrollo del monitoreo. A América Melo por su contribución en el desarrollo del sistema de información geográfica. A Jorge Iván Trujillo, José Alirio Bolívar y Marco Trujillo, por todo el apoyo logístico para la visita de las fincas. A todos los propietarios y administradores de las 104 fincas que nos dedicaron su valioso tiempo y compartieron su experiencia.

Gracias a toda mi familia, porque me motivaron para asistir al Catie, haciendo que esta oportunidad fuera muy valiosa para mí.

A todos mis compañeros, amigos y personal administrativo y docente del Catie, su apoyo fue invaluable.

## **BIOGRAFÍA**

La autora nació el 27 de octubre de 1977 en Betulia, Antioquia (Colombia). Vivió su niñez entre montañas y cafetales de Antioquia, posteriormente se trasladó para el departamento del Cauca, sur de Colombia. Allí estudió la secundaria en el Instituto Agrícola de Tunía Cauca, generando su interés por las ciencias agropecuarias y ambientales.

En 1996 recibió una beca para estudiar Dasonomía en la Escuela de Ciencias Forestales de Honduras (ESNACIFOR), después de tres años obtuvo el título de tecnóloga forestal. En el 2000 regresó a Colombia y estudió para graduarse de Ingeniería Forestal, en la Universidad del Tolima en el 2004.

Desde el 2005 trabaja con la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV). Se ha desempeñado en las áreas de planificación ambiental del territorio en cuencas hidrográficas, áreas protegidas y a escala de finca. Ha trabajado en la implementación de esquemas de compensación por servicios ambientales con comunidades campesinas e indígenas, así como el desarrollo de estrategias de promoción de productos no maderables del bosque, en especial orquídeas. En su trabajo ha recorrido varios sitios de la geografía nacional, lo que le ha ayudado a conocer la realidad colombiana.

Desarrolló la Maestría en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad, en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), durante 2010 y 2011.

# CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	X
ÍNDICE DE CUADROS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	XIV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio.....	5
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	5
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	5
1.2 Hipótesis del estudio.....	5
2 MARCO CONCEPTUAL.....	6
2.1 Ganadería en Colombia.....	6
2.2 Sistemas silvopastoriles.....	6
2.3 Servicios ecosistémicos en sistemas silvopastoriles.....	7
2.3.1 <i>Servicios hidrológicos</i> .....	7
2.3.2 <i>Fijación y almacenamiento de carbono</i> .....	8
2.3.3 <i>Conservación de la biodiversidad</i> .....	8
2.4 Pago por servicios ambientales.....	9
2.4.1 <i>PSA en Colombia</i> .....	10
2.4.2 <i>PSA en silvopastoriles</i> .....	10
2.4.3 <i>Participación en programas de PSA</i> .....	13
2.4.4 <i>Adopción de sistemas agroforestales</i> .....	13
2.5 Evaluación de programas de PSA.....	14
2.5.1 <i>Evaluación de impacto rigurosa</i> .....	15
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1 Descripción del área de estudio.....	16
3.2 Diseño del proyecto Enfoques Silvopastoriles.....	17
3.3 Variables.....	19

3.3.1	<i>Variables dependientes</i> .....	20
3.3.2	<i>Variable independiente de interés</i> .....	22
3.3.3	<i>Variables independientes de control</i> .....	23
3.4	Análisis estadísticos .....	25
3.4.1	<i>Objetivo 1: Participación en el programa de PSA</i> .....	25
3.4.2	<i>Objetivo 2: Adopción de silvopastoriles</i> .....	25
3.4.3	<i>Objetivo 3: Evaluación de impacto</i> .....	26
3.4.4	<i>Objetivo 4: Índice de Servicios Ambientales</i> .....	26
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1	Determinantes de la participación.....	29
4.2	Adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles.....	35
4.3	Evaluación de impacto.....	41
4.3.1	<i>Sustento del emparejamiento entre las fincas con PSA y sin PSA</i> .....	41
4.3.2	<i>Diagnóstico de la calidad del emparejamiento</i> .....	41
4.3.3	<i>Usos no silvopastoriles</i> .....	44
4.3.4	<i>Pasturas con árboles</i> .....	45
4.3.5	<i>Banco de forraje</i> .....	46
4.3.6	<i>Silvopastoril intensivo</i> .....	47
4.3.7	<i>Cercas vivas</i> .....	48
4.3.8	<i>Usos de conservación y restauración</i> .....	49
4.4	Índice de servicios ambientales .....	51
4.4.1	<i>Impacto en el Índice de Servicios Ambientales</i> .....	52
4.4.2	<i>Carbono total almacenado</i> .....	54
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	56
6	BIBLIOGRAFÍA .....	59

## RESUMEN

En Colombia la ganadería es una actividad productiva que se distribuye por todo el territorio nacional, generando en muchos casos, externalidades ambientales negativas. Los sistemas silvopastoriles son una alternativa para cambiar la ganadería tradicional en una actividad más rentable y con menos impacto ambiental. En el periodo 2003 a 2007 se desarrolló en Colombia, Costa Rica y Nicaragua el proyecto enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas, financiado con recursos del Fondo Global Ambiental (GEF), el cual promovió la adopción de sistemas silvopastoriles mediante el Pago por Servicios Ambientales (PSA).

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto del PSA y la Asistencia Técnica (AT) en esquemas de pago de 2 y 4 años, sobre la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles implementados durante el proyecto en Colombia. Se trabajó con un grupo de 104 fincas, 75 fincas con PSA y 29 fincas sin PSA. Las fincas se caracterizaron empleando variables seleccionadas de una encuesta socio-económica desarrollada en el año 2003. A las fincas se les realizó el monitoreo anual de cambios en los usos del suelo durante el período 2003 al 2007, y fue actualizado para el año el 2011. Los sistemas silvopastoriles evaluados fueron las pasturas con árboles, bancos forrajeros, silvopastoril intensivo, cercas vivas y usos de conservación como bosques ribereños y otras áreas de protección en la finca (bosque maduro, bosque secundario, sucesión vegetal y guaduales). Los resultados de los cambios realizados en los usos del suelo son las diferencias entre los años 2003 a 2007 y 2003 a 2011. Para conocer los determinantes que influenciaron la participación de los productores en el programa de PSA se realizaron regresiones probit. Para conocer las variables que explican la adopción de pasturas con árboles, bancos de forraje, silvopastoriles intensivos y cercas vivas se realizaron regresiones lineales múltiples. Para la evaluación de impacto del PSA y la asistencia técnica en la adopción y permanencia de las prácticas silvopastoriles y la contribución en el Índice de Servicios Ambientales se aplicaron técnicas de emparejamiento (matching).

Se encontró que la participación en el programa de PSA estuvo influenciada por variables socioeconómicas de la edad del propietario, biofísicas de área de la finca y la topografía del terreno. Los usos del suelo predominantes en la finca en año 2003, presentan tendencia a

influir negativamente en la probabilidad de participación de los productores en el programa de PSA. En la adopción de prácticas silvopastoriles, se encontró que las variables analizadas explican la adopción de los sistemas de pasturas con árboles y cercas vivas, mientras que para las prácticas de bancos de forraje y silvopastoril intensivo es más reducido el número de variables significativas. Se encontró que el PSA y la asistencia técnica presentaron efecto en la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles. El esquema de PSA de 4 años con AT, presentó efecto positivo durante el período de pago en todas las prácticas silvopastoriles analizadas. En la permanencia se presentó efecto positivo en la pastura con árboles, las cercas vivas y el bosque ribereño. En el esquema de 2 años con AT se encontró durante el período de pago que hubo efecto en la reducción de la pastura sin árboles, se incrementaron las pasturas con árboles y las cercas vivas. Después de finalizado el pago no hubo evidencia de impacto.

**Palabras clave: Colombia, evaluación de impacto, PSA, participación en PSA, adopción de sistemas silvopastoriles, permanencia de sistemas silvopastoriles, matching,**

## SUMMARY

In Colombia cattle ranching is a productive activity distributed throughout the country, resulting in many cases in environmental externalities. Silvopastoral systems are an alternative to change the traditional ranching into a profitable and less environmental impact activity. The Regional Integrated Silvopastoral Ecosystem Management Project, was carried out in Colombia, Costa Rica and Nicaragua, between 2003 to 2007 supported by the Global Environment Facility (GEF). This project promoted the adoption of silvopastoral systems through Payment for Environmental Services (PES).

The aim of this research was to evaluate the impact of PES and Technical Assistance (TA) in payment schemes of 2 or 4 years, on the adoption and permanence of silvopastoral. We worked with data collected in 104 farms, 75 in the PES groups and 29 in a control group. The farms were characterized from selected variables of a socio-economic survey carried out in 2003. Annual monitoring of changes in land use were conducted during the period 2003 to 2007 and it was updated in 2011. Silvopastoral systems evaluated were pastures with trees, fodder banks, intensive silvopastoral system, live fences and conservation uses such as riparian forests and other protected areas at farm scale (mature forest, secondary forest, forest succession and bamboo forest). The results of changes in land use were estimated from the differences between the years 2003 to 2007 and from 2003 to 2011. Probit regressions were performed to understand the determinants that influence the participation of producers in the PSA program. Multiple linear regressions were performed to identify variables that influenced the adoption of pasture with trees, fodder banks, live fences and intensive silvopastoral systems. Matching techniques were used to assess impact of PES and TA in the adoption and permanence of silvopastoral practices and their contribution to an Index of Environmental Services.

It was found that participation in the PES program was influenced by socioeconomic variables such as age of the owner, biophysical such as farm area and topography. The predominant land use on the farm in 2003 influenced the probability of farmers to participate in the PES program. In the adoption of silvopastoral systems, we found that most of the analyzed

variables explained the adoption of systems such as pasture with trees and live fence, whereas for fodder banks and intensive silvopastoral systems the number of significant variables was more reduced. We found that PES and TA had effect on the adoption and permanence of all silvopastoral systems. The PES of 4 years with TA shown a positive effect during the payment period in all silvopastoral systems analyzed. We found also a positive effect on the permanence of pasture with trees, live fences and riparian forest. PES scheme and TA to 2 years shown a significant effect in changing the pasture without trees areas into pasture with trees and live fences during the payment period. After completion of the payment there was no evidence of impact.

**Keyword: Colombia, Impact evaluation, PES, participation in PES, adoption of silvopastoral systems, matching techniques.**

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Características del PSA de Costa Rica y el caso piloto en Colombia.....</i>	<i>12</i>
<i>Cuadro 2. Agrupamientos de usos de la tierra empleadas para el estudio. ....</i>	<i>21</i>
<i>Cuadro 3. Área total en hectáreas de los usos del suelo en las fincas con PSA y sin PSA, en las nueve categorías de usos del suelo. ....</i>	<i>22</i>
<i>Cuadro 4. Variables incluidas en el modelo econométrico .....</i>	<i>24</i>
<i>Cuadro 5. Ecuaciones alométricas empleadas para la estimación de biomasa en árboles y palmas. ....</i>	<i>27</i>
<i>Cuadro 6. Efecto marginal de la probabilidad de Participación .....</i>	<i>30</i>
<i>Cuadro 7. Adopción de prácticas silvopastoriles en el PSA 2 años con asistencia técnica. ....</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 8. Diferencia promedio entre las fincas con PSA y sin PSA, antes y después del emparejamiento con 5 reemplazos. ....</i>	<i>42</i>
<i>Cuadro 9. Valores del índice de carbono y biodiversidad.....</i>	<i>51</i>
<i>Cuadro 10. Impacto del PSA con AT en el Índice de Servicios Ambientales de Carbono y Biodiversidad.....</i>	<i>53</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización del área de estudio, cuenca del río La Vieja, departamentos de Quindío y Valle del Cauca, Colombia. Fuente: Proyecto Enfoques silvopastoriles, Fundación CIPAV. ....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 2. Diseño empleado para el desarrollo del Proyecto Enfoques silvopastoriles. PSA: Pago por Servicios Ambientales. AT: Asistencia Técnica.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 3. Diseño del proyecto Enfoques Silvopastoriles y la relación con esta investigación. ....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 4. Densidad de probabilidad. A. PSA 2 años. B. PSA 4 años .....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 5. Efecto del PSA en usos no silvopastoriles para los esquemas de 2 y 4 años, durante y después del incentivo.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 6. Efecto del PSA y la asistencia técnica en la pastura con árboles.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 7. Efecto del PSA y la asistencia técnica en los sistemas de bancos de forraje. ....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 8. Impacto del PSA y la asistencia técnica en el silvopastoril intensivo .....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 9. Impacto del PSA y la asistencia técnica en las cercas vivas .....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 10. Efecto del PSA y la asistencia técnica en el bosque ribereño y las áreas de bosque. ....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 11. Impacto en el almacenamiento de carbono total por hectárea y en kilómetros de cercas vivas.....</i>	<i>55</i>

## **LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS**

PSA: Pago por servicios ambientales

SAF: Sistemas Agroforestales

ISA: El Índice de Servicios Ambientales

AT: Asistencia técnica

# 1. INTRODUCCIÓN

La ganadería contribuye mediante el pastoreo a la degradación ambiental. Se estima que entre un 10% y 20% de los pastos y los pastizales del mundo presentan algún grado de degradación (FAO 2009 ). Generando externalidades negativas como la pérdida de biodiversidad, emisión de gases contaminantes, procesos de erosión y contaminación de fuentes de agua.

En Colombia, la ganadería presenta un comportamiento similar al registrado globalmente, está presente en aproximadamente el 34% del territorio nacional y dentro del área de frontera agrícola representa el 76%. Existe un inventario de 23 millones de cabezas de ganado bovino en aproximadamente 40 millones de hectáreas. Se calcula que solamente el 50% del área destinada a ganadería se encuentra en zonas aptas para esta actividad. La ganadería extensiva ha ocupado las áreas de producción agrícola y de uso forestal (Fedegan 2006).

En respuesta a esta situación, la ganadería tradicional debe cambiar la tendencia de degradación mediante la implementación de sistemas silvopastoriles (Murgueitio *et al.* 2010). Reconociendo esta alternativa, en el Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019 (PEGA) se plantean como metas principales reducir en 10 millones de hectáreas el área dedicadas a pasturas, y duplicar el hato ganadero a 48 millones de cabezas, a través de la implementación de estrategias como los sistemas silvopastoriles (Fedegan 2006).

El Pago por Servicios Ambientales (PSA) como instrumento económico, permite generar opciones de mercado para los servicios eco sistémicos que proveen los paisajes productivos (Rapidel *et al.* 2011). Mediante el PSA también se pueden promover sistemas amigables para la generación de los servicios eco sistémicos, entre ellos, el establecimiento de los sistemas silvopastoriles. Un ejemplo es el caso de Costa Rica, donde recientemente se incorporó a los sistemas agroforestales en el programa de PSA nacional (Pagiola 2008).

En Colombia, Costa Rica y Nicaragua se desarrolló entre 2003 y 2007 el Proyecto GEF Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Con esta iniciativa se promovió a través del pago por servicios ambientales cambios en los usos de la tierra de fincas ganaderas, hacía el establecimiento de sistemas silvopastoriles y la protección de bosques. Con estas prácticas se logró mejorar los servicios ambientales de conservación de la

biodiversidad y almacenamiento de carbono, así como la productividad del sistema finca (Pagiola *et al.* 2004).

Una evaluación de impacto para el proyecto Enfoques silvopastoriles permitiría analizar si la adopción y permanencia de los sistemas silvopastoriles se debió al PSA y no a otros factores. El efecto del PSA ha sido estudiado en la conservación y deforestación de programas nacionales como el de Costa Rica. En los programas de PSA enfocados a agropaisajes no se cuenta con experiencias de evaluación de impacto.

En esta investigación se evaluó el impacto del pago por servicios ambientales y la Asistencia Técnica (AT) en esquemas de pago de 2 y 4 años, sobre la adopción y permanencia de sistemas silvo-pastoriles implementados durante el proyecto GEF Enfoques silvopastoriles. Entre las tecnologías silvopastoriles evaluadas se encuentran las pasturas con árboles, bancos forrajeros, silvopastoril intensivo, cercas vivas y usos de conservación como bosques ribereños y otras áreas de protección (bosque maduro, bosque secundario, sucesión vegetal y guaduales).

Se trabajó con un grupo de 104 fincas, 75 fincas con PSA y 29 fincas sin PSA. Las fincas se caracterizaron empleando variables seleccionadas de una encuesta socio-económica desarrollada en el año 2003. A las fincas se les realizó el monitoreo anual de cambios en los usos del suelo durante el período 2003 al 2007, y fue actualizado para el año el 2011. Los resultados de los cambios realizados en los usos del suelo se presentan mediante diferencias entre los años 2003 a 2007 y 2003 a 2011.

Para el desarrollo de la evaluación es necesario entender qué variables influyen para que los productores ganaderos participen en el programa de PSA silvopastoril. En el proceso de adopción fueron identificadas características que definen las preferencias de los productores para implementar las prácticas silvopastoriles. Posteriormente, en la evaluación de impacto se emplearon las variables identificadas en la participación y se definió el efecto del PSA en el desarrollo de las practicas silvopastoriles y el aporte al índice de servicios ambientales, durante el periodo de duración del proyecto y cuatro años después de terminado.

Para conocer los principales determinantes que influyen la participación de los productores en el programa de PSA se realizaron regresiones probit. Para conocer las variables que influyen en la adopción de pasturas con árboles, bancos de forraje, silvopastoriles intensivos y cercas vivas se realizaron regresiones lineales múltiples. Para la evaluación de impacto del PSA y la asistencia técnica en la adopción y permanencia de las

prácticas silvopastoriles y la contribución en el Índice de Servicios Ambientales se aplicaron técnicas de emparejamiento (matching).

En los resultados se encontró que la participación en el programa de PSA estuvo influenciada por variables socioeconómicas de la edad del propietario, biofísicas de área de la finca y la topografía del terreno. Los usos del suelo predominantes en la finca en el año 2003, presentaron tendencia a influir negativamente en la probabilidad de participación de los productores en el PSA. En el PSA de 2 años fueron significativos estadísticamente los usos de pastura degradada, pastura sin árboles, cercas vivas y bosque ribereño. En el PSA de 4 años se encontró que influyeron negativamente los cultivos agrícolas y el bosque ribereño.

En la adopción de prácticas silvopastoriles, se encontró que las variables analizadas explican la adopción de los sistemas de pasturas con árboles y cercas vivas, mientras que para las prácticas de bancos de forraje y silvopastoril intensivo es más reducido el número de variables significativas. No vivir en la finca influye en que se adopten más cercas vivas. La topografía ondulada influye en que se adopten cercas vivas y pastura con árboles. La carga animal influye en el en que se adopten pasturas con árboles, cercas vivas y silvopastoril intensivo. El área de bosque ribereño influye en que se reduzca la pastura con árboles y se incremente el banco forrajero.

Se encontró que el PSA y la asistencia técnica presentaron efecto en la influencia en la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles. El esquema de PSA de 4 años con AT, presentó efecto positivo durante el período de pago en todas las prácticas silvopastoriles analizadas. En la permanencia se presentó efecto positivo en la pastura con árboles, las cercas vivas y el bosque ribereño. En el esquema de 2 años con AT se encontró que durante el período de pago hubo efecto en la reducción de la pastura sin árboles, se incrementaron las pasturas con árboles y las cercas vivas. Después de finalizado el pago no hubo evidencia de impacto.

Para el Índice de Servicios Ambientales se encontró que esta metodología tiene relación directa con el uso del suelo y que mantiene el mismo comportamiento que el encontrado en la evaluación de impacto, es decir, que el PSA contribuye a incrementar el índice de carbono y biodiversidad en los sistemas silvopastoriles cuando se realiza el pago durante 4 años y que estos niveles, aunque se reducen en su efecto, son significativos en la permanencia de la pastura con árboles, la cercas vivas y el bosque ribereño.

