



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 26 de mayo de 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Juvenal Ruíz Pérez, con C.C. No. 75.068.562,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Diseño de un modelo de optimización para promover cambios de uso del suelo en ecosistemas estratégicos. Estudio de caso: Cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, Neiva, Huila.

_____ presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de Magister en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos

_____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Diseño de un modelo de optimización para promover cambios de uso del suelo en ecosistemas estratégicos. Estudio de caso: cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, Neiva, Huila.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ruíz Pérez	Juvenal

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Agudelo Perdomo	Camilo Augusto

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Izquierdo Bautista	Jaime
Amézquita Parra	Carlos Eduardo

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos.

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 162

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas X Fotografías___ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general X Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas X Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros X

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Ecosistemas estratégicos	Strategic ecosystems	6. Análisis multicriterio	Multicriteria analysis
2. Cuenca río Las Ceibas	Las Ceibas river basin	7. Producción de sedimentos	Sediment production
3. Sistemas productivos	Productive systems	8. Captura de carbono	Carbon capture
4. Tipologías campesinas	Peasant typologies	9. _____	_____
5. Modelo de optimización	Optimization model	10. _____	_____

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente estudio consistió en realizar la tipificación y caracterización de los sistemas productivos de la cuenca, el diseño de nuevas alternativas de uso y manejo del suelo, la cuantificación de impactos sociales, económicos ambientales de los sistemas productivos actuales y propuestos, la modelación y análisis ex – ante de posibles escenarios de cambios en el uso del suelo, así como la selección para cada una de las tipologías de productores del escenario objetivo de uso del suelo resultado del análisis de intercambio entre criterios de política relacionados con el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico, la captura de carbono y el ingreso de las familias.

Como resultado de la modelación, se describen para cada tipología de sistemas de producción los escenarios objetivo caracterizados fundamentalmente por la priorizaron de alternativas como sistemas agroforestales de café y frijol, con lo cual se lograría mejorar significativamente los indicadores socioeconómicos y ambientales, permitiendo disminuir el área productiva actual con la consecuente posibilidad de liberación de áreas para la conservación y menor presión de la deforestación, la cual dependerá de políticas claras que la promuevan, como por ejemplo, incentivos tributarios o esquemas de pagos por servicios ambientales.



DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO

CÓDIGO

AP-BIB-FO-07

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

3 de 3

El modelo de optimización propuesto es un instrumento de política con alto potencial para apoyar la toma de decisiones a profesionales al momento de requerirse cambios de uso y manejo del suelo para garantizar la conservación de ecosistemas estratégicos como la cuenca del río Las Ceibas.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The present study consisted in the characterization and typification of the production systems of the basin, the design of new alternatives for land use and management, the quantification of social and economic impacts of current and proposed production systems, modeling and analysis Ex – ante of possible scenarios of changes in land use, as well as the selection for each one of the typologies of producers of the objective scenario of land use resulting from the analysis of exchange between policy criteria related to the improvement of the quality of water resource, carbon capture and income of families.

As a result of the modeling, we describe for each typology of production systems the objective scenarios characterized mainly by the prioritization of alternatives such as agroforestry systems of coffee and beans, which would lead to a significant improvement of socioeconomic and environmental indicators, allowing to reduce the area Current production with the consequent possibility of liberation of areas for conservation, and less deforestation pressure, which will depend on clear policies that promote such as tax incentives or schemes for payments for environmental services.

The proposed optimization model is a policy instrument with high potential to support decision making for professionals when changes in land use and management are required to guarantee the conservation of strategic ecosystems such as the Las Ceibas river basin.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:

Nombre Jurado: Carlos Eduardo Amézquita Parra

Firma:

Nombre Jurado: Jaime Izquierdo Bautista

Firma:

DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA PROMOVER CAMBIOS DE
USO DEL SUELO EN ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS. ESTUDIO DE CASO:
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAS CEIBAS, NEIVA, HUILA.

JUVENAL RUIZ PEREZ

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

NEIVA – HUILA

2017

DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA PROMOVER CAMBIOS DE
USO DEL SUELO EN ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS. ESTUDIO DE CASO:
CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO LAS CEIBAS, NEIVA, HUILA.

JUVENAL RUIZ PEREZ

Trabajo de grado presentado como
requisito parcial para optar al título
de Magister en Ecología y Gestión
de Ecosistemas Estratégicos.

Director: Msc Camilo Augusto Agudelo Perdomo

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y GESTIÓN DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

NEIVA – HUILA

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN



Carlos Eduardo Amézquita Parra

JURADO



Jaime Izquierdo Bautista

JURADO



Camilo Augusto Agudelo Perdomo

DIRECTOR

Neiva, 26 mayo de 2017

DEDICATORIA

A mi madre q.e.p.d.,
su presencia en mi vida es indeleble.

A mi padre,
ejemplo permanente de responsabilidad, coherencia,
trabajo, integridad y amor hacia su familia.

A Gloria Cuartas,
su absoluta entrega a nuestra familia ha sido imprescindible.

A Mauricio y Marcelo,
el pasado, presente y futuro nos mantendrá unidos.

A Marzya, mi amada esposa;
su apoyo incondicional y motivación permanente son fundamentales.

A Gabriela, mi hija;
por quien seguiré asumiendo retos.

A Lya, mi tía,
delegada de mi madre en esta dimensión.

AGRADECIMIENTOS

A la USCO, por generar la posibilidad de formación de profesionales idóneos que contribuyan a la conservación de la cuenca alta del río Magdalena, ecosistema estratégico de Colombia.

A la CAM, por brindarme la posibilidad de crecer profesional y personalmente, y priorizar la conservación de los ecosistemas estratégicos del Huila.

A Camilo Agudelo, por la invitación a conocer los modelos de optimización como una herramienta práctica en la identificación de medidas para la conservación de los ecosistemas estratégicos y por su orientación oportuna en el desarrollo de la presente investigación.

A Alfredo Olaya, por su compromiso con la Maestría en Ecología y Gestión de Ecosistemas Estratégicos, su perseverancia y sensibilidad como docente.

A Jaime Izquierdo, por su motivación, confianza brindada, apoyo cuando fue solicitado y respeto hacia el presente estudio.

A Carlos Eduardo Amézquita, por su confianza depositada, enseñanzas compartidas con visión holística y compromiso en la protección de la naturaleza y del río Las Ceibas.

A Armando Torrente, por la invitación constante a realizar una investigación pertinente en torno a la protección de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas.

A Constanza Díaz Ramírez y Elena Sánchez Vera, su apoyo y orientación con las fuentes bibliográficas fueron imprescindibles.

A Carlos Alberto Cuellar, Director General de la CAM, por la amabilidad, apoyo y oportunidad brindada en la implementación del POMCA del río Las Ceibas, lugar de la investigación.

A Javier Cardoso, Coordinador del Proyecto cuenca del río Las Ceibas, por el apoyo proporcionado en el desarrollo de la investigación.

A Andrea Conde, por su paciencia y aportes con el Sistema de Información Geográfica.

A Loreni Cárdenas, por su amistad y aportes con el análisis de los sistemas productivos pecuarios.

A Teófilo Avellaneda, el parcero, por su amistad y motivación permanentes en el desarrollo de la investigación.

A María Lucia Cleves, por su compañerismo y motivación en la investigación.

A David Zuluaga, por sus aportes en el diseño de las alternativas productivas con silvopastoreo.

A Alix Manosalva, por su comprensión en el transcurso de la investigación.

A Andrés Ibarra; pues los impulsos en la recta final son indispensables.

A Micha Weidemann, por la revisión del resumen traducido al inglés.

Al talento humano del Proyecto Ceibas, por su compañerismo, aportes y momentos compartidos.

A los campesinos de la cuenca del río Las Ceibas, gracias por sus aportes, afecto y confianza ofrecida.

Al Huila, por acogerme en sus paisajes de contrastes, su encantador folklor, gente fraternal, donde he alcanzado logros personales y disfrutado de 11 “rodaditas”.

Y a la vida, muchas gracias. Seguiré esforzándome para continuar aportando un granito de arena por un mundo mejor, desde el Huila, y ser el esposo y padre que demanda mi hogar.

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	18
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	19
JUSTIFICACIÓN	21
1. OBJETIVOS	22
1.1 GENERAL	22
1.2 ESPECÍFICOS	22
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
2.1.1 Localización	23
2.1.2 Hidrografía	23
2.1.3 Geología	24
2.1.4 Geomorfología	24
2.1.5 Suelos	25
2.1.6 Clima	26
2.1.7 Cobertura y usos del suelo	26
2.1.8 Condiciones socioeconómicas	27
2.1.9 Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca (POMCA) del río Las Ceibas	31
2.2 DEGRADACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS	32
2.2.1 Erosión	32
2.2.2 Manejo y conservación de suelos	43
2.3 FIJACIÓN DE CARBONO	46
2.3.1 El rol de los bosques en el ciclo del carbono	48
2.4 ORDENAMIENTO TERRITORIAL	54
2.4.1 Ordenamiento de cuencas hidrográficas	55
2.4.2 Cambios y usos del suelo	56
2.4.3 Reconversión de sistemas productivos	57
2.5 ECONOMÍA CAMPESINA Y MEDIO AMBIENTE	58
2.6 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN	61
2.6.1 Sistemas productivos en la cuenca del río Las Ceibas	62
2.7 ANÁLISIS MULTICRITERIO	63
2.7.1 Modelos matemáticos de optimización	65
2.7.2 Modelos de optimización en el manejo de los recursos naturales	67
3. METODOLOGÍA	71
3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	71
3.2 PRIORIZACIÓN O DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	71
3.3 TIPOLOGÍAS DE PRODUCTORES	73
3.4 ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS	75
3.5 ANÁLISIS MULTICRITERIO	75
3.5.1 Usos del suelo por tipología	77

3.5.2 Información de las actividades productivas	77
3.5.3 Variables ambientales	78
3.5.4 Funcionamiento del modelo de optimización	81
3.5.5 Interpretación de los resultados	84
4. RESULTADO	87
4.1 ANÁLISIS DEL ESCENARIO ACTUAL DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS	87
4.1.1 Potrerización, transitorios, café. PrFrCc.	89
4.1.2 Ganadería, transitorios, café y pan coger. GnFrCc	91
4.1.3 Potrerización menor a 50 ha. Pr < 50 ha	95
4.1.4 Potrerización mayor a 50 ha. Pr > 50 ha	96
4.1.5 Cacao, potrerización y transitorios. CaPrFr.	96
4.2 ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS PROPUESTAS	98
4.2.1 Frijol arbustivo en agroforestal (800 árboles) con y sin vetiver	98
4.2.2 Café agroforestal con y sin barreras vivas	100
4.2.3 Ganadería doble propósito sostenible con silvopastoreo	102
4.2.4 Restauración pasiva	104
4.3 ANÁLISIS DE ESCENARIOS	105
4.3.1 Análisis de escenarios en la Tipología Potrerización, transitorios y café. PrFrCc	105
4.3.2 Análisis de escenarios en la Tipología Ganadería, transitorios y café. GnFrCc	115
5. DISCUSIÓN	127
5.1 ESCENARIO OBJETIVO EN LA TIPOLOGÍA PrFrCc	127
5.2 ESCENARIO OBJETIVO EN LA TIPOLOGÍA GnFrCc	129
6. CONCLUSIONES	131
7. RECOMENDACIONES	133
BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	145

ANEXOS

	pág
Anexo A. Tabla usos del suelo por tipología.	145
Anexo B. Información de actividades productivas.	146
Anexo C. Estructura de matriz multicriterio para correr modelo de optimización en solver de Excel.	147
Anexo D. Estructura productiva del modelo de optimización. Ejemplo: Escenario óptimo tendencial de la Tipología productiva: Potrerización, transitorios y café.	150
Anexo E. Estructura de Indicadores económicos y ambientales del modelo de optimización. Ejemplo: Escenario óptimo tendencial de la Tipología productiva: Potrerización, transitorios y café.	150
Anexo F. Costos de producción de frijol arbustivo en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas.	151
Anexo G. Costos de producción de muy pequeño productor de café en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas.	152
Anexo H. Costos de producción de frijol arbustivo en partija en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas.	153
Anexo I. Costos de producción ganadera doble propósito y potrerización en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas.	154
Anexo J. Costos de producción de pequeño productor de café en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas.	155
Anexo K. Costos de mantenimiento de plantaciones de cacao.	156
Anexo L. Costos de producción de alternativa productiva sostenible de frijol arbustivo con y sin barreras vivas.	157
Anexo M. Costos de producción de alternativa productiva sostenible de café agroforestal con y sin barreras vivas.	158
Anexo N. Costos de establecimiento de cercas vivas y banco de proteína para una unidad ganadera sostenible.	159
Anexo Ñ. Costos de aislamiento para restauración pasiva.	162

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Las Ceibas.	27
Tabla 2. Resultados de cuantificación de erosión con simulador de lluvia, 2007.	41
Tabla 3. Resultados de cuantificación de erosión con simulador de lluvia, 2009.	41
Tabla 4. Depósitos superficiales de C en bosques tropicales.	48
Tabla 5. Depósitos de carbono en suelos tropicales.	49
Tabla 6. Carbono superficial en forestería y agroforestería en Centroamérica.	49
Tabla 7. Costos de la conservación y secuestro de Carbono.	50
Tabla 8. Resumen de las opciones para el manejo de Carbono.	51
Tabla 9. Rangos de calificación de producción de sedimentos.	79
Tabla 10. Índice de producción de sedimentos por las actividades productivas existentes y propuestas en la microcuenca San Bartolo.	79
Tabla 11. Rangos de calificación de captura de carbono.	80
Tabla 12. Índice de captura de carbono por las actividades productivas existentes y propuestas en la microcuenca San Bartolo.	80
Tabla 13. Escenarios analizados con el modelo.	82
Tabla 14. Estructura del modelo productivo o Área que recomienda el modelo establecer de acuerdo a los escenarios analizados.	84
Tabla 15. Resultado de informe de sensibilidad o “precio sombra” de las variables evaluadas.	86
Tabla 16. Tipologías de productores más representativos en la microcuenca San Bartolo.	88
Tabla 17. Parámetros productivos de la ganadería doble propósito en la cuenca del río Las Ceibas.	93
Tabla 18. Composición del agroforestal de café.	101
Tabla 19. Composición del sistema silvopastoril en cercas vivas más banco de proteína.	103
Tabla 20. Indicadores del escenario óptimo tendencial de la Tipología PrFrCc.	109
Tabla 21. Actividades productivas de los escenarios simulados: Actual, óptimo tendencial y maximizando ingresos en la tipología PrFrCc.	111
Tabla 22. Escenarios corridos de acuerdo a ingresos esperados en la Tipología PrFrCc.	111
Tabla 23. Actividades productivas de los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología PrFrCc.	113
Tabla 24. Actividades productivas de los escenarios simulados	115

	maximizando la captura de carbono en la tipología PrFrCc.	
Tabla 25.	Indicadores del escenario óptimo tendencial de la Tipología GnFrCc.	119
Tabla 26.	Actividades productivas de los escenarios simulados: Actual, óptimo y maximizando ingresos en la Tipología GnFrCc.	121
Tabla 27.	Escenarios corridos de acuerdo a ingresos esperados en la Tipología GnFrCc.	122
Tabla 28.	Actividades productivas de los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología GnFrCc.	124
Tabla 29.	Actividades productivas de los escenarios simulados maximizando la captura de carbono en la tipología GnFrCc.	126
Tabla 30.	Diferencias entre indicadores del Escenario Actual y el Objetivo en la Tipología PrFrCc.	128
Tabla 31.	Tabla 31. Diferencias entre indicadores del Escenario Actual y el Objetivo en la Tipología GnFrCc	129

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Las Ceibas.	23
Figura 2. Mapa de Unidades de Respuesta Hidrológica - URH de la cuenca del río Las Ceibas.	42
Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca de la quebrada San Bartolo en la cuenca río Las Ceibas, municipio de Neiva, departamento del Huila, Colombia.	71
Figura 4. Mapa de Unidades de Respuesta Hidrológica URH del río Las Ceibas.	72
Figura 5. Mapa de zonificación ambiental de la microcuenca San Bartolo.	73
Figura 6. Mapa de cobertura y uso del suelo de la microcuenca San Bartolo.	74
Figura 7. Mapa de Sistemas productivos presentes en la microcuenca San Bartolo.	88
Figura 8. Distribución porcentual de áreas por actividades productivas en el escenario actual de la tipología PrFrCc.	89
Figura 9. Distribución porcentual de áreas por actividades productivas en el escenario actual de la tipología GnFrCc.	92
Figura 10. Distribución espacial de arreglo productivo sostenible de fríjol arbustivo con barreras vivas de vetiver y abono verde forestal cada 6 m.	100
Figura 11. Distribución espacial de arreglo productivo sostenible de café agroforestal con barreras vivas de vetiver.	102
Figura 12. Distribución espacial de arreglo silvopastoril en cercas vivas.	104
Figura 13. Distribución espacial de banco de proteína.	104
Figura 14. Mano de obra disponible por trimestre en el Escenario actual de la Tipología PrFrCc.	106
Figura 15. Distribución porcentual de ingreso neto por actividad productiva en el Escenario Actual de la Tipología PrFrCc.	107
Figura 16. Ingresos por semestre de las actividades productivas en el Escenario Actual de la Tipología PrFrCc.	108
Figura 17. Comportamiento de ingresos y variables ambientales frente a los escenarios simulados maximizando ingresos en la Tipología PrFrCc.	110
Figura 18. Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología PrFrCc.	112
Figura 19. Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados maximizando captura de carbono en la Tipología PrFrCc.	114

Figura 20.	Mano de obra disponible por trimestre en el Escenario actual de la Tipología GnFrCc.	116
Figura 21.	Distribución porcentual de ingreso neto por actividad productiva en el Escenario Actual de la Tipología GnFrCc.	117
Figura 22.	Ingresos por semestre de las actividades productivas en el Escenario Actual de la Tipología GnFrCc.	118
Figura 23.	Comportamiento de ingresos y variables ambientales frente a los escenarios simulados maximizando ingresos en la Tipología GnFrCc.	121
Figura 24.	Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología GnFrCc.	123
Figura 25.	Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados maximizando captura de carbono en la Tipología GnCcFr.	125

RESUMEN

Con la calibración de un modelo de optimización lineal multicriterio adecuado a las características de las tipologías de sistemas de producción campesina de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, se pretende generar una herramienta que facilite la toma de decisiones a las instituciones competentes sobre el uso y manejo sostenible del suelo como parte de la estrategia de protección y conservación de este importante ecosistema estratégico. Su aplicación piloto en la microcuenca San Bartolo de la cuenca del río Las Ceibas, pretende convertirse en un referente para el Plan de Ordenación y Manejo del río Las Ceibas, así como para otras áreas ambientalmente importantes priorizadas por las autoridades ambientales del país.

El presente estudio consistió en realizar la tipificación y caracterización de los sistemas productivos de la cuenca, el diseño de nuevas alternativas de uso y manejo del suelo, la cuantificación de impactos sociales, económicos ambientales de los sistemas productivos actuales y propuestos, la modelación y análisis ex – ante de posibles escenarios de cambios en el uso del suelo, así como la selección para cada una de las tipologías de productores del escenario objetivo de uso del suelo resultado del análisis de intercambio entre criterios de política relacionados con el mejoramiento de la calidad del recurso hídrico, la captura de carbono y el ingreso de las familias.

Las tipologías más representativas de sistemas productivos de la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas, son las denominadas Potrerización, transitorios y café y Ganadería, transitorios y café. Para cada una de estas tipologías se modelaron los siguientes tres escenarios: Maximización de los ingresos con los recursos de tierra, capital y mano de obra disponibles en cada tipología de productor; minimización de la producción de sedimentos; y maximización de la captura de carbono.

Como resultado de la modelación, se describen para cada tipología de sistemas de producción los escenarios objetivo caracterizados fundamentalmente por la priorización de alternativas como sistemas agroforestales de café y frijol, con lo cual se lograría mejorar significativamente los indicadores socioeconómicos y ambientales, permitiendo disminuir el área productiva actual con la consecuente posibilidad de liberación de áreas para la conservación, y menor presión de la deforestación, la cual dependerá de políticas claras que la promuevan, como por ejemplo, incentivos tributarios o esquemas de pagos por servicios ambientales.

El modelo de optimización propuesto es un instrumento de política con alto potencial para apoyar la toma de decisiones a profesionales al momento de

requerirse cambios de uso y manejo del suelo para garantizar la conservación de ecosistemas estratégicos como la cuenca del río Las Ceibas.

Palabras claves: Ecosistemas estratégicos, cuenca río Las Ceibas, sistemas productivos, tipologías campesinas, modelo de optimización, análisis multicriterio, producción de sedimentos, captura de carbono.

SUMMARY

With the calibration of a multi-criteria linear optimization model appropriate to the characteristics of the typologies of peasant production systems in the watershed of the Las Ceibas river, it is intended to generate a tool that facilitates the decision-making to the competent institutions on the use and Sustainable soil management as part of the strategy of protection and conservation of this important strategic ecosystem. Its pilot application in the San Bartolo micro basin of the Las Ceibas river basin aims to become a reference for the Management and Management Plan of the Las Ceibas River, as well as for other environmentally important areas prioritized by the country's environmental authorities.

The present study consisted in the characterization and typification of the production systems of the basin, the design of new alternatives for land use and management, the quantification of social and economic impacts of current and proposed production systems, modeling and analysis Ex – ante of possible scenarios of changes in land use, as well as the selection for each one of the typologies of producers of the objective scenario of land use resulting from the analysis of exchange between policy criteria related to the improvement of the quality of water resource, carbon capture and income of families.

The most representative typologies of production systems of the San Bartolo micro basin, the Las Ceibas river basin, are the so-called Potrerization, transients and coffee and livestock, transients and coffee. For each of these typologies the following three scenarios were modeled: Maximization of income with the resources of land, capital and labor available in each type of producer; Minimization of sediment production; And maximizing carbon sequestration.

As a result of the modeling, we describe for each typology of production systems the objective scenarios characterized mainly by the prioritization of alternatives such as agroforestry systems of coffee and beans, which would lead to a significant improvement of socioeconomic and environmental indicators, allowing to reduce the area Current production with the consequent possibility of liberation of areas for conservation, and less deforestation pressure, which will depend on clear policies that promote such as tax incentives or schemes for payments for environmental services.

The proposed optimization model is a policy instrument with high potential to support decision making for professionals when changes in land use and management are required to guarantee the conservation of strategic ecosystems such as the Las Ceibas river basin.

Key words: Strategic ecosystems, Las Ceibas river basin, productive systems, peasant typologies, optimization model, multicriteria analysis, sediment production, carbon capture.

INTRODUCCIÓN

La existencia de una herramienta práctica que de soporte al ordenamiento del territorio enfocado a promover el cambio de uso y manejo inadecuado del suelo basada no solo en indicadores financieros, sino también ambientales y sociales, fortalecería la gestión territorial encaminadas a la conservación de los ecosistemas estratégicos, ya que estos demandan un análisis integral de las lógicas productivas que varían de acuerdo a la disponibilidad de recursos físicos, financieros, naturales y sociales; por esta razón, las decisiones que promuevan la reconversión de sistemas productivos hacia un manejo sostenible deben ser diferenciales de acuerdo a los tipos de agricultores presentes en determinada zona, considerando a la vez, las externalidades ambientales.

El presente estudio consistió en diseñar un modelo de optimización en la cuenca del río Las Ceibas, para contribuir a la reconversión de los cambios de uso y manejo del suelo de manera metódica y eficiente. Los pasos cumplidos fueron: validación de la estructura técnica, económica, social y ambiental de los tipos de sistemas productivos más representativos en la microcuenca San Bartolo; diseño de alternativas productivas sostenibles; diseño y “corrida” de un modelo de optimización de acuerdo a la estructura funcional de los sistemas productivos mencionados; y análisis de los escenarios de manejo para la reconversión de los sistemas productivos priorizados en la cuenca e identificación de su escenario objetivo, es decir, el que debe proponerse como meta alcanzable donde las externalidades ambientales puedan mitigarse sin poner en riesgo los indicadores socioeconómicos.

Siendo una de las limitantes de los ecosistemas estratégicos la insuficiencia de registros edáficos, climáticos, de biomasa, biodiversidad, entre otros; el presente estudio planteó índices sobre los indicadores ambientales priorizados, erosión y captura de carbono, basado en una minuciosa revisión bibliográfica, como señal que los modelos de optimización pueden aplicarse en zonas priorizadas con escasa información biofísica, sin embargo, sí demanda un conocimiento detallado de las condiciones socioeconómicas de los sistemas productivos y estructura de costos.

La cuenca del río Las Ceibas ahora cuenta con una herramienta que fortalecerá la gestión territorial y las decisiones de política frente a los cambios de usos del suelo en su parte media y baja como prueba piloto para pretender aplicarla en los planes de manejo de los ecosistemas estratégicos del departamento del Huila.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las actuales propuestas de cambio de uso del suelo se sustentan en aspectos meramente técnicos, pero carecen de un análisis integral frente a la reducción o aumento del impacto ambiental o a la capacidad económica del agricultor o de disponibilidad de mano de obra, es decir, que alternativas viables ambientalmente, pueden no serlo desde lo económico o social, o lo contrario, trade off¹. O simplemente su impacto positivo real no se valora y se dejan de percibir externalidades positivas que bien pudiesen promoverse para ampliar su cobertura o ser objeto de incentivos, como táctica para conservar los ecosistemas estratégicos en general con apropiación por parte de las comunidades campesinas.

La cuenca hidrográfica del río Las Ceibas es un ecosistema estratégico cuya importancia radica en abastecer el acueducto de la ciudad de Neiva, capital del Huila con 400.000 habitantes aproximadamente y a su vez, alberga 450 familias campesinas. La inestabilidad de los terrenos aunados al mal uso del suelo en la parte alta y media de la cuenca como las quemas para la renovación de praderas y/o la siembra de fríjol aumentan la fragilidad de sus laderas, disminuyen la capacidad de regulación hídrica, situación que resulta promoviendo la erosión, los fenómenos de remoción en masa y una escasa cobertura boscosa.

Esta realidad en la cuenca, se traduce en sistemas productivos de baja rentabilidad como ganadería extensiva, café sin o escaso sombrero, labranzas de cacao en las rondas hídricas con bajo rendimiento, de ahí que existiera una alta presión sobre los bosques y recursos naturales en general por las familias campesinas, en su afán de sobrevivir o aumentar sus ingresos.

Por estas razones, en la cuenca del río Las Ceibas desde el año 2008 se adelantan las inversiones previstas por el Plan de Ordenación y Manejo POMCA, que pretende revertir el deterioro de los recursos naturales y la falta de apropiación del territorio con acciones que aumenten la cobertura forestal, mejoren la administración del recurso hídrico, promuevan el adecuado uso y manejo del suelo, disminuyan las situaciones de riesgo y se fortalezcan las organizaciones comunitarias presentes. Dicho POMCA avanza lentamente en el cambio de uso del suelo en la parte media de la cuenca por carecer de un análisis integral, así que el desarrollo de un modelo de optimización podría afianzar su gestión.

Entre las debilidades encontradas en los modelos de optimización se pueden mencionar la falta de difusión como herramienta de apoyo en los análisis complejos o la exigencia de registros inexistentes, puntuales o insuficientes en

¹ Trade off: Trade-off se refiere, generalmente, a perder un tipo de cualidad, pero ganando otro tipo de cualidad (Garland, 2014).

nuestros ecosistemas, por lo tanto, su empleo en ocasiones resulta no ser práctico y funcional.

JUSTIFICACIÓN

Existen dos situaciones generalizadas en los proyectos ambientales que hacen necesaria la investigación a través de costos y beneficios privados y sociales que garantice la viabilidad de las alternativas de producción: una es la falta de continuidad de la gestión ambiental de los proyectos que demandan un aprovechamiento racional de los recursos naturales y dos la falta de estudios detallados e integrales que “generen suficiente información sobre el potencial de las externalidades ambientales y sociales para generar nuevas dinámicas de desarrollo” (Estrada et al, 2007). Por lo tanto, este estudio pretende ofrecer un análisis integral de escenarios posibles frente al panorama de gestión de los ecosistemas estratégicos que se perfila en el Departamento del Huila con sus áreas protegidas y cuencas en ordenación bajo la administración de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM.

La cuenca del río Las Ceibas es un ecosistema estratégico del departamento del Huila por abastecer el acueducto de la ciudad de Neiva que posee el 29% de la población del Departamento del Huila. Sus fuertes pendientes, fragilidad de sus laderas, poca cobertura forestal en la parte media y un uso y manejo inadecuado del suelo, afectan la regulación y la calidad del recurso hídrico cuya demanda aumenta cada año con la expansión del área urbana de Neiva, motivo por el cual se adelanta el Plan de Ordenación y Manejo, POMCA desde 2008 con el fin de contribuir a la regulación hídrica para garantizar su oferta al acueducto de la ciudad de Neiva y disminuir el riesgo de familias en condición de vulnerabilidad que habitan la ronda del río Las Ceibas, tanto en la parte urbana como en la rural.

En el marco de la actualización del POMCA del río Las Ceibas la continuidad de la conversión de usos del suelo será fortalecida con base en la evaluación ex ante de alternativas productivas con énfasis en la conservación de servicios ambientales de ahí que este estudio ofrecerá insumos orientadores frente a estrategias que promuevan el cambio de uso del suelo y contemplen los incentivos a la conservación del recurso hídrico y captura de carbono en un futuro inmediato que bien pudiese aplicarse en los demás ecosistemas estratégicos identificados en el Departamento del Huila.

Por lo tanto, contar con una herramienta de análisis multicriterio funcional de manejo institucional que oriente la toma de decisiones al momento de conservar los ecosistemas estratégicos del Huila con énfasis en el abastecimiento de agua para el consumo, así se cuenten con escasos registros biofísicos, es de gran importancia porque se adelantaría un proceso metódico, gradual y decisivo hacia el manejo y uso adecuado del suelo en áreas prioritarias.

1. OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Diseñar instrumentos de política para la promoción de la reconversión de usos del suelo a partir de la evaluación de variables ambientales, económicas y sociales de tipologías campesinas en la cuenca del río Las Ceibas, ecosistema estratégico del Huila.