En forma general se encontró que el Proyecto GEF Enfoques silvopastoriles fue exitoso en promover la adopción de las prácticas silvopastoriles analizadas. Durante el periodo de 2 y 4 años en que se mantuvo activo el incentivo del PSA con asistencia técnica, se generó impacto en el incremento de las practicas silvopastoriles analizadas y reducción de los usos poco deseados como la pastura degrada y pastura sin árboles.

Se recomienda que futuros proyectos o programas en la región mantengan el incentivo del PSA con AT durante mínimo cuatro años, para que las prácticas de pastura con árboles, cercas vivas y bosque ribereño permanezcan después de terminado el incentivo. Para las prácticas de banco forrajero y silvopastoril intensivo y bosque se debe mantener el incentivo durante un tiempo mayor a cuatro años. Para estas prácticas es necesario estudiar si el incentivo debe ser permanente.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### ***1.1.1 Objetivo general***

Determinar el impacto del Pago por Servicios Ambientales combinado con asistencia técnica en la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- Identificar los determinantes que influyen en la decisión de los productores ganaderos para participar en el programa de PSA.
- Identificar los determinantes que influyen en la adopción de sistemas silvopastoriles.
- Estimar el impacto del programa de PSA en la adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles.
- Estimar cómo el PSA afecta el Índice de Servicios Ambientales de biodiversidad y carbono a través de la adopción de sistemas silvopastoriles.

## **1.2 Hipótesis del estudio**

- La participación en el programa de PSA silvopastoril está determinado por variables de tipo socioeconómico, productivas y ambientales.
- La adopción de prácticas silvopastoriles está influenciada por variables productivas tales como capacidad de carga animal (UGG/ha), el sistema productivo y usos del suelo predominantes al inicio del programa.
- El PSA con AT causa efecto sobre el aumento de los sistemas silvopastoriles.
- PSA con AT de mayor duración, tienen más efecto en la permanencia de los sistemas silvopastoriles.
- Los índices de biodiversidad y carbono son significativamente mayores en las fincas que reciben PSA que en las fincas sin PSA.

## **2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1 Ganadería en Colombia**

La zona cafetera de Colombia, especialmente el eje cafetero, es un ejemplo de la transformación del paisaje debido a la caída de los precios del café (Bueno y Camargo 2012). En el proceso de cambio y diversificación hacia otros cultivos, fue a partir de final de los años noventa que la ganadería se convirtió en una opción.

La ganadería en Colombia posee un inventario de 23 millones de cabezas, en aproximadamente 40 millones de hectáreas. La ganadería participa con el 3,6% del PIB Nacional y aporta alrededor de 950.000 empleos. Además la actividad ganadera está presente en aproximadamente el 34% del territorio nacional y existe una asignación adecuada para la ganadería en solo el 50% del área (19 millones de hectáreas) y el 50% restante debería encontrarse en bosques y destinado a la producción agrícola (Fedegan 2006).

Los cambios hacia una ganadería convencional han generado importantes impactos negativos sobre los ecosistemas y por lo tanto los sistemas silvopastoriles se convierten en parte integral de un proceso de reconversión ambiental (Murgueitio *et al.* 2003). Teniendo en cuenta la importancia de la ganadería en la economía rural del país y la recuperación de las condiciones ambientales de la ganadería, Fedegan y el Ministerio de Ambiente formularon el Plan Estratégico de la Ganadería 2019. En el plan se ha propuesto la meta de devolver a la naturaleza 10 millones de hectáreas, a través de los sistemas silvopastoriles y otras opciones (Fedegan 2006).

### **2.2 Sistemas silvopastoriles**

Los sistemas silvopastoriles son un tipo de sistema agroforestal simultaneo en el cual interactúan una leñosa perenne con una herbácea (en este caso el pasto) y con la presencia del ganado (Nair 1993). Se combina en el mismo espacio plantas forrajeras como gramíneas y leguminosas rastreras con arbustos y árboles destinados a la alimentación animal y usos complementarios (Murgueitio y Ibrahim 2008), todos ellos bajo un sistema de manejo integral (Pezo y Ibrahim 1999).

Entre las opciones de sistemas silvopastoriles que se pueden encontrar en fincas ganaderas se pueden citar: Sistemas silvopastoriles con manejo de la sucesión vegetal, pasturas en callejones de árboles o arbustos, silvopastoriles de alta densidad arbórea, sistemas de corte y acarreo (bancos de proteína o energéticos) puros o en policultivos de varios estratos, árboles y arbustos dispersos en potreros, pastoreo en plantaciones de árboles maderables o frutales, leñosas perennes sembradas como cercas vivas y cortinas rompe vientos (Murgueitio y Ibrahim 2001). Otra alternativa que recientemente ha empezado a implementarse en Colombia y otras regiones de Latinoamérica es el Sistema Silvopastoril Intensivo (SSPi), el cual combina arbustos forrajeros plantados a densidades altas (más de 10.000 plantas ha<sup>-1</sup>), árboles y palmeras con pastos mejorados (Murgueitio *et al.* 2010).

## **2.3 Servicios ecosistémicos en sistemas silvopastoriles**

El término servicios ecosistémicos fue definido como los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas (MEA 2005). Los beneficios incluyen alimentos, agua, madera y beneficios espirituales, los cuales pueden ser obtenidos de elementos naturales o culturales de los ecosistemas o una combinación de ambos (Wallace 2007). En este concepto se incluyen los procesos ecológicos y la producción de productos y servicios. De esta forma, se define que el servicio eco sistémico es una propiedad del ecosistema, relevante para un beneficio y un beneficiario determinados (Quétier *et al.* 2007).

Los paisajes agrícolas pueden proveer una gran variedad de servicios ambientales, entre los que se destacan: *Secuestro y almacenamiento de carbono, protección de la biodiversidad, protección de cuencas hidrográficas y belleza escénica* (Wunder 2005). La mayoría de los programas han priorizado los bosques para el desarrollo de esquemas de PSA. Se han desarrollado proyectos piloto que amplían a los sistemas agrícolas el PSA, Costa Rica es un ejemplo, al incluir en el año 2004 un contrato por agroforestería en el programa de PSA nacional (Pagiola 2008).

### **2.3.1 Servicios hidrológicos**

Los árboles en los sistemas agroforestales (SAF) influyen en el ciclo del agua al incrementar la intercepción de la lluvia y de nubes (goteo debido a la condensación al chocar

las nubes con la vegetación) y al modificar la transpiración y la retención del agua en el suelo, reduciendo así la escorrentía e incrementando la infiltración (Beer *et al.* 2003).

En sistemas ganaderos de Costa Rica y Nicaragua se encontró que en pasturas mejoradas con árboles la infiltración es mayor ( $0.23 \text{ cm h}^{-1}$  Costa Rica y  $0.81 \text{ cm h}^{-1}$  en Nicaragua) frente a pasturas naturales sobre-pastoreadas ( $0.07 \text{ cm h}^{-1}$  Costa Rica y  $0.03 \text{ cm h}^{-1}$  en Nicaragua) (Ríos *et al.* 2007).

### **2.3.2 Fijación y almacenamiento de carbono**

El contenido de carbono por encima del suelo en sistemas silvopastoriles varía entre 10 y  $70 \text{ t C ha}^{-1}$ , y el flujo anual de carbono para el sistema se encuentra entre  $110 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . El promedio de flujo de carbono anual, por encima del suelo, para el sistema (durante un período de 50 años), se encuentra entre 1 y  $3 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Los valores para el promedio anual del flujo de carbono para el suelo (durante un período de 50 años) es aún más alto, variando entre 1 y  $4 \text{ t C ha año}$  (Kanninen 2003).

En la adaptación al cambio climático los sistemas silvopastoriles cumplen varias funciones. Reducen las emisiones de metano en 20%, debido a que la calidad de los forrajes mejoran la digestibilidad en los animales (Murgueitio *et al.* 2010).

### **2.3.3 Conservación de la biodiversidad**

La conservación de la biodiversidad se refiere a la conservación del hábitat que albergan especies en peligro (Ferraro y Simpson 2003). Esta afirmación incluye el significado de la biodiversidad, el cual comúnmente está relacionado con el número de especies que se encuentran en una unidad de área específica, sin embargo, este concepto desconoce dimensiones como la diversidad genética, funcional y temporal que pueden ayudar a entender la contribución de los agro ecosistemas a la conservación de la biodiversidad (Declerck y Salinas 2011). En este contexto, la asociación de árboles en paisajes agrícolas y ganaderos, así como los relictos de bosque y la relación que se genera entre ambos, facilita los propósitos de conservación.

El grado en que los sistemas agroforestales pueden servir a los esfuerzos de conservación depende de su diversidad florística y estructural, su origen y permanencia en el

paisaje, su localización con respecto al hábitat natural remanente, del grado de conectividad, su manejo y uso, la incorporación de ganado doméstico. Entre más diverso sea un sistema agroforestal y menor su intensidad de manejo tiene más similitud con un hábitat natural y por lo tanto mayor es su capacidad para conservar especies nativas de plantas y animales (Beer *et al.* 2003).

## **2.4 Pago por servicios ambientales**

El Pago por Servicios Ambientales – PSA es un instrumento económico que permite valorar los servicios ambientales mediante un pago directo a los proveedores de dichos servicios (Wunder *et al.* 2007). Un programa de PSA genuino debe cumplir con cinco condiciones. Debe ser una transacción *voluntaria*, donde un servicio ambiental SA *bien definido* (o un uso de la tierra que aseguraría ese servicio), es “comprado” por al menos un *comprador* de SA a por lo menos un *proveedor* de SA, sólo si el proveedor asegura la provisión del SA transado (*condicionamiento*) (Wunder 2005).

Se distinguen programas de PSA que cumplen con las cinco condiciones anteriores, pero las iniciativas de PSA “PES-like” que cumplen con algunas pero no todas las condiciones son más frecuentes. Ambos tipos se han desarrollado o están en proceso de desarrollo en diferentes escalas espaciales, desde pequeñas microcuencas hasta una cobertura nacional y tanto en países desarrollados como en proceso de desarrollo (Wunder *et al.* 2008).

Los plazos y la duración de los pagos son cuestiones esenciales tanto desde el punto de vista del comprador como del vendedor. En muchos casos, los servicios ambientales se generan únicamente varios años después de que el proveedor adopta de forma efectiva los cambios requeridos en el uso de la tierra (y asume los costos). La decisión acerca de si los pagos deben efectuarse en un único plazo o ser periódicos es otro aspecto a tener en consideración (FAO 2007).

En principio, el pago no debería ser menor que el costo de oportunidad del usuario de la tierra (o ellos no participarían), y no mayor que el valor de los beneficios provistos (o no merecería la pena proveer el servicio) (Pagiola *et al.* 2004). Un sistema de PSA será más efectivo, en términos de costos, en el rango medio de actividades marginalmente más rentables que el uso de la tierra deseado. Para actividades menos rentables, el PSA probablemente sea

irrelevante, y para actividades mucho más rentables, lo limitado de los recursos impide que se les otorgue la compensación necesaria (Wunder 2005).

#### **2.4.1 *PSA en Colombia***

La experiencia en esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) en Colombia, se remonta a la última década. Una revisión de algunos de los casos que se adelantaban en el 2008 en Colombia, identificó que no todos cumplen con los criterios de esquemas de PSA, el criterio que más se cumple es el de tener un acuerdo voluntario entre el vendedor y el comprador del servicio, y los criterios que más difícilmente se cumplen son el tener claramente identificado un servicio ambiental y la condicionalidad del pago por la provisión del servicio (Blanco 2009).

Aunque se identifica que existe experiencia en el uso de instrumentos económicos para la protección ambiental como el cobro de tasas por contaminación y uso del agua, impuestos y contribuciones ambientales y recientemente cuotas negociables por contaminación del aire, el PSA como instrumento no se ha utilizado ampliamente, en parte debido a la falta de comprensión con respecto a la compatibilidad del actual marco jurídico e institucional (Greiber 2010).

#### **2.4.2 *PSA en silvopastoriles***

El PSA enfocado a silvopastoriles es un reconocimiento económico que se les entrega a los propietarios de usos de la tierra ganaderos, los cuales han decidido participar voluntariamente en la provisión de servicios ambientales a través de la implementación de sistemas silvopastoriles y la conservación de otros usos de la tierra en sus predios. El desarrollo de tecnologías silvopastoriles cuenta con importantes limitantes para su adopción, entre los principales se encuentran los altos costos de inversión inicial, necesarios para el establecimiento (Gobbi y Casasola 2003; Pagiola *et al.* 2004; Calle 2008). Por el contrario, este requerimiento no se presenta en los esquemas de PSA enfocados en conservación, debido a que las áreas con bosque y que proveen los servicios ambientales no requieren actividades estructurales para su generación.

Esto lleva a la hipótesis que un pago relativamente pequeño otorgado en un periodo temprano de la adopción sería suficiente para cambiar el balance entre los sistemas actuales y los sistemas silvopastoriles. Este efecto funciona por medio del incremento del valor presente

neto de las inversiones en las prácticas silvopastoriles, pero también mediante la reducción del periodo inicial en el cual la adopción de estos sistemas impone costos netos en los usuarios de la tierra. El pago también alivia los problemas de liquidez encontrados por muchos usuarios de la tierra y les ayuda a financiar las inversiones requeridas (Pagiola *et al.* 2004).

Un ejemplo piloto del PSA en sistemas silvopastoriles fue el Proyecto GEF Enfoques Silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. Se emplea el programa de PSA en Costa Rica como referente para establecer comparación con el caso piloto de PSA desarrollado en Colombia, esta comparación se realiza debido a las diferencias que caracterizan cada programa y la información que aporta un programa tan consolidado como el de Costa Rica.

A continuación se presentan los principales componentes de operación y promoción del caso de PSA en Colombia y el del programa de PSA en Costa Rica (Cuadro 1).

*Cuadro 1. Características del PSA de Costa Rica y el caso piloto en Colombia*

<b>Variable</b>	<b>Caso PSA Colombia</b>	<b>PSA Costa Rica</b>
<b>Ubicación y extensión espacial</b>	Departamentos del valle y Quindío, focalizado en la cuenca hidrográfica del río La Vieja. Esquema multisitio (Wunder <i>et al.</i> 2008). Benefició a 3.500 ha entre Nicaragua, Costa Rica y Colombia.	Se distribuye en todo el país. Cubre 270.000 ha en áreas focalizadas (Pagiola 2008).
<b>Sustento jurídico</b>	Ninguno	Ley Forestal No.7575/1996
<b>Operador</b>	Fundación CIPAV	Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO) (Wunder <i>et al.</i> 2008).
<b>Duración</b>	Durante 2002-2006, sin renovación del contrato.	Desde 1997, contratos por 5 años renovables indefinidamente para sistemas conservación (Pagiola 2008).
<b>Objetivo</b>	Generar beneficios ambientales globales a través de sistemas silvopastoriles en tierras de pastoreo degradadas	Conservación de bosques existentes y facilitar la restauración de cuencas hidrográficas (Pagiola <i>et al.</i> 2002).
<b>Usos del suelo por los que se paga</b>	16 usos. Sistemas silvopastoriles, protección y restauración de bosques.	Nuevas plantaciones forestales, manejo sostenible del bosque, conservación del bosque y sistemas agroforestales (Pagiola 2008).
<b>Servicios ambientales por los que se paga</b>	Globales: Almacenamiento de carbono y conservación de biodiversidad a través del Índice de Servicio Ambiental para los usos del suelo.	Almacenamiento de carbono, conservación de biodiversidad, servicios hidrológicos y belleza escénica
<b>Vendedores</b>	Propietarios individuales	Propietarios privados, comunidades indígenas
<b>Compradores</b>	Fondo Global Ambiental (GEF)	El Ministerio de Medio Ambiente (MINAE), a través de FONAFIFO (Miranda <i>et al.</i> 2003). Locales: Empresas de energía hidroeléctrica (ICE)
<b>Fuente de financiamiento</b>	Donantes: Fondo Global Ambiental (GEF) y el Banco Mundial.	Mixto: Fondos del gobierno y usuarios del servicio, organismos internacionales y ONG (Wunder <i>et al.</i> 2008).
<b>Sistemas de pago</b>	Pago único de línea base (US\$10/punto/ha) y un pago por 4 años de US\$75/punto/ha hasta un máximo de US\$6000/finca) (Pagiola <i>et al.</i> 2004).	Protección de bosque: \$64/ha/año por 5 años, renovable. Reforestación: \$816/ha distribuidos durante un periodo de 10 años. Regeneración de bosque natural: \$41/ha por un periodo de 5 años, renovables. Sistema agroforestal: \$1.30/árbol distribuidos durante 3 años. Manejo forestal: \$343/ha distribuidos durante un periodo de 5 años (Daniels <i>et al.</i> 2010).
<b>Requisitos</b>	Participación voluntaria, tenencia de la tierra clara, producción ganadera.	11 requisitos, entre impuestos locales y sistema de salud (Miranda <i>et al.</i> 2003).

### **2.4.3 Participación en programas de PSA**

Los programas de PSA pueden estar basados en esquemas de conservación o en esquemas de provisión de servicios ambientales en agropaisajes, se diferencian en que el segundo conlleva el desarrollo de diferentes prácticas para garantizar la provisión del servicio ambiental. Para contribuir en el entendimiento de los factores que inciden en la participación de los programas de PSA, enfocados al desarrollo agrosilvopastoril, se identificaron tres condiciones relacionadas con el grado de elegibilidad, la capacidad y la habilidad para participar en el PSA. Estos factores se deben cumplir consecutivamente, es decir, se debe cumplir con el primero para poder llegar al segundo (Pagiola *et al.* 2005). También se han identificado, en forma general, cinco condiciones necesarias para participar en los esquemas de PSA, relacionadas con las condiciones económicas, de información, competitivas o de mercado, culturales y las institucionales (Wunder 2008).

Durante un estudio de percepción realizado con los participantes del proyecto Enfoques Silvopastoriles en el departamento del Quindío, Colombia, encontraron que los agricultores tenían razones diferentes y diversas para participar en el programa de PSA silvopastoril. A partir de entrevistas semi-estructuradas fueron identificadas razones relacionadas con las motivaciones económicas, incremento de la productividad, la degradación ambiental y motivaciones sociales y personales (Calle 2008; Calle *et al.* 2009).

### **2.4.4 Adopción de sistemas agroforestales**

Cuando el servicio ambiental no se puede medir directamente, se recurre a identificar usos del suelo o ciertas prácticas de manejo que se cree contribuyen potencialmente a la generación del servicio ambiental (Wunder 2007). Debido a la relación de estas prácticas con los servicios ambientales, es importante analizar el proceso de adopción que tienen los sistemas agroforestales como usos promovidos en los esquemas de PSA. Respecto a la adopción de técnicas agroforestales, en un estudio de revisión de la literatura que incluyó 32 casos, se encontraron cinco categorías de factores determinantes, relacionadas con las preferencias de los agricultores, la dotación de recursos, los incentivos del mercado, los factores biofísicos y el riesgo e incertidumbre (Pattanayak *et al.* 2003).

En la adopción de varios usos de la tierra y especialmente en sistemas agroforestales, el componente económico y financiero desempeñan una fuerte influencia sobre las decisiones de adopción. Debe existir claridad hacia el productor sobre la rentabilidad que ofrecen las nuevas propuestas o tecnologías (Pattanayak *et al.* 2003). La baja rentabilidad de las prácticas silvopastoriles, desde la perspectiva de los agricultores, es una limitación importante para su adopción. También hay costos de oportunidad derivados de las demoras antes de que en los sistemas empiece a representar beneficios el componente arbóreo. Incluso, si las prácticas silvopastoriles son financieramente viables, los altos costos de inversión inicial pueden plantear problemas a los agricultores de crédito limitado (Pagiola *et al.* 2007).

La asistencia técnica es una herramienta que facilita la adopción de sistemas silvopastoriles. El establecimiento de alternativas agroforestales, entre ellas los sistemas silvopastoriles, requieren apoyo técnico especializado que oriente sobre los procedimientos para su desarrollo y manejo (Pattanayak *et al.* 2003). La asistencia técnica puede reforzar la decisión de adoptar en la medida que ayuda a que los agricultores sean conscientes de la amplia gama de beneficios adicionales proporcionados por los SAF (Calle *et al.* 2009).

## **2.5 Evaluación de programas de PSA**

Los procesos de evaluación consisten en analizar los resultados del desarrollo de una intervención que puede consistir en la aplicación de un programa, una política o un proyecto. La finalidad es generar aprendizajes que permitan hacer recomendaciones para realizar inversiones adecuadas de los recursos existentes y para motivar a los donantes para proporcionar o invertir más recursos (Chambers *et al.* 2009).

En los PSA, tradicionalmente la evaluación de los programas ha estado enfocada en la generación de los servicios ambientales, en que los proveedores potenciales del servicio ambiental se mantengan en el programa, que cumplan con los términos de su contrato o se sometan a las sanciones por incumplimiento. Además las evaluaciones deben incluir el efecto de fuga (si los daños ambientales que el programa de PSA está reemplazando son desplazados a otra zona geográfica). Cuando el programa de PSA no es permanente, la evaluación que genera la intervención puede estar orientada a evaluar si los beneficios del PSA continúan una vez que los pagos finalizan (Wunder *et al.* 2008). En el caso de sistemas silvopastoriles, la

evaluación se concentra en analizar si los usos del suelo establecidos durante el proyecto se han reducido, mantenido o incrementado luego que los pagos han terminado.

### **2.5.1 Evaluación de impacto rigurosa**

En la última década, la evaluación de impacto de una intervención (proyecto, programa o política) ha dejado de ser un proceso de seguimiento y monitoreo de indicadores y se ha consolidado como un análisis hipotético o contrafactual. Mediante este análisis se evalúa el grado en que los cambios en los resultados pueden atribuirse a una intervención y no a otros factores (Ferraro 2009). Este modelo de evaluación se está convirtiendo en un imperativo para las agencias de cooperación internacional y organismos de financiamiento, los cuales están enfatizando en la necesidad de evaluar los proyectos de desarrollo utilizando métodos cuantitativos (Bernal y Peña 2011).

En la estimación de los impactos, el contrafactual es una comparación entre lo que actualmente ocurrió y lo que podría haber ocurrido en la ausencia de la intervención (White 2006). Para el desarrollo del contrafactual se recomienda la existencia de un grupo de control (o comparación) para la comparación con el grupo tratamiento (Bamberger *et al.* 2006). La evaluación de impacto usando hipótesis está menos desarrollado en el campo de las ciencias ambientales comparado con las ciencias sociales, pero ello no significa que no posea un enorme campo de aplicación (Greenstone y Gayer 2007; Ferraro 2009).

En cuanto al efecto del PSA en deforestación, Costa Rica es el referente espacial más cercano, con un programa de PSA desarrollado desde el año 1997. Respecto a su evaluación, se menciona que los métodos de análisis, las escalas de evaluación (nacional y regional) y los periodos de tiempo son diferentes (Daniels *et al.* 2010). Durante el periodo de 1997 – 2000 el PSA generó bajo impacto, al reducir la deforestación en las tierras beneficiadas con el PSA en solamente el 0,21% en comparación con las tierras sin PSA (Pfaff *et al.* 2008). Los resultados del bajo impacto se deben a que se seleccionan áreas beneficiarias con el PSA en zonas que tienen costos de oportunidad de la tierra bajos y a que la actividad del ecoturismo genera ingresos que son muchas veces mayores que los rendimientos de la agricultura (Robalino *et al.* 2008).

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Descripción del área de estudio**

La cuenca hidrográfica del río La Vieja se encuentra ubicada en los departamentos de Quindío y Valle del Cauca, región centro-occidental de Colombia. En esta zona se desarrolló entre los años 2002 y 2007 el Proyecto Enfoques Silvopastoriles para el Manejo Integrado de Ecosistemas. Comprende a productores de los municipios de Armenia, Circasia, Montenegro, Quimbaya y La Tebaida, departamento del Quindío y los municipios de Alcalá, Ulloa y Cartago, en el departamento del Valle del Cauca.

El área de estudio cubre 584 km<sup>2</sup>, altura entre los 900 msnm y 1800 msnm. La zona presenta numerosas quebradas que le confieren una morfología fuertemente ondulada {Zapata, 2008 #827}. La zona posee un régimen de lluvias bimodal, con picos en marzo y octubre, con precipitación promedio anual de 1980 mm y la temperatura varía entre 18 y 27°C. La mayoría de suelos son andisoles derivados de cenizas volcánicas {Camargo, 2008 #829}, con alta fertilidad y condiciones físicas favorables. Existen dos zonas de vida según la clasificación de Holdridge; El bosque subandino o bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) en los municipios de Circasia y Armenia, y bosque húmedo Premontano (bh-PM) en La Tebaida, Montenegro, Alcalá, Quimbaya, Cartago y Ulloa (Crq *et al.* 2008).

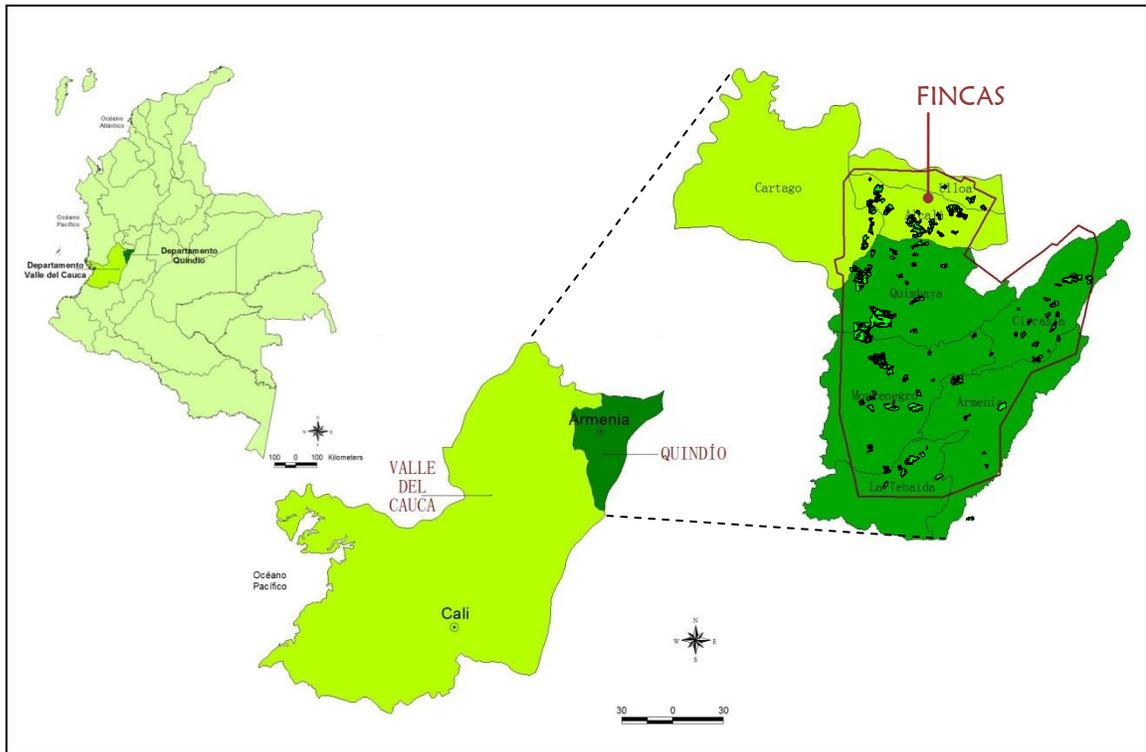


Figura 1. Localización del área de estudio, cuenca del río La Vieja, departamentos de Quindío y Valle del Cauca, Colombia. Fuente: Proyecto Enfoques silvopastoriles, Fundación CIPAV.

### 3.2 Diseño del proyecto Enfoques Silvopastoriles

En la formulación y desarrollo del Proyecto Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas, se seleccionaron fincas con PSA y fincas sin PSA. Las fincas seleccionadas inicialmente para participar en el proyecto fueron 110, 80 fincas como beneficiarias y 30 como grupo control (Ibrahim *et al.* 2003). Con este diseño se planteaba realizar una evaluación de impacto, sin embargo, hasta el momento no se ha desarrollado el correspondiente análisis.

*El Grupo tratamiento* consta de 75 fincas con PSA, las cuales estuvieron asignadas en una combinación de cuatro esquemas de PSA, duración de 2 y 4 años con la presencia o ausencia de Asistencia Técnica (AT) (Figura 2) (Zapata *et al.* 2008). Para la selección de los participantes, los administradores del Proyecto establecieron criterios que debían cumplir los aspirantes, caracterizados por: Interés genuino por participar en el proyecto, pequeños y medianos productores (10 - 80 has), propiedad debidamente legalizada, la actividad ganadera

es la principal forma de ingreso de la finca, actitud positiva para compartir experiencias y transferirlas, disponibilidad para cofinanciar cambios de usos de la tierra, firmar y cumplir el contrato, permitir acceso a la finca, entregar información a los técnicos, disponibilidad para recibir capacitación y asistencia técnica, seguir manejando los sistemas silvopastoriles cuando termina el proyecto, ausencia de cultivos ilícitos (Agostini *et al.* 2003; Ibrahim *et al.* 2003; Ibrahim *et al.* 2004). Los propietarios que manifestaron su interés y cumplieron con los requisitos establecidos se aceptaron por orden de llegada y debido a la disponibilidad presupuestaria se estableció un límite de fincas beneficiarias (Pagiola *et al.* 2010).

**El grupo control** consta de 29 fincas. El número de fincas se debió al costo que implica el monitoreo de los usos del suelo, los cuales se monitorearon anualmente durante la duración del proyecto. A cada finca se le entregó una bonificación económica por generar información a los técnicos del proyecto.

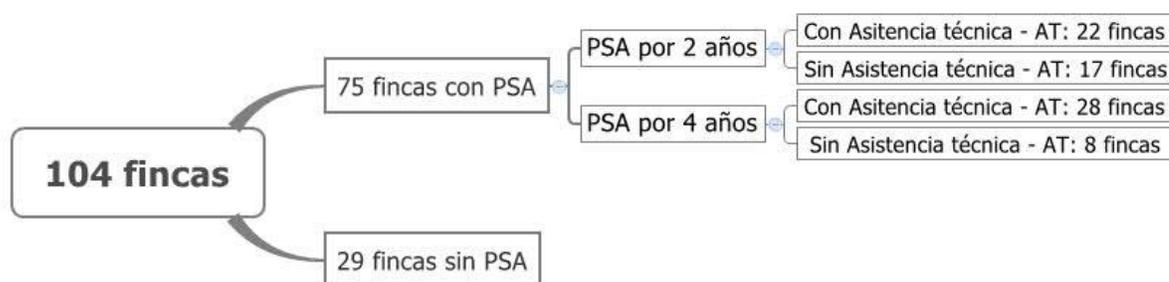


Figura 2. Diseño empleado para el desarrollo del Proyecto Enfoques silvopastoriles. PSA: Pago por Servicios Ambientales. AT: Asistencia Técnica.

**La encuesta socioeconómica** se realizó en el año 2003 a las fincas con PSA y las fincas sin PSA. Esta encuesta constituyó lo que se conoce como la línea base (Figura 3). La encuesta socioeconómica se realizó nuevamente para el año 2011, durante el periodo intermedio entre el 2003 y 2011 no se realizaron encuestas a los participantes y no participantes en el programa de PSA.

**El monitoreo de los usos del suelo** se realizó para las fincas con PSA y sin PSA, mediante el uso de imágenes Quickbird del año 2002 y 2003, imágenes de satélite Landsat y georeferenciación con GPS para las fincas con nubosidad. En la zona se identificaron 28 usos del suelo y en el año 2003, sobre las imágenes de cada finca se identificaron los polígonos de cada uso (Murgueitio *et al.* 2003). El monitoreo de los usos del suelo se realizó anualmente

desde el año 2003 hasta el año 2007 y durante el año 2011 se actualizaron los cambios de uso mediante visita a las fincas y recorridos de campo en las 104 fincas (Figura 3).

*El Índice de Servicio Ambiental* se implementó como herramienta para realizar los pagos del PSA. El Índice de Servicios Ambientales (ISA), consistía en establecer un valor numérico a cada uso del suelo de acuerdo con su contribución en servicios de conservación de la biodiversidad y almacenamiento de carbono. El índice realizó un ordenamiento desde los usos que menos contribuían como la pastura degradada y un puntaje de 0 puntos hasta el de mayor aporte como el bosque secundario y puntaje de 1. Para todos los índices se sumó el puntaje en conservación de la biodiversidad y almacenamiento de carbono llegando a un puntaje máximo de 2 (Pagiola *et al.* 2004).

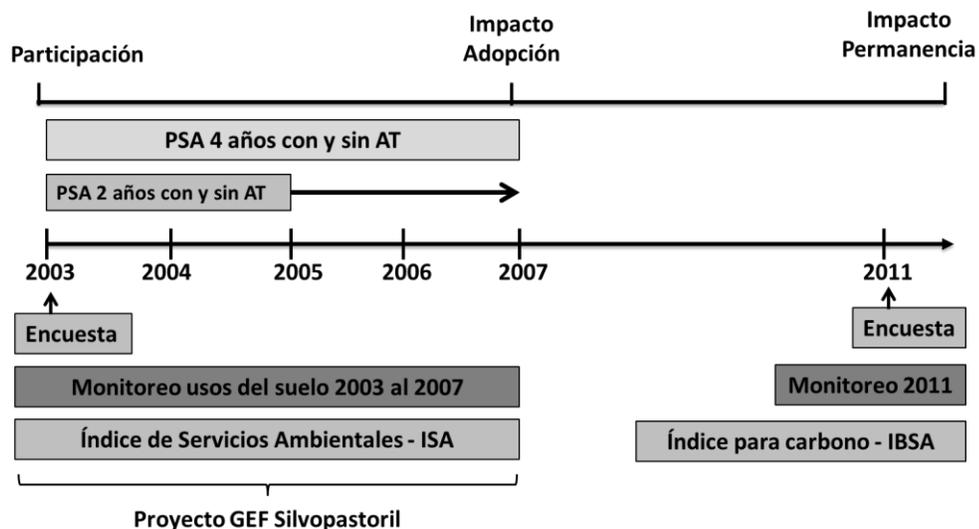


Figura 3. Diseño del proyecto Enfoques Silvopastoriles y la relación con esta investigación.

### 3.3 Variables

La selección de las variables obedece al requisito de que sean los principales factores que afecten al mismo tiempo la probabilidad de participación en el programa de PSA y la variable de resultado (Bernal y Peña 2011). La decisión respecto a qué variables incluir se tomó teniendo en cuenta que se probaron varios grupos de variables hasta encontrar los modelos con mejor ajuste estadístico. En la selección también se tuvo en cuenta la realidad económica, social y ambiental encontrada en la zona de trabajo, se realizó un análisis

multivariado de conglomerados empleando la distancia gower y revisiones a trabajos realizados sobre participación y evaluación de impacto.

### ***3.3.1 Variables dependientes***

Las variables dependientes corresponden a los cambios en los usos del suelo entre el año 2007 con respecto al año 2003 (2007 – 2003) y los cambios ocurridos en el año 2011 respecto al año 2003 (2011 – 2003). Los 28 usos del suelo identificados durante el desarrollo del proyecto Enfoques Silvopastoriles, se agruparon en nueve categorías (cuadro 2), seis incluyen varios usos y tres tienen un uso. Las categorías se definieron realizando la selección de usos de la tierra que tienen relación conceptual y dentro de los cuales existe uno o varios usos que aportan en mayor proporción al total de la categoría.

Las fincas con PSA y sin PSA cubren 3684 hectáreas (Cuadro 3), de las cuales en el año 2003 el 61% pertenecía a pasturas sin árboles. Las coberturas de bosque se encontraban presentes en el 21% del área. En cultivos perennes y semiperennes se encontró el 13% del área dedicada a estos usos.

Para el periodo 2003 a 2007, el uso que más se redujo fue las pasturas sin árboles, pasando de 61% a 21% (Cuadro 3). Esta reducción originó que se incrementaran notoriamente las pasturas con árboles y el silvopastoril intensivo. Los usos restantes se incrementaron en menor proporción. Para el periodo 2007 a 2011, las pasturas sin árboles continúan reduciéndose y el área liberada por este uso se convierte principalmente a cultivos agrícolas.

*Cuadro 2. Agrupamientos de usos de la tierra empleadas para el estudio.*

<b>Categoría de uso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Usos incluidos</b>
1 Cultivos agrícolas (cinco usos)	Fracción	Cultivos anuales, cultivos semiperennes (plátano o café sin sombra), cultivos en frutales monocultivo, frutales en policultivo, café con sombra.
2 Pastura degradada	Fracción	Pastura degradada con menos del 50% de cobertura de pasturas y forrajes deseables; mínima presencia de árboles y arbustos. Puede tener señales de erosión evidentes {Murgueitio, 2003 #374}.
3 Pastura sin árboles (dos usos)	Fracción	Pastura natural sin árboles, pastura mejorada sin árboles.
4 Pastura con árboles (seis usos)	Fracción	Pastura natural con baja densidad de árboles, Pastura natural enriquecida con baja densidad de árboles, Pastura mejorada enriquecida con baja densidad de árboles, pastura mejorada con baja densidad de árboles, pastura natural con alta densidad de árboles, pastura mejorada con alta densidad de árboles.
5 Banco de forraje (3 usos)	Fracción	Banco forrajero de gramíneas, banco forrajero con leñosas, banco forrajero diversificado.
6 Silvopastoril intensivo	Fracción	Pasturas mejoradas con alto vigor y productividad asociadas con arbustos forrajeros en alta densidad, mínimo 5000 árboles por Ha {Murgueitio, 2003 #374}.
7 Cercas vivas (2 usos)	Metros/Ha	Cercas vivas nuevas o con podas, cercas vivas multiestratos o cortinas rompevientos
8 Bosque ribereño	Fracción	Vegetación natural en distintos estratos a la orilla de ríos o cuerpos de agua como microcuencas de cualquier tamaño, con un ancho mínimo de 4 m {Murgueitio, 2003 #374}.
9 Áreas de conservación (7 usos)	Fracción	Plantación de maderables en monocultivo, Guadua, plantaciones maderables diversificadas, sucesión vegetal o rastrojo, bosque secundario intervenido, bosque secundario, bosque primario.

Cuadro 3. Área total en hectáreas de los usos del suelo en las fincas con PSA y sin PSA, en las nueve categorías de usos del suelo.

	Cultivos	Pastura degradada	Pastura sin árboles	Pastura con árboles	Banco forraje	Silvopastoril intensivo	Bosque ribereño	Bosque	Cercas vivas	Total
<b>Línea base año 2003</b>										
<b>Base</b>	493.51	97.659	2257.54	68.72	4.637	0	457.015	305.395	5.021	3684.476
<b>Años 2003 - 2007</b>										
<b>Gana</b>	5.76			643.28	27.43	151.81	23.623	9.53	365.48	861.433
<b>Pierde</b>		-81.309	-780.13							-861.435
<b>Años 2007 - 2011</b>										
<b>Gana</b>	132.94	14.66		57.47	2.74	11.13	11.62	24.67	33.09	255.23
<b>Pierde</b>			-245.19							-245.19

### 3.3.2 Variable independiente de interés

El proyecto enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas contempló esquemas de pago de 2 y 4 años, con o sin asistencia técnica. Los esquemas son los siguientes: PSA 2 años con asistencia técnica (AT), PSA 2 años sin AT, PSA 4 años con AT, PSA 4 años sin AT (Figura 2). Después de revisar el ajuste de los modelos probit y debido al número de observaciones disponibles se seleccionaron el PSA de 2 y 4 años con AT.