1.2 ESPECÍFICOS

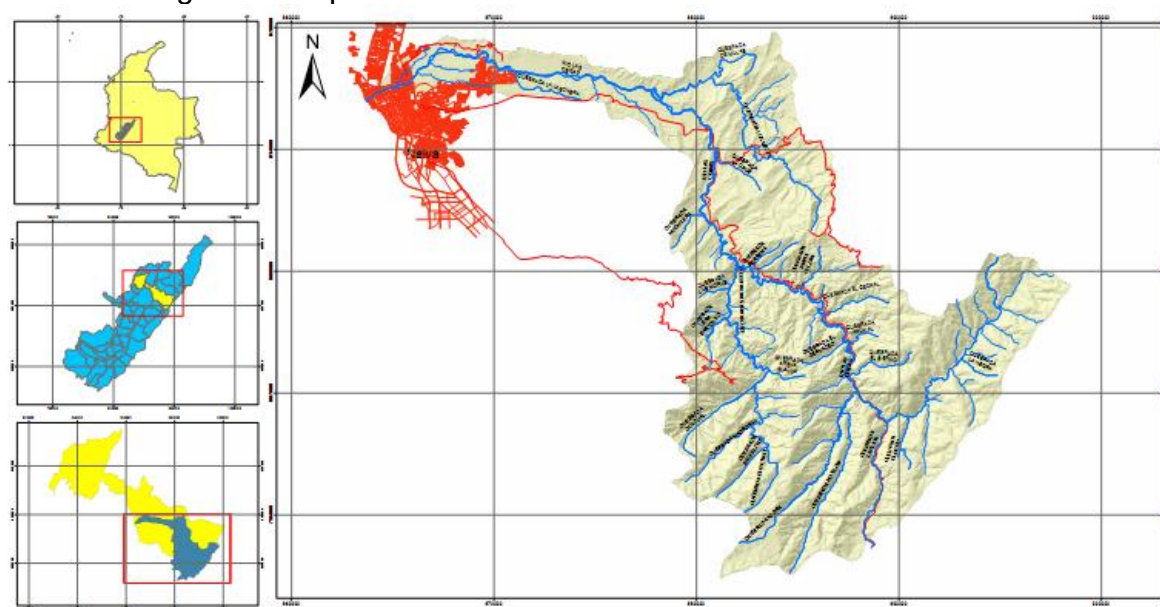
-  Caracterizar la estructura técnica, económica, social y ambiental de los tipos de sistemas productivos más representativos de la cuenca del río Las Ceibas.
-  Diseñar el modelo de optimización para la cuenca de acuerdo a la estructura funcional de los sistemas productivos priorizados.
-  Analizar los escenarios de manejo para la reconversión de los sistemas productivos priorizados para la cuenca.
-  Proponer estrategias de cambio de uso del suelo en el marco de los resultados que arroja el empleo del análisis multicriterio.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1.1 Localización. La cuenca hidrográfica del Río Las Ceibas, se localiza en el costado oriental de la ciudad de Neiva, departamento del Huila, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, delimitada por accidentes geográficos muy definidos, que van desde las altas montañas que dividen al municipio con el departamento del Caquetá hasta la desembocadura en las aguas del río Magdalena, en un área aproximada de 31.128 ha, representando el 18.3 % del municipio de Neiva (CAM, 2006).

Figura 1. Mapa de ubicación de la cuenca del río Las Ceibas.



Fuente: Proyecto cuenca río Las Ceibas, CAM.

El río Las Ceibas, se constituye en la principal fuente hídrica de la ciudad de Neiva, de ella se abastece el acueducto municipal; su cauce principal nace en el cerro Santa Rosalía y desemboca en el río Magdalena después de un recorrido de 63 Km. La cuenca alcanza una altura máxima de 3150 msnm en los ecosistemas estratégicos Santa Rosalía (costado nororiental de la cuenca) y La Siberia y la cota más baja está a una altura de 430 msnm que coincide con la zona urbana de la ciudad de Neiva (Ibid).

2.1.2 Hidrografía. La cuenca del río Las Ceibas está compuesta por 7 microcuencas a saber: La Plata, Motilón, San Bartolo, Los Micos y Ceibas, parte

alta, media y baja. De ellas, San Bartolo, corresponde al 18,5% del área de toda la cuenca y aporta 31,9% del caudal, constituyéndose en una de las que mayor influencia ejerce sobre el comportamiento final del río Las Ceibas cuyo caudal promedio es 4,7 m³/seg (IDEAM, 2012).

2.1.3 Geología. Desde el punto de vista regional, el área de la cuenca del río Las Ceibas corresponde a tres bloques principales; el valle de Magdalena dominado por rocas sedimentarias suave a moderadamente plegadas, el flanco bajo de la Cordillera Oriental dominado por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas moderada a fuertemente plegadas en el Sinclinal de San Antonio y la zona alta caracterizada por rocas ígneo-metamórficas altamente fracturadas del Macizo de Garzón, terreno levantado tectónicamente desde finales del Terciario por un sistema de fallas geológicas activas (UNAL, 2006).

2.1.4 Geomorfología. La dinámica del río Las Ceibas se relaciona íntimamente con la génesis de la cuenca y la evolución reciente de la cuenca desde el levantamiento de la cordillera Oriental hasta la intervención reciente del hombre sobre sus suelos y vertientes. Al identificarse los principales rasgos morfológicos y los factores principales en la evolución de la cuenca del río Las Ceibas, se señalan cuatro unidades principales en la evolución de la cuenca, cada una con su dinámica particular, 1) Piedemonte Oriental Desechado, 2) Laderas Sedimentarias Plegadas, 3) Las Cuchillas Ígnea-metamórficas Erosionados y 4) Altiplanicie Disectada. Estas grandes unidades, con sus subunidades importantes responden tanto al control litológico de la región como la evolución a través de del tiempo de los procesos de levantamiento progresivo de la cordillera Oriental y la sucesiva profundización del sistema fluvial y la cuenca en general (Ibid).

Las cuchillas ígneo metamórficas erosionadas presentan perfiles de alteración en la roca granítica cada vez más profundos hasta alcanzar más de 9 metros en las zonas medias y altas de la cuenca de Las Ceibas. Este nivel de meteorización también llamado saprolita es especialmente extenso y de profundidad desconocida en la topografía ondulada en las zonas más altas de la cuenca, un indicio que el proceso de disección es de tipo remontante. En cambio, las vertientes y cañones bien entallados se caracterizan por niveles más reducidos de meteorización, del orden de 2 a 4 metros, hecho que reduce las condiciones de permeabilidad e infiltración (Ibid).

Dado este paisaje de cordilleras jóvenes disectadas por ríos encañonados, se destacan las múltiples amenazas de tipo ambiental, pero en especial los eventos torrenciales y de inundaciones, que históricamente han afectado la cuenca de las Ceibas en diferentes aspectos, tanto físicos como sociales. Este proceso de deterioro propio de la cuenca, se ha acentuado por las actividades productivas insostenibles allí desarrolladas, como la tala y extracción del bosque natural, la ganadería extensiva en zonas de ladera y la siembra de cultivos limpios en suelos altamente erosionables, acompañado de quemadas frecuentes (Ibid).

2.1.5 Suelos. Desde el punto de vista de la evolución geomorfológica se pueden clasificar diferentes tipos de suelo, que también representarían una zonificación general según el paisaje: Suelos de formas aluviales (Piedemonte oriental disectado); los cuales están conformados por procesos de inundación del Río Magdalena y el Río Las Ceibas que han creado planicies aluviales y coluviales, entre las cotas 430 a 800 msnm perteneciente al piso térmico cálido, comprendiendo 10,9 % del área de la cuenca caracterizados por una alta permeabilidad y que a su vez facilitan un alta evaporación ocasionando pérdidas considerables de humedad que hacen indispensable la aplicación del riego en los cultivos establecidos en la época de verano. De relieve plano a ligeramente ondulados, pendientes de 3 a 12 %; son suelos formados a partir de materiales sedimentarios; moderadamente profundos y en algunas partes limitados por pedregosidad bien drenados y con fertilidad media. Suelos de colinas y cerros (Laderas sedimentarias plegadas); se encuentran localizados en el piso cálido hacia el templado, comprende aproximadamente el 8,4 % del área de la cuenca, son terrenos de colinas y serranías, de relieve ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes entre 25 y 50 %, estos suelos están formados a partir de materiales sedimentarios arcillosos, caracterizados por presentar un buen drenaje, horizontes bien definidos cuya profundidad varía entre superficiales a moderadamente profundos, de buen drenaje y fertilidad baja a moderada y de gran susceptibilidad a la erosión. Y Suelos de cordillera (Cuchillas metamórficas erosionadas y altiplanicie disectada); suelos ubicados en los pisos térmicos templados a fríos; desarrollados en condiciones húmedas y muy húmedas a partir de rocas metamórficas, ígneas, sedimentarias y del complejo ígneo-metamórfico. En un medio tan variado en condiciones climáticas, geológicas y formas de la tierra en que ocurre, propician el desarrollo de una gama de suelos, desde los ricos en materia orgánica hasta los suelos erosionados, desde suelos arcillosos derivados de granitos y areniscas cuarcíticas, con un porcentaje promedio del 70 % de pendiente. Muy pocos suelos son profundos, tienen agregados estables, textura variable, estructura granular y masivo, resistentes al avance del proceso erosivo; pero, en la mayoría son débilmente estructurados y altamente susceptibles al deterioro. Suman alrededor del 80,7 % del área de la cuenca (CAM, 2006).

En general los suelos de la cuenca pueden ser considerados poco fértiles y susceptibles a procesos erosivos debido al origen geológico, las altas pendientes y la distribución de la lluvia que se presenta en la zona (UNAL, 2006).

2.1.6 Clima. La localización de la cuenca en la vertiente occidental de la Cordillera Oriental configura una exposición particular de la cuenca a los alisios, que la ubican casi permanentemente en sotavento bajo la influencia de la parte seca de un efecto föhn², que se manifiesta en las altas temperaturas, en particular en la parte baja de la cuenca, y precipitaciones relativamente bajas, por lo que los pisos climáticos que se encuentran en la cuenca generalmente pertenecen a la categoría de seco, entre los 430 y 1500 msnm. Esto explica el por qué dentro de la cuenca los acumulados anuales no sobrepasan los 2000 mm, en la parte alta, en comparación con el extremo suroriental de la cuenca donde sobrepasan los 3000 mm (UNAL, 2006).

El cambio climático global que está ocurriendo en la actualidad tiene expresiones regionales que se pondrán de manifiesto en cambio de los patrones climatológicos establecidos, particularmente de temperatura del aire, de precipitación y de frecuencia de eventos extremos. Estos cambios modificarían las condiciones bajo las cuales se llevan a cabo las actividades humanas de diferentes regiones y podrían tener un impacto trascendental en el desarrollo de las mismas. Por ello, se llevó a cabo el análisis de las tendencias de largo plazo en el clima de la cuenca del río Las Ceibas, y se pudo concluir lo siguiente (Ibid):

- La temperatura del aire ha venido cambiando a un ritmo de 0.1-0.2°C por decenio o cerca de 0.5°C en el período de registros (30 años).
- La precipitación mensual ha venido disminuyendo en la cuenca alta y media a razón de 0.9-1.3 mm/decenio o, si se considera los acumulados anuales, en 10-15 mm/decenio. En la parte baja de la cuenca, la tendencia es prácticamente imperceptible.
- En cuanto a los eventos extremos no se encontró tendencia que pudiera ser perceptible en el largo plazo.

2.1.7 Cobertura y usos del suelo. Actualmente la cobertura que predomina son los pastos distribuidos en toda la cuenca pero con mayor área en la parte media donde están los terrenos con mayor pendiente, donde hacen rotación con frijol después de emplear las quemas agrícolas como práctica tradicional para la renovación de praderas. Los bosques se ubican en mayor proporción en las partes altas cerca a las áreas de nacimiento de los principales afluentes del río Las Ceibas, a los cuales se están uniando los rastrojos altos de los predios adquiridos por la Alcaldía para la consolidación de la cobertura boscosa en la parte alta de la cuenca.

² El efecto föhn (o foen, como algunos lo denominan) consiste en que los vientos al encontrar un obstáculo orográfico ascienden con lo que generan condensación del vapor de agua y liberación del calor latente; lo primero produce nubosidad de desarrollo vertical y precipitación a ese lado (barlovento) del sistema orográfico. La circulación continua, pero debido a que la humedad se quedó en el lado de barlovento, al otro lado (sotavento) llega el aire con menor humedad y, por la liberación del calor latente, más cálido.

La Tabla 1, muestra la distribución de coberturas y usos del suelo presentes en la cuenca. Entre los cultivos permanentes principales se encuentran café (361,4 ha) y cacao (151,9 ha), como cultivos que representan ingresos de 233 familias campesina; mientras la caña con 105,2 ha, está presente en toda la cuenca en pequeñas parcelas como un cultivo básico de la seguridad alimentaria de las familias presentes. Cerca al casco urbano de Neiva se siembra arroz como cultivo transitorio durante todo el año. El frijol no aparece por hace parte de la rotación con potreros y se siembra un ciclo en el año.

Tabla 1. Cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Las Ceibas.

Cobertura o Tipo de uso	ha	%
Bosques	6.853,56	22,0
Rastrojos	5.334,02	17,1
Cultivos permanentes	694,20	2,2
Cultivos temporales	177,74	0,6
Pastos	17.241,42	55,4
Zona urbana	516,06	1,7
Afloramientos rocosos.	311	1,0
TOTAL	31.128,00	100

Fuente: CAM, 2006.

2.1.8 Condiciones socioeconómicas.

Historia. Los procesos de poblamiento se generan debido a diversos factores de tipo social, económico y cultural, los cuales se constituyen en una base fundamental para comprender el estado actual de las regiones; en el caso de la Cuenca Hidrográfica del Río Las Ceibas la colonización de la zona se debió básicamente a la búsqueda de las comunidades campesinas de diversa regiones del municipio y de departamentos aledaños a la zona especialmente el Caquetá, de buscar terrenos estratégicos para adquirir recursos forestales de importante comercialización (CAM, 2006).

Las Ceibas en los años 50' era una de las pocas zonas vírgenes que producía en grandes proporciones recursos naturales de gran importancia económica, por esta razón poco a poco fueron llegando pobladores en busca de mejores condiciones de vida para sus familias (Ibid).

El poblamiento de las Ceibas se dio por la zona de Balsillas y lo hicieron unos señores Perdomo para sacar Quina, eso era algo que se utilizaba para exportar en ese entonces, llegaron gente del departamento y de otros; a medida que la quina se fue acabando fueron haciendo fincas en balsillas, en ese entonces se iba por el

Caguán, Chapuro, Motilón, hasta Balsillas, no era por la ruta por la que se va ahora. Al acabarse la quina la gente se dedicó a abrir las fincas y fue así como mis abuelos se quedaron, tumbando montes; en 1895 ya había gente en Balsillas de ahí para acá se empezó a tumbar y abrir la zona, se principio por la parte alta hasta llegar a la parte baja; como entenderá eso nunca hubo una planificación, eso era el que más monte tumbara o la familia que más terrenos tuviera, decía Ilder Vidal (CAM, 2006).

La gente llegó aquí motivada porque en Neiva vendían a muy buen precio los trozos de madera, y en Motilón ocurrió lo mismo, entonces en esa época se presentó mucha deforestación; hay otros factores que incidieron como la guerra en Colombia en esa época de los 50 les quitaron muchas tierras a los campesinos de otras zonas y por eso se vieron obligados a venirse para acá a buscar tierras. Hay que tener en cuenta que ellos se venían para las zonas de reserva y los bosques vírgenes, porque las zonas planas y las mejores tierras las tenían los grandes latifundistas aquí en Colombia, entonces a ellos no les quedaba más remedio que buscar donde sembrar, por eso vemos en esta zona que hay pequeños productores, dijo Omar Quino Joven (Ibid).

La comunidad se fue desarrollando la gente se dedicaba a la agricultura y a la ganadería, sembraba café, arveja, fríjol, maíz en una forma no tecnificada, se utiliza la quema, la rocería, todavía se utilizan, porque parece ser que la ceniza que queda de la quema servía para abono inicialmente y el producto saliera bien pero no se dan cuenta las consecuencias que trae la quema, dijo Augusto Silva Polanía (Ibid).

Hace unos 40 años empezó el auge del café con presencia del Comité de Cafeteros con el fin de mejorar el manejo y productividad del café arábigo que era que predominante en esta época, dijo Omar Quino Joven. Sin embargo, muchos años antes en la parte baja la Federación de cacaoteros, ya hacía presencia y promocionaba la siembra de híbridos bajo sombrero de orejeros y caracolís principalmente (Ibid).

Las actuales generaciones en gran parte provienen de las generaciones que colonizaron la cuenca sin presentarse movilizaciones poblacionales significativas. En pequeñas proporciones los hijos de la segunda generación se desplazaron por causa del conflicto interno, guerrilla y falta de oportunidades, a Neiva, Bogotá, San Vicente del Caguán y Balsillas. Recientemente la migración de la juventud campesina de la región ha aumentado en busca de oportunidades que mejoren sus condiciones económicas y sociales (Corporación Ambiental Cuchiyuyo y Patrimonio Natural, 2010).

El orden público de la cuenca fue delicado por muchos años que dificultaban la presencia de las fuerzas militares en la zona, sin embargo, en los últimos años se está pasando por un período de tranquilidad por los compromisos adquiridos en el

reciente proceso de paz. Allí hicieron presencia el frente guerrillero Angelino Godoy, y más hacia el oriente de la cuenca, la columna móvil Teófilo Forero (Corporación Ambiental Cuchiyuyo y Patrimonio Natural, 2010).

Demografía y familia. En la cuenca hay 410 familias aproximadamente, correspondiente 1435 habitantes distribuidos en 22 veredas. La tipología de las familias es nuclear, la cual está conformada por los padres y los hijos; los hombres se dedican a la agricultura y demás actividades productivas, mientras que las mujeres se disponen al acompañamiento en los trabajos de la finca, las labores domésticas, la preparación de los alimentos y el cuidado de los hijos, cada quien trabaja por la forma de subsistencia en términos de lo que se necesita en los hogares como techo, alimento y vestido. Es común la presencia de un segundo núcleo familiar de parientes de primer grado de consanguinidad por falta de recursos económicos para poderse independizar, así tienen más fuerza de trabajo para la finca (Ibid).

Alimentación. La alimentación de las familias, tanto los niños como los adultos, se basa en el consumo de carbohidratos (panela, arroz, yuca, plátano, maíz, papa, otros tubérculos), y en menor proporción proteínas y minerales (fríjol, arveja, lenteja, huevos, carne). Aunque en algunos casos las deficiencias en términos de calidad y cantidad en la alimentación dependen de factores de pobreza, en la mayoría de las familias se nota la poca valoración frente a la parte nutricional, así visto, a la gente le es indiferente el componente nutricional de su dieta y en esta medida no se aprovechan los recursos alimenticios de la región (Ibid).

Grado de escolaridad y liderazgo. Existen 16 centros docentes activos, de los cuales dos tienen posprimaria, es decir, hasta noveno grado. Las Veredas que presentan mayor grado de Analfabetismo son: Chapuro, Tuquilla, Pueblo Nuevo, Las Nubes, Motilón y Alto Motilón. Por lo general, el máximo grado de escolaridad de los adultos en la cuenca es quinto grado, pero no todos lo tienen. La reciente generación, está terminando su básica secundaria en la Normal Superior de Neiva o en el Colegio Agroindustrial de San Antonio de Anaconia (Ibid). La zona correspondiente a las veredas Palestina, Primavera, Canoas y San Miguel, poseen el mayor grado de escolaridad con mayor cobertura, relacionada con los beneficios y presencia del Comité de Cafeteros, en cuanto a vías, salud y educación. Los sectores de la cuenca donde no hay presencia gremial como el Comité de Cafeteros y Fedecacao, el nivel escolar y organizativo es bajo y los niveles de pobreza más evidentes (Avellaneda, 2010).

La organización con mayor representatividad en la Cuenca es la Junta de Acción Comunal con el 75.5% de habitantes que pertenecen a ella, y el 24.5% no son afiliados. El liderazgo está muy influenciado por el nivel educativo y la presencia gremial, sin embargo, con la implementación del POMCA han surgido nuevos liderazgos y conformadas varias organizaciones como respuesta al reto de

coadyuvar a las instituciones en la recuperación ambiental de su propio territorio (Avellaneda, 2010).

Tenencia y área de los predios. El 70% de los predios en la cuenca son menores a 10 ha, 20% entre 10 y 50 ha, medianos, y 10% latifundios mayores a 50 ha. Para ese entonces en Neiva, la Unidad Agrícola Familiar, UAF, definida como la unidad mínima de producción agropecuaria que genera ingresos por el orden de 30 salarios mínimos mensuales al año, según el Departamento Nacional de Planeación era de 40.5 ha. En su mayoría los predios son habitados por sus propietarios en la parte media y alta de la cuenca, mientras que en la parte baja abundan los mayordomos en el cuidado del ganado y cultivos o simplemente de las viviendas (CAM, 2006).

Infraestructura. La cuenca tiene tres vías de acceso, la principal es Neiva – San Vicente del Caguán, que avanza paralelamente a la derecha del río Las Ceibas desde el Km 12 hasta el Km 40, trayecto en V donde predominan laderas inestables y pendientes, posteriormente en el Km 41 se desvía por la quebrada La Plata antes de llegar a Balsillas. El acceso a la zona cafetera es por la vía Neiva – San Antonio de Anaconia – El Mesón – San Miguel con una longitud de 35 Km y el último acceso es la vía Neiva – El Caguán – El Triunfo – Cerro Neiva, para llegar a las veredas Chapuro y San Bartolo, con 30 Km de longitud (Ibid).

Sistemas productivos. La disciplina de los sistemas productivos como herramienta para diagnosticar el estado de los recursos naturales, las prioridades familiares y el contexto económico, desempeña un acertado aporte con el análisis integral de la producción agropecuaria en el nivel que se requiera: por región, por predio o por agroecosistema. A continuación se describen los sistemas productivos predominantes (Ibid):

- ✓ Cacao con ganadería extensiva y Pan Coger. (Ca/Pn/Pg) Está más concentrado entre los 900 y los 1200 msnm. El sector tiene una alta tradición en el cultivo del cacao y tiende a renovar las áreas de cacao tradicional por tecnificado caracterizado por involucrar material vegetal mejorado (clones), insumos agroquímicos y riego. Asociado al cacao encontramos productos (plátano, yuca y banano).
- ✓ Café, banano y Pan Coger. (Cc/Pl/Pg) Está más relacionado con la zona cafetera óptima para producir café. Hay café con sombrío y sin él. Las producciones por hectárea son del orden de 70@, promedio bajo que redundo en baja rentabilidad.
- ✓ Ganadería, transitorios, café y pan coger. (Pn/Fj/Cc/Pg) Presente en las veredas San Bartolo y Chapuro Su principal actividad es la ganadería (de baja rentabilidad) y la siembra de grandes áreas con “tapao” de frijol

durante el primer semestre del año pero se ayudan económicamente con el café y pancoger.

- ✓ Ganadería extensiva y cultivos transitorios en clima medio y frío. (Pn/Fj/Ar) Está distribuido entre la zona media y alta, donde se cultiva frijol y arveja en el primer semestre del año. Se caracteriza por el desarrollo planeado del rastrojo mínimo durante año y medio, prerequisite de la roza y quema para la siembra de cultivos transitorios y finalizada la cosecha se introduce el ganado a pastoreo. Algunos predios asocian también frutales de clima frío moderado como el lulo, el tomate de árbol y la granadilla (casos puntuales), caracterizados por el uso de agroquímicos con mínimas bases técnicas y de seguridad.

Impacto ambiental de actividades socioeconómicas. El deterioro ambiental de la cuenca del río Las Ceibas obedece no solamente a un manejo inadecuado de los recursos naturales por parte de sus habitantes (visión simplificada) sino también a una compleja red de desaciertos de las instituciones con competencia a lo largo de los últimos 60 años, que a la vez es un reflejo de la situación nacional. Promoción de la colonización de áreas boscosas como prerequisite para la titulación de tierras, el no cumplimiento institucional de la normatividad sobre protección de las áreas de regulación hídrica, especialización de la producción agrícola, introducción de insumos externos como única alternativa de mejorar rendimientos en la producción agropecuaria, falta de ofrecimiento de alternativas de manejo a los campesinos, inversiones inoficiosas, enfoque extractivista sobre la naturaleza, intermitencia de la presencia institucional, intervención institucional individual, la escasa participación de los habitantes en la formulación de las soluciones y la desarticulación de lo urbano y lo rural, entre otras (CAM, 2006).

2.1.9 Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca (POMCA) del río Las Ceibas.

La gran avalancha del 28 de noviembre de 2004, que incomunicó y puso en riesgo las familias de las riberas del río en la parte alta y baja de la cuenca, afectó la infraestructura de captación de agua de las Empresas Públicas de Neiva, y así mismo, el abastecimiento de agua de la ciudad de Neiva por varios días, fue el detonante para que entre las autoridades locales Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena CAM, Gobernación del Huila, Alcaldía de Neiva y Empresas Públicas de Neiva, sumaran esfuerzos y se actuara de manera urgente y articulada en la gestión territorial de la cuenca para mejorar la regulación del agua requerida como circunstancia que garantizaría a futuro la demanda de agua y la disminución de la vulnerabilidad de la población a las crecientes del río Las Ceibas (FAO, 2010).

Revisados los registros hidrometeorológicos del IDEAM (1980-1999), los ciclos de las crecientes se presentan cada vez con más frecuencia haciendo la población más vulnerable que antes, situación que se origina por la inestabilidad de las

laderas, mínima cobertura de bosque, prácticas inadecuadas del suelo y lluvias más intensas como efecto del fenómeno del cambio climático.

Siendo así, se emprendió contando con la voluntad política de las instituciones y el disposición de las comunidades rurales, la tarea de recuperación ambiental de la cuenca respaldados de un marco legal que exigió el cumplimiento de unos pasos que ocho años después los resultados dan cuenta de metas cumplidas y con cierto nivel de avance (Avellaneda, 2014).

La forma como se ha desarrollado el POMCA del río Las Ceibas, desde su formulación hasta su implementación, da cuenta de un modelo de gestión territorial y abre enormes posibilidades para el diseño de políticas públicas integrales a la atención de las poblaciones rurales de nuestro país, particularmente habitantes de las cuencas hidrográficas. Sus impactos se evidencian en la reducción del riesgo, la prevención de emergencias, la reconversión productiva y el fortalecimiento institucional y comunitario (Echeverri, 2013).

Entre las lecciones podemos mencionar el empoderamiento comunitario con las herramientas, procesos y capacidad de negociación necesarias para que se genere un sentido de apropiación del proyecto como garantía de la sostenibilidad de los procesos de desarrollo territorial. 10 grupos asociativos han surgido a partir de los procesos de restauración, proyectos productivos sostenibles y brigadas forestales. La modificación de esquemas de gestión arraigados en el país como la sectorización de la intervención pública no es fácil y llegar a acuerdos de responsabilidades interinstitucionales, no es un logro menor, sumado al control social de las comunidades participando en el Consejo de cuenca. La técnica con carácter social, permitió favorecer los canales de comunicación, recuperación de confianza y empoderamiento comunitario, ya que involucran en el día a día la variable social, la comunidad a la que llegan y los saberes locales (Ibid).

Siendo los resultados muy positivos, la parte media de la cuenca requiere de mecanismos complementarios para continuar aumentando el área de protección y la aplicación de buenas prácticas agrícolas y ganaderas en los sistemas productivos presentes (Avellaneda, 2014).

2.2 DEGRADACIÓN Y CONSERVACIÓN DE LOS SUELOS

2.2.1 Erosión. La degradación del suelo significa el cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva (FAO, 1994). Gran parte de la degradación de los suelos es ocasionada por la erosión que se define como el

desprendimiento y arrastre de las partículas finas (como arenas, limos y arcillas), ligado a factores geológicos, geomorfológicos, antrópicos, hídricos o eólicos. Las partículas son desprendidas y arrastradas por agua de escorrentía. Posteriormente sedimentan en áreas bajas y depresionales, o son conducidas al mar (Nuñez, 2001).

Los estudios de los efectos de la erosión en las primeras civilizaciones han demostrado que la causa principal de la caída de muchos imperios florecientes fue la degradación del suelo (Lowdermilk, 1953, mencionado por Hudson, 1982). Hoy se reconoce casi universalmente que la erosión del suelo constituye una seria amenaza no sólo para el bienestar humano, sino para su propia existencia y esto se demuestra por el hecho que la mayoría de los gobiernos apoyan activamente los programas de conservación del suelo (Hudson, 1982).

Las tierras agrícolas se vuelven gradualmente menos productivas por cuatro razones principales: Degradación de la estructura del suelo; Disminución de la materia orgánica; Pérdida del suelo; y Pérdida de nutrientes. Estas razones son efectos producidos básicamente por el uso y manejo inadecuado del suelo y por la acción de la erosión acelerada (Bertoni y Lombardi Neto, 1985; mencionados por FAO, 1994).

Este proceso se acelera cuando el ecosistema es perturbado por las actividades humanas como la práctica de técnicas agrarias inadecuadas, cambios de uso del suelo, deforestación, etc, los que causan la degradación de los suelos (Almorox, 2010).

Las consecuencias de la erosión son la pérdida de capacidad del suelo para realizar sus funciones y, en último término, su desaparición total o la de algunos de sus horizontes. Indirectamente el fenómeno erosivo puede afectar negativamente a los cursos de agua ya que los nutrientes y agentes contaminantes arrastrados contaminan los ecosistemas fluviales, además de tener otras consecuencias negativas, por ejemplo, para embalses y puertos (Ibid).

Ahora, la erosión vista como un fenómeno geológico natural es causada por acción del agua y del viento, y provoca la pérdida de partículas del suelo. La erosión de los suelos tiene, desde el punto de vista de las Ciencias de la Tierra, un aspecto positivo al llevar a los ríos sedimentos y nutrientes, manteniendo de esta forma el necesario equilibrio sedimentario entre los cauces y las playas, a la vez, que configura y mantiene espacios muy fértiles como son las llanuras aluviales y los deltas. No obstante, ciertas actividades humanas pueden agravar en gran medida la erosión. Las tasas de erosión geológica son sostenibles, pero las tasas de erosión acelerada no permiten su regeneración. Sin embargo, es posible encontrar tasas de erosión altas en espacios con cárcavas y barrancos como son los denominados badlands, y bajas en medios sostenibles antropizados como en laderas cultivadas con terrazas. De la misma manera, mecanismos de erosión,

como pueden ser los desprendimientos, pueden dar como resultado efectos catastróficos (Almorox, 2010).

Los principales factores que contribuyen para que se presenten los procesos erosivos son:

- ✓ La lluvia y sus características hidrodinámicas asociadas: Las características de intensidad, o cantidad en milímetros de lluvia caída por unidad de tiempo, la frecuencia con la que se presenta un evento pluvial en una región particular o duración durante un largo período de registro: 10, 20, 50 o más años, según Luque, 1.981 y Molina, 1.975, mencionados por Núñez, 2001. El tamaño de la gota de la lluvia y la velocidad de caída terminal, al impactar en el suelo, especialmente el que carece de cobertura vegetal, según Hudson, 1973, mencionado por Núñez, 2001.
- ✓ La pendiente de los terrenos: En la medida que se incrementa el ángulo de pendiente, así como la longitud y su conformación fisiográfica, se incrementa la susceptibilidad de las partículas finas del suelo de ser arrastradas por el agua de lluvia, en forma laminar (Núñez, 2001).
- ✓ La ausencia de vegetación en los terrenos. Favorece el impacto directo de las gotas en los suelos, acelerando los procesos erosivos por salpique de agua de lluvia y por escorrentía laminar (Núñez, 2001).
- ✓ La condición textural y su desarrollo estructural: Los suelos en que predominan las partículas finas son más susceptibles a la erosión hídrica por el impacto de gotas de lluvia que los suelos de texturas gruesas. A su vez, el desarrollo estructural del suelo ayuda a evitar los procesos erosivos (Núñez, 2001).
- ✓ El uso de la tierra: Los cultivos que requieren eliminar la cobertura vegetal para un mejor control fitosanitario, favorecen los procesos erosivos (Núñez, 2001).

En erosión hídrica, el parámetro más importante es la lluvia, y su descriptor asociado es la erosividad, a través de tres variables: duración, intensidad y frecuencia de los eventos pluviales. Esto ha permitido que algunos investigadores definan el umbral de intensidad donde la lluvia se considera erosiva. Así, algunos investigadores estiman que todo evento pluvial con intensidad menor a 25 mm/h no es erosivo, según Hudson, 1971, mencionado por Núñez, 2001. Algunas mediciones realizadas en el trópico húmedo indican que las lluvias con intensidad (I_{30}) mayor de 5 mm son erosivas. Pero las que tienen una intensidad menor de 5 mm, para 30 minutos de intensidad, no lo son (según Cortés 1991, mencionado por Núñez, 2001).

Existe el concepto de pérdidas tolerables de suelo que estima la máxima cantidad de suelo que se puede perder por erosión sin sufrir degradación excesiva, a pesar de que se explote agrícola y forestalmente en forma continua (Núñez, 2001).

Cuando los descriptores se encuentran entre erosión baja a alta, los grados de erosión natural no deben exceder 1 t/ha/año, y mantenerse entre valores de 1 a 10 t/ha/año, (Gómez Aristizabal, 1982, mencionado por Núñez, 2001).

Los niveles aceptables o límites tolerables de erosión están en función del proceso de formación de suelos, para una región específica. Por esta razón, si el proceso de formación de suelos es de 25 mm de grosor en 30 años, el nivel tolerable de pérdida sería de 12,5 t/ha/año (Hudson 1973, mencionado por Nuñez, 2001).

En la mayoría de los casos la erosión es muy variable en el tiempo, y ocurre mayormente durante eventos extraordinarios de corta duración cuando el suelo no está protegido (Larson y col, 1983, mencionado por Pla Sentis, 2006).

La erosión del suelo es una forma severa de degradación física; se estima que cerca del 80% de la tierra agrícola en el mundo sufre erosión moderada a severa y el 10% erosión ligera a moderada (Según Lal y Stewart, 1995, comenta Mendoza, 2011). El 40% del territorio colombiano presenta erosión de ligera a severa y la zona andina es la más afectada, con el 88% del área en estado de erosión hídrica (Según Olmos y Montenegro, 1987, citado por Mendoza, 2011).

Efectos de la erosión en la fertilidad del suelo. Los cambios en las propiedades del suelo, provocados por la erosión, producen alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva. La productividad del suelo está relacionada a un gran número de factores limitantes físicos y químicos, que de una manera general componen la fertilidad del suelo (do Prado Wildner y da Veiga, 1994). Los factores que causan la reducción de la productividad debido a la erosión del suelo se clasifican en dos grupos principales (El Swaify y Dangler, 1982; USDA, 1981 y Schertz, 1985, según do Prado Wildner y da Veiga, 1994):

1. Disminución de los contenidos de materia orgánica y de nutrientes, y
2. Degradación de la estructura del suelo y disminución de la capacidad de retención de agua.

El aspecto de pérdidas de nutrientes y de materia orgánica debe ser considerado con especial atención en el caso de los agricultores de escasos recursos que no están en condiciones de realizar la reposición de nutrientes perdidos para mantener el nivel de fertilidad del suelo. En estos casos los rastrojos inadecuados de los cultivos obtenidos en los suelos erosionados contribuyen poco a la cobertura del suelo y a su protección contra la erosión; entonces, la disminución de los contenidos de materia orgánica y de nutrientes se vuelve acelerada (Según Swaify y Dangler, 1982, mencionados por do Prado Wildner y da Veiga, 1994)).

La erosión afecta la capacidad de retención de agua por las alteraciones en el contenido de materia orgánica y en el porcentaje de partículas menores (arcilla) del suelo. La disminución del contenido de materia orgánica también provoca alteraciones en la densidad del suelo (do Prado Wildner y da Veiga, 1994).

La degradación del suelo, a consecuencia de la erosión, en última instancia, provoca la reducción de la productividad del suelo con reflejos sobre la producción de los cultivos. A pesar de que esta afirmación es de conocimiento general, pocos son los datos disponibles que cuantifican esta reducción, especialmente datos relativos a la tecnología actualmente utilizada. En los casos extremos, como cuando aparecen cárcavas o cuando hay pérdida total de la capa arable, el efecto en el rendimiento es obvio; en cambio, cuando ocurren pequeñas pérdidas anuales del suelo, el efecto puede ser imperceptible por muchos años (Ibid).

Efecto de las quemas en la erosión y fertilidad de los suelos. Las conclusiones a las que se ha llegado sobre el efecto de las quemas agrícolas en los suelos han sido similares en el tiempo y en los continentes, las cuales se relacionan a continuación (CENICAFÉ, 1975; Granjed, 2011):

- La escorrentía aumentó con las quemas en todos los ensayos.
- Reducción de la materia orgánica.
- Las pérdidas de suelo por erosión fueron mayores en los terrenos quemados, debido a su efecto sobre la estabilidad de los agregados.
- Hubo pérdida de elementos nutritivos debido a la erosión.
- Las quemas influyeron en la composición química del suelo, ya que las cenizas aportaron bases intercambiables (Ca, Mg, K, Na) que aumentaron el pH.

En general, la costumbre de quemar en la cuenca del río Las Ceibas, coincide con la investigación realizada por CENICAFÉ, es considerada útil debido a los resultados porque facilita y rebaja los costos de limpieza y aumenta la fertilidad en suelos pobres. Las quemas pueden producir buenas cosechas iniciales sin la aplicación de fertilizantes, pero en suelos fértiles esta aparente ventaja no se nota (CENICAFÉ, 1995).

Predicción de pérdidas de suelo. Siempre ha existido el interés de cuantificar las pérdidas de suelos por las actividades productivas para diseñar prácticas que disminuyan el impacto sobre el suelo con el fin de mantener su capacidad productiva de manera indefinida o con fines de restauración y/o de protección.

La erosión del suelo se puede medir de diversas maneras (FAO, 1994):

- ✓ Directamente en el lugar midiendo el tiempo de remoción de una profundidad dada de suelo;

- ✓ Modelación (modelos análogos) usando simuladores de lluvias sobre una cama de suelo y luego, la medida de su efecto. También se puede cubrir una parcela con un mosquitero y comparar después de un tiempo dado con una parcela sin protección para juzgar el impacto de la precipitación (Greenland y Lal, 1977);
- ✓ Monitoreo de las descargas de sedimentos. Su precisión es cuestionable ya que no todos los sedimentos pueden llegar a un curso de agua;
- ✓ Estimaciones empíricas del nivel de tolerancia (factor T). Esto se puede definir como la pérdida igual a la tasa de formación de suelo nuevo. Una estimación muy conocida es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y sus modificaciones.

Sin embargo, cada método mide procesos distintos y a distintas escalas, por lo que las tasas obtenidas son diferentes; pero todos ellos constituyen un buen muestrario para ofrecer un rango de valores de tasas de erosión y una aproximación a las mismas (Romero, 2011).

La USLE ha representado un instrumento valioso porque proporciona un cálculo de la media de la pérdida anual de suelo bajo diversas condiciones de cultivo. La aplicación de este cálculo tiene por objeto dar a los agricultores y a los técnicos en conservación de suelos la posibilidad de elegir combinaciones de usos de la tierra, prácticas de cultivo y prácticas de conservación, para que el suelo mantenga la pérdida de suelo a un nivel aceptable (Wischmeier 1976).

En los estudios de erosión el objetivo de obtener tasas de pérdidas de suelo ha sido una constante en la mayoría de las investigaciones realizadas. Sin embargo, con la estimación de la erosión mediante diferentes modelos como el paramétrico de la USLE (Wischmeier y Smith, 1978), en la mayoría de los casos, las pérdidas pequeñas de suelo estaban sobreestimadas; mientras que en el caso de pérdidas elevadas de suelo las tasas estaban subestimadas (Nearing, 1998). Las versiones modificada o revisada del modelo original, MUSLE y RUSLE (Dissmeyer y Foster, 1985; Renard et al., 1991) tampoco reproducen las pérdidas de suelo reales. De ahí la necesidad de estudiar la erosión de manera experimental en campo, para conseguir valores más acordes con la realidad (Romero, 2011).

Los métodos utilizados para la evaluación de tasas de erosión han sido muy diversos y a distintas escalas, según los procesos específicos que se han pretendido estudiar y cuantificar. Las variaciones en las tasas de erosión obtenidas están en función de los métodos de estudio. Las tasas más pequeñas, en general, se han obtenido con simulaciones de lluvias, parcelas abiertas, algunas tipologías de parcelas cerradas, microcuencas y cuencas; tasas medias son el resultado de la evaluación en algunos tipos de parcelas cerradas (de cultivo, sin cobertura vegetal y sobre litologías fácilmente erosionables), diques y batimetrías de embalses; y las tasas más elevadas se han obtenido de la cuantificación de la erosión mediante transectos geomorfológicos, perfiles

longitudinales y parámetros geométricos y topográficos. Con independencia del método utilizado, las tasas más elevadas de erosión, se han obtenido sobre margas, elevadas pendientes, suelos desprotegidos por cubiertas vegetales y campos de cultivo abandonados (Romero, 2011).

No es aconsejable extrapolar tasas de erosión obtenidas desde parcelas a cuencas, debido a las diferentes formas en las que se produce la conectividad de los flujos y sedimentos. Existen multitud de factores que intervienen en la pérdida de suelo y también hay que tener en cuenta el periodo de medición. Las series de observación deberían ser largas, cosa que en ocasiones no es posible, por lo que la comparación de datos, aunque sea con un mismo método, no siempre es válida. Los resultados obtenidos de tasas de erosión por métodos experimentales en la Región de Murcia cuestionan las tasas de erosión estimadas mediante ecuaciones como la USLE que, sobreestiman las tasas de erosión en áreas de escasa erosión (con escorrentía laminar) y, por el contrario, subestiman la erosión en áreas de intensa erosión, con predominio de erosión concentrada (Ibid).

La utilidad de la información obtenida por costosas parcelas de erosión, y de las investigaciones realizadas en ellas está limitada por la falta de continuidad más allá de unos años en la obtención de dicha información, cuando en estudios basados en lluvias naturales se requeriría al menos 10 a 20 años para tener una muestra representativa de combinaciones de tormentas y tratamientos. En este caso los resultados no estarían a tiempo para utilizarlos como base de las acciones de conservación que se requieran con urgencia. Además, es difícil extrapolar información obtenida a escala de parcela de erosión, generalmente sin repeticiones en diferentes localidades, a escala de unidades de producción o de cuenca (Según Lal, 1994 y Boardman, 1996, dice Pla, 2006).

Conclusiones sobre otros procesos de cuantificación de erosión. Como los procesos de erosión son dependientes a la escala que se producen, las mediciones en parcelas en el campo o en el laboratorio no representan valores absolutos que se puedan extrapolar (Boix-Fayos et al, 2006; García y López, 2009, mencionados por Almorox et al, 2010).

La metodología de simulación de erosión, a pesar de que probablemente es más drástica que el proceso natural de erosión, es conveniente porque se obtienen resultados a corto plazo en relación al proceso natural que necesita de un tiempo relativamente largo para producir diferentes grados de erosión bajo lluvia natural (do Prado Wildner y da Veiga, 1994). Para medir las tasas de erosión es posible reproducir el proceso mediante simulación de la lluvia porque permite el estudio de la erosión producida por la escorrentía, y la erosión producida por salpicadura. El método presenta el inconveniente de la extrapolación a condiciones diferentes a las del experimento (Almorox et al, 2010).

Hay que destacar, que los procesos de erosión son dependientes de la escala espacial, y por supuesto temporal, a la que se producen, por lo que las mediciones en parcelas en el campo o en el laboratorio no representan valores absolutos que se puedan extrapolar. Es de destacar que no solo es necesario contar con una serie de datos climatológicos larga, sino que dado que los fenómenos de intensidad de lluvia extrema pueden tener períodos de retorno muy elevados, las tasas de erosión pueden variar de manera notoria e imprevisible, máxime cuando se considera que las intensidades máximas de las precipitaciones están aumentando debido al cambio climático (Almorox et al, 2010).

Modelos de simulación.

- EPIC tiene varias ventajas con respecto al uso de modelos de parámetros “agrupados” tales como USLE, AOF y MUSLE. La capacidad del modelo para simular las alternativas de manejo de cultivos y suelos detalladamente, permite al usuario evaluar los efectos de rotaciones de cultivos, mecanización de la labranza, manejo de residuos, prácticas de control de escurrimiento, estrategias de riego y otros factores, frente a procesos hidrológicos y erosión. Además, su capacidad para simular rendimientos de cultivos, ciclos de fertilización y nutrientes, y dinámica de los plaguicidas permite al usuario evaluar las relaciones entre economía, conservación de suelos, y contaminación de aguas superficiales y subterráneas por nutrientes y plaguicidas..
- Simulador de Recursos Hidráulicos en Cuencas Rurales (Simulator for Water Resources in Rural Basins). SWRRB fue desarrollado para simular hidrología, rendimiento de sedimentos y procesos relacionados en cuencas rurales (Williams, et. Al., 1985; Arnold y Williams, 1987). Los tres componentes más importantes del modelo son clima, hidrología y sedimentación. Los cálculos se efectúan diariamente hasta para diez sub-cuencas, cada una de las cuales tiene diferentes características climáticas, de suelos, uso de la tierra, manejo de cultivos e hidráulicas. Los procesos principales contemplados son escurrimiento superficial, afluente subterráneo, almacenamiento en estanques y embalses, pérdidas por transmisión, crecimiento de cultivos y movimiento de erosión y sedimentación de suelos en cursos de agua, estanques y embalses. Puede simularse la precipitación y temperatura un generador climático interno o pueden ser leídos en registros históricos externos.
- SWAT (Soil and Water Assessment Tool). Es un modelo que permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua en cuencas hidrográficas. El modelo también permite calcular la calidad del agua por el efecto de las prácticas agronómicas de los cultivos como la utilización de herbicidas y fertilizantes. La información requerida por el programa es agrupada u organizada dentro de las siguientes categorías;

topografía, suelos, usos del suelos, precipitación, clima, lagunas u aguas subterráneas. El programa se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en la cuenca (Torres, 2004).

Por medio de la integración de la información mencionada, se determinan las Unidades de Respuesta Hidrológica URH, las cuales corresponden a unidades del territorio que presentan condiciones de uso de tierra, clima y topografía homogéneos y por lo tanto, producen un impacto particular sobre la cantidad y calidad del agua de la cuenca, es decir, es posible identificar qué áreas en la cuenca son las que contribuyen más al aporte de sedimentos y agua al caudal (CIAT y CAM, 2007).

Pérdidas por erosión de acuerdo a coberturas vegetales. Algunos reportes sobre pérdidas de suelo encontradas tras experimentaciones desarrolladas en Sao Paulo, Brasil, durante dos años de registro, resaltan el papel de las coberturas permanentes, porque pueden ser del orden de 0,001 ton/ha/año bajo cobertura boscosa, frente a 36 ton/ha/año en parcelas cultivadas con algodón, en condiciones de precipitación de 1.300 mm/año y 10-12 % de pendiente (Suárez, 1980; citado por Jaramillo, 2002).

Otros reportes no tan bajos como los anteriores presentan resultados de sus investigaciones desarrolladas en bosques lluviosos tropicales del Amazonas colombiano, según los cuales bajo cubierta forestal se alcanzaban pérdidas de suelo del orden de 1,53 ton/ha/año y una escorrentía media del 4,4% de la lluvia incidente (McGregor, 1980; citado por Jaramillo, 2002). Otros estudios de investigaciones desarrolladas en Camerún, Africa, reportan pérdidas de suelo de 0.37, 7.32 y 11 ton/ha/año, para coberturas de bosque, plantaciones de té y cultivos hortícolas respectivamente (Maene y Sulaiman, 1980; mencionado por Jaramillo, 2002).

De acuerdo a los estudios de efectos de la pendiente en la pérdida de suelo por escorrentía en lotes de igual área con suelos coluviales realizados por Cenicafe entre los años 1949 y 1956) con una precipitación promedio anual 2.701 mm hay mayor pérdida de suelo a mayor pendiente de suelos (119 t/ha con 23% de pendiente vs 327 t/ha con 43% de pendiente); a mayor longitud de pendiente mayor pérdida de suelos (152 t/ha en un terreno de 5 m de longitud, 207 t/ha en un terreno de 10 m de longitud y 307 t/ha en un terreno de 20 m de longitud) (CENICAFÉ, 1975).

Además del predominio del porcentaje y longitud de la pendiente sobre la erosión, también influyen la cobertura existente y el tipo de manejo; de ahí que el suelo desnudo registre la máxima pérdida de suelo anual de 31.200 kg/ha frente a cafetal con sombrío y desyerba con azadón 4,760 kg/ha; sombrío con coberturas nobles 560 kg/ha y potrero con pasto micay (*Axonopus micay*) 250 kg/ha en

suelos coluviales (Según Suarez, 1962; dice CENICAFÉ, 1975). Este comportamiento de la tasa de erosión de las diferentes investigaciones de CENICAFÉ es similar, al igual que los índices relativos de erosión a través de los años.

Erosión en la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. En la cuenca hidrográfica del río las Ceibas por la implementación de su POMCA se han llevado a cabo dos estudios que han cuantificado pérdida de suelos con ayuda de simuladores de lluvia, en los que se puede evidenciar que el aporte de sedimentos al río Las Ceibas y sus afluentes depende del tipo de cobertura, porcentaje de pendiente e intensidad de las lluvias, principalmente. Es decir, a mayor desprotección del suelo, mayor pendiente e intensidad de las lluvias, mayor será la pérdida de suelo por erosión. Ver tablas 2 y 3.

Tabla 2. Resultados de cuantificación de erosión con simulador de lluvia, 2007.

N° Sitio	Cobertura	Pendiente (%)	Intensidad de lluvia (mm/hr)	Erosión t/ha	Vereda
1	Pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>)	26,8	79,8	0,07	La Plata
2	Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> . Tipo voluble)	66,8	67,2	0,46	La Plata
3	Suelo desnudo+chopin (<i>Melinis minutiflora</i>)	81,1	65,7	3,00	La Plata
4	Rastrojo	58,7	72,7	4,20	Motilón
5	Rastrojo	80	77,2	0,70	San Bartolo
6	Pasto Chopin (<i>Melinis minutiflora</i>)	88,5	72,4	1,60	Chapuro

Fuente: CIAT y CAM, 2007.

Tabla 3. Resultados de cuantificación de erosión con simulador de lluvia , 2009.

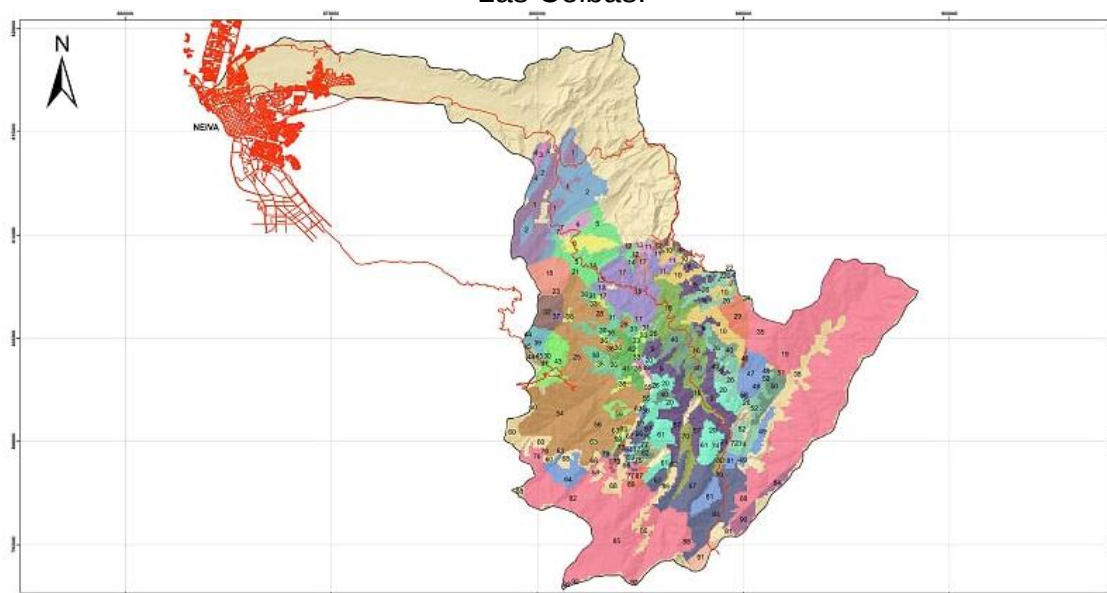
N° Sitio	Cobertura	Pendiente (%)	Intensidad de lluvia (mm/hr)	Erosión t/ha	Vereda
1	Pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>)	24	37,3	0,02	La Plata
		25	97,72	0,12	La Plata
2	Terreno quemado desnudo para sembrar Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> . Tipo arbustivo)	76,3	34,7	0,50	Las Nubes
		76	77	0,66	Las Nubes
3	Café con suelo desnudo (<i>Coffea arabica</i>)	54,5	50	0,08	San Bartolo
		52,4	91,36	0,61	San Bartolo
4	Pasto puntero (<i>Hyparrhenia rufa</i>)	12,5	47,57	0,05	Platanillal
		11,36	100	0,07	Platanillal

N° Sitio	Cobertura	Pendiente (%)	Intensidad de lluvia (mm/hr)	Erosión t/ha	Vereda
5	Cacao	26	80	0,01	Santa Lucía

Fuente: FAO y USCO, 2009.

Además, se determinaron las Unidades de Respuesta Hidrológica URH (CIAT y CAM, 2007) de la cuenca, y las que más contribuyen con agua al acuífero de la cuenca tienen una cobertura estable o en proceso de restauración y se encuentran en las partes altas y planas de la cuenca (Figura 2). De otro lado, en la cuenca existen unas 4.500 ha con alto potencial de erosión; en la mayoría de ellas su contribución al acuífero es muy baja pero son responsables de más del 90% de los sedimentos de la cuenca (CIAT y CAM, 2007).

Figura 2. Mapa de Unidades de Respuesta Hidrológica - URH de la cuenca del río Las Ceibas.



Fuente: CIAT y CAM, 2007.

La producción promedio de sedimentos por actividades agropecuarias en la cuenca es baja (1.6 t/ha/año) pero presenta grandes variaciones (0 a 15 t/ha/año) entre las URH.

Las coberturas más susceptibles a erosión son en aquellas con cultivos semestrales y por el contrario, las de menor aporte de sedimentos fueron las coberturas protectoras de suelo con prácticas de café bajo sombra y mora con barreras vivas (Torrente, 2010)

Después de muchos años de investigación sobre erosión iniciadas en 1947, CENICAFÉ estableció el grado de erosión en función de la pérdida anual de suelo en ton/ha, a saber: menor a 1, es natural; entre 1 y 3, es baja; entre 3 y 5, es media, entre 5 y 10, es alta; entre 10 y 20, es muy alta; entre 20 y 30, es severa y mayor de 30, muy severa ((CENICAFÉ, 1975).

2.2.2 Manejo y conservación de suelos. Para enfrentar la degradación de suelos de manera efectiva se debe incentivar el uso de prácticas de conservación sencillas, de bajo costo y que puedan mejorar la productividad de la tierra. Los puntos principales de dicha estrategia son: mejoramiento del uso de la tierra, concentración de la producción en menor área y aumento de la productividad, aumento de la cobertura vegetal, aumento de la infiltración de agua, control de la escorrentía, reducción de la pendiente y participación de los agricultores en todo el proceso de la planificación de la conservación de suelos (FAO, 1994).

En la ecuación universal de la erosión las variables que pueden ser alteradas son la longitud de pendiente L y los dos factores de gestión: las prácticas de conservación P y la ordenación de los cultivos C (Hudson, 2006).

El mantenimiento de la producción del suelo para lograr una producción agrícola sostenida y un uso más eficiente del agua requiere de prácticas de conservación, siendo las agronómicas las de más fácil aceptación por los productores (según Roose, 1.993, citado por Andrade y Rodriguez, 2002).

La vegetación puede actuar como una barrera protectora entre el suelo y los elementos naturales que estimulan la erosión o el movimiento de masas. Las plantas exhiben muchas formas y estructuras diferentes, pero en general los elementos que pueden ser útiles en soluciones ecotecnológicas para la estabilidad de la pendiente son (Stokes et al, 2011): Raíces, para proporcionar anclaje y absorber agua y nutrientes del suelo; Para soportar las partes anteriores y capturar el suelo erosionado y Hojas, para interceptar la precipitación e iniciar la evapotranspiración que conduce a la disminución de los niveles de humedad del suelo (Según Coppin and Richards, 1990; citado por Stokes et al, 2011).

Algunas prácticas de conservación de suelos. Relación de prácticas con respecto a efectos esperados.

Las **barreras vivas** son hileras tupidas de plantas de larga duración, de crecimiento denso, de porte entre 30 y 50 centímetros, sembradas a través de la pendiente del terreno y que van paralelas a los surcos de las plantas del cultivo que se va a establecer. En la zona cafetera se emplean como barreras vivas algunas plantas de la familia gramineae tales como: /*Cymbopogon citratus*/ (D.C.) Stapf conocida con los nombres de limoncillo, limonaria, caña limonaria, pachulí; /*Vetiveria zizanioides*/ (L) Nash llamado vetiver y /*Axonopus scoparius*/ (Flugge)

Hitche que se conoce como pasto imperial o imperial. Las barreras vivas disminuyen la velocidad y la energía que adquiere el agua que escurre por los suelos y que recorre la ladera durante los aguaceros, lo que reduce significativamente las pérdidas de suelo. Las barreras permiten retener en el lote, el suelo que se produce por erosión por efecto de la escorrentía. Las barreras vivas se localizan en la ladera con determinado espaciamiento, el cual depende de la pendiente del terreno y de la estabilidad o resistencia del suelo a la erosión superficial (Gómez, 1990).

Efectos de las barreras vivas en el control de la erosión. El uso de barreras de pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides*) reduce hasta 81% la pérdida de suelo y 57% el escurrimiento superficial, comparado con la siembra paralela a la pendiente del terreno (Según Rao, 1993; citado por Ramírez y Oropeza, 2001). Las prácticas conservacionistas barrera viva con surcado al contorno y labranza de conservación fueron 64 y 70% más eficientes que el testigo, para evitar la pérdida de suelo en 1996 (Ramírez y Oropeza, 2001).

Evaluadas varias especies de plantas como barrera viva, la más eficiente en reducir las pérdidas de suelo, agua, materia orgánica y nutrimentos, y en mantener mayor contenido de humedad en el suelo e incrementar ligeramente el rendimiento del cultivo fue el vetiver (*Vetiveria zizanioides*) 10 años de establecido, no descartándose el uso del pasto Guatemala (*Tripsacum laxum*), malojillo (*Cymbopogon citratus*), lirio (*Agapanthus africanus*) o helecho (*Nephrolepis sp*), (Andrade y Rodríguez, 2002).

Las barreras vivas han sido adoptadas en diferentes países de Centro América contribuyendo a la adaptación de pequeños productores al cambio climático y variabilidad climática, por ayudar a reducir la erosión y la pérdida de nutrientes y a retener la humedad (Según PASOLAC, 2005, y López, 2008; citado por Pérez, 2009). Estas tienen un costo de establecimiento, pero a su vez, generan un beneficio por retención de suelo que se traduce en costos evitados (Según Gamez, 2006; citado Pérez, 2009).

Coberturas nobles o cultivos de cobertura: Según las investigaciones de Cenicafé, se encontró que una cobertura noble densa es la práctica más eficiente de conservación contra la erosión (95 a 97%) (Cenicafé, 1975). Se ha encontrado que los dos primeros años de establecimiento de un cafetal son críticos desde el punto de vista de la erosión, ya que se requiere un control de malezas más frecuente, por lo tanto, se deben emplear las coberturas nobles en el cubrimiento de las calles de los cafetales; no deben dejarse en el plato del árbol o zona de raíces, ya que el sistema radical del cafeto es muy sensible a la competencia (Gómez, 1990).

Mulch o cobertura muerta. No es aconsejable la remoción de residuos de cosecha de los terrenos con pendiente, debido al incremento del riesgo de erosión

hídrica (Según Hayes y Kimberlin, 1978; comenta Ruíz et al, 2001). También se recomienda que, además de aplicar los residuos sobre la superficie del suelo, se debe establecer una barrera física para la captura de los sedimentos (Según Delgado y López, 1998; mencionado por Ruíz et al, 2001).

Se observó consistentemente mayor contenido de humedad bajo tratamientos sin quema de residuos. El volumen de los escurrimientos y la cantidad de sedimentos acumulados fueron mayores en el tratamiento con quema. El escurrimiento acumulado fue tres veces mayor en el tratamiento con quema, mientras que la pérdida de suelo fue cinco veces de la observada en el tratamiento sin quema (Ruíz et al, 2001).

La no quema de residuos, combinada con barreras vivas de especies con buen crecimiento, se postula como alternativa viable para el manejo de suelos bajo el sistema de roza-tumba-quema. Por lo que, es importante realizar estudios más precisos sobre la magnitud de la disminución de la erosión, así como de la rentabilidad económica de las prácticas (Ibid).