A los productores beneficiarios con el PSA y la asistencia técnica se les realizó un único pago correspondiente a la línea base del Índice ambiental, recibiendo un pago de US\$10 por punto del índice, hasta un máximo de US\$500 por finca en el año 2003 (Zapata *et al.* 2008). En el esquema de 4 años se pagó US\$75 anuales por punto, durante 4 años (2004, 2005, 2006 y 2007). En el esquema de 2 años se pagó US\$110 anuales por punto durante 2 años (2004 y 2005) hasta un máximo de US\$6600 en los dos esquemas. Los pagos compensaban parcialmente la inversión realizada, cubrían entre el 20% y 30% del costo total de establecimiento de los sistemas propuestos (Ruiz *et al.* 2011).

Los pagos a los participantes se realizaban basados en el incremento del índice de servicios ambientales que generaban en cada tipo de usos del suelo implementados, considerando únicamente los puntos nuevos ya que se descontaban los puntos de la línea base (Pagiola *et al.* 2004). Los pagos se entregaban al productor una vez que los cambios estuvieran realizados, si el productor realizaba los cambios el primer año podía recibir el

incentivo durante el tiempo del esquema, y podía aumentar el pago en la medida que realizara más prácticas silvopastoriles.

La asistencia técnica se desarrolló con el propósito de reducir la complejidad de las prácticas y ayudar a los productores a vencer limitantes en la adopción de las tecnologías. “La asistencia técnica se realizó mediante visitas de técnicos del proyecto; la capacitación fue por medio de charlas sobre sistemas silvopastoriles y temas relacionados con la producción animal sostenible, talleres participativos y días de campo en fincas con avances en el establecimiento y explotación de silvopastoriles” (Zapata *et al.* 2007).

### ***3.3.3 Variables independientes de control***

Las variables a seleccionar deben cumplir el requisito de que sean los principales factores que afecten al mismo tiempo la probabilidad de participación en el programa de PSA y la variable de resultado (Smith y Todd 2005; Bernal y Peña 2011). Seleccionar demasiadas variables se relaciona con la disminución de la región de soporte común y el incremento de la varianza en la estimación de los resultados, además las variables explicativas se eligen para maximizar con la muestra correcta las tasas de predicción utilizando el método de acertar o fallar (Heckman *et al.* 1998).

Se seleccionaron 16 variables de 25 variables disponibles para el año de base 2003 (cuadro 4), relacionadas con las características del propietario, de la finca y su tipo de manejo. Incluye variables como la edad del propietario, residencia del propietario en la finca, el área de la finca, sistema de producción, carga animal, topografía ondulada y quebrada de la finca, distancia al centro poblado más cercano, cultivos agrícolas, pastura degradada, pastura sin árboles, pastura con árboles, cercas vivas, bosque ribereño. Algunas de estas variables se han encontrado como factores relevantes en estudios desarrollados por (Cerrud 2005; Zbinden y Lee 2005; Arriagada *et al.* 2009).

Para modelar la decisión de participar en el programa de PSA se realizaron pruebas incluyendo diferentes grupos de variables. Se seleccionaron los modelos que mejor calidad del ajuste presentaran mediante los coeficientes de determinación (pseudo  $R^2$ ) y la prueba  $\chi^2$ , también se tuvo en cuenta la calidad de la predicción mediante la tabla de clasificación observados – predichos. En el cuadro 4 se describen las variables, sus unidades, el tipo de variable y el efecto esperado. En las variables de manejo y uso del suelo se evitó incluir usos como el banco forrajero y el silvopastoril intensivo, para impedir que presentaran datos faltantes (Missing data) caso en el cual las variables serían eliminadas, además se dejó por fuera el uso del bosque para evitar la colinealidad.

Cuadro 4. Variables incluidas en el modelo econométrico

Variables 2003	Descripción	Tipo de variables		Efecto esperado
		Cont	Bin	
<i>Variables socioeconómicas</i>				
<b>Edad de propietario</b>	Es el número de años que de acuerdo con la encuesta reportan los propietarios de la finca.	x		-
<b>Residencia del propietario en la finca</b>	=1, si el propietario habita en la finca =0, el propietario no tiene habitación permanente en la finca		x	+
<i>Variables biofísicas</i>				
<b>Área de la finca</b>	Es el área de la finca con los límites definidos por el productor, incluye áreas de producción, conservación, vías y construcciones. Se mide en hectáreas.	x		+
<b>Topografía ondulada</b>	Pendiente promedio presente en sectores de la finca, con un rango entre 30% y 60%. Se mide en proporción respecto al área total de la finca.	x		+
<b>Topografía quebrada</b>	Es la pendiente del terreno mayor a 60%, medida como la proporción del área de la finca en este tipo de pendiente.	x		+
<b>Distancia al centro poblado más cercano</b>	Es la longitud en kilómetros desde la finca hasta el sitio reportado por el propietario como el poblado urbano más cercano y de mayor relación comercial. Es reportado por el productor.	x		+
<i>Variables de uso del suelo</i>				
<b>Carga animal</b>	Unidades Gran Ganado por unidad de área dedicada dentro de la finca a pastoreo.	x		+
<b>Sistema lechero</b>	=1, la finca se especializa en la producción de leche =0, lo contrario		x	-
<b>Sistema doble propósito</b>	=1, la finca combina la producción de leche y el engorde de animales para carne. =0, lo contrario		x	+
<b>Mano de obra adicional</b>	Número de días al año que se emplea mano de obra no permanente en la finca para las actividades de ganadería	x		+
<b>Cultivos agrícolas</b>	Es la proporción de la finca destinada a producción agrícola en sistemas de cultivos perennes (Frutales, café) y semiperennes (plátano, yuca, granos). Se mide como la proporción de los cultivos respecto al área total de la finca.	x		-
<b>Pastura degradada</b>	Representa las pasturas con baja generación de servicios ambientales. Se mide como la proporción respecto al área total de la finca.	x		+
<b>Pastura sin árboles</b>	Son las pasturas mejoradas o naturales que no están asociadas con árboles. Se mide como la proporción respecto al área total de la finca.	x		+
<b>Pastura con árboles</b>	Pastura mejorada o natural asociada con árboles en diferentes densidades. Se mide como la proporción respecto al área total de la finca.	x		+ -
<b>Cercas vivas</b>	Árboles en líneas ubicados en diferentes lugares de la finca. Se mide como la proporción en metros de cerca viva respecto al área total de la finca.			+ -
<b>Bosque ribereño</b>	Es el uso del suelo de bosque ubicado en las riberas de fuentes de agua. Se mide como la proporción respecto al área total de la finca.	x		-

### **3.4 Análisis estadísticos**

Para los esquemas de PSA de 2 y 4 años se realizó una prueba T bilateral con el propósito de evaluar si las observaciones del grupo con PSA son similares a las observaciones del grupo sin PSA. Si los resultados muestran que existen algunas variables significativas, se demuestra que la asignación del tratamiento no fue aleatoria y que por lo tanto se puede proceder al desarrollo de los objetivos del estudio.

#### ***3.4.1 Objetivo 1: Participación en el programa de PSA***

Para el análisis sobre los determinantes de la participación se emplea un análisis econométrico con enfoque binario de participación /no participación en PSA, para lo cual se utiliza un modelo de regresión probit. La variable dependiente es una variable binaria de tratamiento, que toma el valor de 1 si la finca es beneficiaria del programa de PSA y asistencia técnica y 0 de lo contrario.

Los modelos logit – probit permiten predecir la probabilidad de participación en el programa con base en un grupo de variables observables o medibles (Rosenbaum y Rubin 1983). Estos modelos aseguran que las probabilidades predichas se encuentren entre 0 y 1, contrario a lo que ocurre en los modelos de probabilidad lineal. Los coeficientes no se pueden interpretar directamente pero el signo de la variable determina la dirección del efecto (Bernal y Peña 2011).

#### ***3.4.2 Objetivo 2: Adopción de silvopastoriles***

En esta sección, se analizó como variables dependientes las pasturas con árboles, bancos de forraje, silvopastoril intensivo y cercas vivas. Adicionalmente a las 16 variables independientes se adicionó la variable de PSA con asistencia técnica. Para el estudio de la adopción se emplearon regresiones lineales múltiples. El análisis de regresión estudia la relación funcional que existe entre dos o más variables e identifica el modelo o función que liga a las variables (Di Rienzo 2005).

### **3.4.3 Objetivo 3: Evaluación de impacto**

Después de encontrar que las fincas con PSA son diferentes a las fincas sin PSA, se procede a encontrar las observaciones del grupo sin PSA que son similares a las observaciones del grupo con PSA. Para lograr este propósito se realiza el emparejamiento (Matching) utilizando el estimador del vecino más cercano con reemplazo de 1 y 5 vecinos. La similitud se analiza con base en la probabilidad de las observaciones (Con PSA y sin PSA) de ser tratadas o no, escogiendo las observaciones que tienen la probabilidad de ser tratadas más parecidas. En la selección se trabaja con la región de soporte común o traslape y un caliper de 0.05 unidades de probabilidad.

Luego de realizar el emparejamiento se realizan pruebas T bilaterales para probar su calidad. Después de que se define la calidad del emparejamiento se define el impacto de los cambios en los sistemas silvopastoriles entre las fincas con PSA y sin PSA mediante una comparación de medias. Adicionalmente también se realizan regresiones lineales del PSA para las variables dependientes, con el objetivo de balancear o ajustar las observaciones emparejadas, conocida como corrección de sesgo. Los resultados finales de estas pruebas son la determinación del efecto del programa de PSA con asistencia técnica.

### **3.4.4 Objetivo 4: Índice de Servicios Ambientales**

En este objetivo se evalúa la contribución de los sistemas silvopastoriles y los otros usos de protección a la conservación de la biodiversidad y el almacenamiento de carbono. Para la determinación del Índice de Servicios Ambientales de almacenamiento de carbono en los usos de la tierra donde no se dispone de información sobre el carbono almacenado, se empleará la información de los inventarios de vegetación generada para la misma área del proyecto por (Calle *et al.* 2009). Posteriormente, mediante ecuaciones alométricas se calcula la biomasa total (Cuadro 5).

Para los usos de pastura degradada, pastura mejorada sin árboles y sistema silvopastoril intensivo se emplearán los resultados de carbono almacenado obtenidos por durante un estudio de almacenamiento de carbono en la misma área de estudio (Ibrahim *et al.* 2007b).

Cuadro 5. Ecuaciones alométricas empleadas para la estimación de biomasa en árboles y palmas.

Uso de la tierra	Ecuación	Fuente
Pastura mejorada con árboles (Árboles en potrero)	$\text{Log}_{10} B = -2,18062 + 0,08012(\text{dap}) - 0,0006244(\text{dap}^2)$	(Ruíz 2002)
Pastura natural con árboles	$\text{Log}_{10} B = -2,18062 + 0,08012(\text{dap}) - 0,0006244(\text{dap}^2)$	(Ruíz 2002)
Sombra café	$\text{Log}_{10} B = -0.834 + 2.223 * \text{Log}_{10} (\text{dap cm})$	(Segura <i>et al.</i> 2006)
Bosque secundario	$\ln B = -2.232 + 2.422 \ln (\text{dap}) + 0.083$	(Sierra <i>et al.</i> 2007)
Bosque ribereño	$\ln B = -2,13 + 2,42 \ln (\text{dap})$	(Zapata <i>et al.</i> 2003)
Bosque primario	$\ln B = -2.286 + 2.471 \ln (\text{dap}) + 0.091$	(Sierra <i>et al.</i> 2007)
Cercas vivas	$\text{Log}_{10} B = -2,18062 + 0,08012(\text{dap}) - 0,0006244(\text{dap}^2)$	(Ruíz 2002)
Sucesión, árboles mayores >10cm	$\ln B = -2.232 + 2.422 \ln (\text{dap}) + 0.083$	Sierra <i>et al.</i> 2007)
Sucesión, árboles menores <10cm	$B = 10^{(-1.5 + 1.06 * \ln(\text{dap}))}$	(Andrade <i>et al.</i> )
Palmas	$B = 4,5 + 7,7 * H$	(Frangi y Lugo 1985)

Notas: B= biomasa arriba del suelo (Kg individuo<sup>-1</sup>); dap=diaméto a la altura del pecho (cm); H= altura total (m)

Para la conservación de la biodiversidad se utilizará el Índice de servicio ambiental para biodiversidad (IBSA) desarrollado durante el proyecto (Ibrahim *et al.* 2011). El índice IBSA está compuesto por el grupo taxonómico de aves, utilizado como indicador, y las variables de vegetación registradas en cada uso del suelo, de las cuales para Colombia, las variables que resultaron más importantes fueron la cobertura del dosel y el número de árboles (Sáenz 2005).

El almacenamiento de carbono se reportará en los usos de la tierra como el carbono de la biomasa aérea de arbustos y árboles con Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) igual o mayor a 5 cm. El carbono estimado para cada uso del suelo será llevado a un índice entre 0 y 1, tomando como referencia para la estandarización el mayor valor obtenido en la estimación del carbono. Luego en las categorías de usos del suelo se sacará un valor promedio del índice de carbono y biodiversidad, el cual será multiplicado por los valores promedios obtenidos en la evaluación de impacto, obteniendo de esta forma un estimado del promedio de puntos ecológicos incrementales por hectárea entre las fincas que son similares.

Para las cercas vivas, debido a que el índice se maneja por kilómetros y en la evaluación de impacto fue trabajado en metros por hectárea, se optó por ingresar en los cálculos de la evaluación de impacto la variable resultado de kilómetros de cerca viva por finca multiplicada por el respectivo índice de carbono y biodiversidad.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Determinantes de la participación

En el proceso de determinación del impacto del Pago por servicios ambientales, es necesario conocer previamente cuales son los factores que motivan la participación en los diferentes esquemas de PSA. Los determinantes de la participación permiten entender cuáles son los limitantes o potencialidades que existen para el desarrollo del programa de PSA y su relación con los resultados del efecto del PSA.

Respecto a la calidad de los modelos, se encontró que el PSA de 2 años y el de 4 años poseen significancia estadística ( $p < 0.01$ ), según la prueba de significancia conjunta ( $\text{Prob} > \chi^2$ ). El modelo de PSA 2 años sin AT no se incluyó en el análisis debido a que se encontró deficiencia en la prueba de significancia conjunta ( $\text{Prob} > \chi^2 = 0.55$ ). Este resultado es ocasionado, posiblemente por el bajo número de observaciones en comparación con los otros tratamientos.

En el cuadro 6 se presentan los efectos marginales de cada variable con el signo que acompaña el coeficiente. El efecto marginal se refiere al cambio que existe en las unidades de cada variable respecto a la probabilidad. El signo de la variable es la dirección del efecto en la probabilidad (aumenta o reduce), ambos se presentan con su respectiva significancia estadística.

Se encontró en el PSA 2 años con AT ocho variables estadísticamente significativas ( $p < 0.1$ ) y en el PSA 4 años con AT se encontraron seis variables significativas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto marginal de la probabilidad de Participación

Variable	PSA 2 & AT	PSA 4 & AT
<b>Características socioeconómicas del propietario</b>		
Edad del propietario (años)	-0.026*	-0.018
Residencia en la finca	0.101	0.255
<b>Características biofísicas de la finca</b>		
Área de la finca (Has)	0.016*	0.015**
Topografía ondulada (%)	0.953**	0.741*
Topografía quebrada (%)	0.816*	0.429
Distancia al centro poblado (Km)	0.034	0.057*
<b>Características de manejo y uso del suelo en la finca</b>		
Mano de obra ocasional para trabajar en ganadería (Días/año)	0.000	-0.002
Carga animal (UGG)	0.058	0.085
Finca lechera	-0.196	0.552***
Finca doble propósito	-0.074	0.510
Cultivos agrícolas (%)	-2.774	-2.427*
Pastura degradada (%)	-4.444*	-1.527
Pastura sin árboles (%)	-3.127*	-1.194
Pastura con árboles (%)	-2.596	-1.341
Cercas vivas (%)	-0.085*	-0.002
Bosque ribereño (%)	-5.091*	-3.919*
Observaciones tratamiento	19	22
Observaciones control	29	29
Prob > chi2	0.00	0.01
Pseudo R2	0.58	0.44
Correctamente clasificados	0.79	0.82

P (Prueba T): \*90% (1,645), \*\*95%(1.960), \*\*\*99%(2,576). Variables sin asterisco no son significativas.

**Características socioeconómicas del propietario:** La edad del propietario se encontró que es una variable que influye negativamente en la decisión de participación en el programa de PSA, es decir, en la medida que se incremente la edad, la probabilidad de participación en el programa disminuye. Se encontró que presenta efecto significativo ( $p < 0,1$ ) para el tratamiento de PSA 2 años con AT. En el PSA de 4 años con AT no hay significancia estadística pero la dirección del efecto se mantiene (Cuadro 6).

Esquemas de PSA de corta duración, requieren preferiblemente productores jóvenes que acepten y adopten cambios rápidamente. En el PSA de 4 años parece existir más flexibilidad en facilitar el ingreso de productores más adultos. Estos resultados sugieren que

la edad del propietario es un determinante de la participación en el programa de PSA silvopastoril. El periodo de tiempo durante el cual se realizan los pagos puede influir, posiblemente propietarios de edades mayores pueden acceder a ingresar al programa de PSA cuando existe un pago sostenido durante cuatro años o más tiempo, debido a que sienten mayor seguridad y acompañamiento, así como menos riesgo para la inversión.

La residencia del propietario en la finca se encontró relacionada positivamente con la participación en ambos esquemas de PSA, aunque no se encontró significativo estadísticamente. La residencia permanente en la finca es un factor esencial en los proyectos de conservación y desarrollo, sin embargo, en estos esquemas de PSA la asistencia técnica puede ayudar a superar esta dificultad. Posiblemente el PSA con asistencia técnica debe orientarse primordialmente a zonas donde predomina la poca residencia permanente del propietario.

***Características biofísicas de la finca:*** El *área de la finca* se encontró asociada positivamente con la participación en los esquemas de PSA, PSA 2 años con AT ( $p < 0.1$ ) y PSA 4 años con AT ( $p < 0.05$ ). Este resultado es congruente con lo reportado por (Pagiola *et al.* 2005), donde manifiestan que las fincas de mayor extensión tienden a participar con más frecuencia en el PSA. Situación que se debe a que el tamaño de la finca está relacionado con los niveles de ingreso o el estatus económico del productor y el acceso a información o crédito que facilitan la adopción de una recomendación (Cimmyt 1993).

Se encontró que la topografía ondulada esta positivamente asociada con la participación en el programa de PSA. Tener una finca con más área en topografía ondulada que topografía plana, incrementa la participación en el PSA 2 años con AT ( $p < 0,05$ ) y en el PSA 4 años con AT ( $p < 0,1$ ). La probabilidad de participación de un propietario que en su finca tiene más área en topografía quebrada con respecto a la topografía plana, se incrementa en el PSA 2 años con AT ( $p < 0,1$ ). La topografía quebrada se encontró que tiene una relación positiva con la participación en el PSA, manteniendo el mismo efecto en todos los tratamientos.

La topografía ondulada es una característica fisiográfica del terreno y está directamente relacionada con la calidad de suelos y el costo de oportunidad de la tierra. Se plantea que a mayor pendiente del terreno, menores opciones productivas rentables y más sistemas ganaderos tradicionales se establecen. La relación positiva que existe con la participación es

consecuente con lo reportado por (Pagiola *et al.* 2005), donde afirman que las actividades que agregan rentabilidad como el PSA, pueden resultar más atractivas, sobre todo en áreas donde no hay un mejor uso alternativo. Los resultados obtenidos con la topografía ondulada y quebrada, indican que ambas características inciden para lograr altos niveles de participación en sistemas de PSA enfocado a silvopastoriles.