- **El sombrío en los cafetales** protege los suelos de la erosión, porque los sistemas radicales muy profundos (mayores de 1,5 m) permiten un anclaje vertical y lateral mayor que el café, amarrando los suelos para evitar su movimiento ladera abajo. La mayoría de los árboles de sombrío producen hojarasca abundante (“mulch”) que protege el suelo del impacto de las gotas de lluvia, favorece el almacenamiento y la regulación del agua y disminuye su escurrimiento. Los cafetales bajo sombra producen menos en comparación con los cafetales al sol, pero esta disminución se ve compensada ya que requieren menor número de desyerbas y menor cantidad de fertilizantes y el tiempo productivo de la plantación es mayor, debido a que por efecto del sombrío las plantas de café trabajan más lentamente con menor envejecimiento. El sombrío compensa la pérdida de producción al proteger el suelo contra la erosión, que cuando se presenta como remociones en masa vuelve improductiva el área afectada. El sombrío permite además, un reciclaje permanente de nutrientes a través de la hojarasca y un incremento de materia orgánica al descomponerse ésta e integrarse al suelo. También pueden obtenerse del sombrío, productos que tienen valor para el agricultor (frutos, látex, leña, madera, etc.). En los cafetales también se requiere sombrío cuando hay ciertas condiciones desfavorables de clima. Además por disipar los vientos, aumentar la humedad relativa y disminuir el paso de los rayos solares. Aunque los árboles de sombrío consumen mayor cantidad de agua de los cafetos, traen un efecto regulador en el almacenamiento, en la protección y la conservación de ésta en el suelo, a lo cual contribuye también la hojarasca o “mulch” del sombrío. Además extrae el agua requerida de las capas profundas del suelo y no en la zona superficial como lo hace el cafeto. (Rivera, 1992)

2.3 FIJACION DE CARBONO

Cambios en el uso y manejo de las tierras (deforestaciones, labranza excesiva o inadecuada, quemas, descenso de la materia orgánica del suelo) que provoquen degradación del suelo, pueden acelerar la emisión de CO₂, el principal de los llamados gases invernadero, a la atmósfera. Controlar esos procesos de degradación, y aún más, recuperar suelos degradados, puede ayudar a mantener o incrementar el carbono “secuestrado” en el suelo, contribuyendo a reducir o mitigar los efectos invernadero y con ello los cambios climáticos globales derivados de la combustión de combustibles fósiles (Según Lal, 2000, mencionado por Pla 2006). Las prácticas para lograrlo son específicas para cada sitio, y deben ser evaluadas y adaptadas a las particulares condiciones del clima, suelo y sistema de uso de la tierra. En algunos casos pueden presentarse limitaciones económicas, ambientales y socio-culturales para aplicarlas (Según Batjes, 1999, citado por Pla, 2006).

En principio, la meta para la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera puede alcanzarse mediante una reducción de las emisiones de dichos gases, reduciendo las fuentes; y removiéndolos aumentando los sumideros. Es de importancia primaria que los ecosistemas forestales del mundo se encuentren en un estado en el que se mantenga e incremente su capacidad de funcionar como sumideros de gases de efecto invernadero. Esto requiere tanto conservación, como manejo sostenible y aumento de sumideros y reservorios (Kanninen, 2003).

Esto se logra en parte con medidas en contra de la degradación y manejo no sostenible de los ecosistemas; y medidas que aumenten el potencial de los bosques para actuar como sumideros de gases de efecto invernadero (densidades de almacenamiento, cantidad de biomasa, etc.) (Ibid).

Los bosques pueden ser fuentes así como sumideros de gases de efecto invernadero. Los ecosistemas forestales también son un reservorio considerable de Carbono ©. Contienen más del 80 por ciento del C global de las superficies. Sin embargo, las acciones que incluyen bosques están relacionadas con estas tres categorías: fuentes, sumideros y reservorios (Ibid).

Finalmente, el objetivo principal de los programas de aforestación y reforestación es usualmente la producción de bienes y servicios (madera para leña, material crudo, control de la erosión, etc.), y el secuestro de C puede considerarse sólo un beneficio adicional (a corto plazo) para esos programas (Ibid).

En principio, el sumidero de C de cualquier ecosistema terrestre tiene dos componentes principales: el área total de esos ecosistemas, y la densidad de C por unidad de área. No obstante, para aumentar y mantener los sumideros de C,

podemos desarrollar acciones para incrementar el área de estos ecosistemas, aumentar su densidad de C o realizar estas dos acciones simultáneamente (Kanninen, 2003).

Hoy en día se reconoce ampliamente la importancia de los bosques tropicales como fuente de productos forestales y de servicios ambientales y recreacionales. Frente a las altas tasas de deforestación en los trópicos, la reforestación de tierras agrícolas y pastizales abandonados ha constituido una de las estrategias clave para restaurar algunos de los servicios económicos y ecológicos de los bosques primarios, (dice FAO, 1995, según Smith, 1997).

Una creciente evidencia viene indicando que los bosques secundarios que se desarrollan después de la intervención humana pueden ser manejados para proporcionar muchos de los servicios ecológicos y económicos suministrados originalmente por los bosques primarios (comentan Ewel 1980; Brown y Lugo 1990, según Smith, 1997).

Se entiende como Bosque secundario (bosque sucesional o barbecho forestal), a la vegetación leñosa de un proceso sucesional que se desarrolla sobre tierras cuya vegetación original fue destruida por actividades humanas. El grado de recuperación dependerá mayormente de la duración e intensidad del uso anterior por cultivos agrícolas o pastos, así como de la proximidad de fuentes de semillas para recolonizar el área disturbada (Smith, 1997).

En años más recientes, con la mayor preocupación por los fenómenos de deforestación y el rol de los bosques secundarios en la conservación del ambiente, se registra un aumento en la importancia que se atribuye a este recurso, tanto desde el punto de vista económico, como ecológico y social (Ibid).

En lo económico, los bosques secundarios son extremadamente productivos, con tasas de incremento de madera comparables a las de plantaciones con especies de rápido crecimiento (comenta, Wadsworth 1993; según Smith, 1997). Los bosques secundarios se constituyen en fuente de frutas, plantas medicinales, materiales de construcción, forraje para animales y madera de valor, así como para la restauración de la productividad del sitio y la reducción de poblaciones de plagas (comentan Brown y Lugo 1990; Dourojeanni 1990; Serrão 1994; según Smith, 1997).

Los bosques secundarios son también de considerable importancia ecológica, en términos de crecimiento forestal, acumulación de biomasa, beneficios hidrológicos y de la biodiversidad (sugiere National Research Council 1993; según Smith, 1997). Debido a que los bosques secundarios acumulan biomasa rápidamente durante los primeros 20 a 30 años, también son un reservorio importante de carbono atmosférico; de esta manera, incrementando la productividad de los bosques secundarios a través de su manejo se puede aumentar su rol potencial

para contrarrestar el efecto invernadero (dicen Fearnside y Guimarães 1996; mencionados por Smith, 1997).

El mejoramiento de las condiciones de vida de las comunidades relacionadas con el bosque secundario salta a la vista, pues son ellas las que aprovechan directa o indirectamente los beneficios de los bosques secundarios (Smith, 1997).

2.3.1 El rol de los bosques en el ciclo del carbono. El carbono es capturado y almacenado por las plantas vía fotosíntesis (Dice Aragão et al, 2009; según Yepes et al, 2011), y posteriormente es destinado a la construcción de la biomasa aérea y subterránea (Comenta Clark et al, 2001; según Yepes et al, 2011).

Los ecosistemas terrestres y el suelo son depósitos considerables de C. Los bosques del mundo contienen un estimado de 340 Pg de C (1 Pg = 1015 g) (1 GtC = gigatonelada = billón de tons) en vegetación, y 620 Pg de C en suelo (Brown et al., 1996). Por eso es que los cambios en estos reservorios de C pueden tener un impacto considerable en el balance global de C (Kanninen, 2003).

Durante el último siglo, aproximadamente 150 Pg de C han sido liberadas a la atmósfera, como consecuencia de los cambios en el uso del suelo. Esto equivale a casi 30 años de emisiones de quema de combustible fósil (Kanninen, 2003).

El carbono en ecosistemas forestales tropicales. Los bosques tropicales contienen cerca del 80% del carbono almacenado en toda la vegetación terrestre, y juegan un papel importante en el ciclo global de este elemento y en la regulación del clima del planeta (Según Phillips & Gentry 1994, IPCC 2002, Clark 2007; citados por Yepes et al, 2011).

El manejo sostenible de los sumideros de C en los bosques existentes, en los sistemas agroforestales y en las tierras agrícolas ofrece una opción interesante. En los trópicos, el C que está en sumideros superficiales varía entre 60 y 230 ton C/ha en bosques primarios, y entre 25 y 190 ton C/ha en bosques secundarios (Tabla 4). Es así, que la reducción de la deforestación y el incremento de las medidas para la protección de bosques ofrecen una manera efectiva en cuanto a costo, para reducir las emisiones de CO₂ (Kanninen, 2003).

Tabla 4. Depósitos superficiales de C en bosques tropicales.

Tipo de Bosque	Almacenamiento de Carbono (ton C/ha)	
	Primario	Secundario
Bosque nuboso	230	190
Bosque estacional	140	120
Bosque seco	60	25

Fuente: Brown et al., 1989, mencionado por Kanninen, 2003.

En suelos tropicales, los sumideros de C varían entre 60 y 115 ton C/ha. En otros sistemas de uso del suelo, tales como los agrícolas o ganaderos, los sumideros de C en el suelo son considerablemente pequeños (Tabla 5). Así mismo, los sumideros de C en el suelo aumentan en los sistemas agroforestales.

Tabla 5. Depósitos de carbono en suelos tropicales.

Uso del Suelo	Almacenamiento de Carbono (ton C/ha)
Bosque Tropical ⁽¹⁾	60 – 115
Agricultura (maíz) ⁽²⁾	
- inicial	35
- después de 50 años	9
Agroforestería ⁽³⁾	
- inicial	8,9
- después de 9 años	24,1

Fuente: Brown *et al.*, 1989, mencionado por Kanninen, 2003.

Otras opciones de manejo de carbono relacionadas con los ecosistemas existentes y con los sistemas de producción, incluyen la incorporación de árboles a los sistemas agrícolas, ya sea como sistemas agroforestales o silvopastoriles. Los sistemas agroforestales pueden contener sumideros considerablemente grandes de C no contabilizado en inventarios de reservorios de C en bosques. En algunos casos, los sumideros superficiales de C en sistemas agroforestales son similares a aquellos encontrados en bosques secundarios (Tabla 6). Cuando se considera el C almacenado en el suelo de estos sistemas, las cifras anteriores pueden multiplicarse por el factor 2 (Kanninen, 2003).

Tabla 6. Carbono superficial en forestería y agroforestería en Centroamérica.

Sistemas de especies forestales	Zonas de Vida	Arboles (n/ha)	Edad (años)	Almacenamiento de C (ton/ha)	Flujo de C (ton/ha/año)
Sombra para café y cacao:					
<i>Cliricidia sepium</i>	HP	330	30	51,6	1,7 ⁽¹⁾
<i>Cordia alliodora</i>	HP	278	10	24,9	2,5 ⁽²⁾
<i>Mimosa scarabella</i>	HP	650	2	14,2	7,1 ⁽³⁾
Plantaciones – leña					
<i>L. leucocephala</i>	SB	3800	5	28,9	5,8 ⁽⁴⁾
<i>Eucalyptus saligna</i>	HP	1378	2,5	27,0	10,8 ⁽⁵⁾
Arboles en Potreros					
<i>Alnus acuminata</i>	NB	35	30	25,0	0,8 ⁽⁶⁾

(1) Salazar 1984, (2) Fassbender et al. 1991, (3) Picado 1986, (4) Martinez, 1989, (5) Salazar 1986, (6) Canet, 1986

HP = bosque tropical húmedo premontano, SB = bosque tropical seco bajo, NB = bosque tropical nuboso bajo. (Kurstén y Burschschel, 1993).

Fuente: Kaninen, 2003.

Los resultados de análisis de almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea muestran que en cada uno de los paisajes ganaderos analizados las pasturas degradadas no están aportando significativamente al secuestro de carbono e incluso podrían estar emitiendo carbono a la atmósfera, mientras que las pasturas mejoradas con árboles son usos de la tierra con mayor potencial para el secuestro de carbono que las pasturas degradadas. El mejoramiento de pasturas y el aumento de la cobertura arbórea puede hacer que usos de la tierra como las pasturas degradadas presenten un alto potencial de secuestro de carbono a nivel de finca. A nivel de paisaje, el potencial de las fincas ganaderas se vería incrementado insertando algunas áreas con plantaciones forestales y liberando áreas no aptas para la producción agropecuaria para dar paso a la regeneración natural de bosques secundarios (Ibrahim, 2007).

En sistemas silvopastoriles con *Pithecellobium saman*, *Robioides Diphyssa* y *Dalbergia retusa*, con *Brachiaria brizantha* vs *Hyparrhenia rufa*, evaluados durante 51 meses, se encontró que el Carbono en la superficie y la biomasa variaba entre 3,5 y 12,5 Mg C/ha entre los testigos sin árboles y los sistemas silvopastoriles. La recuperación de los pastizales degradados del planeta equivaldría a la eliminación de gigatoneladas de carbono a la atmósfera (FAO, 2011).

El costo por unidad de reducir las emisiones de C, disminuyendo la deforestación y protegiendo los bosques tiende a ser bajo. Oscila entre menos de 1 hasta 15 dólares/Mg C. Los costos por unidad para esta práctica son bajos porque la densidad de C de las áreas boscosas tiende a ser relativamente alta (Tabla 7). Varios estudios conducidos en países en desarrollo evaluaron el costo del secuestro de C usando opciones que iban desde la agroforestería, plantaciones de rotación larga y corta, regeneración natural, manejo forestal y prácticas silvoculturales. El costo por unidad de reducir las emisiones de C mediante estas actividades oscila entre 2 y casi 30 dólares/Mg C (Brown et. Al, 1996, citado por Kanninen, 2003).

Tabla 7. Costos de la conservación y secuestro de Carbono.

Franja latitudinal	Opción Forestal	Costo (US\$/Mg C)	Costo total (US\$ billones)
Alta	Plantaciones	8	17
Media	Plantaciones	6	60
	Agroforestería	5	3
Baja	Deforestación lenta	2	44-99
	Plantaciones	7	97
	Agroforestería	5	27
Total		3,7 – 4,6	247 – 302

Fuente: Brown et al., 1996, citado por Kanninen, 2003.

Las opciones para la conservación y secuestro de C en los bosques del mundo están resumidas en el Tabla 8. La adopción de estas alternativas depende, en

cada caso, de la situación local y del marco global de las políticas. Las opciones de bajo costo a través de la reducción de la deforestación y la protección, la silvicultura y la sustitución de productos, son viables a corto plazo. Otras medidas podrían requerir más investigación y estudios sobre su viabilidad (Kanninen, 2003).

Tabla 8. Resumen de las opciones para el manejo de Carbono.

Opción	Densidad Carbono	de Secuestro (Corto plazo)	Costo de C
Reducir deforestación y protección de bosques	Alta	Bajo	Bajo
Reforestación	Moderada	Alto	Moderado
Silvicultura	Alta	Moderado	Bajo
Agroforestería	Baja	Moderado	Moderado
Plantaciones de Madera para Leña	Moderada	Alto	Alto
Productos Forestales	Baja	Bajo	Bajo

Fuente: Kaninnen, 2003.

Una de las principales dificultades ha sido encontrar métodos fiables de medir la cantidad de carbono que se retiene en los proyectos de mitigación agrícola. El enfoque nos permite no solamente medir directamente la retención de carbono a través de la toma de muestras del suelo, pero también a través de un modelo computarizado de fijación basado en los distintos tipos de suelo y las actividades realizadas”, Ser capaz de demostrar que el seguimiento es fiable es algo obligado para proyectos que desean participar en el mercado del carbono, y los modelos reducen los costes de este seguimiento, permitiendo participar a los pequeños pastores y criadores de ganado. La FAO acaba de presentar esta metodología para su aprobación por Verified Carbon Standard (VSC), un organismo sin ánimo de lucro que certifica los programas de reducción de gases de efecto invernadero de proyectos en todo el mundo para verificar y poder emitir créditos de carbono en los mercados que negocian con las emisiones (FAO, 2011).

Secuestro de carbono en sistemas agroforestales. En Costa Rica, evaluado un sistema silvopastoril con *Pithecellobium saman*, *Robinoides diphysa* y *Dalbergia retusa*, como componente forestal, y de pastos *Brachiaria brizantha* contra *Hyparrhenia retusa*, durante 51 meses; se encontró que el carbono en la superficie y la biomasa variaba entre 3,5 y 12,5 Mg C/ha, en el testigo de pastos sin árboles y sistemas silvopastoriles, respectivamente y el carbono orgánico total del suelo tuvo incrementos anuales hasta de 9,9 Mg/ha/año (Andrade, H.; Brook, R.; Ibrahim, M.; 2008).

Cuantificado el carbono en sistemas agroforestales de cacao en provincias de Perú, se encontró una variación en árboles vivos desde 12,09 t C/ha hasta 35,5 t C/ha, seguido por la de hojarasca entre 4 t C/ha hasta 9,97 t C/ha, en sistemas de 5 años y 12 años respectivamente (Concha, J.; Alegre, J. y Pocomucha, V.; 2007)

En el Salvador, se evaluó durante 9 años el potencial del sombrío de café para conservar la biodiversidad nativa de árboles y secuestrar carbono superficial; donde se ilustró la oportunidad de sinergias entre la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático. El secuestro de carbono tuvo una correlación positiva con la riqueza inicial de especies de árboles de sombra; el capital de carbono incremento debido al crecimiento de los arboles (Richards y Méndez, 2013).

En India evaluaron el efecto del fuego sobre la acumulación de carbono y el flujo de CO₂ en el suelo en pastizales de *Imperata cylindrica* y *Sporobolus indicus*; donde se encontró que el carbono orgánico era de 57,28 y 44,74 Mg/ha en el control y sitio quemado respectivamente. Por lo tanto, la quema anual de los pastizales puede causar cambios importantes a las existencias y flujos de carbono (Thokchom and Yadava, 2016).

En evaluaciones de campo sobre almacenamiento de carbono a partir de cuatro diferentes reservorios de carbono (es decir, sobre el suelo, madera muerta, hojarasca y suelo) en 224 parcelas de estudio distribuidos a lo largo de dos regiones Amazonia oriental; los tallos vivos de (10 cm DAP), son de lejos el componente más importante a evaluar en un bosque, ya que almacena la mayor cantidad de carbono y es altamente sensibles a las perturbaciones (Berenguer et al, 2015).

Se evaluaron en plantaciones de cacao con diferente intensidad cromática (en monocultivo, el cacao con los árboles de sombra *Sepium*, leguminosas *Gliricidia*, y el cacao con varias especies de árboles de sombra, en Sulawesi (Indonesia) las existencias de carbono por encima y por debajo del suelo, la productividad y rendimiento de grano de cacao. Las existencias totales de biomasa C bajo el suelo se multiplicaron por cinco desde el monocultivo de árboles para el sistema multi-sombra (De 11 a 57 mg ha⁻¹), la producción primaria neta total aumentó doble (del 9 al 18 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹). A pesar de una cubierta de copas aumentará del 50 al 93%, el rendimiento de grano de cacao se mantuvo invariable entre los sistemas (variación: 1,1-1,2 Mg C ha⁻¹ año⁻¹). Por lo tanto, si se planifican adecuadamente, plantaciones de cacao bajo una cubierta de árboles de sombra permiten combinar alto rendimiento con beneficios para el secuestro de carbono y el almacenamiento, la estabilidad del sistema de producción bajo estrés, y niveles más altos de la diversidad animal y vegetal. (Rajab et al, 2016)

En México una de las investigaciones sobre almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en café encontró la mayor cantidad de carbono, con 266 Mg C/ha el bosque primario; variación entre 35 y 115 Mg C/ha entre varios tipos de árboles asociados a café; y por último, el sistema silvopastoril con 3 Mg C/ha (Espinoza et al, 2015).

En el Líbano, Tolima, se estudió la tasa de fijación y almacenamiento de carbono, en los siguientes arreglos productivos: monocultivo de café, café con nogal (*Cordia alliodora*), café con caucho (*Hevea brasiliensis*), café con plátano (*Musa AAB*); se encontró que la tasa media de fijación de carbono fue mayor en el sistema agroforestal café nogal, y dentro de estos los árboles de sombra representaron el componente de almacenamiento más importante. La máxima fijación de carbono se encontró para los SAF que proyectaban un nivel de sombra del 33% (Andrade et al, 2014).

Los sistemas agroforestales. El contenido de materia orgánica permanece casi constante en el sistema agroforestal Café-Nogal, mientras que en el sistema café a libre exposición solar, el contenido de materia orgánica disminuye aceleradamente a través del tiempo debido a las desyerbas intensas y reiteradas con azadón (Chamorro et al, 1994).

Entre los sistemas agroforestales en café y ganadería podemos citar:

Los suelos más conservados y productivos están bajo bosques y café con sombrío regulado y denso y sigue siendo la mejor recomendación de uso (Suarez et al, 1986).

El efecto protector del sombrío del cafetal, debe explicarse, especialmente, por la formación de un colchón protector de residuos sobre el suelo (CENICAFÉ, 1975).

En los sistemas agroforestales de café bajo sombra, la pérdida de suelo depende más de la cantidad que de la intensidad de la lluvia, al igual que el escurrimiento superficial (Pérez et al, 2005).

- Los **sistemas silvopastoriles** se aplican en las áreas dedicadas a la ganadería, donde el árbol está en el terreno, ya sea en forma de cercas vivas, barreras rompevientos, como sombra para los animales o como forrajeros (Renda, 2006).

Impactos de los sistemas silvopastoriles. En Cuba, las áreas de pastizales están ubicadas en suelos degradados por diversos fenómenos (casi el 80% sufre de procesos erosivos en diversos grados), por lo tanto, necesita cambiar de uso para lograr un equilibrio más dinámico en función de la conservación de la cobertura edáfica y las aguas. Los resultados de las investigaciones demostraron que al incorporar los árboles al sistema de producción es posible frenar los procesos erosivos en los pastizales, al reducirse el coeficiente de escurrimiento superficial, lo cual favorece la fertilidad y el contenido de humedad en los suelos, así como una mejora en la producción de carne (432,1 kg/ha/año) y de leche (6 litros/vaca/día en la época lluviosa y 3,5 en la seca), sin necesidad de insumos externos (Renda, 2006).

La labranza de conservación con mantillo y el sistema agroforestal de cultivo en callejones, disminuyen el escurrimiento y la pérdida de suelo y de nutrimentos (Según Maass *et al.*, 1988; citado por Pérez *et al.*, 2005).

Adopción de los sistemas silvopastoriles. Entre las dificultades que frenan la multiplicación masiva de los SAFP, se destacan tres barreras principales: la baja disponibilidad de capital para invertir en cambios de uso del suelo en los pequeños y los medianos productores, la necesidad de la asistencia técnica apropiada y el déficit de oferta de mano de obra para algunas regiones. Las alternativas para solucionarlas ya cuentan con ejemplos concretos, como el pago por servicios ambientales (PSA) y el fomento de la transferencia campesino-campesino (Murgueitio *et al.*, 2006; Murgueitio, 2009).

2.4 ORDENAMIENTO TERRITORIAL

El territorio, a partir de una visión holística y sistemática de la relación sociedad-naturaleza, puede ser entendido como el espacio de interacción de los subsistemas natural, construido y social, subsistemas que componen el medio ambiente nacional, regional y local, estableciéndose una relación de complementariedad entre los conceptos de territorio y medio ambiente (Gross, 1998).

De esta manera, el concepto de ordenamiento territorial implicaría la búsqueda de la disposición correcta, equilibrada y armónica de la interacción de los componentes del territorio. Entre ellos, la forma que adquiere el sistema de asentamientos humanos, dado su carácter complementario e insoluble en la formación del territorio (Ibid).

La Carta Europea de Ordenación del Territorio define Ordenamiento Territorial como es una disciplina con carácter interdisciplinario, es la expresión espacial de la política económica, social, cultural y ecológica de toda la sociedad (Ibid).

Es así que la disponibilidad real de tierra para los programas de reforestación o aumento del área de bosques depende de factores económicos, sociales, culturales e institucionales, que influyen en el uso del suelo (Según Trexler y Haugen, 1995, Godoy *et al.*, 1998; citados por Kanninen, 1999).

En Colombia, el ordenamiento territorial se ha convertido en un instrumento de apoyo a la gestión planificadora y una política del Estado para impulsar la descentralización y la cultura de la participación ciudadana establecida en la Constitución Nacional. Es así como la Comisión de Ordenamiento Territorial (transitoria) instituida por la Constituyente de 1991 la planteó como un instrumento del Estado para obtener la eficiencia administrativa, la consolidación de la

democracia y la descentralización, respetando las autonomías locales y preservando la unidad nacional. También se propuso la distribución armónica de la población y el desarrollo económico social y político, como protección al ciudadano y al medio ambiente (Ibarra, 2007).

En esencia, el ordenamiento territorial debe concebirse como un instrumento que permite, a través de un ejercicio prospectivo, generar un modelo de ocupación territorial donde se fortalecen las vocaciones de los territorios, y es posible tener criterios técnicos para subsanar los conflictos en el uso de los suelos, armonizando y salvando zonas de interés ambiental y cultural. En este sentido, el ordenamiento debe concebirse como un instrumento que permita construir sobre un territorio un orden deseado y orientado hacia el horizonte de una sustentabilidad ambiental (Hernández, 2010).

Por ello el ordenamiento ambiental territorial no debe ser una herramienta para generar restricción externa a la transformación del territorio, sino, por el contrario, debe responder a las características específicas del medio natural y de las poblaciones asentadas, sus propuestas y procesos organizativos (Sistema de Naciones Unidas, 2014).

La ordenación ambiental del territorio como herramienta técnica de planeación se fundamenta en el análisis, evaluación y definición de soluciones a los problemas, conflictos y desequilibrios ambientales a corto, mediano y largo plazo. Esto conlleva a entender el territorio como un sistema complejo, a través de las relaciones que se establecen en los diferentes subsistemas que lo conforman: físico-biótico, físico espacial y socio-económico (CORPOCALDAS, 2016).

2.4.1 Ordenamiento de cuencas hidrográficas. La cuenca constituye una unidad adecuada para la planificación ambiental del territorio, dado que sus límites fisiográficos se mantienen un tiempo considerablemente mayor a otras unidades de análisis, además involucran una serie de factores y elementos tanto espaciales como sociales, que permiten una comprensión integral de la realidad del territorio (MADS, 2013).

El proceso de ordenación de una cuenca debe ser concebido en esencia desde el enfoque sistémico dado que la cuenca hidrográfica se comporta como un conjunto real, complejo y abierto, el cual presenta interacciones, entre el subsistema biofísico, así como lo económico, social y cultural. Si bien estos tres no tienen un limitante físico, dependen de la oferta, la calidad y disponibilidad de los recursos naturales que soporta la cuenca hidrográfica (Ibid).

Por último, la ordenación y manejo de cuencas, se entiende como el proceso de planificación permanente, sistemático, previsivo e integral adelantado por el conjunto de actores que interactúan con y el territorio de una cuenca, conducente al uso y manejo de los recursos naturales de esta, de manera que mantenga o

restablezca un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento social y económico de tales recursos y la conservación de la estructura y la función físico biótica de la cuenca (MADS, 2013).

Uno de los principales efectos de la degradación de suelos es la pérdida de capacidad para regular el régimen hídrico tanto a nivel local como de cuencas hidrográficas, lo cual afecta negativamente la suplencia regular de agua, en cantidades adecuadas, para usos agrícolas, urbanos e industriales (Según El-Swaify y Evans, 1999; dice Pla, 2006). Por lo tanto, el control de la degradación de tierras y sus efectos depende de una adecuada planificación del uso y manejo de los recursos suelo y agua (Según Pla, 1990; dice Pla Sentis, 2006).

2.4.2 Cambios y usos del suelo. Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos del suelo (Según Semarnat, 2010, citado por López, 2015). Sus cambios de usos impactan directamente sobre la diversidad biológica mundial (Según Sala et al., 2000; citado por Peña, 2007); contribuyen al cambio climático local y regional (Según Chase et al., 1999; citado por Peña, 2007); son la principal fuente de degradación del suelo (Según Tolba et al., 1992; citado por Peña, 2007) y afectan a la capacidad de los sistemas naturales de mantener las necesidades humanas (Según Vitousek et al., 1997; citado por Peña, 2007). Los cambios en la cobertura del suelo también incluyen los cambios en la productividad primaria actual y potencial, calidad del suelo, y tasas de escorrentía y sedimentación (Según Steffen et al., 1992; citado por Peña, 2007). Las coberturas del suelo son fuentes y sumideros para la mayoría del material y flujos de energía que mantienen la biosfera y geosfera, incluyendo las emisiones de gas y el ciclo hidrológico (Según BAHC, 1993; Holligan y de Boois, 1993; Matson y Ojima, 1990; citado por Peña, 2007).

Es necesario aplicar políticas efectivas y eficientes para mantener en condiciones adecuadas los ambientes que actualmente están ocupados con bosques, cuerpos de agua y otras asociaciones de vegetación natural, pues de no aplicar las que son para el manejo sustentable de los recursos naturales, los territorios estarán sujetos a presiones ambientales que provocarán impactos asociados con el cambio climático y a las condiciones de vida de los habitantes que viven tanto en las zonas rurales como en las urbanas (Según Fernández y Prados, 2010; citado por López, 2015).

En la gestión territorial, la integración correcta de políticas es fundamental en una estrategia de desarrollo sostenible, en la cual la conservación ambiental se logra a través del uso óptimo de los recursos naturales, no a través de cualquier tipo de conservación. El desconocimiento de las relaciones de causalidad entre la dotación de activos, que influye en la adopción o no de prácticas que deterioran o conservan el medio ambiente, y el deterioro ambiental, impide que las políticas para combatir la pobreza o para conservar los recursos naturales alcancen el impacto esperado (Agudelo et al, 2002).

2.4.3 Reconversión de sistemas productivos. La tarea de la conservación vista desde un planteamiento de manejo, uso, aprovechamiento y protección de recursos naturales y culturales contempla la necesidad de comprender las dinámica social, cultural, política, económica y técnico productiva de los espacios territoriales (locales, regionales y nacionales) en que se encuentran inmersas las áreas protegidas y las cuencas hidrográficas, teniendo en cuenta que ellas se ubican en contextos socioculturales complejos, donde se generan presiones que limitan su funcionamiento y reducen oferta de servicios ambientales, razón que implica una búsqueda de estrategias de conservación que puedan implementarse (Rojas, 2007).

Dentro de este marco se hace imprescindible comprender la dinámica de los sistemas de producción localizados en dichas áreas, teniendo en cuenta que estos son uno de los principales factores de presión sobre los recursos naturales. De su comprensión y entendimiento surge la posibilidad de desarrollar, innovar, apropiar y transferir alternativas tecnológicas que propendan por la conservación de la base natural y la biodiversidad, así como de estrategias de manejo y políticas que permitan regular su funcionamiento y relacionamiento con las áreas protegidas (Rojas, 2007).

De otra parte, la planificación de sistemas de producción contribuye directamente al ordenamiento ambiental del territorio, considerando que es en estos espacios socio culturales y técnico productivos donde se realiza el ejercicio efectivo del ordenamiento del paisaje rural, dentro de un mosaico de lógicas e intereses individuales y colectivos de apropiación y uso de los recursos de un territorio, posibilitando o no la funcionalidad de las muestras ecosistémicas que se pretenden conservar en las áreas protegidas (Ibid).

Dentro del proceso de ordenamiento ambiental del territorio, el diseño e implementación de arreglos productivos y no productivos, entendidos como la combinación y distribución espacial y temporal de especies animales y vegetales de diferente porte (árboles, arbustos, hierbas y rastreras) y período vegetativo (permanentes, semipermanentes, anuales, semestrales y de ciclo corto) en un espacio geográfico determinado, de acuerdo al potencial biofísico de la zona o lugar, los conocimientos de la población y la representación material y simbólica del espacio para los pobladores. En ese sentido, los arreglos retoman especial importancia, en la medida que éstos permiten hacer efectivo el ordenamiento ambiental del territorio (Ibid).

2.5 ECONOMIA CAMPESINA Y MEDIO AMBIENTE

La economía campesina se define por las siguientes características de sus unidades productivas: (a) la mano de obra familiar es la principal fuente de oferta laboral; (b) la agricultura es la principal fuente de ingreso; (c) la productividad es tan baja que no hay capacidad de generación del excedente económico (Figueroa, 1998).

La economía campesina operaría bajo condiciones de incertidumbre (originadas en el clima, mercados, inestabilidad política). Bajo este contexto, y dada la limitación de sus recursos, la lógica económica campesina es la de buscar la minimización de riesgos, pues su capacidad para absorber pérdidas es bien limitada. Los campesinos buscarían asegurarse de no sobrepasar un umbral de pérdidas que los llevara al desastre económico. Dada su pobreza, este umbral es pequeño. Tratarían de no poner en juego su sobrevivencia realizando actividades de alto riesgo, aunque con ello estuvieran renunciando a la posibilidad de obtener grandes beneficios (Figueroa, 1998).

Los altos costos de transacción de los pequeños productores, por problemas en la información, la organización y la contratación, son fenómenos exógenos que actúan como barreras estructurales que limitan el acceso a los mercados y restringen la competitividad de las economías campesinas en una economía globalizada (Según Schejtman, 1998, citado por Agudelo et al, 2002).

Una consecuencia empírica de esta lógica económica es que las unidades campesinas tendrían que diversificar sus actividades. Diversos estudios han mostrado, en efecto, una gran diversificación en la pequeña agricultura de América Latina y le dan sustento a la hipótesis de minimización de los riesgos (Figueroa, 1998).

Otra proposición teórica es que la economía campesina es un sistema productivo estático. A través del tiempo, por prueba y error, la producción ha sido cuidadosamente adaptada a sus restricciones, tanto en recursos como en conocimiento tecnológico. Pero también las proporciones de los recursos mismos han sido adaptados a fin de evitar alguna redundancia significativa: las unidades campesinas no están superdotadas ni de tierra, ni de capital físico, ni de capital humano. Han logrado así un equilibrio, un balance, en su dotación de recursos, donde nada les sobra y todo les faltaría si quisieran aumentar su producción; pero este equilibrio es de bajo nivel. El único factor que pueden tener en exceso es la cantidad de mano de obra (Ibid).

Las teorías de intensificación del uso de la tierra predicen que, con el tiempo, al aumentar la densidad poblacional y presentarse una escasez de tierra en relación

a la mano de obra, los agricultores buscan aumentar el retorno de la tierra acortando los periodos de barbecho e invirtiendo más mano de obra y capital por unidad de tierra (Según Boserup 1965, citado por Smith, 1997). Además, la frontera agrícola se expande al aumentar la población (Según Nerlove y Sadka 1991; Thiele 1995, citado por Smith, 1997).

Hay quienes consideran que las decisiones de producción e inversión de los hogares rurales, que afectan sus vínculos con el medio ambiente, están determinadas por la cantidad y calidad de activos a su disposición (Reardon y Vosti, 1995).

En la organización de la producción campesina se pueden reconocer varios sectores: agricultura, ganadería, manufactura y el sector de los hogares. Dado que la unidad campesina es una unidad de producción y consumo a la vez (a diferencia de la empresa capitalista, que es sólo de producción), las actividades del hogar son parte integral del sistema productivo. Esta es la “industria” que reproduce la fuerza laboral. Aquí se incluye las actividades de preparación de alimentos, reparación de vivienda y vestimenta, así como la atención a los niños (Figueroa, 1998).

Entre estos sectores hay una interrelación productiva importante. La organización de este sistema de producción se basa en una cierta división del trabajo entre los miembros de la familia. Esta división (que no implica necesariamente especialización) obedece a criterios de eficiencia relativa de los miembros de la familia en las tareas del sistema productivo (Ibid).

Si la economía campesina se encuentra en un equilibrio estático, su estructura productiva ha sido ya adaptada, por prueba y error, a sus restricciones, tales como su conocimiento de la tecnología y sus dotaciones de tierra, capital físico, capital financiero y capital humano (Ibid).

Desafortunadamente, la inversión en estrategias de intervención dirigidas a restaurar y mejorar los recursos naturales, particularmente aquellas basadas en tecnologías conservacionistas, no han logrado el impacto esperado (Winters et al., 1998).

La idea central consiste en avanzar en la renovación del enfoque de la agricultura utilizando la aplicación de enfoque sistémico a los asuntos de la agricultura, la alimentación, los recursos naturales, la pobreza y el desarrollo rural, que permita aprehender más correctamente la multidimensionalidad e interdependencia de sus vinculaciones con el resto de la economía y la sociedad (Escudero, 1998):

- Una de ellas tiene que ver con la conservación productiva de los recursos naturales y la restitución del medio ambiente. Es, no cabe duda la agricultura la que continuará manejando y explotando sosteniblemente la bio-diversidad y la

mayor parte de los recursos naturales tierra, agua, bosque y aire, por un lado, y por el otro, los recursos animales en general.

- La agricultura sistémica además cumple crecientemente funciones recreativas y reparatorias de la salud y el bienestar que influyen con fuerza en la capitalización humana alcanzada por la sociedad en un momento dado.

A pesar de las potencialidades que existen para el desarrollo de la economía campesina, la pobreza rural no puede ser eliminada sólo en base a la agricultura. El desarrollo de las economías regionales, que integren actividades agrícolas con no agrícolas, y las áreas rurales a centros urbanos de tamaño medio, parece un instrumento mucho más promisorio. En el combate a la pobreza rural hay que abandonar el enfoque sectorial. Se podría argumentar que invertir en el desarrollo de la economía campesina tiene un retorno económico bajo; mejor sería hacerlo en sectores de mayor productividad potencial. En este esquema los pobres se beneficiarían de manera indirecta. Sin embargo, la experiencia histórica muestra que el efecto indirecto no lleva a una reducción significativa de la pobreza rural. En otras palabras, el desarrollo de la agricultura comercial no generaría externalidades positivas de magnitud para el sector campesino. Es decir que la productividad global no parece ser independiente de la equidad. Todo lo anterior lleva a concluir que la tasa de retorno a la inversión dirigida a reducir la pobreza rural es, por lo tanto, mucho mayor de lo que usualmente se cree. De acuerdo al análisis presentado, dichas variables serían la tecnología, las instituciones y también la cantidad de bienes públicos. Ellas afectarían los costos de transacción y los de adopción de las innovaciones tecnológicas en la economía campesina (Figueroa, 1998).

Las restricciones de liquidez y acceso a crédito son unos de los principales factores que limitan la adopción tecnológica por parte de pequeños productores en zonas rurales y de bajos ingresos, donde los mercados financieros son incipientes o inexistentes (Aramburu, 2014).

El segundo tipo de barrera que enfrentan los agricultores en el momento de adoptar la tecnología es la aversión al riesgo. Este factor limita la adopción porque los productores prefieren tener certeza sobre los rendimientos económicos que les generará la tecnología antes de incurrir en los costos de adquisición iniciales. Por tanto, los productores tienden a posponer la inversión en tecnologías hasta poder confirmar los beneficios productivos asociados con la misma a través de las experiencias de otros agricultores (según Feder 1980, citado por Aramburu, 2014).

La falta de información y/o información asimétrica es el tercer factor que limita la adopción de tecnologías que son económicamente rentables. Esto ocurre no solo porque existen productores que no tienen conocimiento sobre el uso adecuado de las tecnologías, sino también por la falta de información sobre costos y la localización de proveedores privados (Aramburu, 2014).

Otra barrera importante que limita el proceso de adopción tecnológica es la falta de proveedores y oferta disfuncional, la cual es una característica generalizada en las zonas rurales de los países en desarrollo (Aramburu, 2014).

La siguiente barrera que limita la adopción tecnológica por parte de los pequeños productores agropecuarios es el bajo nivel de capital humano (caracterizado por la baja educación y la falta de asistencia técnica). Esta barrera dificulta el uso adecuado de la tecnología y por ende la obtención de beneficios por la adopción de las mismas (Ibid).

De acuerdo con el estudio del DANE, se considera en la línea de pobreza a una persona que sobrevive con alrededor de 3,6 dólares al día y en indigencia a la que lo hace con 1,6 dólares diarios, (DANE, 2013).

La reducción de la pobreza exclusivamente, puede conducir a que los recursos conservados anteriormente sin ningún costo para la sociedad, empiecen a ser degradados por quienes dejaron de ser pobres (Guevara, 1993).

2.6 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Un sistema productivo es un conjunto de componentes dentro de un espacio llamado predio o finca que funciona con la aplicación de mano de obra (trabajo del campesino) sobre los recursos naturales (oferta ambiental) de acuerdo a los recursos financieros disponibles (capital) orientado por una tradición productiva o expectativas de mercado (Scalone, 2008).

Es así que los sistemas de producción rurales –SPR- se definen como unidades funcionales espacio-temporales de producción del sector rural, asimilables al concepto predio o “finca” o “empresa agropecuaria”, cuya base es el manejo de ecosistemas transformados –llamados agroecosistemas- o la extracción de recursos de áreas silvestres o de baja intervención (Rojas, 2007).

Un sistema de producción rural representa un modelo, o tipo de intervención antrópica, que bajo una racionalidad cultural y económica y unas condiciones sociales, políticas y biofísicas intervienen o afectan de una manera particular un paisaje determinado, a través de su interrelación con el medio circundante con el cual realiza intercambio de materia, energía e información –flujos de entradas y salidas. Por lo tanto, un SPR representa a un número determinado de tipos de predios (fincas), agroempresas, o unidades familiares con características similares, distribuidas dentro de un área geográfica determinada; que se relacionan con la dinámica social, económica, cultural, política y productiva, que desarrollan los miembros de la unidad familiar, razón por la cual, comprende todas

aquellas prácticas que hacen parte de la dinámica de la unidad familiar, como por ejemplo comercialización, jornaleo intra y extrapredial, producción en terrenos diferentes al propio, bajo diversas formas de tenencia –arrendamiento, aparcería, etc-, o acciones de cacería o pesca, entre otras (Rojas, 2007).

De otra parte, la estructura de los sistemas de producción está dada por el número y composición de los agroecosistemas, los cuales se asemejan al concepto de parcela o lote, donde se desarrollan actividades productivas agropecuarias durante un periodo de tiempo; presentan patrones de homogeneidad en términos de cobertura vegetal (distribución espacial de la vegetación determinada por el tipo de arreglos productivos), geoforma (relacionada con características edáficas), y tecnología utilizada en el proceso productivo, que los hace reconocibles y diferenciables de otras áreas circundantes (Etter, A: 1994, citado por Rojas 2007).

Se considera que a partir de la valoración de sistemas de producción sostenibles surge la posibilidad de encontrar un uso adecuado de la biodiversidad y de los demás recursos naturales, como acción complementaria a la generación de excedentes económicos, que permita obtener beneficios directos a las comunidades locales y a la vez de servir de estrategia de conservación, en la medida que se evite la transformación fuerte de los paisajes que se quieren proteger, permitiendo la implementación de proyectos y procesos productivos sostenibles, aprovechando de manera adecuada especies, ecosistemas o recursos genéticos, hídricos o edáficos, de forma que logren realmente convertirse en una alternativa viable y se cumplan, con ello, los objetivos básicos del planteamiento sobre la conservación. Esta acción es una oportunidad para plantear alternativas o modelos productivos que eviten, o al menos reduzcan, las presiones que sobre las áreas protegidas y sus zonas de influencia se vienen ejerciendo (Rojas, 2007).

2.6.1 Sistemas productivos en la cuenca del río Las Ceibas. Al aplicar la definición de sistemas de producción, en sentido estricto, se pueden encontrar tantos sistemas de producción como predios existan en una región o cuenca. Para facilitar el análisis, se formaron categorías o tipologías a partir de la definición de criterios técnicos, sociales, económicos y ambientales, como por ejemplo, dimensión de la finca, tipos de producción, niveles técnicos, mano de obra y capital disponible (Segura, 2007).

En la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, las actividades productivas principales son la ganadería, el café, el cacao, el frijol y el pollo de engorde, para la formulación del POMC se hicieron análisis socioeconómicos y técnicos y se identificaron las siguientes tipologías mediante el análisis estadístico multivariado (Ibid):

- Fincas Cafeteras

- Fincas Cafeteras, Ganaderas y Transitorios.
- Fincas Cacaoteras Pequeñas.
- Fincas Cacaoteras con potrerización.
- Fincas Ganaderas.
- Fincas Ganaderas con Cacao
- Fincas Pequeñas con Ganadería y variedad de Cultivos.
- Fincas con Transitorios y potrerización.
- Fincas Arroceras con Ganadería.
- Casa lotes.

2.7 ANALISIS MULTICRITERIO

El análisis de temas complejos como la sostenibilidad, de naturaleza multidimensional, requiere instrumentos analíticos que capten las distintas dimensiones del problema, incluyendo las cosmovisiones e intereses de los actores involucrados, no siempre coincidentes. El análisis multicriterial es una herramienta adecuada de decisión sobre problemas que incluyen conflictos sociales, económicos y objetivos de conservación del medio ambiente, con una pluralidad de escalas de medición (físicas, monetarias, cualitativas, etc.). En este sentido, cuenta más el proceso de toma de decisiones, que el resultado mismo y no se persigue una “solución óptima”, sino una “solución de compromiso” entre los distintos actores involucrados. (Falconi, 2004).

La investigación operativa, disciplina moderna que utiliza modelos matemáticos, estadísticos y algoritmos para modelar y resolver problemas complejos, ha representado uno de los avances científicos más importantes desde mediados del siglo XX empleada en el campo de la administración, ingeniería y economía; porque ayuda a tomar decisiones sobre problemas complejos de las organizaciones (Serra, 2002).

La programación lineal es la herramienta básica más utilizada dentro de la investigación operativa; en ella tenemos una función objetivo lineal a optimizar (maximizar o minimizar), sujeta a restricciones individuales (Serra, 2002).

La programación lineal consiste en encontrar los valores de unas variables que maximizan o minimizan un único objetivo sujeto a una serie de restricciones. Las principales características son (Serra, 2002):

- Un único objetivo lineal a optimizar (maximizar o minimizar).
- Unas variables de decisión que siempre son continuas y no negativas.
- Una o más restricciones lineales.
- Un conocimiento exacto de los parámetros y resultados en la construcción del modelo.

Existen varios métodos de obtención de soluciones que nos dan la solución óptima con un coste computacional relativamente reducido. Incluso la hoja de cálculo Excel, incorpora una herramienta para resolver programas lineales (Serra, 2002).

Cuando la programación lineal requiere resolver problemas con más de un objetivo, se recurre a la programación multicriterio, es decir, manejar un enfoque multiobjetivo que en vez de intentar un no existente óptimo, pretende establecer el conjunto de soluciones eficientes y Pareto óptimas (Serra, 2002).

Las técnicas de decisión multicriterio, son un conjunto de procedimientos que abordan el problema de decisión de una forma realista, al permitir la incorporación en el modelo empleado de diferentes criterios, generalmente en conflicto. Esta dificultad suele impedir la obtención de la solución óptima para todos los criterios de forma simultánea, de ahí, que se suela recurrir a la búsqueda de soluciones satisfactorias frente a las óptimas (Escobar, 1994).

La aplicación del sano juicio y la opinión de los expertos no puede ser desplazada por ningún método de evaluación de impacto ambiental, se requiere de la experiencia y el conocimiento para discriminar la información, darle consistencia y orden, para después usarla con el sistema e interpretar sus resultados (García, 2004)

El análisis multicriterio es una herramienta adecuada para tomar decisiones que incluyen conflictos sociales, económicos y objetivos de conservación del medio ambiente, y además cuando confluyen una pluralidad de escalas de medición (físicas, monetarias, cualitativas, etc) (Falconi, 2004).

La mayor ventaja de los métodos multicriterio es que permiten considerar un amplio número de datos, relaciones y objetivos, que generalmente están presentes en un problema de decisión específica del mundo real, de tal modo que el problema de decisión a manejar, puede ser estudiado de una manera multidimensional. Una acción a puede ser mejor que una acción b de acuerdo a un criterio y peor según otro. Por tanto, cuando se toma en consideración diferentes evaluaciones en conflicto un problema multicriterio está matemáticamente mal definido, en el sentido de que no puede existir la solución óptima, por lo que se requieren “soluciones compromisos” (Ibid).

La calidad de un modelo o de un método de evaluación no depende del hecho que sea cualitativo o cuantitativo, inductivo o deductivo, informatizado o no, sino que depende esencialmente de su adecuación a la realidad ecológica y social (García, 2004).

Y si de criterios se trata, el análisis multicriterio propone diferentes procedimientos para la agregación de criterios, entre ellos se resalta: Programación lineal

multiobjetivo: al haber más de un objetivo no se puede optimizar todos a la vez, por lo que se trata de encontrar la solución más satisfactoria según las preferencias subjetivas del decisor. Punto ideal: Es una alternativa hipotética que es la mejor en todos los criterios; se observa cuan lejos está del punto ideal y se elige la alternativa más cercana (Falconi, 2004).

El análisis multicriterio comprende, por lo general, los siguientes pasos: la observación de un problema; la construcción de un modelo que contenga los elementos esenciales del problema; la obtención de las mejores soluciones posibles y la calibración y la interpretación de la solución (Serra, 2002).

En conclusión, el análisis multicriterio pone en crisis el modelo racional clásico de la teoría económica de la teoría de la decisión. Pasan de una concepción en la cual el tomador de decisiones y el objetivo son únicos y la información perfecta, a la concepción más realista que considera la pluralidad de los actores y de los objetivos, tanto como la imperfección de la información (Dice Garuti y Spencer, 1993; citados por Köbrich). Básicamente, el paradigma de la decisión multicriterio sustenta que los agentes económicos no optimizan sus decisiones con base a un criterio único, sino que por el contrario pretenden buscar un equilibrio o compromiso entre un conjunto de objetivos usualmente en conflicto o bien pretenden satisfacer, en la medida de lo posible, una serie de metas asociadas a dichos objetivos (Según Romero y Rehman, 1989; comenta Köbrich, 1999).

2.7.1 Modelos matemáticos de optimización. Son aquellos que buscan la mejor decisión dado un conjunto de supuestos de partida. Los **modelos simuladores** son aquellos que no proporcionan al sujeto decisor una o varias decisiones sino tan solo las consecuencias de adoptar distintos cursos de acción posibles (Köbrich, 1999).

Los modelos de optimización, abordan con bastante éxito problemas de decisión donde se pretende elegir la mejor solución entre un conjunto de soluciones posibles, es decir, que cumplan con las restricciones o limitaciones que tiene el sistema que se está analizando. La elección de la “mejor solución” se hace considerando un cierto criterio que representa las preferencias de las personas que toman las decisiones (también conocido como decisor). Este criterio para la elección de la mejor alternativa recibe el nombre de función objetivo (Köbrich, 1999).

Modelos matemáticos o simbólicos. Son representaciones simplificadas de la estructura y el funcionamiento de un determinado sistema real, utilizando el lenguaje matemático para expresar las relaciones entre variables y, operaciones matemáticas para obtener los conocimientos deseados (Según Chakravarty, 1.966; comenta Köbrich, 1999).

El uso creciente de los modelos matemáticos en la actualidad es el resultado de:

- El aumento de los conocimientos teóricos acerca de la conformación de todos los sistemas, es decir, sus partes e interacciones, lo que permite individualizar mejor las variables principales y precisar el tipo de relaciones existentes entre ellas, facilitando el lenguaje matemático.
- La cada vez mayor cantidad y calidad de la información estadística disponible.
- Los procesos alcanzados en el campo de los que permiten resolver rápidamente modelos complicados y estudiar la receptividad de sus soluciones o los cambios de los valores de algunas variables.
- El aumento de la complejidad de los sistemas, exige utilizar técnicas especiales de análisis.

Análisis matemático de la optimización. Los problemas de optimización se componen generalmente de tres ingredientes: **Función objetivo**, que es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar); **variables**, representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo; y **restricciones**, representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones o inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer (Ramos et al, 2010).

Resolver un problema de optimización consiste en encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de las restricciones (Ibid).

El objetivo de la optimización es encontrar valores de las variables del proceso que producen el mejor valor del criterio de desempeño.

El objetivo de la optimización global es encontrar la mejor solución de modelos de decisiones difíciles frente a las múltiples soluciones locales (según Arsham, 1994, citado por Marchena y Ornelas, 2007).

La forma más general de un problema de programación lineal consiste en minimizar o maximizar una función objetivo (Ibid):

$$Z = f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Sujeto a las siguientes restricciones:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_j, i = 1, 2, \dots, p - 1$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_j, i = p, \dots, q - 1$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_j, i = q, \dots, m$$

Donde p, q, y m son enteros positivo tales que: $1 \leq p \leq q \leq m$

2.7.2 Modelos de optimización en el manejo de los recursos naturales.

ECOSAUT (Modelo de Evaluación Económica, Social y Ambiental de Usos de la Tierra). El Pago por Servicios Ambientales es una de las estrategias utilizadas recientemente para la conservación de los ecosistemas y la generación de nuevas dinámicas de desarrollo. “No existe actualmente una única metodología para establecer un esquema de pago por servicios ambientales. En respuesta a esta situación, el Proyecto Regional Cuencas Andinas ha establecido una metodología para la identificación y valoración de las externalidades ambientales así como para la identificación de los beneficiarios y de los actores más interesados. Recientemente ha trabajado para lograr medir los impactos generados por cambios en el uso del suelo que corregirían actuales situaciones de contaminación, uso no sostenible de los recursos y pobreza, con lo que se espera generar una dinámica de pago por servicios ambientales basada en la experiencia que sea efectiva, eficiente, justa y sostenible en el tiempo” (Quintero, 2006).

La herramienta se llama Modelo de Evaluación Económica, Social y Ambiental de Usos de la Tierra ECOSAUT, modelo de optimización diseñado de tal modo que represente un sistema agroecológico en el que las actividades o procesos se relacionan con las restricciones biofísicas y socioeconómicas, y generan un impacto sobre los ingresos netos del productor y las externalidades ambientales (Ibid).

Los modelos de optimización aplicados al manejo de los recursos naturales permiten identificar los valores óptimos de las variables de decisión (actividades o procesos) que maximizan o minimizan el objetivo de manejo de una cuenca (por ejemplo, aumentar ingresos netos) sin violar las restricciones impuestas (por ejemplo, nivel de caudal o tasa de sedimentación). El uso de programación lineal en el desarrollo y la aplicación de estos modelos de optimización se ha mostrado exitoso para examinar y comparar el desempeño económico de diferentes

actividades de acuerdo con el trade off con las externalidades ambientales (Quintero, 2006).

Los modelos de optimización fueron diseñados para entender las interrelaciones entre los sistemas de producción de una cuenca y sus efectos sobre las condiciones socioeconómicas y ambientales de ese ámbito. Para dinamizar algunos modelos se deben diagnosticar previamente las Unidades de Respuesta Hidrológica URH presentes en una cuenca y su impacto sobre los caudales y sedimentos en el actual escenario de uso del suelo. Este diagnóstico se realiza con el modelo hidrológico Soil, and Water Assessment Tool (SWAT), que relaciona las condiciones de los suelos, del relieve, de la precipitación y del uso de la tierra con la respuesta hidrológica; información con la que ya se cuenta en la cuenca del río Las Ceibas (CIAT y CAM, 2007).

Trade-off se refiere, generalmente, a perder un tipo de cualidad, pero ganando otro tipo de cualidad. Esto implica que una decisión es tomada teniendo bien en cuenta sus pros y contras (Garland, 2014).

Externalidades ambientales. Las externalidades ambientales han cobrado renovada importancia desde el sector público por la función proveedora de servicios ambientales que ostenta una honda incidencia en la calidad de vida y la necesidad de instrumentar políticas impositivas compensadoras privadas generadoras de efectos indirectos (Moreno, 1995).

Solver SIRPLANT (Sistema de Información de Recursos de Tierras para la Planificación). La degradación de las tierras tiene su raíz en factores económicos, sociales y culturales, que se traducen en la sobre-explotación de los recursos y en las prácticas inadecuadas del manejo de los suelos y aguas, que conllevan a la pérdida de la fertilidad del suelo y consecuentemente de su productividad, causando una reducción de los rendimientos de la producción agropecuaria, afectando la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras (FAO, 2000).

El Proyecto “Información sobre Tierras y Aguas para un Desarrollo Agrícola Sostenible” (GCP/RLA/126/JPN) de la FAO desarrolla desde enero de 1996 y hasta la fecha, una metodología para la recolección de información sobre los recursos naturales, para posteriormente evaluar sus potenciales y debilidades y simular escenarios óptimos de los usos de la tierras, que finalmente contribuyan en la formulación de planes de desarrollo silvoagropecuario sostenible (FAO, 2000).

El sistema en cuestión se denomina SIRTPLAN: “Sistema de Información de Recursos de Tierras para la Planificación”, el cual consiste en una metodología de evaluación de tierras y generación de escenarios de sus usos, que se apoya en una serie de herramientas que permiten almacenar, procesar, analizar y presentar información. Entre las herramientas del SIRTPLAN se encuentra la Programación

Lineal (SOLVER) para la optimización de escenarios. SOLVER (Microsoft Excel) permite generar soluciones a problemas de programación lineal entera usando el método simplex (FAO, 2000).

Solver Corredor Biológico. El Proyecto Corredor Biológico desarrolló un modelo matemático basado en la tendencia reciente de la economía para evaluar alternativas que permiten a la luz de múltiples recursos optimizar un objetivo en función de diferentes alternativas planteadas para facilitar la toma de decisiones en los análisis de sistemas productivos agropecuarios. El PCB pretendió establecer las alternativas óptimas de intervención de los sistemas productivos, de tal manera que las propuestas del proyecto se encontraran contextualizadas en la diversidad de lógicas de producción manifestadas en 11 tipologías identificadas (CAM, 2007).

El modelo tiene dos utilidades principales: **Simulación y selección de alternativas:** Selección de la mejor o mejores alternativas dentro de un abanico de posibilidades para un tipo de productor determinado, es decir, permite una evaluación ex ante. **Evaluación:** A la luz de los indicadores establecidos para los sistemas productivos, evaluar el desempeño de los sistemas históricos, actuales y potenciales, y compararlos. Al igual que evaluar los cambios inducidos por proyectos implementados y cuáles sus impactos sobre los indicadores tanto económicos como ambientales (Ibid).

Nota: Los modelos de programación lineal generalmente han sido utilizados en procesos de investigación, y se caracterizan por ser complejos en su manejo, solo pudiendo ser utilizados por expertos que conocen su lógica de funcionamiento, sin embargo, este modelo construido para el Proyecto Corredor Biológico permite facilidad de operación, para que pueda ser utilizado por cualquier técnico con instrucciones mínimas de manejo (Ibid).

Análisis multicriterio en la conservación de suelos. En la cuenca Santa Catalina de la provincia de Córdoba, se realizó una investigación con el objetivo de cuantificar el costo económico que tendría incrementar la conservación de suelos para el productor agropecuario en su establecimiento en diferentes escenarios. Se encontró que el máximo margen bruto de ganancia se logra conjuntamente con el mayor riesgo económico, máxima pérdida de suelo, erosión de suelo, mayor necesidad de capital de trabajo y máximo índice de dificultad del cultivo. (Prada, 2008).

Si el objetivo es maximizar la rentabilidad económica, el modelo asume la máxima utilización posible de tierra para cultivar; si el objetivo es minimizar el riesgo económico, el modelo incorpora una mayor diversificación en las actividades productivas; cuando el objetivo es minimizar la erosión y pérdida de suelo se propone la rotación de gramíneas con cultivos semestrales; si el objetivo es optimizar el capital de trabajo el modelo cambia al uso de la tierra cultivos o

pasturas de baja calidad, que necesita menos gastos. Por último, si el objetivo es minimizar la dificultad del sistema, el modelo elige la mínima cantidad de actividades productivas (Prada, 2008).

Las prácticas de conservación de suelos ocupan mayor proporción del campo cuando los objetivos están relacionados a minimizar pérdida y erosión de suelo y riesgo económico; mientras que las prácticas de conservación de suelos es menor cuando se busca maximizar la rentabilidad económica, minimizar el capital de trabajo o la dificultad del cultivo (Ibid).

Si el productor no reconoce la relación pérdida de suelo – productividad, existe un alta probabilidad que el productor no controle erosión. De allí, la importancia de una política de conservación de suelos sobre el costo de la pérdida de suelo a nivel de productor. En la medida que el productor reconozca el impacto de la pérdida de suelo sobre la productividad y lo incorpore a la toma de decisiones se reducirá significativamente el nivel de erosión de suelo aún en el caso que el productor solo maximice rentabilidad (Ibid).

Si el productor adhiere a la política de conservación de suelos prácticamente reduce el conflicto entre los atributos identificados y mantiene el mismo nivel de rentabilidad que en el escenario que conoce los costos de pérdida de suelos. De hecho, la política de conservación de suelos evitaría pérdidas de rentabilidad por adopción de prácticas que controlan la erosión del suelo (Ibid).

En síntesis, existe un amplio margen de mejora del desempeño ambiental de la producción agropecuaria si el productor y la política de conservación de suelos incorpora la dimensión ambiental y económica de la pérdida de suelo en la toma de decisiones (Ibid).