La distancia al centro poblado más cercano influye positivamente en las decisiones de participar en el programa de PSA. Presenta efecto significativo en el PSA 4 años con AT ( $p < 0,1$ ), entre más distante este la finca, existe más probabilidad de participar en el PSA. Este resultado puede estar asociado con que a mayor distancia, menor costo de oportunidad de la tierra, menos opciones económicas rentables existen y el sistema de ganadería puede ser la opción productiva más frecuente. De esta forma, se pueden generar opciones para establecer sistemas silvopastoriles sujetos a PSA, los cuales podrían lograr equilibrar los ingresos económicos del productor y volver así atractiva la participación en el PSA de mayor duración.

***Características de manejo y uso del suelo en la finca:*** En los sistemas de producción se encontró que el sistema de finca lechera y finca doble propósito disminuyen la probabilidad de participación para el PSA 2 años con AT y la incrementan en el PSA de 4 años con AT. El ***sistema de producción de leche*** en el PSA 4 años con AT se encontró estadísticamente significativo ( $p < 0,01$ ). Ser finca lechera incrementa más la probabilidad de participar en el PSA de 4 años que ser finca dedicada al sistema de carne.

El efecto contrario (negativo) que tiene la variable en el esquema de 2 años, podría estar relacionado con el tiempo empleado en el esquema. Posiblemente tiempos cortos no permiten que el productor implemente cambios en su sistema sin poner en riesgo la estabilidad de su producción, debido a que en los sistemas lecheros existe más sensibilidad a los cambios, además se caracterizan por tener mayor inversión de capital y mayor consumo de insumos. En otras palabras, lograr participación en esquemas de PSA de tiempo corto (menores a 4 años) para productores dedicados al sistema de leche y doble propósito presenta tendencia a ser más difícil que aquellos dedicados a la producción de carne.

Se encontró que los cultivos agrícolas de anuales y perennes están relacionados negativamente con la participación en el programa de PSA. La variable se encontró significativa en el PSA 4 años con AT ( $p < 0,1$ ). En la medida que se incrementa en la finca el área en cultivos agrícolas con respecto a las áreas en bosque se disminuye la probabilidad de

participación en el esquema de PSA. La influencia negativa de los cultivos agrícolas en la participación es un resultado lógico, debido a que se reconoce que el interés del productor se encuentra en sistemas diferentes a la actividad ganadera y además no se pretende que la ganadería reemplace el área destinada a la producción agrícola.

La pastura degradada influye negativamente en la probabilidad de participación en el programa PSA. Tener en la finca más área en pastura degradada comparado con el área de bosque, disminuye la probabilidad de participación en el PSA 2 años con AT ( $p < 0,1$ ). Esta situación evidencia que reconvertir un sistema con dichas características es mucho más complicado de realizar en periodos cortos de pago, aunque exista asistencia técnica.

Llama la atención encontrar que la pastura degradada presente efecto negativo en la participación, cuando se esperaba que entre mayor área degradada posea una finca más inclinación podría tener en desarrollar prácticas silvopastoriles. Este comportamiento puede deberse a que una de las barreras para la adopción de los silvopastoriles es el poco conocimiento que existe de los mismos (Dagang y Nair 2003). Esto origina que los productores al tomar la decisión de ingresar al PSA no conocen los beneficios a mediano y largo plazo de los sistemas silvopastoriles y pueden tener visiones equivocadas respecto a los costos elevados en los que pueden incurrir para reconvertir sus sistemas y el tiempo de retorno de la inversión.

Otro argumento relacionado, es que los productores con mayor proporción de la finca en pasturas degradadas padecen problemas económicos. La principal razón es que las pasturas degradadas presentan menos capacidad para soportar mayor número de animales. También, los productores que tienen fincas con estas características indican el bajo nivel de actitud que hace mantener el sistema degradado y continuarlo en iguales condiciones.

Las pasturas sin árboles y las cercas vivas son sistemas que presentan un comportamiento similar en la probabilidad de participación en el PSA. La pastura sin árboles se esperaba que influyera positivamente en la decisión de participar en el PSA, sin embargo, los resultados muestran que este uso mantiene una tendencia negativa con la probabilidad para todos los casos de PSA, siendo significativa estadísticamente en el PSA 2 años con AT ( $p < 0,1$ ). La variable de pastura sin árboles incluye usos relacionados con pasturas naturales y pasturas mejoradas, y en la composición de la variable, posiblemente las pasturas naturales tienen más influencia. De esta forma, muchas pasturas naturales tienen tendencia hacia la degradación y por lo tanto es difícil realizar cambios en el corto tiempo.

Las cercas vivas son un sistema lineal para el que se encontró que tener en la finca cercas vivas, influye negativamente en la probabilidad de participación, siendo significativa la influencia en el PSA 2 años con AT ( $p < 0,1$ ). Este resultado lleva a pensar que pese a que las cercas vivas son una opción eficiente de ganar puntos, fincas en las cuales exista en mayor proporción de esta práctica, posiblemente vean reducido sus posibilidades de contribución al índice de servicio ambiental y por lo tanto existe menos motivación para participar en el PSA.

El bosque ribereño se encontró significativo en el PSA 2 años con AT (0,1) y PSA 4 años con AT ( $p < 0,1$ ). Tener una finca con más proporción de bosque ribereño en comparación con el área total de la finca en bosque, presenta influencia negativa en la probabilidad de participación para todos los esquemas de PSA. Al analizar este resultado en el marco del índice empleado para el esquema de pagos, se presenta que el bosque ribereño es un uso que permite un pago de línea base y como sobre el mismo no se pueden realizar otras prácticas impide ganar puntos incrementales. Por otro lado, el área que ocupe este uso dentro de la finca disminuye posibilidades para implementar otras prácticas silvopastoriles.

En las variables que no resultaron significativas se encuentran la mano de obra temporal en ganadería, unidades gran ganado, finca doble propósito y pastura con árboles (cuadro 6). Las tres primeras presentan una tendencia a influir positivamente en la probabilidad de participación, situación que se encontró coherente con lo planteado inicialmente como efecto de las variables. En la pastura con árboles el efecto resultó negativo, situación que lleva a pensar que fincas con línea base adecuada ambientalmente reducen su probabilidad de participación, posiblemente debido al esquema de puntos incrementales. Esto es coherente con el mismo efecto que se presenta en las prácticas de cercas vivas y bosque ribereño.

## 4.2 Adopción y permanencia de sistemas silvopastoriles

La adopción es definida como el ejercicio mental que se realiza acerca de una innovación y el proceso desarrollado para aceptarla (Rogers 1995). La permanencia es el tiempo durante el cual la innovación tecnológica ha estado en constante uso por el adoptante. No se tiene conocimiento sobre el tiempo necesario que garantiza que la adopción tecnológica está realmente incorporada en el sistema de manejo y que por lo tanto puede garantizar su sostenibilidad.

Se analizó la influencia que tienen 17 variables, entre las que se encuentra el PSA combinado con asistencia técnica, en la adopción y permanencia de las prácticas de pastura con árboles, las cercas vivas, el banco forrajero, y el silvopastoril intensivo. El análisis se realizó para los productores que recibieron PSA y asistencia técnica, independiente de la duración del esquema. Los cambios en área de las prácticas silvopastoriles se presentan en valores durante el periodo de pago del incentivo (2003 - 2007) y cuatro años después de terminado.

***Influencia del PSA con asistencia técnica:*** El pago por servicios ambientales mostró influencia positiva en la adopción de todas las prácticas silvopastoriles, durante el periodo de pago (Cuadro 7). Durante el análisis de la permanencia, se observó que el PSA con AT no explica la adopción de los sistemas de bancos de forraje y silvopastoril intensivo. Este resultado puede explicar la dependencia de estos sistemas con los incentivos económicos que otorga el PSA. Este comportamiento permite evidenciar la influencia del PSA y la asistencia técnica durante el periodo en que se desarrolla el pago.

Estos resultados son similares a los encontrados en el estudio de adopción de usos del suelo amigables con el ambiente, realizado para el mismo proyecto en Costa Rica y Nicaragua (Cerrud 2005). Para la zona en Colombia, también se reporta efecto del PSA, aclarando que en ambos casos la variable de respuesta fueron los puntos incrementales del índice ecológico (Zapata *et al.* 2007; Pagiola *et al.* 2010).

Cuadro 7. Adopción de prácticas silvopastoriles con PSA y asistencia técnica.

Variables 2003	Pastura con árboles		Cercas vivas		Banco forraje		Silvopastoril intensivo	
	2007-2003	2011-2003	2007-2003	2011-2003	2007-2003	2011-2003	2007-2003	2011-2003
<b>Características socioeconómicas del propietario</b>								
PSA & AT	0.2705***	0.1591***	191.4***	154.5***	0.0335**	0.0080	0.0789***	0.0407
Edad propietario	-0.0040*	-0.0050*	-0.1362	1.0861	-0.0001	0.0000	0.0010	0.0011
Vive en finca	0.0322	0.0377	-104.6***	-102.9***	0.0149	0.0052	-0.0401	-0.0414
<b>Características biofísicas de la finca</b>								
Área finca	0.0003	0.0004	-0.1873	-0.2223	-0.0001	-0.0002*	0.0000	0.0002
Topografía ondulada	0.1071	0.1627*	85.4**	63.2*	0.0007	0.0006	-0.0365	-0.0899*
Topografía quebrada	0.1300	0.0827	10.81	35.08	0.0041	0.0176	-0.0573	-0.1019
Distancia centro pobla	-0.0033	-0.0010	-0.0461	3.0878	-0.0013	-0.0003	-0.0055**	-0.0046
<b>Características de manejo y uso del suelo en la finca</b>								
Carga animal	0.0446***	0.0498***	17.9**	21.9***	0.0008	-0.0012	-0.0023	0.0168*
Finca lechera	0.0152	0.0262	54.4420	-2.5646	0.0056	0.0089	-0.0101	-0.0432
Finca doble propósito	-0.0684	-0.0543	23.3684	-11.6213	0.0181	0.0143	-0.0056	-0.0303
Mano de obra ganad	0.0006	0.0008	-0.752***	-0.3618	-0.0001	-0.0001	-0.0002	-0.0001
C. agrícolas	-0.2532	-0.2460	305.3***	318.2***	0.0394	-0.0084	0.0639	-0.0645
P. degradada	-0.2288	0.0581	283.7681	236.5751	0.0109	-0.0636	0.1744	0.2163
P. sin árboles	-0.2700	-0.1931	327.3***	325.8***	0.0451	0.0160	0.1062	0.1163
P. con árboles	-1.571***	-1.2734**	280.9	358.8*	0.0713	0.0207	-0.1197	-0.3469
Cercas vivas	-0.0014	0.0000	-3.3372	-3.600*	0.0012	-0.0008	0.0013	0.0007
Banco forrajero	0.6788	0.8401	1306.8	1488.9*	-0.5848	-0.6552*	-0.3869	0.0876
Bosque ribereño	-0.968***	-0.8223**	-184.0	-201.0	0.1259	0.1611**	0.1569	0.2741
Constante	0.3377	0.3243	-317.1**	-355.9***	-0.0443	-0.0070	-0.0731	-0.0606
# de observaciones	76	76	76	76	76	76	76	76

P: \*90%, \*\*95%, \*\*\*99%. Variables sin asterisco no son significativas.

**Influencia de variables socioeconómicas:** La edad y la residencia del propietario se encontró que explican la adopción y permanencia de los sistemas de pasturas con árboles y cercas vivas, respectivamente (Cuadro 7). La edad del propietario en el año 2003 explica la tendencia a reducir la adopción y permanencia del sistema de pastura con árboles ( $p < 0,1$ ). Estos resultados muestran que propietarios con edades mayores adoptan menos los sistemas de pasturas con árboles, debido a que romper los esquemas de manejo tradicional es más difícil en este tipo personas.

La residencia del propietario explica que se adopten y permanezcan menos cercas vivas ( $p < 0,01$ ). Este comportamiento muestra que las cercas vivas son un sistema silvopastoril que permite la implementación en fincas donde el propietario no permanece y su manejo está en

manos de un administrador (mayordomo). Este efecto puede estar asociado con que las cercas vivas, con las características de las establecidas en la zona, son una buena opción para implementar debido a que no requieren mucha supervisión y posiblemente la asistencia técnica contribuye a compensar la asesoría que falta con la ausencia del propietario.

En el silvopastoril intensivo la variable de residencia del propietario no es significativa pero tiene la misma tendencia negativa presentada en las cercas vivas. Puede deberse a que esta tecnología exige mayor inversión y por lo tanto la desarrollan productores de mejor nivel social que frecuentemente no viven en la finca. Al respecto, Zapata *et al.* (2007) mencionan que los silvopastoriles intensivos fueron implementados por productores con mayor disponibilidad de capital, debido al alto costo de establecimiento. En la pastura con árboles y el banco forrajero la tendencia de la variable es a influir positivamente.

***Influencia de variables biofísicas:*** El área de la finca se encontró que explica la reducción de los sistemas de bancos de forraje durante el periodo de permanencia del sistema ( $p < 0,1$ ). Este comportamiento puede estar asociado con que fincas muy extensas no requieren intensificar la ganadería con bancos de forraje, debido a que disponen de suficiente área para el pastoreo de los animales. Otra razón puede ser que los productores implementan el sistema para recibir el pago del incentivo y posteriormente el manejo del sistema se reduce y tiende a no permanecer.

Encontrar que la variable del área de la finca no explique la adopción y permanencia de los otros sistemas silvopastoriles, puede estar relacionado con el hecho de que los sistemas silvopastoriles son una opción para cualquier tamaño de predio. Al respecto, y para demostrar que los sistemas silvopastoriles no se desarrollaron exclusivamente en fincas grandes, durante el proyecto se encontró que la participación de los productores pequeños fue muy importante en la generación de cambios en la finca. Este tipo de productores recibieron más dinero por hectárea, debido a que tendieron a realizar los mayores cambios por hectárea (Zapata *et al.* 2007; Zapata *et al.* 2008).

La topografía ondulada explica la adopción ( $p < 0,05$ ) y permanencia ( $p < 0,1$ ) de las cercas vivas. Entre más proporción de la finca se encuentre en topografía ondulada se encontró más adopción y permanencia de éste sistema. En la pastura con árboles, la topografía ondulada explica la permanencia del sistema ( $p < 0,1$ ). Este resultado muestra que la pastura con árboles y las cercas vivas son mayormente adoptados y que permanecen cuando se reconoce que

contribuyen a mitigar los impactos generados por el pastoreo en pendientes pronunciadas. Este resultado es congruente con el enunciado de que los sistemas silvopastoriles tienden a implementarse más en los terrenos de fuertes pendientes (Pagiola *et al.* 2010).

La variable de topografía ondulada también influye en que se reduzca la permanencia del silvopastoril intensivo ( $p < 0,1$ ). Este resultado muestra que el silvopastoril intensivo no es adecuado desarrollarlo en topografías onduladas. Los sistemas en estas características, pudieron agotarse, debido a que después de terminado el pago no se alcanzó a brindar el adecuado manejo y la asistencia técnica requerida durante más tiempo.

La distancia al centro poblado se encontró que influye en la reducción de la adopción del silvopastoril intensivo ( $p < 0,05$ ). Este comportamiento muestra que fincas más alejadas adoptan menos este sistema, asociado con los costos de transporte que incrementan los costos de establecimiento. Además, la distancia al centro poblado fue reportada para la misma zona de trabajo, como una variable de rentabilidad con efecto significativo en la reducción de cambios de uso en la finca (Pagiola *et al.* 2010).

***Influencia de variables productivas:*** De las cuatro variables, carga animal, finca lechera, finca doble propósito y trabajadores temporales en ganadería, la carga animal es la que presenta incidencia en la adopción. La carga animal explica la adopción durante el periodo de pago y la permanencia de las pasturas con árboles ( $p < 0,01$ ) y las cercas vivas ( $p < 0,05$ ). Además, explica la permanencia del silvopastoril intensivo después de que el pago ha terminado ( $p < 0,1$ ). Este resultado muestra la relación que existe entre estos tres sistemas silvopastoriles y la carga animal que soportan, permitiendo la intensificación de la ganadería. Posiblemente esa intensificación origina que los sistemas se mantengan, debido a que representan ingresos para el productor.

El mayor número de trabajadores temporales existentes en el año 2003, destinados exclusivamente a la actividad de ganadería en la finca, influye en que se reduzca la adopción de las cercas vivas. Las cercas vivas simples, como las implementadas en la región, son una alternativa en fincas con baja disponibilidad de mano de obra. Este resultado confirma que para el establecimiento de sistemas silvopastoriles la mano de obra es una limitante.

***Influencia de variables de uso del suelo:*** La existencia en la finca de cultivos agrícolas para el año 2003, explica la adopción y permanencia de los sistemas de cercas vivas ( $p < 0,01$ ). Este resultado muestra las bondades de las cercas vivas, al ser empleadas como divisiones entre usos del suelo. También hace referencia a que no existe exclusividad para su uso en sistemas de pasturas y que las mismas pueden permanecer en caso de reconvertir el uso ganadero hacia otro uso.

La pastura sin árboles muestra un comportamiento similar al de los cultivos agrícolas, explicando el incremento en la adopción y permanencia de las cercas vivas ( $p < 0,01$ ). Este resultado lleva a recomendar que en sistemas de pasturas sin árboles es posible empezar la implementación de sistemas silvopastoriles de cercas vivas y posteriormente desarrollar otros sistemas más complejos.

La proporción de área en pastura con árboles que exista para el año 2003, explica la reducción en la adopción y permanencia del sistema de pastura con árboles ( $p < 0,05$ ). Este resultado está asociado con la adicionalidad en el Índice de Servicios Ambientales, ya que esta metodología favorece a los productores con bajo nivel de contribución en servicios ambientales. Por lo tanto, productores que en sus fincas mantienen usos con bajo nivel de contribución ambiental pueden incrementar los puntos del índice y por lo tanto el valor del pago (Villanueva *et al.* 2011).

Sin embargo, la pastura con árboles muestra efecto en la permanencia de las cercas vivas ( $p < 0,1$ ). Resultado que es lógico en la medida que reconoce las características de compatibilidad de las cercas vivas con los otros sistemas silvopastoriles. Además en el índice de servicio ambiental el sistema de medición es diferente para ambos sistemas.

La cantidad de cercas vivas existente en la finca para el año 2003 explica que la permanencia del sistema se reduzca ( $p < 0,1$ ). Este resultado también está asociado con la adicionalidad y muestra que fincas que en sus inicios tengan alta proporción de cercas vivas, pueden continuar incrementándolas, debido a las características del sistema lineal.

La existencia de bancos de forraje en la finca para el año 2003, incrementa la permanencia de las cercas vivas ( $p < 0,1$ ) y disminuye la permanencia de los bancos de forraje ( $p < 0,1$ ). Este resultado retoma la importancia de las cercas vivas en el asocio con otros sistemas o usos de la tierra. Además, muestra que los bancos de forraje existentes en el año 2003 disminuyen la adopción del mismo sistema, debido al efecto en la adicionalidad del índice ambiental.

El bosque ribereño explica la disminución en la adopción ( $p < 0,01$ ) y la permanencia ( $p < 0,05$ ) del sistema de pastura con árboles. Este resultado es debido a que el bosque ribereño existente en la finca para el año 2003 ocupa área que impide el desarrollo del sistema de pastura con árboles. También el bosque ribereño ha desplazado zonas no aptas para pasturas. El bosque ribereño también explica la permanencia del banco de forraje ( $p < 0,05$ ). Posiblemente estos resultados son debido a que los bancos de forraje intensifican la producción de forraje para los animales en unidades de área menores y por lo tanto permiten liberar áreas para bosque ribereño, desplazando la producción ganadera a sitios con mejor aptitud productiva.