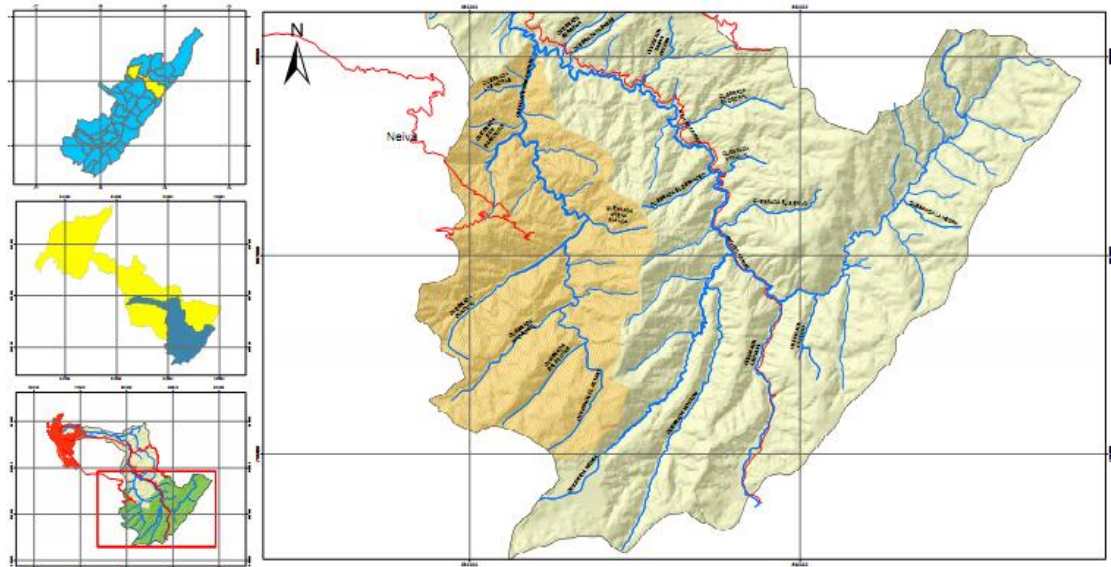
El productor agropecuario es el principal responsable y víctima de la degradación de las tierras debido a que decide el uso y manejo del suelo, y la utilización o no de prácticas de conservación de suelos (CS). Varios estudios plantean el conflicto entre objetivos económicos y ambientales en la toma de decisiones (Según, Sumpsi et al, 1997; Ballesteros y Romero, 1998; Tamiz et al, 1998; Gómez-Limón y Berdel, 1999; Hayashi, 2000; Gómez-Limón et al, 2003, citados por Prada, 2008). En ese sentido, se podría considerar, que el peso dado a la conservación de suelos en la toma de decisiones es bajo o compromete la rentabilidad económica de la explotación. En contraste, otros autores consideran que existe un margen amplio de mejora de los indicadores ambientales con baja resignación de la rentabilidad (Según Van Leeuwen et al, 2001; Meyer-Aurich, 2005; citados por Prada, 2008).

3. METODOLOGIA

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la microcuenca San Bartolo del río Las Ceibas, municipio de Neiva, departamento del Huila, donde actualmente se implementa el Plan de ordenación y Manejo POMCA desde el año 2008 (Figura 3).

Figura 3. Mapa de ubicación de la microcuenca de la quebrada San Bartolo en la cuenca río Las Ceibas, municipio de Neiva, departamento del Huila, Colombia.



Fuente: Proyecto cuenca río Las Ceibas, CAM.

3.2 PRIORIZACIÓN O DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

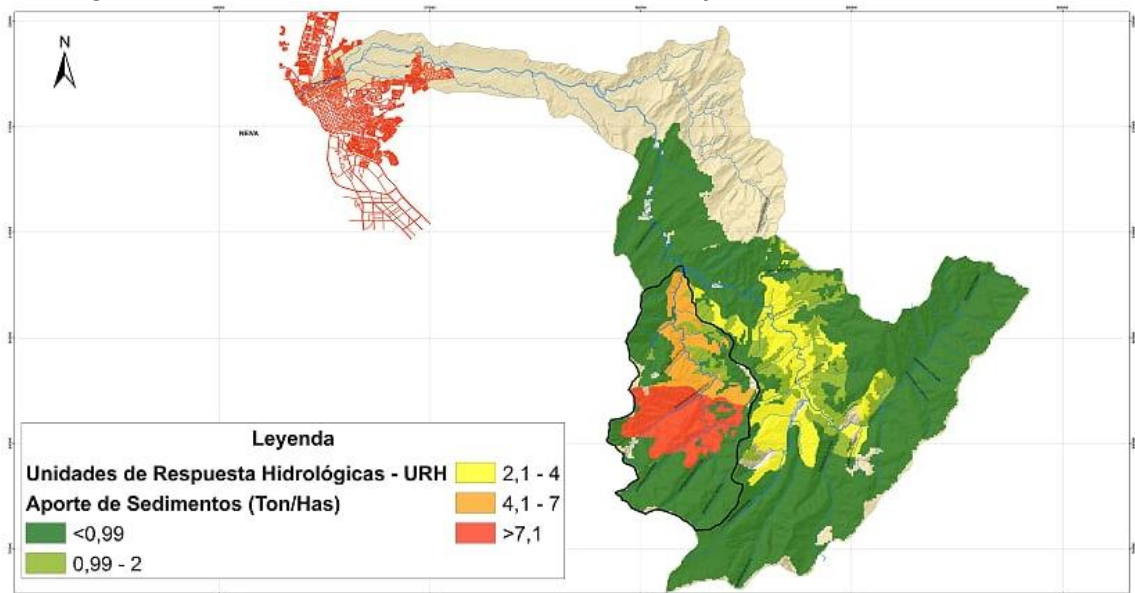
Conscientes que por la escasa cobertura boscosa y las malas prácticas agrícolas empleadas en la cuenca la retención de humedad es baja y el aporte de sedimentos al río Las Ceibas es alto, se analizó con base en información secundaria, cuáles eran las microcuencas con mayor aporte de sedimentos con el fin de priorizar las acciones de reconversión de usos del suelo y sentar las bases para un proyecto piloto en el Huila bajo el empleo de análisis multicriterio.

Con base en el estudio “Potencial de generar un sistema de compensación por servicios ambientales: estudio de caso cuenca río Las Ceibas, Departamento del

Huila”, elaborado por el CAM y CIAT en 2007, en el cual se corrió el modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool) que permite predecir el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación hídrica en cuencas hidrográficas, se pudieron identificar las Unidades de Respuesta Hidrológica URH que aportan mayor cantidad de sedimentos a los drenajes de la cuenca.

Al ver las zonas con URH en la cuenca, las de color rojo son las de mayor aporte de sedimentos entre 7,1 y 15 ton/ha y continúan las de color naranja con aportes entre 4,1 a 7 ton/ha (CIAT y CAM, 2007); ambas unidades están más generalizadas en la microcuenca San Bartolo (Figura 4), coincidiendo con las de mayor pendiente, mayor área en potreros en ladera y mayor concentración de siembra de fríjol con quemas agrícolas cada año, por lo tanto, se priorizó esta microcuenca para el estudio cuya área representa el 18,5 % del territorio de la cuenca y, a su vez, hace el mayor aporte de caudal al río Las Ceibas, correspondiente al 31,9 % del caudal promedio; razones más que suficientes para adelantar el estudio en esta microcuenca.

Figura 4. Mapa de aporte de sedimentos de las Unidades de Respuesta Hidrológica URH en la cuenca del Río Las Ceibas y microcuenca San Bartolo.



Fuente: CIAT y CAM, 2007

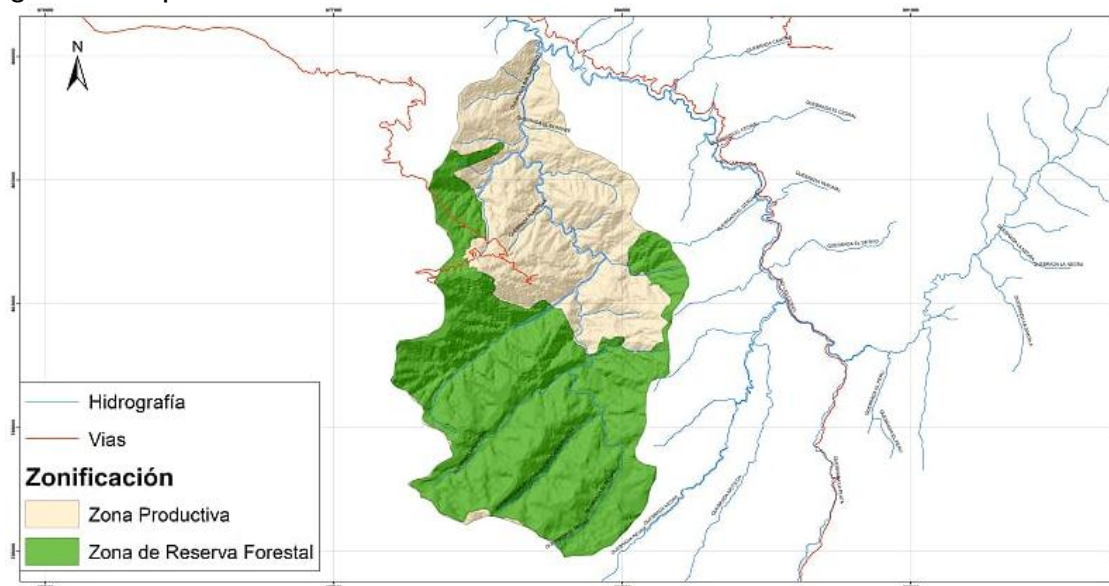
Sumado a esto, varias de las crecientes reportadas a través de los años, 1996, 1997, 2004 la microcuenca de la quebrada San Bartolo hizo su gran aporte y específicamente en el evento de octubre de 1996 fue la que más contribuyó en la generación de escorrentía (CAM y UNAL, 2006).

3.3 TIPOLOGÍAS DE PRODUCTORES

Para caracterizar las tipologías de productores presentes en la microcuenca San Bartolo, se inició con la delimitación del área disponible para actividades productivas a partir de la zonificación ambiental de la cuenca del río Las Ceibas.

Como se ha mencionado, la cuenca del río Las Ceibas cuenta con un POMCA en implementación que direcciona acciones de acuerdo a la reglamentación de uso y manejo de suelos (Figura 5), en la que delimita unidades de manejo para la preservación, restauración y producción agropecuaria sostenible, principalmente, con el fin de recuperar ambientalmente el territorio para garantizar el agua que demandará la ciudad de Neiva a futuro. En la microcuenca San Bartolo, al igual que en el resto de microcuencas en la parte alta se priorizó la protección de las áreas de nacimiento y recarga hídrica, 3.342 ha donde se están comprando predios y restaurando las áreas de bosque, llamada popularmente la zona de reserva y el resto del área, aguas abajo, pertenece a la zona de producción agropecuaria sostenible con 2210 ha (CAM, 2007). Esta segunda zona, donde el POMCA está apoyando el establecimiento de unidades productivas sostenibles es la susceptible de clasificar sus tipologías de productores para afianzar el cambio de uso del suelo propuesto institucionalmente.

Figura 5. Mapa de zonificación ambiental de la microcuenca San Bartolo.

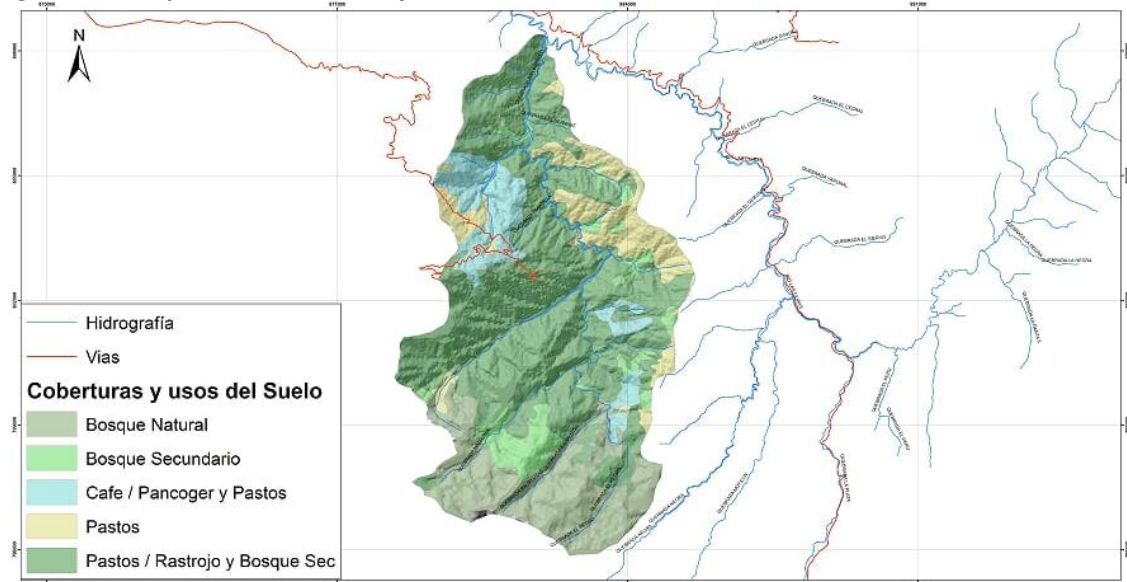


Fuente: Proyecto cuenca río Las Ceibas, CAM.

A partir del mapa de cobertura y uso del suelo (Figura 6) del Diagnóstico de la cuenca que existe a escala 1:50.000, cuya unidad mínima cartografiada es de 6,25 ha; se determinó que las áreas de cultivo y rastrojo menores a 6,25 ha de

predios típicos de economía campesina de la cuenca no se alcanzan a evidenciar, por lo tanto, fue necesario recoger dicha información en campo.

Figura 6. Mapa de cobertura y uso del suelo de la microcuenca San Bartolo.



Fuente: Proyecto cuenca río Las Ceibas, CAM.

Por medio de una encuesta semi estructurada se recolectó en campo información sobre el funcionamiento de los sistemas productivos: área del predio, tecnologías, uso de insumos, nivel de tenencia de activos, disponibilidad y utilización de mano de obra, y actividades productivas desarrolladas, además de confirmar las áreas de los lotes productivos que no se alcanzan a percibir en el mapa. Los habitantes de las veredas Chapuro, San Bartolo y Santa Bárbara colaboraron suministrando la información requerida, en ese orden de ideas es bueno recordar especialmente los aportes de Rulber Tovar, Roberto Quintero, Rodolfo Olaya, Miguel Antonio Tovar, Harold Yagué y Aurelio Escobar. En la validación de información de la estructura de costos de café Anibal Rojas y Fredy Caquimbo de las veredas Canoas y Primavera, respectivamente fueron muy acuciosos.

Con esta información y teniendo como base los sistemas productivos descritos para la zona, según Javeriana, 1995, citado por CAM, 2007 y Segura, 2007; se validó la información recolectada y se clasificaron las tipologías de productores que posteriormente se describieron para permitir un adecuado conocimiento del grupo objetivo del estudio. Ya con grupos de agricultores por cada tipología identificada, se determinó la utilización de capital, disponibilidad de recursos y flujos económicos como insumos para alimentar el modelo o de optimización; además se identificó su distribución espacial en la microcuenca.

Con base en esta información se priorizaron los sistemas productivos para hacer el análisis basados en los siguientes criterios: predios habitados, costos de

oportunidad bajos, menor a \$ 150.000/ha, generación de externalidades ambientales negativas y que las familias que lo habitan ejerzan su actividad laboral en la cuenca, es decir, que dependan económicamente de los ciclos de cosecha ya sea en su propio predio y/o en la zona, para que a futuro pueda planearse la reconversión productiva de los predios acorde a la mano de obra disponible, tierra y capital disponible.

Para cada una de las tipologías, y por medio de visitas a campo se construyeron en detalle las estructuras de costos e ingresos, así como los flujos de capital y mano de obra trimestralmente en cada una de las actividades productivas que desarrollan.

Posteriormente esta información (Tanto de la estructura del sistema productivo como de costos) se recopiló y se archivó en base de datos para ser utilizada posteriormente en el modelo de optimización.

3.4 ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS.

Identificadas las tipologías de productores presentes en la microcuenca San Bartolo, se plantearon alternativas productivas adaptables a la zona teniendo en cuenta vocación de los agricultores, oferta ambiental, vías de acceso y viabilidad económica, de tal forma que sean aceptadas fácilmente por la comunidad.

Las alternativas productivas comprenden también un manejo tecnificado con enfoque sostenible haciendo énfasis en disminuir erosión y aumentar la captura de carbono; con el cual se pretende a futuro ofertar servicios ambientales sin dejar a un lado la vocación agropecuaria de los habitantes de la microcuenca.

Café, frijol y ganadería con manejo sostenible fueron las actividades productivas priorizadas en diseño agroforestal con una distribución espacial condicionada a las pendientes de la zona sin generar penumbra a los cultivos, y acompañada de tecnologías apropiadas en la conservación de los suelos como las barreras vivas con vetiver (*Vetiveria zizanioides*) sumado el manejo de coberturas nobles.

3.5 ANÁLISIS MULTICRITERIO

Teniendo en cuenta los modelos de optimización de manejo de los recursos naturales, la presente investigación pretende analizar ex ante con detenimiento y con la ayuda del análisis multicriterio las relaciones entre las variables de restricción, que indican el estado del sistema (como disponibilidad de tierra, mano de obra disponible, pérdida de suelo y captura de carbono) y las variables de decisión, aquellas que pueden ser controladas y cuyos valores determinan el impacto sobre el sistema (créditos, compra y venta de mano de obra, ingresos por

ventas de servicios ambientales) para conocer el impacto sobre el productor y las externalidades ambientales.

Para este estudio de caso se diseñó un modelo de optimización compuesto de regresiones lineales que se corren utilizando la herramienta solver del programa Excel de Microsoft desarrollado por Fronline Systems, aplicación muy conocida y eficaz que facilita el manejo de datos (dice Ragsdale, 1998; citado por Ramos et al, 2010); que tiene como ventajas específicas: su facilidad de uso, su integración total con la hoja de cálculo, y la familiaridad con el entorno que facilita la explicación del modelo y de sus resultados (Ramos et al, 2010)

El problema identificado es la falta de un análisis integral de alternativas productivas óptimas para proponer el cambio de usos del suelo en cuencas en ordenación, porque las actividades productivas hacen un alto aporte de sedimentos y contemplan una mínima cobertura forestal y el capital y la mano de obra disponible son limitados, de ahí que difícilmente se pronostiquen los cambios económicos, sociales y ambientales que realmente se esperan.

Para hacer el análisis integral de variables financieras, sociales y ambientales de las tipologías identificadas de productores, se empleó el modelo de la Evaluación de estrategias de intervención para el proyecto corredor biológico PNN Puracé – PNN Cueva de los Guácharos (CAM, 2006). Este modelo se ajustó con el objetivo de agregar las variables ambientales que se priorizaron para el análisis de este estudio de caso: producción de sedimentos y captura de carbono.

Las interacciones del hombre con la tierra han creado desequilibrios en los ecosistemas, siendo la degradación de los suelos y agua la principal causa de los problemas biofísicos y socioeconómicos que se generan. Las consecuencias de la degradación acelerada de los suelos son de similar trascendencia que las de calentamiento global y pérdida de biodiversidad, estando los tres procesos íntimamente relacionados (Pla, 2006). Esta premisa, respaldó la determinación de las variables ambientales a analizar, la producción de sedimentos y captura de carbono.

La matriz multicriterio se alimentó tanto con la estructura de costos de las actividades productivas como también con los costos de establecimiento y rendimiento de actividades agropecuarias sostenibles teniendo en cuenta la oferta ambiental, la aceptación social y buena rentabilidad bajo tecnologías apropiadas que disminuyan el aporte de sedimentos y aumenten la fijación de carbono. De ahí que se consideraran los sistemas agroforestales y prácticas de conservación de suelos en café y ganadería, porque manteniendo las líneas productivas tradicionales se pretende no solo aumentar los ingresos de las familias campesinas de la cuenca sino también conservar los suelos y los bosques. Es decir, la matriz multicriterio permitió balancear los requerimientos de capital, mano de obra y tierra con los criterios ambientales priorizados.

El modelo se compone de 3 hojas de cálculo en un mismo libro del programa Excel: La primera hoja de cálculo “Información base” contiene la información básica para el funcionamiento del modelo, consta de la información de costos de producción, utilización de mano de obra e ingresos, tanto para las actividades que actualmente desarrolla cada tipología de productores, como para alternativas productivas a proponer. Adicionalmente esta hoja contiene la información de los recursos disponibles en el sistema de producción para cada una de las tipologías presentes en la microcuenca San Bartolo. La segunda hoja contiene el modelo como tal y los algoritmos de su programación, la única acción a realizar es correr el modelo mediante la opción “Solver” del menú herramientas. Finalmente la tercera hoja contiene los resultados del modelo, la factibilidad de las alternativas evaluadas, la cantidad de recursos utilizados por estas alternativas y la evaluación económica y ambiental.

A continuación se relacionan las variables registradas con las que se alimenta el modelo de optimización:

3.5.1 Usos del suelo por tipología. A partir de la información recolectada en la ficha de caracterización funcional se cuantificaron por promedio para cada tipología los parámetros mínimos necesarios requeridos por el modelo contenido en la primera hoja del libro excel (Anexo A):

- ✓ **Área del predio:** Extensión total del predio en hectáreas
- ✓ **Área cultivada:** La suma de las áreas con actividad productiva dentro del predio en hectáreas (Incluidas las áreas en pasto).
- ✓ **Rastrojos:** Área en rastrojos del predio en hectáreas
- ✓ **Bosques:** Área en bosques del predio en hectáreas

3.5.2 Información de las actividades productivas. Se elaboraron estructuras de costos y de flujo de mano de obra y capital para las actividades productivas desarrolladas actualmente en cada tipología de productores, para las cuales se sintetizó la siguiente información mínima requerida por el modelo; también contenida en la primera hoja del libro excel (Anexo B):

- ✓ **Requerimiento de tierra:** Requerimientos de tierra en hectáreas para la actividad productiva evaluada, por ejemplo, para cultivos se estableció 1 ha como unidad productiva pero para ganadería la una unidad básica es de 40 Ha de tierra para mantener 20 bovinos.
- ✓ **Requerimiento de capital:** Requerimientos financieros para el desarrollo de cada actividad productiva, es decir, el costo total, sin incluir mano de obra, en el caso de las actividades desarrolladas en periodos menores a un año, el valor corresponde al capital gastado durante el ciclo de producción;

para actividades productivas cuyo ciclo dura más de un año, el valor corresponde al costo financiero promedio anual. Por ejemplo, el costo financiero para la actividad café tradicional es de \$ 2.376.544 por año.

- ✓ **Mano de obra por trimestre:** Requerimiento de jornales para el desarrollo de la actividad productiva durante cada uno de los cuatro trimestres del año. Por ejemplo, para una hectárea de café tradicional se requieren: 8, 80, 12 y 32 jornales para primero, segundo, tercer y cuarto trimestre respectivamente.

El modelo incluye información para todas las actividades productivas desarrolladas actualmente por productores de la microcuenca San Bartolo, al igual que información de fuentes secundarias para las actividades alternativas productivas a desarrollar.

3.5.3 Variables ambientales. Los dos indicadores de mayor interés bajo la perspectiva de ordenamiento de la cuenca que dé cuenta del impacto positivo de la gestión en una cuenca son el aporte de sedimentos y la captura de carbono; porque la disminución del primero y el aumento del segundo se da en la medida que aumenten las coberturas forestales como en rondas hídricas y principalmente en áreas de cultivo mediante el establecimiento de sistemas agroforestales, complementadas con prácticas de conservación de suelos; pero al hacer la revisión de bibliografía se evidencia que la información existente sobre erosión difiere entre estudios CAM y CIAT, 2007 y FAO y GHIDA, 2009. Así mismo sucede con las fuentes bibliográficas, los estudios que existen en una misma zona difieren en los resultados de acuerdo a la metodología empleada (Romero, 2011), pero los motivos de obtener registros altos en aporte de sedimentos en los diferentes estudios obedecen a las mismas causas: escasa cobertura vegetal, fuerte pendiente, prácticas inadecuadas de suelos, por lo tanto, se recurrió a la determinación de índices, porque si bien las cifras de erosión y captura de carbono no coinciden entre estudios, sí son comunes los motivos por los cuales las tasas de estas variables son altas o bajas. Los índices definidos también están contenidos en la primera hoja del libro Excel del modelo de optimización.

Índice de producción de sedimentos. Para determinar el índice de producción de sedimentos se consultaron cifras de arrastre de sedimentos de estudios en la zona CAM y CIAT, 2007 y FAO y GHIDA, 2009; Op cit. Las cifras de erosión no coinciden en los dos estudios adelantados en la cuenca, pero sí tienen en común una tendencia que a mayor porcentaje de pendiente y suelo desnudo aumenta el aporte de sedimentos a los drenajes naturales. De otro lado, el Factor C de la ecuación universal de la erosión, el cual representa la pérdida de suelo a partir de una condición específica del cultivo y cobertura del suelo, nos orienta a la hora de proponer un índice puesto que sus valores son adimensionales; un valor mayor corresponde al suelo cuando está completamente desnudo o desprotegido y va

disminuyendo en la medida que el suelo sea protegido por el cultivo o posea un cultivo de cobertura (Nuñez, 2001).

”De ahí, que teniendo en cuenta las fuentes consultadas y los resultados de evaluación de erosión en la cuenca se proponen los siguientes rangos de calificación o índices para las actividades productivas a evaluar, en una escala que va de 0 a 1 (Tabla 9).

Tabla 9. Rangos de calificación de producción de sedimentos.	
Calificación de producción de sedimentos	Rango
Alta	0,71 a 1
Media	0,36 a 0,7
Baja	< 0,35

Fuente: El autor.

Entonces, para las actividades productivas presentes y las alternativas productivas sostenibles propuestas, los índices quedaron de la siguiente forma (Tabla 10).

Tabla 10. Índice de producción de sedimentos Índice de producción de sedimentos por las actividades productivas existentes y propuestas en la microcuenca San Bartolo.

Actividades productivas	Índice de producción de sedimentos	Criterio
Fríjol tradicional	1	Alta producción de sedimentos
Fríjol tradicional en partija	1	Alta producción de sedimentos
Fríjol sostenible con barreras vivas	0,5	Producción media de sedimentos
Fríjol sostenible sin barreras vivas	0,75	Alta producción de sedimentos
Café tradicional producción pequeño	0,5	Producción media de sedimentos, por desproteger el suelo al controlar malezas
Café tradicional producción muy pequeño	0,5	Producción media de sedimentos
Café agroforestal con barreras vivas	0,2	Baja producción de sedimentos
Café agroforestal sin barreras vivas	0,25	Baja producción de sedimentos
Ganadería tradicional (unidad 40 ha)	0,75	Alta producción de sedimentos por el sobrepastoreo
Potrерización	0,75	Alta producción de sedimentos
Ganadería doble propósito sostenible con silvopastoreo	0,4	Producción media de sedimentos
Ganadería doble propósito sostenible sin silvopastoreo	0,5	Producción media de sedimentos
Intercambio bosque – área	1	Alta producción de sedimentos

Actividades productivas	Índice de producción de sedimentos	Criterio
cultivable		
Intercambio rastrojo – área cultivable	1	Alta producción de sedimentos
Bosque (Área a restaurar)	0,1	Baja producción de sedimentos

NOTA: Las celdas resaltadas de la columna Actividades productivas, obedecen a las alternativas de producción en agroforestería y/o con prácticas complementarias de conservación de suelos.

Fuente: El autor.

Índice de captura de carbono. De manera similar que en cuantificación de erosión, las diferentes fuentes bibliográficas muestran que más que registros coincidentes sí lo son las tendencias, es decir, tanto la cobertura de bosque como la de cacao almacenan mayor cantidad de carbono por obvias razones, le sigue café con amplia distancia y con muy baja capacidad de almacenamiento los pastos. De tal forma, se propusieron los siguientes rangos de calificación o índice de captura de carbono, en una escala de 0 a 1 (Tabla 11).

Tabla 11. Rangos de calificación de captura de carbono.

Calificación de captura de carbono	Rango
Alta	0,75 a 1
Media	0,35 a 0,74
Baja	< 0,34

Fuente: El autor.

Para el caso de la captura de carbono, es importante promover arreglos productivos que garanticen el mayor almacenamiento posible de carbono ya sea en la madera o en el suelo, de tal forma que se mejore el contenido de materia orgánica edáfica que a su vez mejora la infiltración y el almacenamiento de agua en el suelo. A continuación, se muestran los índices de captura de carbono definidos (Tabla 12).

Tabla 12. Índice de captura de carbono por las actividades productivas existentes y propuestas en la microcuenca San Bartolo.

Actividades productivas	Índice de captura de carbono	Criterio
Fríjol tradicional	-1	Liberación de carbono de biomasa y materia orgánica del suelo por las quemas agrícolas
Fríjol tradicional en partija	-1	Liberación de carbono de biomasa y materia orgánica del suelo por las quemas

Actividades productivas	Índice de captura de carbono	Criterio
		agrícolas
Fríjol sostenible con barreras vivas	0,35	Captura media de carbono por vetiver como barrera viva y abono verde forestal
Fríjol sostenible sin barreras vivas	0	Captura baja de carbono
Café tradicional producción pequeño	0,38	Captura media de carbono por ciclo de cultivo cada 6 años
Café tradicional producción muy pequeño	0,38	Captura media de carbono por ciclo de cultivo 6 años
Café agroforestal con barreras vivas	0,77	Captura alta de carbono por ciclo forestal de 16 años y vetiver como barrera viva
Café agroforestal sin barreras vivas	0,73	Captura media de carbono por ciclo forestal de 16 años
Ganadería tradicional (unidad 40 ha)	0,0	Captura baja de carbono
Potrerización	0,0	Captura baja de carbono
Ganadería doble propósito sostenible con silvopastoreo	0,50	Captura media de carbono por establecimiento de cercas vivas con ciclo forestal de 16 años
Ganadería doble propósito sostenible sin silvopastoreo	0,42	Captura media de carbono por establecimiento de cercas vivas
Intercambio bosque – área cultivable	-1	Liberación de carbono de biomasa y materia orgánica del suelo por las quemas agrícolas
Intercambio rastrojo – área cultivable	-1	Liberación de carbono de biomasa y materia orgánica del suelo por las quemas agrícolas
Bosque (Área a restaurar)	1	Captura alta de carbono

NOTA: Las celdas resaltadas de la columna Actividades productivas, obedecen a las alternativas de producción en agroforestería con énfasis en captura de carbono.

Fuente: El autor.

3.5.4 Funcionamiento del modelo de optimización. El modelo se corre usando la función de solver en Excel como ya se mencionó, pero previamente se seleccionan las actividades de la tipología que quiera analizarse (Anexo C). En cada corrida se pueden someter a evaluación hasta 15 opciones productivas diferentes; pero la forma de activarlas es estableciendo el límite máximo del modelos, es decir, las celdas de máxima para cada alternativa a evaluar. El modelo asume por defecto un valor mínimo de 0. El valor de máxima depende de los límites del proyecto, pero para efecto del presente estudio de caso se dejó de 1000, para que el modelo corriera con libertad. Para las actividades productivas que desarrolla la tipología actualmente se debe colocar en la celda mínimo el área que posee el productor.

Corridas especiales. Son corridas especiales el caso de intercambio de bosque y rastrojo por área cultivable, y compra y venta de jornales. Para determinar las posibles presiones sobre las áreas de bosque y rastrojo de cada sistema productivo, se le dio la opción al modelo de simular las necesidades de desmonte. Para activar esta opción es necesario activar las opciones tumba y mantenimiento tal como se mencionó anteriormente.

Como la cantidad de venta y adquisición de mano de obra depende fundamentalmente de la época del año, fue necesario discriminarla por trimestre, por esta razón, tanto para venta como para compra de mano de obra, se deben activar las opciones durante los cuatro trimestres.

Activación del solver. La segunda hoja del libro Excel (Anexo C, ya mencionado) se emplea exclusivamente para correr el modelo, y se hace de la siguiente forma: En el menú Herramientas, al hacer clic en complementos, aparecerá un cuadro de diálogo en la que se debe activar la opción solver haciendo clic en aceptar; hay que verificar que las celdas de cantidad simulada (color naranja) aparezcan sin valores. En el menú Datos, se da clic sobre la opción Solver donde aparece un cuadro de diálogo donde se define la celda objetivo (función objetivo) y las restricciones ambientales, económicas o sociales que se hayan priorizado; y dar resolver. Adicionalmente se da la opción de informe de sensibilidad y aceptar. Con esto termina la corrida del modelo y se da paso a la fase de interpretación de resultados.

De esta forma, se corrió el modelo para cada tipología de productores con las actividades actuales y evaluando las diferentes posibilidades propuestas por el proyecto. El primer paso consistió en ajustar el modelo para cada tipología de tal manera que respondiera a su lógica actual de producción. Posterior a esto se realizaron mínimo cinco corridas para cada tipología en los escenarios que describe la Tabla 13.

Tabla 13. Escenarios analizados con el modelo de optimización.

Escenarios evaluados	Descripción y/o condiciones
Escenario actual	Se evaluó con el modelo el desempeño de los indicadores establecidos, de acuerdo a las áreas y tamaños de explotación actuales promedio para cada tipología
Escenario óptimo tendencial simulado por el modelo	Se simuló la estructura óptima del sistema según el abanico de las diferentes actividades productivas de la zona sin considerar las alternativas tecnológicas, es decir, cuál es la tendencia sino se plantean alternativas de reconversión de manejo del suelo.
Escenario deseado con la más baja	Se simuló la estructura óptima del sistema

Escenarios evaluados	Descripción y/o condiciones
producción de sedimentos y la más alta captura de carbono posible	considerando las alternativas productivas bajo tres premisas: 1. Maximizar los ingresos con los recursos de tierra, capital y mano de obra disponibles en la tipología. 2. Minimizar la producción de sedimentos sin afectar los ingresos del productor. 3. Maximizar la captura de carbono sin afectar los ingresos del productor.

Fuente: El autor.

Ecuaciones del modelo de optimización.

La forma de expresar la función objetivo y las restricciones de las tipologías campesinas en el modelo de optimización empleado de acuerdo a las variables definidas y los escenarios analizados (incluyendo las actividades productivas con manejo tradicional y las alternativas productivas con manejo sostenible), es la siguiente:

Premisa 1. Maximizar los ingresos con los recursos de tierra, capital y mano de obra disponibles en la tipología.

Función objetivo:

Máximo ingreso: Área café x ingresos café + área ganadería x ingresos ganadería + área frijol x ingresos frijol = Ingresos máximos

Restricciones:

Tierra: Área café + área ganadería + área frijol ≤ Área productiva del predio

Capital: Área café x capital café + área ganadería x capital ganadería + área frijol x capital frijol ≤ Capital disponible por el productor

Mano de obra: Área café x jornales café + área ganadería x jornales ganadería + área frijol x jornales frijol ≤ Mano de obra disponible por el productor

Producción de sedimentos: Área café x sedimentos café + área ganadería x sedimentos ganadería + área frijol x sedimentos frijol ≤ Disminuir el aporte de sedimentos de las actividades productivas

Captura de carbono: Área café x fijación CO₂ café + área ganadería x fijación CO₂ ganadería + área frijol x fijación CO₂ ≥ Aumentar la captura de carbono de las actividades productivas

Premisa 2. Minimizar la producción de sedimentos sin afectar los ingresos del productor.

Función objetivo:

Mínima producción de sedimentos: Área café x sedimentos café + área ganadería x sedimentos ganadería + área frijol x sedimentos frijol = Sedimentos mínimos

Restricciones:

Tierra: Área café + área ganadería + área frijol ≤ **Área productiva del predio**
Capital: Área café x capital café + área ganadería x capital ganadería + área frijol x capital frijol ≤ **Capital disponible por el productor**
Mano de obra: Área café x jornales café + área ganadería x jornales ganadería + área frijol x jornales frijol ≤ **Mano de obra disponible por el productor**
Captura de carbono: Área café x fijación CO₂ café + área ganadería x fijación CO₂ ganadería + área frijol x fijación CO₂ ≥ **Aumentar la captura de carbono de las actividades productivas**
Ingreso: Área café x ingresos café + área ganadería x ingresos ganadería + área frijol x ingresos frijol ≥ **Ingreso actual**

Premisa 3. Maximizar la captura de carbono sin afectar los ingresos del productor.

Función objetivo:

Máxima captura de carbono: Área café x fijación CO₂ café + área ganadería x fijación CO₂ ganadería + área frijol x fijación CO₂ = **Captura de carbono máxima**

Restricciones:

Tierra: Área café + área ganadería + área frijol ≤ **Área productiva del predio**
Capital: Área café x capital café + área ganadería x capital ganadería + área frijol x capital frijol ≤ **Capital disponible por el productor**
Mano de obra: Área café x jornales café + área ganadería x jornales ganadería + área frijol x jornales frijol ≤ **Mano de obra disponible por el productor**
Producción de sedimentos: Área café x sedimentos café + área ganadería x sedimentos ganadería + área frijol x sedimentos frijol ≤ **Disminuir el aporte de sedimentos de las actividades productivas**
Ingreso: Área café x ingresos café + área ganadería x ingresos ganadería + área frijol x ingresos frijol ≥ **Ingreso actual**

3.5.5 Interpretación de los resultados. La primera salida del modelo es la estructura productiva del sistema propuesto (Anexo 4) en el que muestra las áreas de la actividad o actividades productivas que recomienda el modelo, de acuerdo a las condiciones planteadas. En la Tabla 14 se relacionan las variables analizadas.

Tabla 14. Estructura del modelo productivo o Área que recomienda el modelo establecer de acuerdo a los escenarios analizados.

Uso y manejo actual del suelo	Unidades	Descripción
Fríjol tradicional	ha	Se refiere al área existente de ellos en los sistemas productivos presentes en la microcuenca de la quebrada San Bartolo.
Café tradicional muy pequeño	ha	
Potrerización	ha	
Fríjol en partija		
Café tradicional pequeño	ha	
Ganadería tradicional (unidad 40 ha)	ha	
Cacao	ha	
Alternativas de uso y manejo del suelo	unidades	Descripción
Fríjol sin barreras vivas	ha	
Fríjol con barreras vivas	ha	

Uso y manejo actual del suelo			Unidades	Descripción
Café AF sin barreras vivas			ha	Hace referencia al área que el modelo recomienda frente al capital, tierra y mano de obra disponible, para maximizar ingresos.
Café AF con barreras vivas			ha	
Ganadería sostenible	doble		ha	
propósito				
Bosque a restaurar			ha	

Fuente: El autor.

Con los indicadores económicos y ambientales (Anexo 5), se refleja el impacto de las diferentes alternativas evaluadas sobre el sistema productivo. Los indicadores económicos son:

Ingreso Neto: Cuantificado en pesos por año, refleja el ingreso total del sistema productivo con las alternativas seleccionadas descontando los costos de insumos. Este hace referencia a la función objetivo del modelo construido, lo que significa que el programa adecua la estructura del sistema productivo de tal manera que se obtenga el máximo ingreso neto permitido de acuerdo a las diferentes restricciones.

Adecuación de la mano de obra: Este indicador expresa la relación entre la mano de obra disponible en el sistema y la mano de obra utilizada por las alternativas seleccionadas para cada uno de los trimestres. Un valor de 1 significa la adecuación perfecta donde la mano de obra necesaria es igual a la disponible, valores por encima de uno significan que hay mayor disponibilidad de mano de obra en la familia que la que requiere el sistema de producción, y valores inferiores a uno existe un déficit de mano de obra familiar para cumplir con los requerimientos del sistema productivo.

Retribución a la mano de obra: Representa la retribución en pesos por cada jornal. El primer indicador (\$ / jornal laborado) significa cuánto dinero entra a la familia por cada jornal que disponen, sin que necesariamente esta haya sido utilizado. El segundo indicador (\$ / jornal disponible) significa la cantidad de dinero retribuido por el sistema productivo por cada jornal familiar trabajado.

Retribución al capital: La cantidad de pesos retribuidos por el sistema productivo por cada peso invertido en efectivo, en el caso del ejemplo un valor de 15 significa que cada peso que el agricultor invirtió en las actividades productivas generó 15 pesos en ingresos.

Costos financieros de producción: Cuantifica los costos en efectivo incurridos por el productor para el desarrollo de las alternativas productivas identificadas.

Relación B/C: Significa cuál es el ingreso generado por el sistema productivo por cada peso de los costos incurridos, donde se incluyen los costos tanto financieros como de valoración de la mano de obra. El valor del ejemplo de 0,63 significa

que por cada peso incurrido en costos de producción el sistema genera 0,63 pesos en ingresos, en este caso significa que la retribución a la mano de obra es inferior con el sistema productivo que con el precio del trabajo en el mercado, por lo cual los costos son superiores a los ingresos.

Los indicadores ambientales son:

Índice de captura de carbono. Se refiere a la contribución de las actividades productivas en la captura de carbono en los escenarios evaluados. Es atractivo en la medida que sea mayor que el valor del escenario actual.

Índice de producción de sedimentos. Se refiere a la contribución de las actividades productivas en la disminución del aporte de sedimentos a los drenajes naturales. Es atractivo en la medida que sea menor que el valor del escenario actual.

Un indicador adicional que aporta el modelo de optimización es el **Precio sombra de los recursos** que denomina “informe de sensibilidad”, el cual expresa para cada uno de los recursos de producción el ingreso retribuido al sistema por una unidad adicional del recurso disponible. A continuación un ejemplo (Tabla 15)

Tabla 15. Resultado de informe de sensibilidad o “precio sombra” de las variables evaluadas.

Nombre	Final Valor	Sombra Precio
Capital Resultado	11680776,31	0,133974379
M.O. 1 tri Resultado	112,5	34019,23138
M.O. 2 tri Resultado	112,5	34019,23138
M.O. 3 tri Resultado	50,61055	0
M.O. 4 tri Resultado	67,25034616	0
Area disponible Resultado	17,34	57226,74224
Bosque Resultado	0	0
Rastrojo Resultado	0	0

Fuente: El autor.

En el ejemplo para este productor una hectárea adicional de tierra significaría que sus ingresos podrían aumentar en \$ 57.226, de igual manera, 1 peso adicional en el capital significaría que sus ingresos aumentarían en 0,13 pesos. La mano de obra en los dos primeros trimestres tiene un precio sombra de \$ 34.019, es decir, que esto es lo que recibiría por cada jornal adicional; mientras que para el 3° y 4° trimestres no tiene precio sombra lo que significa que disponer de jornales adicionales para este productor específicamente no repercutiría en un aumento de sus ingresos en este período del año.

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DEL ESCENARIO ACTUAL DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

Los sistemas productivos o tipologías de productores encontrados en la microcuenca San Bartolo tienen los siguientes aspectos en común: Se encuentran en terrenos con fuertes pendientes, en promedio del 70 %, se adelantan en suelos de origen ígneo altamente meteorizados con una capa profunda de saprolito que da unas condiciones de infiltración alta pero baja retención de humedad, cuentan con baja fertilidad, bajo contenido de materia orgánica y son ligeramente ácidos. Se encuentra en la parte media de la cuenca.

Entre las praderas se encuentran terrenos con pendientes mayores al 80 % que no tienen uso, es decir, el ganado no los transita, y no tienen rastrojo, puesto que cada que queman para renovar potreros y sembrar fríjol no se ejerce ninguna protección sobre estas áreas. Realmente no es un área de interés o que genere ingresos, ya que los animales no la transitan y no se emplea para cultivar, razón por la cual no se protege o aísla, de ahí que las coberturas de bosque se circunscriban principalmente a unas rondas hídricas angostas.

Los productores de café cuentan con la asistencia técnica tímida del Comité de Cafeteros, que de alguna manera se entiende por la alta dispersión de los agricultores, las dificultades de acceso y porque la principal apuesta productiva tradicionalmente ha sido el fríjol. Poco a poco el café gana protagonismo y así mismo, la presencia de esta importante institución. El Comité de Ganaderos hace presencia en las épocas de vacunación dos veces al año. La CAM en el marco de la implementación del POMCA del río Las Ceibas hace presencia permanente desde el año 2008, promoviendo la protección de las rondas hídricas, la renovación de cafetales, la adecuación de la infraestructura de beneficio de café, acciones relacionadas con el uso eficiente y calidad del recurso hídrico, y el fortalecimiento social.

El acceso es por la vía Neiva – Cerro Neiva carretera destapada en mal estado que cruza la vereda Chapuro hasta llegar el sector del Campamento Km 28, punto de acceso de la vereda San Bartolo por camino herradura. Las fincas están dispersas por trayectos superiores a una hora caminando desde este sitio.

El nivel académico por lo general no supera el quinto de primaria, su parcial asilamiento y su baja interacción con instituciones definen circunstancias como desconfianza con el visitante, niveles de lectura, escritura y matemáticas deficientes, baja adopción de tecnología y muy arraigados a la tradición y experiencia productiva de las quemas agrícolas y la ganadería extensiva.

Para la microcuenca San Bartolo se confirmaron 5 tipologías de productores que con ayuda del SIG, se determinó el área promedio de cada una de ellas (Tabla 16) y su ubicación espacial (Figura 7).

Tabla 16. Tipologías de productores más representativos en la microcuenca San Bartolo.

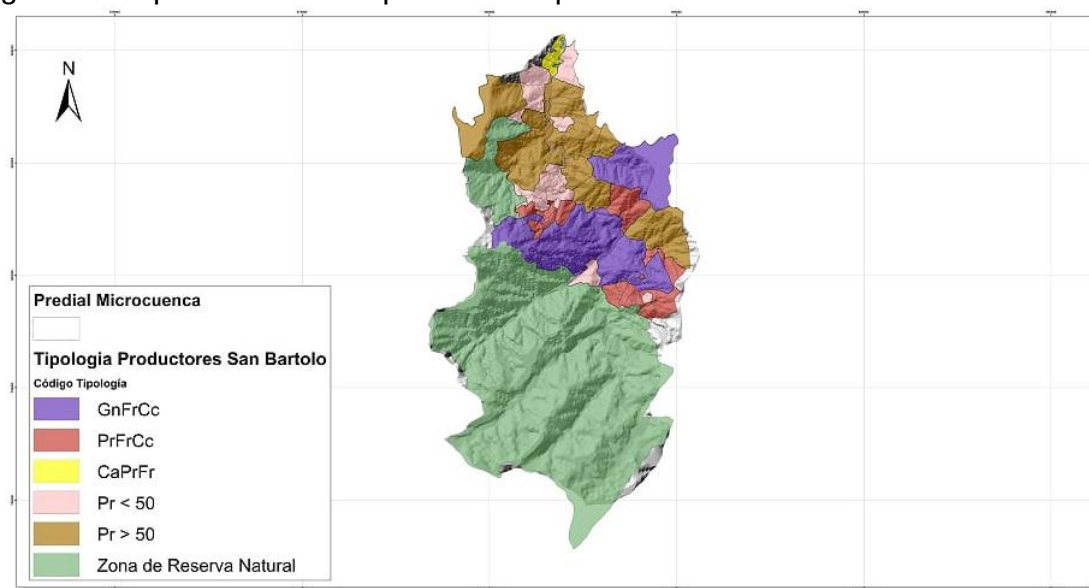
Sistemas productivos	Código de tipologías	Área en zona productiva en microcuenca (ha)	%	# propietarios	Rango de área ha	Color en mapa
Potrerización, transitorios, café	PrFrCc	244,87	11,1	15,00	< 50	
Ganadería, transitorios, café	GnFrCc	931,77	42,2	7,00	> 50	
Potrerización < 50 ha	Pr < 50 ha	190,35	8,6	8,00	< 50	
Potrerización > 50 ha	Pr > 50 ha	681,52	30,8	6,00	> 50	
Cacao, potrerización, transitorios	CaPrFr	162,02	7,3	6,00	< 50	
Área de reserva	RF	N.A.*	NA*	N.A.*	N.A.*	
Total		2.210,53	100	42		

*N.A.: No aplica.

Fuente: El autor.

La estructura de costos cuya información fue empleada para la alimentación de la matriz multicriterio y poder correr el modelo se pueden ver en los anexos 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

Figura 7. Mapa de Sistemas productivos presentes en la microcuenca San Bartolo.

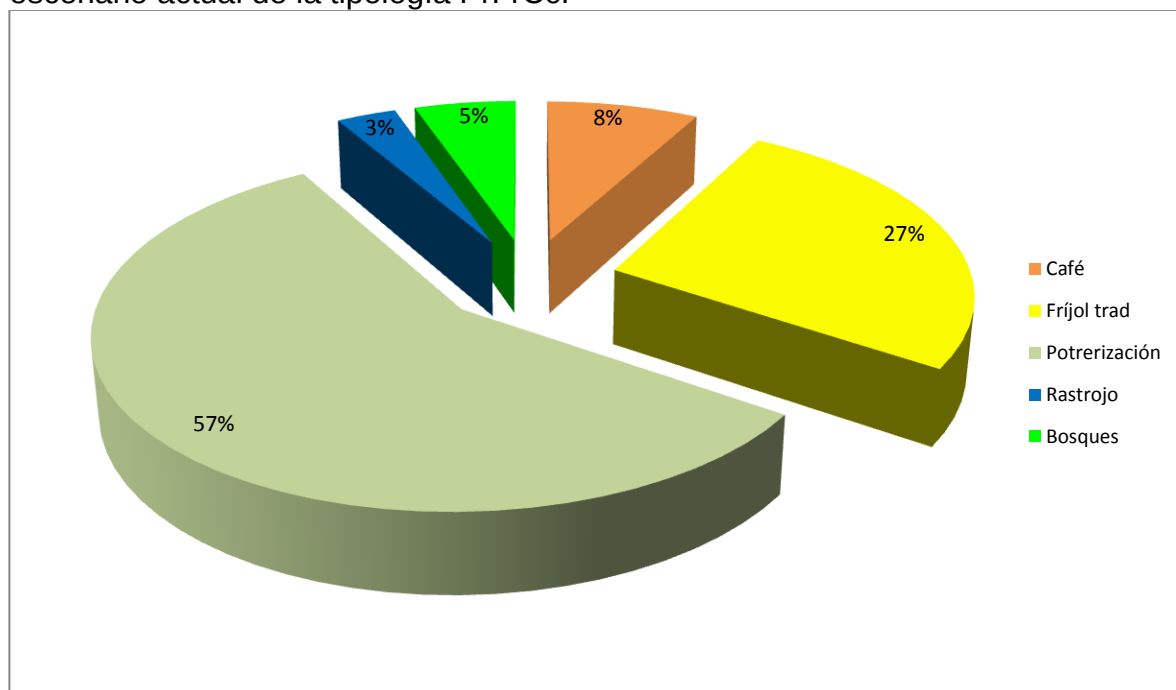


Fuente: El autor.

Las tipologías de productores encontradas allí se describen a continuación:

4.1.1 Potrerización, transitorios, café. PrFrCc. Se desarrolla en predios menores a 50 ha. Representan el 11,1% del área productiva de la microcuenca, es decir, 244,8 ha, entre 15 propietarios. Se caracteriza porque los predios tienen área en potreros no mayor a 38 ha, entre 1 a 2 ha de café, y como cultivo de ciclo corto no más de 5 ha en frijol, una vez al año. Posee menos del 8% del área del predio en bosques y rastrojos que se limita a franjas angostas altamente intervenidas en los bordes de las quebradas. La Figura 8 muestra la distribución porcentual de las áreas de las actividades productivas y el bosque en esta tipología.

Figura 8. Distribución porcentual de áreas por actividades productivas en el escenario actual de la tipología PrFrCc.



Fuente: El autor.

Poseen áreas de potrero con pasto gordura (*Melinis minutiflora*) y puntero (*Hyparrhenia rufa*) por encima y por debajo de los 1.500 msnm respectivamente, que se renuevan cada cuatro años mediante la quema agrícola, de ahí que aprovechen el terreno para la siembra de frijol. Dada la baja capacidad de carga por la oferta ambiental, mediana a baja fertilidad, pendientes fuertes y poca agua, sumada al tipo de manejo, tradicionalmente deciden alquilar los potreros a los vecinos durante una época del año, actividad por la que reciben ingresos adicionales mas no representativos frente a los gastos del predio. La importancia de los potreros en la cuenca y principalmente en esta tipología obedece a la rotación con frijol.

La siembra de fríjol está ligada directamente a la renovación de los potreros, es decir, al abundar la “maleza” coincide con la poca oferta alimenticia para los bovinos momento en el que debe ser renovada la pastura, aproximadamente cada cuatro años, por lo tanto, rozan el helecho, las plantas semileñosas y posteriormente queman. 10 años atrás la rocería se hacía a machete, ahora lo hacen con guadaña. Para las zonas más pendientes o con afloramientos rocosos, aún emplean el machete. Se quema a final de enero e inicio de febrero para sembrar entre marzo y abril. Por lo general, hacen rondas protectoras para evitar el paso de las llamas a otras áreas del predio o vecinos. Existen suficientes antecedentes de daños a cercas, potreros y bosques por la ampliación de las llamas cuando no se hacen las rondas y también en casos especiales, así existan las mismas. Las siembras realizadas en el mes de febrero, son las que logran mejor precio en la comercialización a principios de junio pero existe un alto riesgo de pérdida si las lluvias de mayo no se distribuyen uniformemente durante el mes. En cambio, la siembra que se realiza en marzo es la de mejor rendimiento porque tiene menos riesgo de pérdida por humedad; es cosechada a mediados y finales de junio pero el precio de venta por lo general es bajo. El manejo del cultivo, si bien ha cambiado con respecto a 15 años atrás, aún son vigentes algunos elementos tradicionales. Antes “tapaban” fríjol, es decir, después de esparcida la semilla al voleo, la tapaban con azadón, por lo tanto, difícilmente se manejaban distancias de siembra, solo se habla que para una hectárea se requerían 10@ de semilla de fríjol. Actualmente, siembran a chuzo dos a tres semillas por sitio cada 20 cm distribuidos al azar, es decir, sin manejar surcos de siembra. En este sistema emplean 7,5@ de semilla de fríjol a la que 30 días después de la siembra aplican fertilizante al voleo en relación 1:1, es decir, 1 bulto de fertilizante, que generalmente corresponde a sulfato de amonio, por 1 de semilla. Regularmente no emplean agroquímicos porque cada año están sembrando en lotes diferentes del predio sólo durante el primer semestre del año, por lo tanto, hay mínimas posibilidades que las plagas y enfermedades se especialicen y multipliquen. En el segundo semestre del año no acostumbran sembrar en la cuenca porque llueve menos, provocando pérdidas del cultivo; de ahí que algunos agricultores de la cuenca migren en esta época al Caquetá a sembrar fríjol. Cada dos a cuatro años están sembrando en el mismo lote o potrero, dependiendo esto del área disponible. El rendimiento esperado es de 980 Kg/ha de fríjol. En contadas ocasiones recolectan hasta 1.300 Kg/ha. Ver en Anexo F estructura de costos.

El cultivo del café ocupa un segundo renglón de importancia en la microcuenca San Bartolo, después de fríjol. Las distancias de siembra empleadas en la zona eran de 1,5 entre plantas y 1,5 m entre surcos para una densidad de 4.444 plantas por hectárea. Con las renovaciones de cafetales están disminuyendo las distancias entre plantas a 1,3 m. Siembran principalmente variedad caturra. Cuenta con una adopción de tecnología baja, por ejemplo, no aplican materia orgánica en el almácigo ni al momento del trasplante en el lote definitivo, no se basan en análisis de suelos para la fertilización, no aplican fuente de fósforo en

almácigos y primeros seis meses después del trasplante. En mantenimiento, la aplicación de fertilizante, por lo general, no se hace oportunamente o no siempre se hace dependiendo de los ingresos generados por la cosecha de frijol. El control de hierbas lo hacen por parejo, es decir, limpian el suelo con machete o herbicida, dejándolo sin vegetación dos veces al año al inicio de las temporadas de lluvia; práctica contraproducente al bienestar del cultivo porque deteriora el suelo. Son oportunos con el re-re para control de broca, porque los “graneos” son fundamentales en los ingresos de la familia principalmente del segundo semestre del año que es la “mitaca”. Como sombrío se pueden encontrar no más de 15 árboles por hectárea, principalmente guamo machete (*Inga densiflora*) y en menor porcentaje nogal cafetero (*Cordia alliodora*). Obtienen un promedio de producción de 7,8 cargas/ha (975 Kg/ha). Con la implementación de la primera fase del POMCA río Las Ceibas, algunas familias renovaron lotes de café, la gran mayoría adecuaron el beneficiadero y se instalaron en la mayoría de predios, secadero solares, por tal razón, han mejorado la calidad del café y han pasado de vender café húmedo a seco, lo que significa que sus ingresos aumentaron en gran parte de los casos mínimo en un 50%. En Anexo G ver estructura de costos de café de muy pequeño productor.

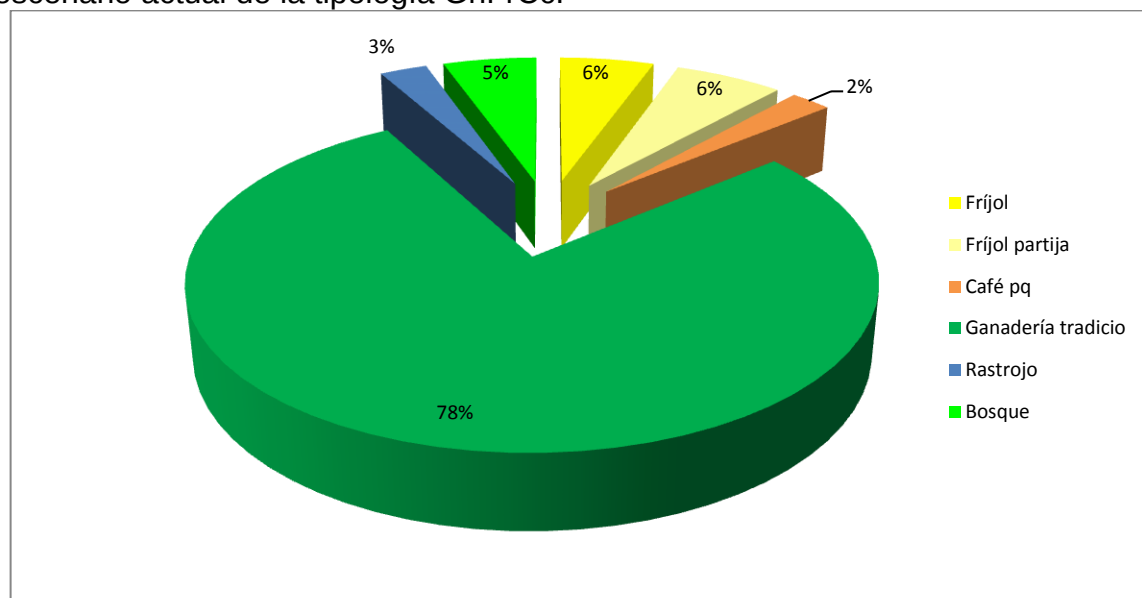
Este sistema productivo está conformado por un núcleo familiar que representan uno o dos jornales diarios disponibles.

4.1.2 Ganadería, transitorios, café y pan coger. Esta tipología se caracteriza porque los predios tienen área en potreros en promedio 100 ha, entre 2 y 3 ha de café, y siembran mínimo 15 ha en frijol de propiedad y en partija. Poseen hasta el 3% en rastrojo y el 5% del área del predio en bosques, la que se limita a franjas altamente intervenidas y angostas en los bordes de las quebradas. La Figura 9 muestra la distribución porcentual de las áreas productivas y el bosque en esta tipología.

Representan el 42,2% del área de la microcuenca, es decir, 931,7 ha, distribuidos entre 7 propietarios.

Es el sistema productivo que tiene mayor poder adquisitivo en la cuenca y de los cuales dependen muchas familias de predios vecinos por la demanda de mano de obra o la siembra de frijol en partija, es decir, un acuerdo entre el propietario y un agricultor sin tierra, negocio de tradición en la cuenca. Ver en Anexo H la estructura de costos del frijol arbustivo en partija.

Figura 9. Distribución porcentual de áreas por actividades productivas en el escenario actual de la tipología GnFrCc.



Fuente: El autor.

El uso del suelo con mayor área son las praderas con 100 ha en promedio. Y así la capacidad de carga ($0,5 \text{ UGG}^3/\text{Ha}$) sea baja el área es representativa para la crianza de ganado, por lo tanto, tienen ganadería doble propósito. La opción de la ganadería extensiva es una de las pocas alternativas viables bajo circunstancias de baja fertilidad, limitación para el laboreo del suelo y poca disponibilidad de agua para cultivos.

La ganadería doble propósito en la cuenca del río Las Ceibas se caracteriza por adelantarse en praderas de baja capacidad de carga con pendientes mayores al 60%; tienen *Melinis minutiflora* (pasto gordura o yaraguá), *Hyparrhenia rufa* (pasto puntero) y gramas nativas. Es pastoreo extensivo, es decir, se hace en grandes potreros de 10 a 15 hectáreas donde los animales pastorean durante 45 a 60 días, un largo período debido a la baja oferta de pasto o lenta recuperación de las praderas en el predio después de los períodos de verano que son fuertes y prolongados. Bajo estas circunstancias el ganado regresa a un potrero en un período no menor a 4 meses. La renovación de las pasturas las hacen cada 3 a 4 años mediante la quema agrícola, cuando la oferta de pasto ha disminuido por la dominancia del rastrojo. La rotación de pastos y frijol es tradicional en la cuenca porque es la forma de aprovechar el terreno quemado mientras se reestablecen las pasturas.

³ UGG: Unidad de Gran Ganado. Término que representa los requerimientos nutritivos de una vaca de 450 kg de peso vivo los cuales consumen aproximadamente 13,5 kg de forraje seco por día.

El limitado acceso al agua es el factor que determina los potreros grandes, porque esta se encuentra disponible por lo general en las partes bajas de los mismos, por lo tanto, se dificulta trabajar con áreas menores. Aunque en la gran mayoría de los predios el POMCA río Las Ceibas ha suministrado bebederos sustitutos para evitar el acceso directo de los animales a los drenajes naturales, en algunas áreas se dificulta hacerlo.