## **4.3 Evaluación de impacto**

### ***4.3.1 Sustento del emparejamiento entre las fincas con PSA y sin PSA***

En el análisis de participación se encontró que las fincas con PSA y sin PSA difieren en sus características observables (cuadro 4). Las diferencias se sustentan en el hecho de que ocho variables resultaron significativas estadísticamente ( $p < 0,1$ ) en el PSA de 2 años, y 6 variables en el PSA de 4 años. Además, los modelos empleados tienen valores significativos ( $p < 0,01$ ) evaluados con la prueba de significancia conjunta  $X^2$  ( $\text{Prob} > \chi^2$ ).

Estas diferencias hacen pensar que la asignación de los esquemas de PSA a cada participante no fue aleatoria. Por lo tanto los grupos de tratamiento y control deben ser balanceados, es decir, que la probabilidad de participación promedio y la media de las variables de control debe ser igual entre ambos grupos. Para este análisis se emplean los coeficientes que se generan en las regresiones probit y se procede a realizar el emparejamiento.

En el PSA 2 años con AT puede decirse, que las fincas que recibieron PSA tienen propietarios más jóvenes, las áreas de las fincas triplican a las fincas sin PSA, mayor proporción de la finca en topografía ondulada y quebrada, menor área en pasturas degradadas, pastura sin árboles, y bosque ribereño, también menos metros de cerca viva por hectárea que las fincas sin PSA ( $p < 0,1$ ). En el PSA 4 años con AT se encontró que las fincas con PSA tienen mayor extensión de la finca que las fincas sin PSA, mayor área en topografía ondulada, se encuentran más distantes del centro poblado, tienen predominancia del sistema de producción lechero, menos proporción de la finca en cultivos agrícolas y menos proporción de la finca en bosque ribereños.

### ***4.3.2 Diagnóstico de la calidad del emparejamiento***

Para emparejar cada individuo tratado con el individuo control más similar se utilizó el estimador de emparejamiento por el vecino más cercano aplicando reemplazo. Se empleó emparejamiento con uno y cinco vecinos más cercanos.

Se encontró, previo al emparejamiento, que existen diferencias estadísticamente significativas en algunas variables y por lo tanto la estimación del impacto bajo estas condiciones sería sesgado (Cuadro 8). Este resultado justifica la necesidad de realizar el emparejamiento para realizar la estimación del impacto sobre los casos que son más similares en la región de soporte común, generando variables similares estadísticamente entre los grupos con PSA y sin PSA.

*Cuadro 8.* Diferencia promedio entre las fincas con PSA y sin PSA, antes y después del emparejamiento con cinco reemplazos.

Variable 2003	PSA 2 años con AT		PSA 4 años con AT	
	Antes	Después	Antes	Después
<b>Edad propietario</b>	-2.354	-4.371	-1.134	-1.018
<b>Vive en finca</b>	0.053	-0.219	0.065	-0.161
<b>Área finca</b>	38.2**	5.819	15.218	4.291
<b>Topografía ondulada</b>	0.095	-0.301	0.046	-0.024
<b>Topografía quebrada</b>	0.072	0.138	0.004	0.022
<b>Distancia centro pob.</b>	3.05**	-1.400	1.920*	0.625
<b>Carga animal</b>	-0.015	0.052	0.048	0.166
<b>Finca lechera</b>	0.069	0.000	0.093	0.071
<b>Finca doble propósito</b>	0.111	0.038	0.278**	-0.232
<b>Mano de obra ganad.</b>	6.561	-1.429	0.787	14.286
<b>C. agrícolas</b>	-0.118*	-0.081	-0.090	0.060
<b>P. degradada</b>	-0.001	0.010	0.027	0.019
<b>P. sin árboles</b>	-0.002	0.018	-0.018	-0.092
<b>P. con árboles</b>	0.052***	0.043	0.016	0.015
<b>Cercas vivas</b>	-0.420	0.420	1.423	0.026
<b>Banco forraje</b>	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Silvopastoril intensivo</b>	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Bosque ribereño</b>	-0.008	-0.015	-0.008	-0.031
<b>Bosque</b>	0.077***	0.025	0.073**	0.028

P (Prueba T): \*90% (1,645), \*\*95%(1.960), \*\*\*99%(2,576). Variables sin asterisco no son significativas.

Para evitar que en la comparación de los casos tratamiento con los casos control se genere selección de observaciones con probabilidad de participación bastante distinta se restringió el análisis a la zona de mayores frecuencias de probabilidad para ambos grupos, denominada región de soporte común. También se estableció un intervalo de probabilidad (caliper) de 0,05 unidades de probabilidad (Figura 4). Se encontró, como resultado general, que la calidad de los algoritmos de emparejamiento empleados es satisfactoria, debido a que después de hacer el emparejamiento no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las variables de las fincas con PSA y sin PSA.

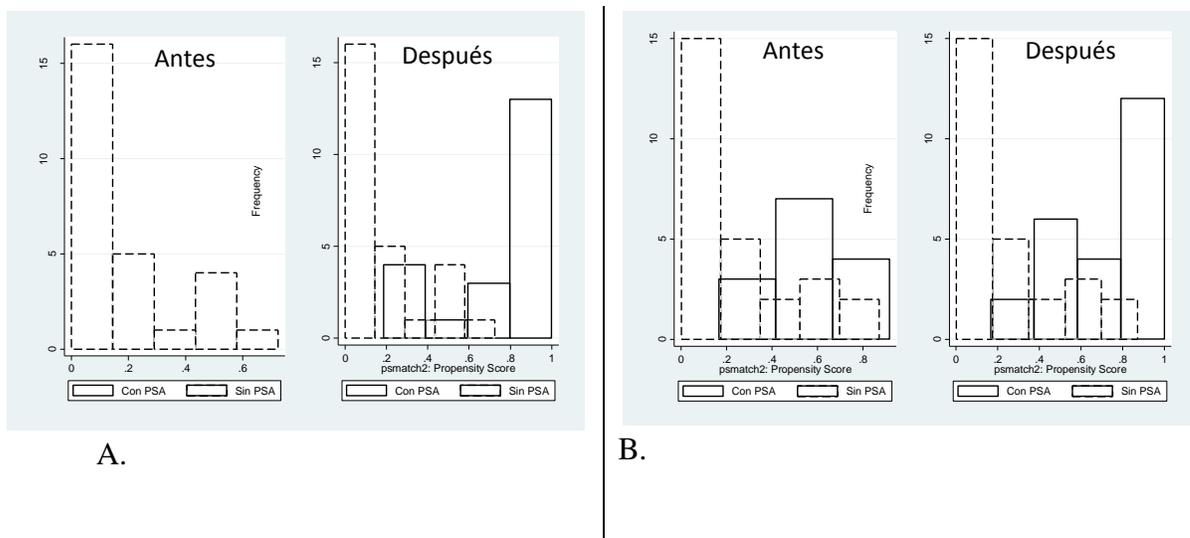


Figura 4. Densidad de probabilidad. A. PSA 2 años. B. PSA 4 años

### 4.3.3 Usos no silvopastoriles

En los usos no silvopastoriles se agrupan los usos que no constituyen prácticas silvopastoriles. En este grupo se encuentran las categorías de pasturas sin árboles (pastura natural y pastura mejorada) y pasturas degradadas, sobre las cuales el PSA pretendía incidir en la reducción. Esta categoría poseía una fuerte representación en el área del proyecto. En la categoría de pastura sin árboles se encuentra la pastura mejorada sin árboles, la cual ocupaba en el año 2003 la mayor superficie del área en el total de las fincas con 1477 hectáreas (40,1%) (Zapata *et al.* 2008).

En las pasturas degradadas se evidencia el efecto del PSA en el esquema de 4 años ( $p < 0,1$ ) (Figura 5). El PSA con AT presentaron efecto en contribuir a reducir las pasturas degradadas durante el periodo de pago. En la permanencia no hay efecto, posiblemente debido a que las fincas han empezado a cambiar áreas de pasturas degradadas hacia cultivos agrícolas.

En las pasturas sin árboles, existe efecto del PSA con AT en los dos esquemas de PSA y durante el periodo de pago ( $p < 0,01$ ). En la permanencia no se presenta impacto del PSA. El nulo efecto del PSA con AT en la permanencia puede evidenciar el fenómeno de diversificación que se presenta en la región hacia el establecimiento de cultivos agrícolas, debido a los mayores rendimientos económicos comparado con la ganadería. Este fenómeno también puede afectar a los usos silvopastoriles.

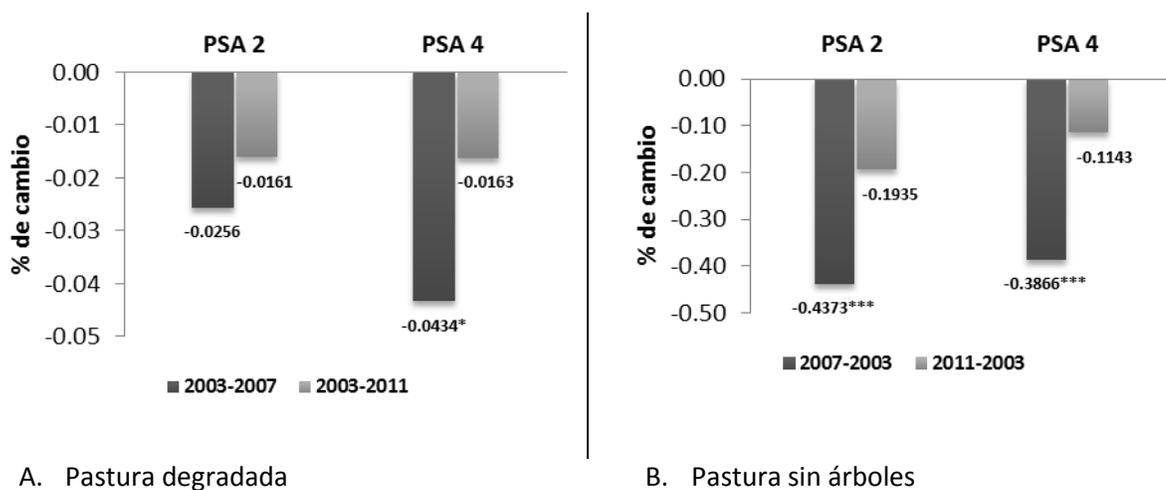


Figura 5. Efecto del PSA en usos no silvopastoriles para los esquemas de 2 y 4 años, durante y después del incentivo.

#### 4.3.4 Pasturas con árboles

En la pastura con árboles se encontró que el PSA con asistencia técnica causa efecto durante el periodo de pago en los esquemas de 2 años ( $p < 0,05$ ) y 4 años ( $p < 0,01$ ) (Figura 6). El efecto después de terminado el pago se mantiene en el esquema de PSA 4 años ( $p < 0,05$ ).

Las pasturas con árboles representan un sistema silvopastoril con muchas características positivas para el manejo ambiental y productivo de las pasturas. Encontrar que después de 4 años sin pago, el sistema se mantiene es un éxito atribuido al PSA de mayor duración, mucho más cuando este sistema representaba al inicio del proyecto menos del 2% del área total. Esta anotación se comprueba con los resultados del PSA de 2 años, el cual presenta efecto 2 años después de terminado el pago, debido a que el pago se realizó hasta el 2005 y aún 2 años después presentaba efecto, pero luego, sin pago, no existe efecto.

Este resultado es lógico, debido a que el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles es más demorado debido a la competencia con las gramíneas. Con esquemas de PSA de duración que garantice el adecuado establecimiento de los árboles, se logra tener una sostenibilidad del sistema sin PSA. Con estos resultados se tiene claridad sobre la hipótesis expuesta por (Ibrahim *et al.* 2011), donde dicen que pequeños pagos en la etapa temprana de la implementación generan cambios de las prácticas tradicionales hacia los sistemas silvopastoriles.

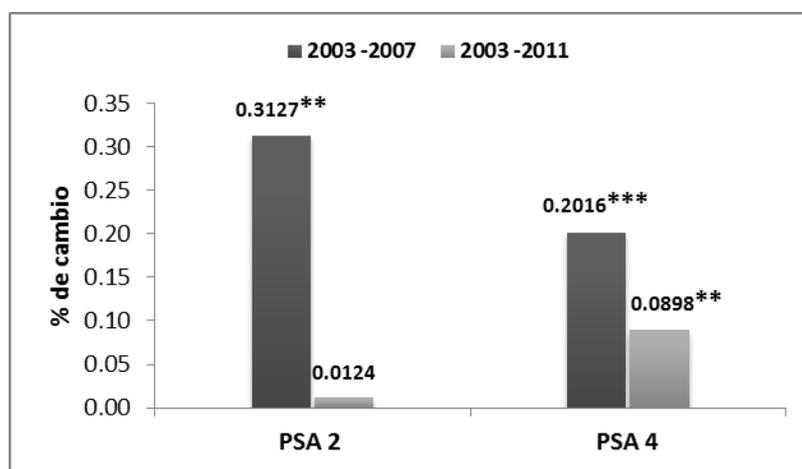


Figura 6. Efecto del PSA y la asistencia técnica en la pastura con árboles

#### 4.3.5 Banco de forraje

El PSA con AT presenta efecto en los bancos de forraje, en el PSA 4 años y durante el periodo de pago del incentivo ( $p < 0,05$ ) (Figura 7). Con pago por dos años no se presenta impacto significativo, durante y después del pago. Esto hace pensar que el uso es de difícil adopción en periodos de tiempo cortos y que posiblemente los productores invierten su tiempo en establecer otros usos, pues se reconoce que el banco de forraje es un sistema costoso debido a la exigencia de mano de obra para su establecimiento y manejo.

El PSA para este uso debe analizarse mejor, posiblemente el PSA debe ser más prolongado para que el uso permanezca o se incremente. Además se debe estudiar el banco de forraje sujeto al incentivo, pues los bancos de forraje de gramíneas presentan más facilidad para el establecimiento que los sistemas con arbustivas y maderables y por lo tanto el PSA puede ser de más bajo dinero. La decisión entre usar un incentivo como el PSA y otras alternativas como créditos o asistencia técnica, debe ser tomada con base en el análisis de factores como el tipo de sistema, la duración del pago, el servicio ambiental de interés, la situación socioeconómica del productor y la región y el tipo de sistema productivo del propietario y la región en donde se planea el incentivo.

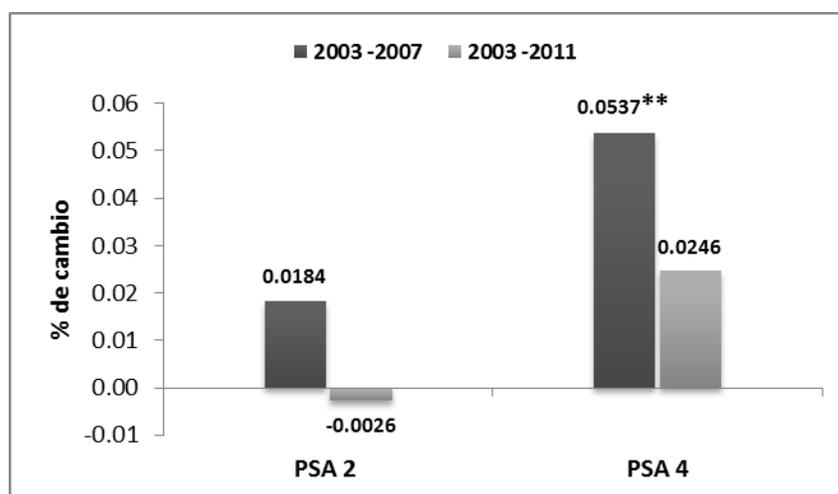


Figura 7. Efecto del PSA y la asistencia técnica en los sistemas de bancos de forraje.

#### 4.3.6 Silvopastoril intensivo

El silvopastoril intensivo presentó efecto en el esquema de PSA 4 años y durante el periodo en el cual se recibió el incentivo ( $p < 0,05$ ) (Figura 8). Con pago durante dos años no se presentó efecto, durante y después del pago del incentivo. Aunque los valores son mayores, no hay evidencia estadística para decir que hay impacto, una posible razón es que no hay suficientes observaciones para determinar el impacto.

La situación de que no se presente efecto en la permanencia, especialmente en el PSA de 4 años, muestra que es necesario realizar pagos más prolongados para mantener esta práctica. Una de las posibles causas que limita su adopción, está relacionada con el alto costo de establecimiento (US\$ 1440 ha<sup>-1</sup>) (Murgueitio *et al.* 2006). Además, “para lograr un impacto en la productividad de la finca se requiere adoptar el sistema silvopastoril intensivo en el área total de las pasturas de la finca” (Zapata *et al.* 2007).

Este resultado es contrario a lo que plantean Pagiola *et al.* (2007), quienes afirman que los programas de PSA realizan los pagos a corto plazo, sobre la premisa de que las prácticas una vez establecidas son muy rentables y de esta forma se mantendrán. Posiblemente, para esta práctica, el periodo de duración del pago debe estar relacionado con el periodo en el cual se logre el retorno de la inversión inicial y se alcancen los demás beneficios del sistema. No aplica la hipótesis de que en áreas agrícolas, donde el costo de oportunidad es muy alto, las inversiones realizadas que representan un alto costo para el propietario pueden resultar en una garantía de sostenibilidad de los sistemas (Pagiola *et al.* 2005).

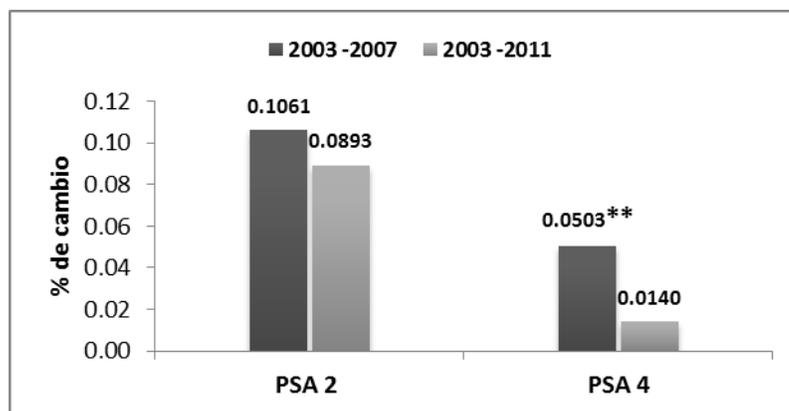


Figura 8. Impacto del PSA y la asistencia técnica en el silvopastoril intensivo

### 4.3.7 Cercas vivas

Se encontró que el PSA cuando se realiza durante cuatro años y se combina con Asistencia técnica, tiene un efecto fuerte y significativo, durante y después del pago del incentivo ( $p < 0,01$ ). Las cercas vivas presentan efecto en el PSA 2 años durante el periodo de pago ( $p < 0,01$ ). No existe efecto del PSA de 2 años en la permanencia del sistema (Figura 9).

Estos resultados muestran que para mantener las cercas vivas después de terminado el pago, es necesario haber realizado pago durante al menos cuatro años. Pagos por este periodo hacen que exista un cambio de actitud del productor, en el que se reconocen los beneficios del sistema y de esta forma se garantiza la permanencia del sistema.

El alto nivel de adopción de las cercas vivas es consecuente con lo reportado por (Current y Scherr 1995), donde se manifiesta que existen altas tasas de adopción de sistemas de árboles en líneas cuando se introducen como nuevos sistemas agroforestales. También para el área del proyecto se reportó que las cercas vivas incrementaron considerablemente con respecto al año 2003 (Zapata *et al.* 2007; Zapata *et al.* 2008).

Sin embargo, estos resultados no pueden ser generalizados para todo tipo de cerca viva. Los sistemas que se establecieron en la región fueron predominantemente cercas vivas simples, con dominancia de la especie mataratón (*Gliricida sepium*). En este tipo de cercas, la forma más apropiada de establecimiento es el vegetativo (poste vivo de 2 m de ato), lo que origina que los cuidados en la etapa de establecimiento y las pérdidas asociadas por el daño del ganado sean menores en comparación con el establecimiento de plántulas. Por lo tanto, esto puede influir en la adopción y sobre todo en la permanencia del sistema.

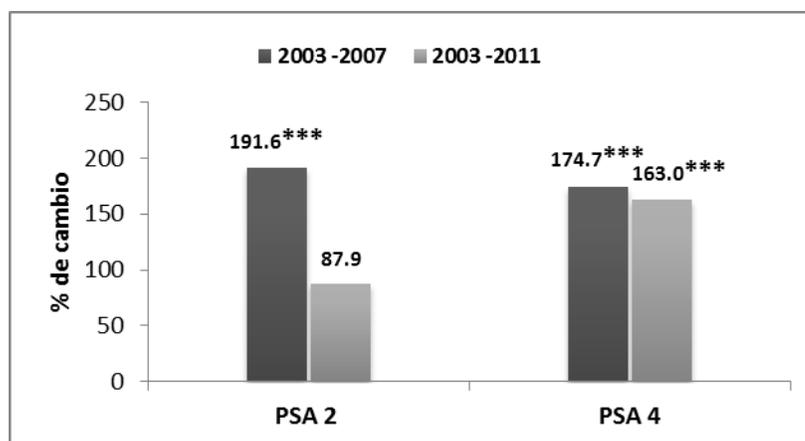


Figura 9. Impacto del PSA y la asistencia técnica en las cercas vivas

#### **4.3.8 Usos de conservación y restauración**

En esta categoría se incluyen el bosque ribereño y las otras áreas de bosque. En el bosque ribereño se encontró que el pago de PSA en esquemas de 4 años tiene efecto durante y después del pago ( $p < 0,05$ ) (Figura 10). El incremento de área obtenido en la categoría de bosque ribereño, se debe a que han sido incorporadas por el productor, áreas de regeneración natural en zonas de fuertes pendientes y cercanos a fuentes de agua, los cuales con el paso del tiempo serán catalogados como bosques ribereños.

En la categoría de conservación se incluyen usos de bosque maduro, bosque secundario, sucesión temprana y guaduales (Bambú), ubicados en áreas diferentes a las riberas de los nacimientos y cursos de agua. Se encontró que el único esquema de PSA que presentó impacto fue el PSA otorgado durante cuatro años ( $p < 0,01$ ) (Figura 10). Después de finalizado el pago de 4 años hubo incremento de las coberturas de guadua y sucesión vegetal, y el bosque se mantuvo pero no alcanzó a ser significativa la diferencia con las fincas sin PSA.

En el PSA de 2 años no se encontró impacto para el bosque ribereño y los otros tipos de bosque. Posiblemente, PSA durante 2 años, es poco tiempo para que el productor tome conciencia y libere áreas en zonas estratégicas de conservación o con baja aptitud agrícola para destinarlas a la restauración y conservación de la naturaleza. Es importante mencionar que para los usos de conservación, excluyendo la sucesión vegetal y los guaduales, solamente se realizó el pago de la línea base en el año 2003. Encontrando que con este sistema de pago las áreas de bosque se mantienen y que los cambios se deben a que se adicionen áreas para restauración sobre las que sí se realizan pagos anuales.

Unido a lo anterior, el hecho de encontrar un mayor efecto del PSA en el esquema de cuatro años para el bosque ribereño en el periodo sin pago, hace que se revalúen hipótesis sobre el pago permanente en usos destinados a protección para esta región en específico. En esta región el pago permanente debe estar dirigido al uso de restauración en áreas que productivamente son marginales, debido a que en una región con alto costo de oportunidad, no se puede esperar que se conviertan áreas productivas a usos de conservación, y además los escasos remanentes de bosque que existen se mantienen gracias a la voluntad de los productores y la acción de la autoridad regional ambiental. Además los valores de pago en esta región deberían ser altísimos para contrarrestar el efecto productivo.

En los usos de bosque ribereño y bosque en general se puede ver reflejada la importancia de la asistencia técnica que se realiza para el desarrollo de los sistemas silvopastoriles y el manejo integral de la finca. El PSA con AT logra que los productores intensifiquen la producción ganadera en áreas de mayor aptitud para este propósito y se concienticen de liberar áreas no aptas para ganadería que son convertidas a procesos de regeneración natural para irse transformando a bosques.

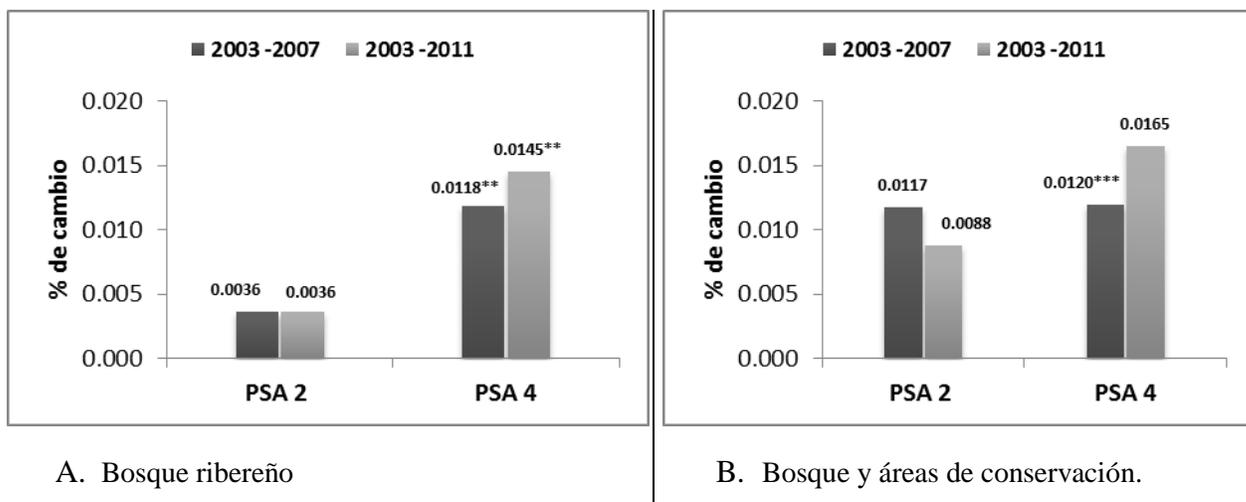


Figura 10. Efecto del PSA y la asistencia técnica en el bosque ribereño y las áreas de bosque.

#### 4.4 Índice de servicios ambientales

Como se explicó en la metodología, los valores de carbono almacenado ( $\text{Ton ha}^{-1}$ ) y los valores del IBSA fueron llevados a un índice entre 0 y 1. En ambos casos se emplearon como valores de referencia los valores máximos que se encontraron para el carbono y la biodiversidad (Cuadro 9).

Cuadro 9. Valores del índice de carbono y biodiversidad

Categoría	Usos	Ton C $\text{ha}^{-1}$	IBSA	Índice C	Índice IBSA	Fuente carbono
Bosque	Guadua - Bambú	107.10	1.14	1.00	0.76	(Arango 2011)
Bosque	Bosque primario	105.25	1.50	0.98	1.00	Elaboración propia
Bosque	Bosque ribereño	65.00	1.35	0.61	0.90	Elaboración propia
Bosque	Bosque secundario	39.15	1.32	0.37	0.88	Elaboración propia
Bosque	Sucesión vegetal	12.90	0.76	0.12	0.51	Elaboración propia
Silvopastoril	Pastura natural con árboles	41.70	0.50	0.39	0.33	Elaboración propia
Silvopastoril	Pastura mejorada con árboles	34.20	0.48	0.32	0.32	Elaboración propia
Silvopastoril intensivo	Silvopastroil intensivo	2.88	0.28	0.03	0.19	(Ibrahim <i>et al.</i> 2007a)
Pastura	Pastura mejorada sin árboles	1.60	0.11	0.01	0.07	(Ibrahim <i>et al.</i> 2007a)
Pastura	Pastura natural sin árboles	8.40	0.11	0.08	0.07	Elaboración propia
C.V	Cercas vivas ( $\text{Ton C ha}^{-1}$ )	56.50	0.49	0.40	0.64	Elaboración propia
Pastura	Pastura degradada	0.51	0.00	0.00	0.00	(Ibrahim <i>et al.</i> 2007a)

Fuente: IBSA según {Sáenz, 2005 #3371} y (Ibrahim *et al.* 2011)

Los valores de carbono son menores a los reportados por (Zamora López *et al.* 2006) para los mismos usos del suelo en Costa Rica. Situación que puede deberse a factores que incluyen la fertilidad del suelo, clima, edad de los sistemas, composición y densidad de la vegetación (Villanueva *et al.* 2011). Aunque los valores de carbono presenten diferencias, son una referencia que permite obtener el índice de Carbono y con respecto a éste, los índices no difieren mucho con el caso del índice validado para Costa Rica. Existen diferencias como la sucesión vegetal, en la cual para Colombia la vegetación es más arbustiva y herbácea y por lo tanto genera menos contribución al almacenamiento de carbono.

#### ***4.4.1 Impacto en el Índice de Servicios Ambientales***

En el esquema de PSA 2 años, el PSA con AT presentó efecto en la reducción del carbono en las pasturas sin árboles ( $p < 0,01$ ), este efecto es un reflejo de lo que ocurre cuando se disminuyen las áreas en este uso (Cuadro 10). Estos resultados están relacionados con el hecho de que al disminuir la proporción de pastura sin árboles dentro de la finca también se reduce la contribución en el almacenamiento de carbono y biodiversidad en las zonas, sin embargo, estos resultados no permiten analizar si al cambiar de uso, los árboles existentes en este sistema también son eliminados.

En el esquema de PSA de 4 años se presentan impactos en el ISA de carbono y biodiversidad, durante y después del pago en los usos de pastura con árboles, cercas vivas y bosque ribereño. Las pasturas con árboles reportan un incremento de 7% ( $p < 0,01$ ) en la proporción de la finca destinada a la provisión de carbono. Después de transcurrido el periodo de pago, este valor se reduce a 3%, sin embargo, continua siendo significativo el impacto ( $p < 0,05$ ). Con las cercas vivas se encontró que del total de cercas vivas por finca, existe una longitud promedio efectiva destinada a la provisión de carbono de 1,88 Km ( $p < 0,05$ ) y que este valor se incrementa a 2 Km cuatro años después del pago ( $p < 0,05$ ) (Cuadro 10).

El PSA de 4 años con AT presenta efecto en el almacenamiento de carbono del bosque ribereño. Las fincas almacenan 0,7% ( $p < 0,05$ ) más de carbono que las fincas sin PSA. Los usos de silvopastoril intensivo y las restantes áreas en bosque, representan poca proporción dentro de la finca y por lo tanto sus valores no superan el 1% ( $p < 0,05$ ) del área de la finca destinada a este servicio.

Los resultados de encontrar impacto en el ISA de carbono para los usos de pastura con árboles y el bosque ribereño están acordes con lo reportado por {Ibrahim, 2007 #841}, donde se menciona que para Colombia el Bosque ribereño fue el uso de la tierra que más cantidad de carbono incorporó, además se menciona que los sistemas de pastura mejorada con árboles representan un alto potencial de secuestro de carbono.

Cuadro 10. Impacto del PSA con AT en el Índice de Servicios Ambientales de Carbono y Biodiversidad.

Uso del suelo	Sistema	ISA Carbono		ISA Biodiversidad	
		PSA 2	PSA 4	PSA 2	PSA 4
Pastura sin árboles	2003-2007	-0.0197***	-0.0174***	-0.0306***	-0.0271***
	2003-2011	-0.0087	-0.0051	-0.0135	-0.0080
Pastura con árboles	2003-2007	0.1126**	0.0726***	0.1001**	0.0645***
	2003-2011	0.0045	0.0323**	0.0040	0.0287**
Cercas vivas	2003-2007	1.1742*	1.8838**	1.8787*	3.0140**
	2003-2011	1.1147*	2.0412**	1.7834*	3.2660**
Silvopastril intensivo	2003-2007	0.0032	0.0015**	0.0202	0.0096**
	2003-2011	0.0027	0.0004	0.0170	0.0027
Bosque ribereño	2003-2007	0.0022	0.0072**	0.0032	0.0107**
	2003-2011	0.0022	0.0089**	0.0032	0.0131**
Bosque	2003-2007	0.0071	0.0073***	0.0041	0.0042***
	2003-2011	0.0054	0.0101	0.0031	0.0058

Nota: Los valores corresponden al impacto promedio en fracción de porcentaje. En las cercas vivas las unidades se encuentran en Km.

Con respecto al ISA para biodiversidad, el comportamiento es similar al reportado para el ISA en carbono (Cuadro 10). Se presentan mayores valores en el impacto, debido a que los índices son mayores para este servicio en las prácticas de uso del suelo analizadas. Se debe aclarar que en la categoría de bosque se incluyen los usos de guadua (Bambú), bosque primario, bosque ribereño, bosque secundario y sucesión vegetal. En esta categoría los usos que mayor cambio en incremento presentan son la guadua y la sucesión vegetal. Con respecto a la contribución que pueden hacer en el almacenamiento de carbono y la conservación de la biodiversidad, el uso que se destaca es la guadua.

Los resultados encontrados en el ISA de carbono y biodiversidad son consecuentes con lo reportado para la zona de estudio, respecto a los principales cambios de uso, aunque se hace la salvedad de que no corresponden a resultados de una evaluación de impacto. Dichos resultados mencionan que entre el año 2003 y 2006 los cambios de uso del suelo más importantes fueron la reducción del porcentaje del área total de pasturas degradadas y pasturas sin árboles, el incremento de la pastura mejorada con árboles y las cercas vivas simples y multi-estratos (Zapata *et al.* 2007).

#### 4.4.2 *Carbono total almacenado*

El carbono total almacenado se obtuvo empleando los valores de carbono presentados en el cuadro 9. La proporción de cada uso dentro de la finca fue multiplicado por el valor del carbono total reportado para cada uso, según las categorías establecidas previamente, a excepción de las áreas de banco forrajero y cultivos de ciclo corto. Luego se sumaron para cada finca los valores de carbono, obteniendo el valor total en carbono por hectárea que posee la finca. Para las cercas vivas el carbono almacenado se presenta en Kilómetros por finca.

Se encontró que los esquemas de PSA de 2 y 4 años presentan impacto en el almacenamiento de carbono en los usos de la tierra de las fincas durante el periodo de pago ( $p < 0,05$ ), teniendo en cuenta que el total de carbono se estimó para la mayor parte de usos en la finca, a excepción de las áreas de banco forrajero y las cercas vivas (Figura 11). Con el PSA de 2 años y durante el periodo de pago se obtuvo un impacto de 12,2 Ton de C ha<sup>-1</sup> más que las fincas sin PSA ( $p < 0,05$ ). En el Esquema de PSA 4 años se encontró impacto durante el periodo de pago, presentando en promedio un almacenamiento de carbono de 9,5 Ton de C ha<sup>-1</sup> más que las fincas sin PSA ( $p < 0,05$ ) (Figura 11).

Estos valores son coherentes si se retoman análisis que se han realizado sobre los resultados del proyecto, Zapata *et al.* (2007) encontraron que el pago tuvo una tendencia a incrementarse, tanto por finca como por hectárea, entre el periodo 2003 y 2006, debido a que las fincas que se encontraban en el esquema de 2 años presentaron las mayores tasas de cambio en el uso de la tierra.

Durante el periodo en que no se contó con pago del PSA no existe impacto en el stock de carbono para los esquemas de 2 y 4 años. Este resultado puede estar asociado con el hecho de que sin PSA existe una reconfiguración de los usos del suelo en la finca, y posiblemente los usos que recobran mayor área dentro de las fincas son aquellos con menor contribución al almacenamiento de carbono, como las pasturas sin árboles o los monocultivos de anuales y perennes. Sin embargo, durante el análisis de los cambios de área se encontró impacto durante el pago y cuatro años después, en los usos de pastura con árboles y bosque ribereño, sin embargo, con estos resultados se logra observar que estos usos no representan en las fincas usos con gran contribución en el almacenamiento de carbono. De esta forma, aunque los usos del suelo son proxis con la provisión de servicios ecosistémicos, los servicios dependen de la magnitud de los cambios.

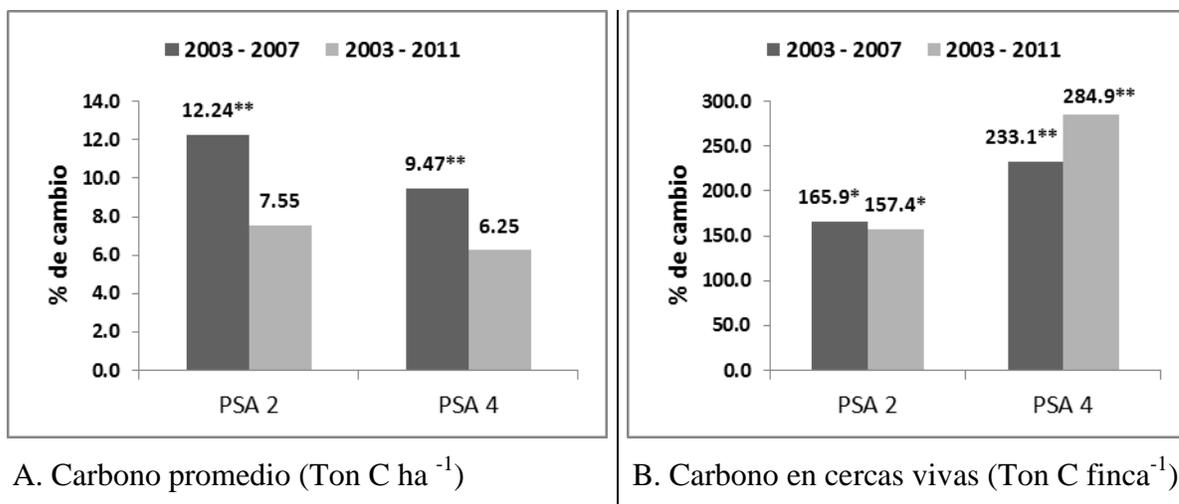


Figura 11. Impacto en el almacenamiento de carbono total por hectárea y en kilómetros de cercas vivas

Al realizar el análisis del almacenamiento de carbono en las cercas vivas, se encontró que existe impacto durante y después del pago, en los esquemas de PSA de 2 y 4 años. Se puede apreciar que las diferencias de carbono almacenado entre las fincas con PSA y sin PSA son altas (Este es el valor que aparece en cada barra). En el esquema de PSA 2 años los valores son menores a los del PSA de 4 años, sin embargo son significativos. Estas diferencias pueden estar relacionadas con los tiempos de pago de cada esquema, pues fincas durante cuatro años pueden realizar más cercas vivas y por lo tanto tener más carbono en la finca.

Estos resultados, sumados a los resultados obtenidos en el cambio de cercas vivas, con pago y cuatro años después, hacen pensar que este sistema silvopastoril presenta ventajas comparativas muy importantes para los productores y que además es equitativo con la provisión de servicios eco sistémicos, principalmente el almacenamiento de carbono, convirtiéndolo en un sistema silvopastoril que se puede recomendar ampliamente.

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La participación en el programa de PSA estuvo determinada por variables socioeconómicas de la edad del productor, biofísicas del área de la finca y la proporción en topografía ondulada, y de manejo y usos del suelo en la finca. La edad del propietario y las características de uso del suelo tienen influencia en disminuir la probabilidad de participación, mientras que las condiciones biofísicas incrementan la participación. Por lo anterior, puede decirse, que el desarrollo de un próximo programa de PSA en la zona de estudio, será más atractivo para productores jóvenes con fincas de mayor extensión y más proporción en topografía ondulada a quebrada y poca dominancia para usos de pastura degradada, pastura sin árboles, cercas vivas y bosque ribereño.

Cuando se analizó la adopción y permanencia de las tecnologías silvopastoriles se encontró que el PSA con AT explica la adopción de todas las prácticas silvopastoriles y la permanencia de las pasturas con árboles y las cercas vivas. Con el análisis de los factores que influyen en la adopción de los sistemas silvopastoriles, se pudo observar que la variable biofísica de topografía ondulada es la que presenta mayor nivel de influencia en la adopción y permanencia de los sistemas silvopastoriles de pasturas con árboles y cercas vivas. La variable productiva de carga animal explica el incremento en la adopción y permanencia de las pasturas con árboles y las cercas vivas. Las variables de sistema productivo no tienen ninguna influencia.

Se encontró que el Índice de Servicios Ambientales empleado para la determinación de los pagos no estimula la participación en el PSA y la adopción de algunas prácticas silvopastoriles. Esta tendencia se debe a que usos de conservación como el bosque ribereño y productivos con mayor valor ambiental, como las pasturas con árboles y las cercas vivas que se encuentren en la finca para el año 2003, limitan la adopción de estas mismas prácticas con las que se incrementaría el valor ambiental y por lo tanto el pago a recibir. Sin embargo, se encontró que las cercas vivas son un sistema que se complementa con usos como los cultivos agrícolas, pasturas sin árboles, pasturas con árboles y cercas vivas, lo cual permite ganar puntos en el índice.

Esquemas de pago de corta duración, en este caso el esquema de PSA de 2 años, presentaron efecto durante el periodo de pago en la reducción de la pastura sin árboles, incrementar la pastura con árboles y las cercas vivas. No presentó efecto en la permanencia de las prácticas silvoastoriles. El Esquema de PSA de 4 años presentó impacto en la adopción de las prácticas silvopastoriles y los usos de conservación durante el periodo de pago. Durante la permanencia se encontró efecto del PSA con AT en el incremento del área en pasturas con árboles, longitud de cercas vivas y bosque ribereño.

Estos resultados muestran que esquemas de PSA de 2 años son muy cortos para garantizar el establecimiento y la sostenibilidad de los sistemas silvopastoriles, aunque se combinen con la asistencia técnica. En el PSA de 4 años se presentó efecto del PSA en la permanencia de los sistemas silvopastoriles de pasturas con árboles y cercas vivas, evidenciando que con un PSA de cuatro años sería suficiente para mantener estos sistemas, al menos durante cuatro años más. Para las prácticas de bancos de forraje y silvopastoril intensivo se requiere realizar pagos con duración mayor a los cuatro años, posiblemente hasta que se logre el equilibrio con los costos iniciales de establecimiento que requieren.

Para los usos forestales de conservación y restauración como los bosques ribereños, coberturas de bosque secundario y guaduales, el PSA tiene un efecto diferente, debido a que se realizó un único pago en la línea base del año 2003 y por un monto más bajo. En el bosque ribereño se encontró impacto durante los cuatro años del PSA, ósea que incluye un año de pago y tres de permanencia, además presenta impacto sin PSA, ósea siete años sin pago. Las áreas que se incrementaron en este uso están relacionadas con regeneración natural, las cuales sí estuvieron sujetas a pagos anuales, entonces con el hecho de incentivar los procesos de abandono de áreas productivas en las riberas de fuentes de agua durante un periodo de pago de cuatro años, se logra tener incremento del impacto en la sostenibilidad de la cobertura y no sería necesario pagar de forma permanente sobre estos usos. Igual situación ocurre en las otras áreas de conservación, en donde el incremento también depende de las áreas en regeneración.

En el Índice de Servicios Ambientales se encontró que esta metodología tiene una relación directa con la proporción de los cambios realizados en la finca. Los resultados no reportan diferencias con los encontrados para la evaluación de impacto de los cambios de uso y las diferencias se deben al valor del índice para cada uso de la tierra. Los sistemas silvopastoriles de pastura con árboles y cercas vivas son tecnologías que presentaron impacto en el área y longitud convertida, así como en la provisión de los servicios ecosistémicos, durante y después del pago en el esquema de PSA de 4 años. Por lo tanto, a nivel de toma de decisiones para futuros esquemas de PSA, estos sistemas son una buena opción para ser promovidos tanto para la adopción durante el pago como la sostenibilidad que pueden mantener para la provisión de servicios ecosistémicos.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- Agostini, P; Ibrahim, M; Murgueitio, E; Ramírez, E. 2003. Manual Operativo del Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas. 62 p.
- Andrade, H; Segura, M; Somarriba, E. Villalobos. M. s.f. Biomass equations to estimate aboveground biomass of woody components in indigenous agroforestry systems with cacao. *Sin publicar*
- Arango, AM. 2011. Posibilidades de la guadua para la mitigación del cambio climático. Pereira, CO. Universidad Tecnológica de Pereira. 114 p.
- Arriagada, R; Pattanayak, E; Ferraro, S. 2009. Impact Evaluation of the Costa Rican Program of Payments For Environmental Services at the Parcel Level. s.l. 57 p.
- Bamberger, M; Rugh, J; Mabry, L. 2006. RealWorld evaluation: working under budget, time, data, and political constraints. Series, BB. s.l., Sage Publications, Inc. 21 p.
- Beer, J; Harvey, CA; Ibrahim, M; Harmand, JM; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10(37/8):80-87.
- Bernal, R; Peña, X. 2011. Guía práctica para la evaluación de impacto. Ediciones Uniandes. E. Bogotá, CO, Editorial Kimpres. 336 p.
- Blanco, J. 2009. La Experiencia Colombiana en Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales. Ecoversa. s.l. 113 p.
- Bueno, L; Camargo, JC. 2012. Cambios del nitrógeno durante etapas de desarrollo temprano de la leucaena (*Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit),(en línea). *Livestock Research for Rural Development*. Consultado 10 set. 2011. Disponible en <http://www.lrrd.org/lrrd24/2/buen24033.htm>
- Calle, A. 2008. Using PES and technical assistance to promote Silvopastoral Systems in Quindío, Colombia: Attitude change as a key to permanent adoption. MSc. Thesis. Yale, US, Yale University. 80 p.
- Calle, A; Montagnini, F; Zuluaga, AF. 2009. Farmer's perceptions of silvopastoral system promotion in Quindío, Colombia. *Bois et Forêts des Tropiques* (300):79-94.
- Cerrud, H. 2005. Efecto del pago por servicios ambientales y otras variables socioeconómicas en la adopción de usos de suelo amigables con el ambiente en zonas ganaderas de Esparza, Costa Rica y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 167 p.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ME). 1993. La adopción de tecnologías agrícolas: Guía para el diseño de encuestas Trad. A McNab. México, DF, CIMMYT. 95 p.
- CRQ (Corporación Autónoma Regional del Quindío, CO); CARDER (Corporación Autónoma Regional de Risalralda, CO); CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CO); UAESPNN (Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, CO); MAVDT (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, CO); IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, CO); GTZ (Agencia de Cooperación Técnica Alemana, DE). 2008. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica (POMCH) del río La Vieja: "El rejuvenecer de la Vieja". Documento Plan. 358 p.

- Current, D; Scherr, S. 1995. Farmer costs and benefits from agroforestry and farm forestry projects in Central America and the Caribbean: implications for policy. *Agroforestry Systems* 30(1):87-103.
- Chambers, R; Karlan, D; Ravallion, M; Rogers, P. 2009. Designing impact evaluations: different perspectives. New Delhi, IN., 3ie Working papers. 34 p.
- Dagang, A; Nair, PKR. 2003. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. *Agroforestry Systems* 59(2):149-155.
- Daniels, AE; Bagstad, K; Esposito, V; Moulaert, A; Rodriguez, CM. 2010. Understanding the impacts of Costa Rica's PES: Are we asking the right questions?. *Ecological Economics* 69(11):2116-2126.
- DeClerck, FAJ; Salinas, AM. 2011. Measuring Biodiversity. In Rapidel, B; DeClerck, FAJ; Coq, JFL; Beer, J. eds. *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment*. Washington, Earhscan. p 115-135.
- Di Rienzo, JA. 2005. *Estadísticas para las ciencias agropecuarias*. 6 ed. s.l., Editorial Brujas. 347 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, IT). 2007. *El estado Mundial de la agricultura y la alimentación. Pagos a los agricultores por los servicios ambientales*. Roma, IT, FAO. 255 p.
- \_\_\_\_\_. 2009 *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: La ganadería a examen*. Roma, IT, FAO. 184 p.
- FEDEGAN (Federación Nacional de Ganaderos, CO). 2006. *Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana 2019*. Bogotá, CO, FEDEGAN - FNG. 296 p.
- Ferraro, P; Simpson, D. 2003. Conservación rentable: Una revisión de lo qué funciona con respecto a la conservación de la biodiversidad. In Ibrahim, M; Mora Delgado, J; Rosales, M. eds. *Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales*. Turrialba, CR, CATIE. 120 p.
- Ferraro, PJ. 2009. Counterfactual thinking and impact evaluation in environmental policy. *New Directions for Evaluation* 2009(122):75-84.
- Frangi, JL; Lugo, AE. 1985. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs* 55:351-369.
- Gobbi, JA; Casasola, F. 2003. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39/40):52-60.
- Greenstone, M; Gayer, T. 2007. Quasi-experimental and experimental approaches to environmental economics. *Journal of Environmental Economics and Management* 57(1):21-44.
- Greiber, T. 2010. *Pago por Servicios Ambientales. Marcos Jurídicos e Institucionales*. Gland, CH, IUCN. 314 p.
- Heckman, JJ; Ichimura, H; Todd, P. 1998. Matching as an econometric evaluation estimator. *Review of Economic Studies* 65(2):261-294.
- Ibrahim, M; Gobbi, J; Murgueitio, E; Casasola, F; Ramírez, E; Mejía, C. 2003. *Proyecto Enfoques silvopastoriles integrados para el Manejo de ecosistemas: Informe anual de avance No. 1*. CATIE-CIPAV-NITLAPAN, G-BM-. Turrialba, CR. 121 p.
- Ibrahim, M; Gobbi, J; Casasola, F; Murgueitio, E; Ramírez, E. 2004. *Proyecto Enfoques silvopastoriles integrados para el Manejo de ecosistemas: Informe anual de avance No. 2*. Turrialba, CR. , CATIE-CIPAV-NITLAPAN, G-BM. 184 p.

- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007a. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 45:27-36.
- Ibrahim, M; Villanueva, C; Casasola, F. 2007b. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal* 15(Sup 1):74-89.
- Ibrahim, M; Casasola, F; Villanueva, C; Murgueitio, E; Ramírez, E; Sáenz, J; Sepúlveda, C. 2011. Payment for Environmental Services as a tool to encourage the adoption of silvo-pastoral systems and restoration of agricultural landscapes dominated by cattle in Latin America. In Montagnini, F; Finney, C. eds. *Restoring Degraded Landscapes in Latin America*. New Haven, CT, USA, Nova Science Pub Inc. p 1-23.
- Kanninen, M. 2003. Sistemas Silvopastoriles y Almacenamiento De Carbono: Potencial Para América Latina. In Ibrahim, M; Mora Delgado, J; Rosales, M. eds. *Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales*. Turrialba, CR, CATIE. p 25 - 43.
- Miranda, M; Porras, I; Moreno, M. 2003. The social impacts of payments for environmental services in Costa Rica. A quantitative field survey and analysis of the Virilla watershed. London, International Institute for Environment and Development. 76 p.
- Murgueitio, E; Ibrahim, M. 2001. Agroforestería pecuaria para la reconversión de la ganadería en Latinoamérica. *Livestock Research for Rural Development*. Consultado 10 set. 2011. Disponible en <http://ftp.sunet.se/wmirror/www.cipav.org.co/lrrd/lrrd13/3/murg133.htm>
- Murgueitio, E; Ibrahim, M; Ramírez, E; Zapata, A; Mejía, C; Casasola, F. 2003. Uso de la tierra en fincas ganaderas. Guía para el pago de servicios ambientales en el proyecto “Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas” CIPAV. Cali, CO. 97 p.
- Murgueitio, E; Cuellar, P; Ibrahim, M; Gobbi, J; Cuartas, C; Naranjo, J; Zapata, A; Mejía, C; Zuluaga, A; Casasola, F. 2006. Adopción de Sistemas Agroforestales Pecuarios Adoption of Agroforestry Systems for Animal Production. *Pastos y Forrajes* 29(4):365.
- Murgueitio, E; Ibrahim, M. 2008. Ganadería y Medio Ambiente en América Latina. In Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, JF. eds. *Ganadería del futuro investigación para el desarrollo*. Cali, CO, Fundación CIPAV. p 21-39.
- Murgueitio, E; Calle, Z; Uribe, F; Calle, A; Solorio, B. 2010. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management* XXX:1- 10.
- Nair, PKR. 1993. An introduction to agroforestry. Publishers, KA. The Netherlands 541 p.
- Pagiola, S; Bishop, J; Landell-Mills, N; ebrary, I. 2002. Selling forest environmental services: market-based mechanisms for conservation and development. s.l, Earthscan Publications. 299 p.
- Pagiola, S; Agostini, P; Gobbi, J; de Haan, C; Ibrahim, M; Murgueitio, E; Ramírez, E; Rosales, M; Ruíz, JP. 2004. Paying for biodiversity conservation services in agricultural landscapes. Washington, US, World Bank. 40 p.
- Pagiola, S; Arcenas, A; Platais, G. 2005. Can Payments for Environmental Services Help Reduce Poverty? An Exploration of the Issues and the Evidence to Date from Latin America. *World Development* 33(2):237-253.

- Pagiola, S; Rios, A; Arcenas, A. 2007. Poor household participation in payments for environmental services: Lessons from the Silvopastoral Project in Quindío, Colombia. *Environmental and Resource Economics*:1-24.
- Pagiola, S. 2008. Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics* 65(4):712-724.
- Pagiola, S; Rios, A; Arcenas, A. 2010. Poor Household Participation in Payments for Environmental Services: Lessons from the Silvopastoral Project in Quindío, Colombia. *Environmental and Resource Economics* 47(3):371-394.
- Pattanayak, S; Evan Mercer, D; Sills, E; Yang, J-C. 2003. Taking stock of agroforestry adoption studies. *Agroforestry Systems* 57(3):173-186.
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. *Sistemas silvopastoriles*. ed. Turrialba (Costa Rica). *Materiales de Enseñanza (CATIE)*. 44 p.
- Pfaff, A; Robalino, JA; Sanchez-Azofeifa, GA. 2008. Payments for environmental services: empirical analysis for Costa Rica. Durham, US, Terry Sanford Institute of Public Policy, Duke University. 27 p.
- Quétier, F; Tapella, E; Conti, G; Cáceres, D; Díaz, S. 2007. Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta ecológica número especial* 84-85 17-26.
- Rapidel, B; DeClerck, FAJ; Coq, J FL; Beer, J. 2011. Introduction. *In* Rapidel, B; DeClerck, FAJ; Coq, J-FL; Beer, J. eds. *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment*. Washington, Earthscan. 414 p.
- Ríos, N; Cárdenas, AY; Andrade, HJ; Ibrahim, M; Jiménez, F; Sancho, F; Ramírez, E; Reyes, B; Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 45:66-71.
- Robalino, J; Pfaff, A; Sánchez-Azofeifa, GA; Alpizar, F; León, C; Rodríguez, CM. 2008. Deforestation Impacts of Environmental Services Payments: Costa Rica's PSA Program 2000–2005. *S.I. Environment for Development*. 19 p.
- Rogers, EM. 1995. *Diffusion of innovations*. 4 ed. New York, US, Free Pr. 525 p.
- Rosenbaum, PR; Rubin, DB. 1983. The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika* 70(1):41.
- Ruíz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás. Turrialba, CATIE. 111p.
- Ruiz, JP; Murgueitio, E; Ibrahim, M; Zuluagga, AF. 2011. Proyecto regional enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas (2002 - 2008). *In* Chará, J; Murgueitio, E; Zuluaga, AF; Giraldo, C. eds. *Ganadería Colombiana Sostenible*. Cali, Fundación CIPAV. 158 p.
- Sáenz, J. 2005. Informe final del índice de Pago por servicio ambientales IBSA para los tres países. Informe interno para el proyecto. Heredia, CR, Proyecto GEF Enfoques silvopastoriles integrados para el manejo de ecosistemas. 23 p.
- Segura, M; Kanninen, M; Suárez, D. 2006. Allometric models for estimating aboveground biomass of shade trees and coffee bushes grown together. *Agroforestry Systems* 68(2):143-150.
- Sierra, CA; del Valle, JI; Orrego, SA; Moreno, FH; Harmon, ME; Zapata, M; Colorado, GJ; Herrera, MA; Lara, W; Restrepo, DE; Berrouet, LM; Loaiza, LM; Benjumea, JF. 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porce region, Colombia. *Forest Ecology and Management* 243(2–3):299-309.

- Smith, JA; Todd, PE. 2005. Does matching overcome LaLonde's critique of nonexperimental estimators? *Journal of econometrics* 125(1-2):305-353.
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Casasola, F; Sepúlveda, C. 2011. Ecological Indexing as a Tool for the Payment for Ecosystem Services in Agricultural Landscapes: The experiences of the GEF - Silvopastoral Project in Costa Rica, Nicaragua y Colombia. *In* Rapidel, B; DeClerck, FAJ; Coq, J-FL; Beer, J. eds. *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment*. Washington, Earhscan. 414 p.
- Wallace, KJ. 2007. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation* 139(3-4):235-246.
- Wunder, S. 2005. Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales. Jakarta, I, Centro Internacional de Investigación Forestal (CIFOR). Occasional Paper No. 42(s). 32 p.
- Wunder, S. 2007. The efficiency of payments for environmental services in tropical conservation. *Conservation Biology* 21(1):48-58.
- Wunder, S; Wertz-Kanounnikoff, S; Moreno Sánchez, R. 2007. Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. *Gaceta Ecológica* (84):39-52.
- Wunder, S. 2008. Necessary Conditions for Ecosystem Service Payments . Paper presented to the conference Economics and Conservation in the Tropics: A Strategic Dialogue. San Francisco, US, Moore Foundation/ CSF/ RFF. 11 p.
- Wunder, S; Engel, S; Pagiola, S. 2008. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics* 65(4):834-852.
- Zamora López, S; Suatunce, P; Somarriba, E; Harvey, C; Finegan, B; Suatunce C, J. 2006. Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura, composición, conectividad y el stock de carbono presente en el paisaje ganadero de Esparza, Costa Rica. Thesis, Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 245 p.
- Zapata, A; Murgueitio, E; Mejía, C; Zuluaga, A; Ibrahim, M. 2007. Efecto del pago por servicios ambientales en la adopción de sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos de la cuenca media del río La Vieja, Colombia. *Revista Agroforestería de las Américas* (45):86-92.
- Zapata, A; Mejía, CE; Murgueitio, E; Zuluaga, AF. 2008. Pagos por servicios ambientales en agroecosistemas ganaderos en el Proyecto Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas en Colombia. *Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo*:89-109.
- Zapata, M; Colorado, G; JI, DV. 2003. Ecuaciones de biomasa aérea para bosques intervenidos y secundarios. . *In* Orrego, S; Del Valle, J; Moreno, F. eds. *Medición de la captura de carbono en ecosistemas forestales tropicales de Colombia, contribuciones para la mitigación del cambio climático*. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia-Centro Andino para la Economía del Medio Ambiente (CAEMA). p 87-120.
- Zbinden, S; Lee, D. 2005. Paying for environmental services: an analysis of participation in Costa Rica's PSA program. *World Development* 33(2):255-272.