La producción promedio de leche es 3,7 litros por vaca, la ganancia de peso diaria es baja (aproximadamente 250 g), los terneros permanecen con la vaca mínimo 10 meses. Los machos son cebados para la venta, alcanzando 400 kg a los tres años, y las hembras las dejan como reemplazo de las vacas viejas o poco productivas. Las condiciones ambientales, la falta de un plan de manejo sanitario y bajo nivel técnico hace que el porcentaje de natalidad no supere el 65% y de sobrevivencia el 85%.

No existe una raza de bovinos definida, predomina el siete colores, es decir, el cruce de varias razas que por su rusticidad y porte mediano se puede adaptar a estas condiciones agroecológicas. Se puede ver en el fenotipo aspectos de cebú, pardo suizo y normando, principalmente.

En el manejo sanitario se cumple con los planes de vacunación obligatoria como fiebre aftosa además se aplica la vacuna contra carbón sintomático, edema maligno y septicemia hemorrágica (triple), igualmente se realizan programas de vermifugación, control de garrapatas y nuche y aplicación de vitaminas especialmente en la época seca donde escasea el alimento, sin embargo, se producen muertes de vacas en un promedio entre 3 a 5 animales al año por rodamiento ocasionada el desplazamiento en terrenos de fuerte pendiente.

La baja oferta alimenticia por suelos deteriorados, sumada a la gran escasez en verano, terrenos en fuerte pendiente y un alto gasto de energía de los animales por los largos desplazamientos en búsqueda del agua, hacen que los parámetros productivos sean de bajo rendimiento (Tabla 17).

Tabla 17. Parámetros productivos de la ganadería doble propósito en la cuenca del río Las Ceibas.

Parámetros productivos	Valor
Intervalo entre partos	15-18 meses
Natalidad	65%
lactancia	270 días
edad destete	9 meses
peso al destete	100 Kg.
tiempo de ceba	3 años
peso final ceba	400 Kg.

Parámetros productivos	Valor
ganancia diaria de peso	365 gr
Mortalidad adultos	10%
Capacidad de carga en ladera	0.5 UGG/ha

Fuente: Cárdenas, 2011.

Los ingresos provienen de la venta semanal de una arroba de cuajada, y la venta anual de hasta tres terneros destetos y siete novillos cebados. Ver en Anexo I estructura de costos de ganadería doble propósito.

Como se ha estado diciendo, la siembra de fríjol está ligada directamente a la ganadería, pues la hacen en potreros cuando están enrastrados, es decir, abunda la “maleza” o hay mínima oferta alimenticia para los bovinos momento en el que debe ser renovada la pastura, por lo tanto, rozan en los potreros el helecho, las plantas semileñosas y posteriormente queman. El manejo técnico del cultivo de fríjol es idéntico al de la tipología descrita anteriormente; incluso el rendimiento del cultivo es igual: 980 Kg/ha de fríjol. En contadas ocasiones recolectan hasta 1.300 Kg/ha. Hay diferencias por aspectos socioeconómicos, a saber:

- Estos agricultores no tienen la necesidad de migrar al Caquetá, por el contrario dan trabajo a vecinos en el segundo semestre del año.
- El ciclo de siembra de fríjol en el mismo potrero es más amplio, no menor a 4 años porque tienen área suficiente de potrero para renovar cada año.
- Parte del fríjol lo siembran en partija, es decir, una sociedad entre el propietario y un tercero. El propietario coloca el terreno, la semilla, el fertilizante y la alimentación de los trabajadores en la fase de adecuación de terreno, siembra, fertilización y si se requiere, también en la deshelechada. El “partijero” coloca el total de la mano de obra, y la alimentación en el momento de cosecha. La producción se reparte en iguales partes. De esta forma el propietario con mínima inversión de capital renueva potreros y el partijero principalmente con el aporte de mano de obra obtiene en cuatro meses ingresos superiores a la mano de obra invertida.

El cultivo del café ocupa un segundo renglón de importancia en la microcuenca San Bartolo, después de fríjol. Las distancias de siembra empleadas por lo general son de 1,3 entre plantas y 1,5 m entre surcos para una densidad de 5.128 plantas por hectárea. Siembran principalmente variedad caturra, pero ya cuentan con lotes de café castilla. El manejo de café en almácigos y trasplante es similar al de la tipología de productores pequeños de café, es decir, por lo general no emplean materia orgánica en el almácigo ni al momento del trasplante al lote definitivo, no se basan en análisis de suelos para la fertilización, no aplican fuente de fósforo en almácigos y primeros seis meses después del trasplante. En mantenimiento, la aplicación de fertilizante es cada semestre, antes de la cosecha porque cuentan con los recursos o respaldo necesario para conseguir el fertilizante. El control de

hierbas lo hacen por parejo, es decir, limpian el suelo con machete o herbicida dos veces al año, dejándolo sin vegetación al inicio de las temporadas de lluvia; práctica contraproducente al bienestar del cultivo porque deteriora el suelo.

Son oportunos con el re-re para control de broca, porque los “graneos” son fundamentales en los ingresos principalmente del segundo semestre del año que es la “mitaca”. El sombrío del café es mínimo y pueden encontrarse algunos frutales en el lote. Obtienen un promedio de producción de 10,3 cargas/ha, es decir, 1287 Kg/ha. Con la implementación de la primera fase del POMCA río Las Ceibas, algunas familias renovaron lotes de café, la gran mayoría adecuaron el beneficiadero y construyeron secaderos solares, por tal razón, han mejorado la calidad del café y han pasado de vender café húmedo a seco, lo que significa que sus ingresos aumentaron significativamente. Sin embargo, mínimo el 30% de la cosecha la venden húmeda para pagar trabajadores. Ver en Anexo J estructura de costos de productor de café.

En conclusión, es el sistema productivo de mayores ingresos en la cuenca y con una estructura financiera muy estable frente a los gastos de manutención de la familia y costos de inversión, puesto que con la ganadería de leche semanalmente obtienen los ingresos por la venta de cuajada que son complementados con la venta de los animales que alcanzan a cebar cada año. Gracias a esto, el área sembrada en café y frijol superan el promedio de la cuenca, por lo tanto, hay mayores ingresos, por lo tanto, tienen la posibilidad de contratar mano de obra entre los vecinos o conceder áreas de partija para el frijol. En esta tipología no se arrenda potrero porque ceban sus propios novillos, por el contrario, en época de verano cuando el alimento escasea se ven obligados a conseguir potrero en predios de los vecinos para llevar sus animales.

Por lo general, son dos núcleos familiares que representan un poco más de dos jornales diarios disponibles y pueden pagar un trabajador permanentemente.

4.1.3 Potrerización menor a 50 ha. Pr < 50 ha. Por lo general, son predios de propietarios ausentes porque sus ingresos no dependen de las actividades que allí se adelantan o en su defecto habitados por un adulto mayor que depende del apoyo económico de un familiar externo a la zona. Representan el 8,6 % del área productiva de la microcuenca, es decir, 190,3 ha, distribuidos entre 8 propietarios. Estos predios cuando son habitados por un núcleo familiar, dependiendo de la zona donde estén ubicados tienden a convertirse en un sistema productivo con café y frijol o cacao y frijol con potrerización.

Por la falta de administración los potreros mantienen enmalezados, por lo tanto, la oferta alimentaria para el ganado es baja, sin embargo, son arrendados una parte del año o también reciben animales “al mayor valor”, que significa que el valor del peso ganado por animal en el tiempo transcurrido en el predio es dividido en iguales partes entre el propietario del animal y el de la finca. Al renovar los

potreros con quemas agrícolas puede o no ser sembrado el frijol. Su oferta hídrica es limitada por eso el escaso interés de los propietarios en ellas.

El área de bosque y rastrojo en algunos casos puede alcanzar el 28,5%. Gran parte está representado en una franja angosta de las rondas de protección de los drenajes. Por la dificultad de acceso, poca capacidad de retención de agua de los suelos, fuerte pendiente, difícilmente las Instituciones se interesarán en promover actividades productivas allí, máxime que después de 8 años de implementación del POMCA, allí es realmente poco lo que se ha podido hacer, como por ejemplo estufas ecoeficientes en las pocas casas habitadas de este sector, de ahí que no se haya incluido en el modelo.

4.1.4 Potrerización mayor a 50 ha. Pr > 50 ha. Propietarios ausentes, son grandes áreas ubicadas en la parte baja de la microcuenca San Bartolo. Representan el 30,8 % del área productiva de la microcuenca, es decir, 681,5 ha, distribuidas entre 6 propietarios. Predios que antiguamente demandaban mano de obra local para la siembra de frijol, dada su extensión, actualmente poseen ganado bajo diferentes modalidades de propiedad: propio, al mayor valor y/o arriendo de potrero. La gran mayoría son potreros enmalezados. Hay presencia de ganado principalmente en las épocas de verano cuando se ha agotado el pasto a las fincas ganaderas vecinas. Su oferta hídrica es limitada y sus propietarios no dependen económicamente de ellas; su importancia radica en la extensión de terreno que puede arrendar potreros varios meses del año. Las áreas de bosque y rastrojo juntas pueden alcanzar un 9% del área del predio. Su ubicación se encuentra en la parte media-baja de la cuenca. Igual que el anterior, los predios más alejados difícilmente contarán a futuro con el interés del propietario de adelantar un proyecto productivo y menos la Institución en apoyarlos frente a la escasa oferta ambiental; por estas razones, no se incluyó en el análisis con el modelo.

4.1.5 Cacao, potrerización y transitorios. CaPrFr. Son predios menores a 30 ha; tienen una área promedio en potreros de 22 ha, 2 a 4 ha de cacao y en promedio 2 ha en frijol. Poseen hasta el 10% del área de los predios en bosques, se limitan a franjas altamente intervenidas y angostas en los bordes de las quebradas. Esta tipología se ubica en la parte baja de la microcuenca San Bartolo, representa el 7,3 % del área en zona productiva de la microcuenca, es decir, 162 ha, distribuidas entre 6 propietarios.

El cacao es establecido por lo general en las vegas de la quebrada San Bartolo, por tener la posibilidad aprovechar el nivel freático en época de verano, sin embargo, con la implementación del POMCA del río Las Ceibas, se han estado instalando sistemas de riego, principalmente por microtubo, en las vegas que tienen una topografía ondulada.

Las áreas más pendientes están cubiertas de pastos, principalmente puntero (*Hyparrhenia rufa*). Por lo general, no arrendan potreros sino que los bovinos presentes obedecen al arreglo comercial “al mayor valor”, que significa que el peso ganado por animal en el tiempo transcurrido en el predio es dividido en iguales partes entre el propietario del animal y de la finca.

El cacao es una actividad con un gran potencial regional, que se ha estado impulsando desde el POMCA, circunstancia que promovió la creación de la Asociación de Productores de cacao Ecológico de la cuenca del río Las Ceibas ASPROCAECO; dicho sea de paso que fueron beneficiarios de un proyecto de Alianzas Productivas del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para la rehabilitación y renovación de 50 ha de cacao en la cuenca del río Las Ceibas, 6 de ellas fueron establecidas en la microcuenca San Bartolo. Las antiguas plantaciones se han estado renovando con siembras nuevas y con el cambio de copas de árboles viejos. En promedio las plantaciones producían 250 Kg/ha antes del POMCA, pero con el apoyo institucional están alcanzando los 700Kg/ha. Por lo general, aplican fertilizante a las plantaciones viejas una vez al año. Las plantaciones nuevas donde el material vegetal obedece a clones promovidos por la Federación Nacional de Cacaoteros, las fertilizan dos veces al año. La fermentación y el secado del grano es realizado en cajones de madera y secaderos solares, aportados por el POMCA; sin embargo, debe depurarse el proceso de beneficio, frente al tiempo y volteo prudente de los granos en fermentación, puesto que lo recomendado son 6 días y allí los dejan 4 días; por ello la comercialización de grano seco de cacao lo hacen en compraventas donde no exigen calidad, de ahí que precio recibido sea bajo. La presencia de FEDECACAO con la asistencia técnica en articulación con la CAM (POMCA) ha sido fundamental en el mejoramiento del manejo agronómico de las labranzas de cacao. En Anexo K ver estructura de costos de mantenimiento de cacao.

En la microcuenca San Bartolo hay 18 ha de labranzas de cacao, de las cuales, 9,45 ha se han establecido en el POMCA, y de ellas, 6 ha en articulación con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, FEDECACAO en un proyecto de Alianzas Productivas.

También es sembrado frijol en las áreas de potrero cuando se van a renovar durante el primer semestre del año. Pueden sembrarse máximo 2 ha por año. El manejo técnico del cultivo es similar en todas las tipologías encontradas. La única variación es el área sembrada.

En el tiempo, los cambios en la siembra se han dado a nivel local: inicialmente tapaban el frijol, es decir, después de quemado el lote, el frijol se tiraba al voleo y luego se pasaba con el azadón tapando las semillas; posteriormente pasó a la siembra por sitio con ayuda del “chuzo” echando dos a tres semillas por sitio cada 25 – 30 cm entre sitios; al iniciar floración se aplica el fertilizante Sulfato de amonio al voleo y regresan al lote a la recolección del frijol.

Frente a los impactos ambientales generados por esta tipología, son mínimos, por el contrario, se está logrando el aumento de los rendimientos de las labranzas por el rejuvenecimiento de plantaciones, la siembra de cacao con sombrío, promoviendo la diversificación y así mismo, la siembra tradicional de frijol con quemas agrícolas ha disminuido con respecto a años anteriores; por estas razones, no se incluyó en el análisis con el modelo. Es decir, la reconversión hacia un manejo sostenible se está dando de manera satisfactoria.

4.2 ALTERNATIVAS PRODUCTIVAS PROPUESTAS

Se tomó la agroforestería como la base de implementación de actividades productivas rentables con elementos de conservación de la naturaleza por las bondades bien documentadas que ofrecen en el cuidado y la protección del agua, el suelos y los bosques; además teniendo en cuenta la reglamentación de usos y manejo del suelo de la cuenca, que dice que en la zona productiva se debe promover el árbol como elemento dinamizador de la premisa: “producir conservando” en el marco de la implementación del POMCA del río Las Ceibas. Por esta razón, se seleccionaron y diseñaron las siguientes alternativas productivas: Frijol sostenible con barreras vivas; frijol sostenible sin barreras vivas; café agroforestal con barreras vivas; café agroforestal sin barreras vivas; ganadería doble propósito con silvopastoreo y bosque (Area a restaurar).

También se tuvo en cuenta la adición o no de barreras vivas con vetiver para la conservación de los suelos como elemento que establece un obstáculo al agua de escorrentía, permite aumentar a mediano y largo plazo el contenido de materia orgánica del suelo y así mismo, se establece como una medida de mitigación al cambio climático porque permite el almacenamiento de carbono en el suelo dada la gran densidad y longitud de sus raíces. Considerar costos con y sin vetiver, permite a su vez, establecer parámetros para iniciativas de pagos por servicios ambientales en lotes productivos, propuesta a promover entre las familias campesinas porque no deberá sesgarse la conservación solo a la posibilidad de tener bosque ya que se está induciendo a la disminución de área para la producción de alimento y cambiando el quehacer campesino cuya principal razón de existencia es el abastecimiento de los mercados locales de alimentos.

4.2.1 Frijol arbustivo en agroforestal (800 árboles) con y sin vetiver. El cultivo de frijol es de gran importancia en la cuenca del río Las Ceibas gracias al significativo ingreso neto que ofrece por los bajos costos de producción y el abastecimiento del grano para la alimentación familiar durante el año. Dicha rentabilidad se obtiene al sembrar áreas considerables para obtener los ingresos suficientes para la manutención de las familias, así pues esta propuesta de manejo no solo incluye elementos para la conservación de los suelos y la fijación

de carbono, sino también buenas prácticas agrícolas orientadas al alcance de la sustentabilidad del sistema productivo.

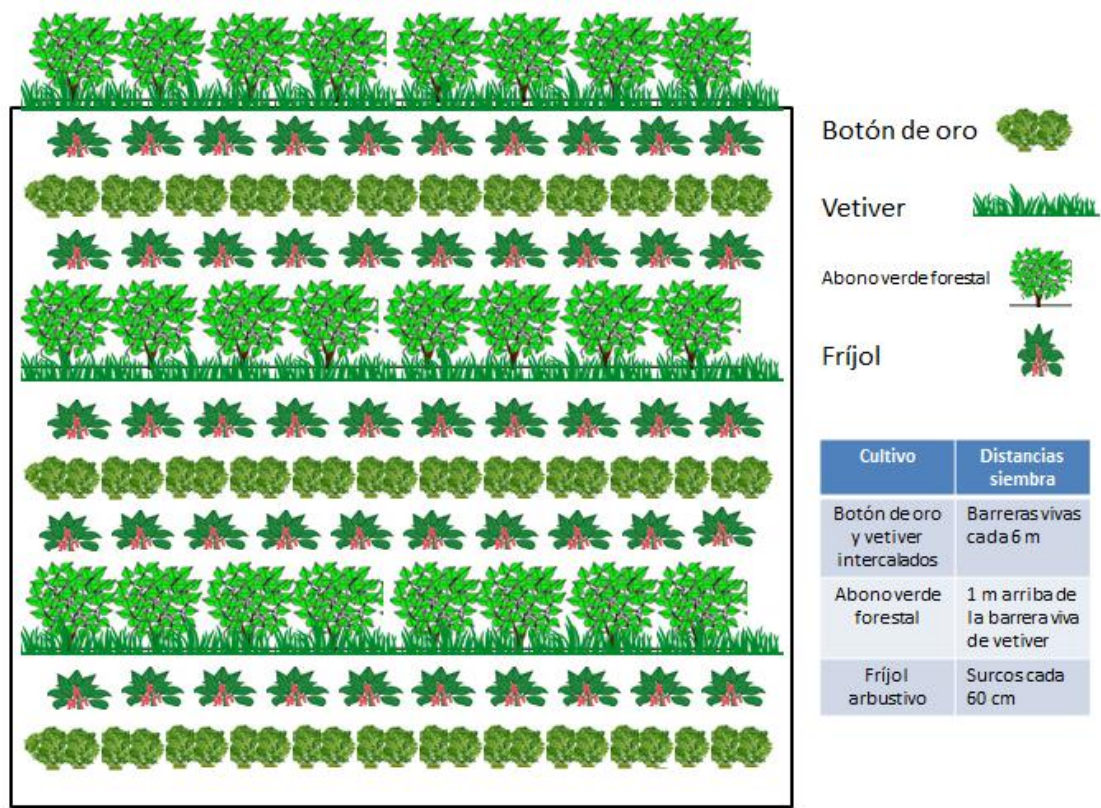
Aquí se plantean barreras vivas de vetiver (*Vetiveria zizanioides*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*) intercaladas cada 12 m en uno de los diseños y cada 6 m en el otro diseño, en terrenos que pueden alcanzar máximo el 50% de pendiente y que por lo general las comunidades queman como práctica de preparación de los suelos. El lote con barreras vivas se complementa con la aplicación de la labranza mínima mediante el empleo de la matraca (sembradora-abonadora de granos) o chuzo-sembrador en los surcos de siembra cada 60 cm.

Este diseño considera el empleo del abono verde forestal sembrado en surcos cada metro y medio de distancia en la parte superior (a 1 m) de las barreras vivas de vetiver para enriquecer el reciclaje de nutrientes y aumentar parcialmente la capacidad de almacenamiento de carbono hasta ahora pensado solo en el suelo. La especie forestal seleccionada como abono verde preferiblemente perteneciente a la familia de las leguminosas se poda dos veces al año a la altura de 2 m al comienzo de la temporada de lluvias con el objetivo de fomentar el reciclaje de nutrientes. Se deja desarrollar ramas por seis meses de tal forma que oferte un poco de sombra al terreno en época de verano y se poda nuevamente al comienzo de las lluvias, es decir, el abono verde forestal se poda dos veces al año de acuerdo al comportamiento del régimen bimodal de las lluvias presente en la cuenca.

La nutrición del suelo parte de la aplicación de materia orgánica antes de la siembra del frijol y complementada con fertilizantes al momento de la siembra y a los 20 días después de esta. El manejo de plagas, enfermedades y hierbas espontáneas deberá hacerse desde una visión preventiva con un manejo integrado que parte de una buena preparación del lote seleccionado: cero quemas, trazado en curvas a nivel y labranza mínima, entre otras.

De acuerdo a la Figura 10 está compuesto por: Barreras vivas de vetiver y/o botón de oro cada 6 m; es decir, 16 surcos de 100 m c/u. 1600 m de barrera viva: 800 m con vetiver y 800 m con botón de oro por hectárea. Abono verde forestal mínimo 800 árboles/ha, 1 m arriba de la barrera viva de vetiver. Los costos de establecimiento se muestran en el Anexo L.

Figura 10. Distribución espacial de arreglo productivo sostenible de fríjol arbustivo con barreras vivas de vetiver y abono verde forestal cada 6 m.



Fuente: El autor.

El Fríjol arbustivo sostenible, sin barreras vivas, está compuesto por fríjol trazado en curvas a nivel con labranza mínima, sembrando surcos cada 60 cm y entre sitios cada 20 cm, dos semillas por sitio. Los costos de establecimiento también se muestran en el Anexo L.

4.2.2 Café agroforestal con y sin barreras vivas. Para mejorar la tasa de fijación de carbono en los cultivos de café se propone adoptar los sistemas agroforestales en un arreglo zonal, es decir, los componentes geoméricamente distribuidos dentro del lote (según FNC, 1997; citado por FNC y CENICAFÉ, 2013), de tal forma que permita aprovechar de manera eficiente la radiación solar, contribuya al control de erosión de los suelos y facilite el mantenimiento del cultivo de café. También se tuvo en cuenta que una alta densidad forestal como sombrío podría afectar la productividad del café entre el 11% y el 50% (Farfán, 2010), razón por la cual, se propuso una densidades media de forestales: 72 árboles forestales por ha.

El trazado de los surcos en el lote se debe hacer en curvas a nivel, la distribución del café debe ser en triángulo y el componente forestal deberá crecer con

suficiente espacio y no provocar competencia al café por agua y nutrientes, de tal manera que cada surco de árboles forestales reemplazaría uno de café. Como especie forestal se propone nogal (*Cordia alliodora*) por su adaptación a la zona, aceptación por la comunidad y facilidad de comercialización de su madera. Se puede combinar en baja proporción con guamo santafereño (*Inga edulis*) que a la vez es fuente de leña, y entre los callejones de los árboles que mínimo es de 12 m podrían incluirse frutales que mejorarían la eficiencia en la captura de carbono, a la vez, que contribuirían a la seguridad alimentaria.

En los surcos del componente forestal se recomienda establecer barreras vivas de vetiver (*Vetiveria zizanioides*) con el fin de contribuir a la disminución de la velocidad del agua de escorrentía y su poder erosivo, el mejoramiento de la infiltración del agua y el aumento de la tasa de fijación de carbono en el suelo.

La Tabla 18 muestra aspectos técnicos de distribución espacial.

Tabla 18. Composición del agroforestal de café.

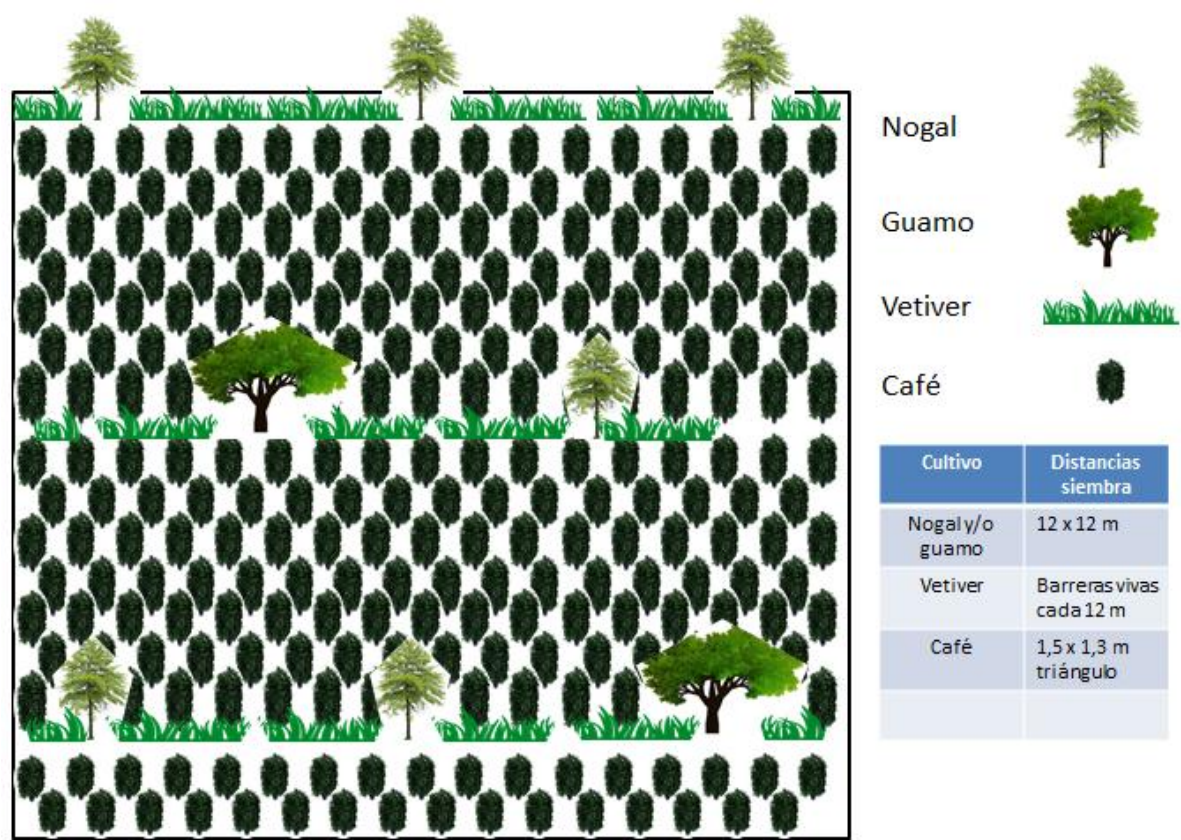
Especies	Distancias de siembra	Distribución espacial	Densidad de población
Café	1,5 m entre surcos 1,3 m entre plantas	Triángulo	5100 plantas/ha
Nogal y guamo cerindo	12 m entre surcos 12 m entre plantas	Cada 7 surcos de café va uno de forestal	72 árboles/ha (50 nogales y 22 guamos)
Vetiver	20 cm entre planta	Surcos cada 12 m *	5 plantas/m

*En el mismo surco del componente forestal.

Fuente: El autor.

La Figura 11 muestra la composición, distribución espacial y densidades de siembra de los tres sistemas agroforestales diseñados para mejorar la productividad del café y su entorno.

Figura 11. Distribución espacial de arreglo productivo sostenible de café agroforestal con barreras vivas de vetiver.



Fuente: El autor.

En el Anexo M aparecen los costos de establecimiento del agroforestal de café con vetiver, a su vez, los costos de establecimiento del agroforestal de café sin barreras vivas de vetiver.

4.2.3 Ganadería doble propósito sostenible con silvopastoreo. Esta alternativa productiva pretende fomentar las cercas vivas en las divisiones de potreros y delimitar un lote para banco de forraje y proteína con el fin de suplementar la alimentación bovina con un manejo semiestabulado para aquellas tipologías que cuentan con área y mano de obra suficiente. No pretende mejorar praderas en terrenos pendientes, pero sí cambiar las cercas por árboles vivos y aumentar la oferta alimenticia con el banco de proteína con el fin que viabilice la liberación de terrenos continuos a las rondas hídricas; sus componentes los muestra la Tabla 19.

Tabla 19. Composición del sistema silvopastoril en cercas vivas más banco de proteína.

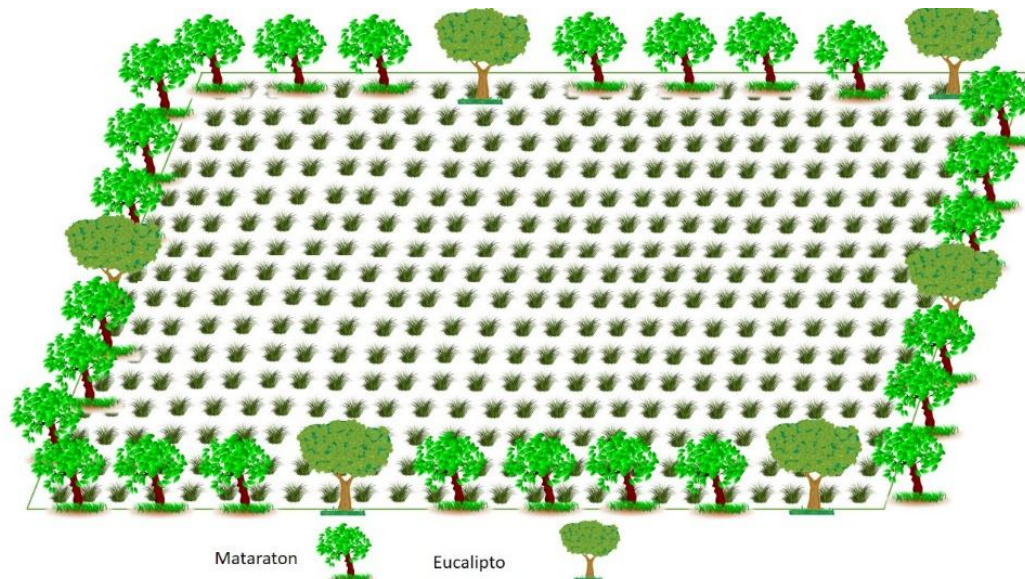
Características del agrogorestal	Distancias de siembra	Densidad de población
Eucalipto (en cerca viva)	6 m	70 árboles/ ha
Matarratón (en cerca viva)	6 m	70 árboles/ ha
Arboles forrajeros	1 m x 1 m	1000
Pasto elefante	90 cm entre surcos	1000 m ²

Fuente: El autor.

Las Figuras 12 y 13 muestran la distribución espacial del diseño para ganadería con 18 cabezas de ganado; mejorando la producción de biomasa la relación 0,5 UGG/ha pasa a 1 UGG/ha. Como las praderas no se renovarían, sino que se pretende hacer un manejo rotacional eficiente con cerca viva teniendo en cuenta las limitaciones de terrenos en ladera, se contribuirá a ofertar alimento permanentemente para disminuir el área dedicada a pastoreo, mas no aumentar significativamente la producción de leche por vaca. El banco de forraje es un cultivo intensivo donde se asocian diferentes especies arbóreas, arbustivas y herbáceas de alto valor nutricional. El forraje obtenido es cortado, acarreado y suministrado fresco a los animales en el establo o en comederos en potrero. Los bancos de forraje tienen como fin intensificar el uso del suelo disminuyendo la presión sobre bosques, rondas hídricas y zonas destinadas a la conservación.

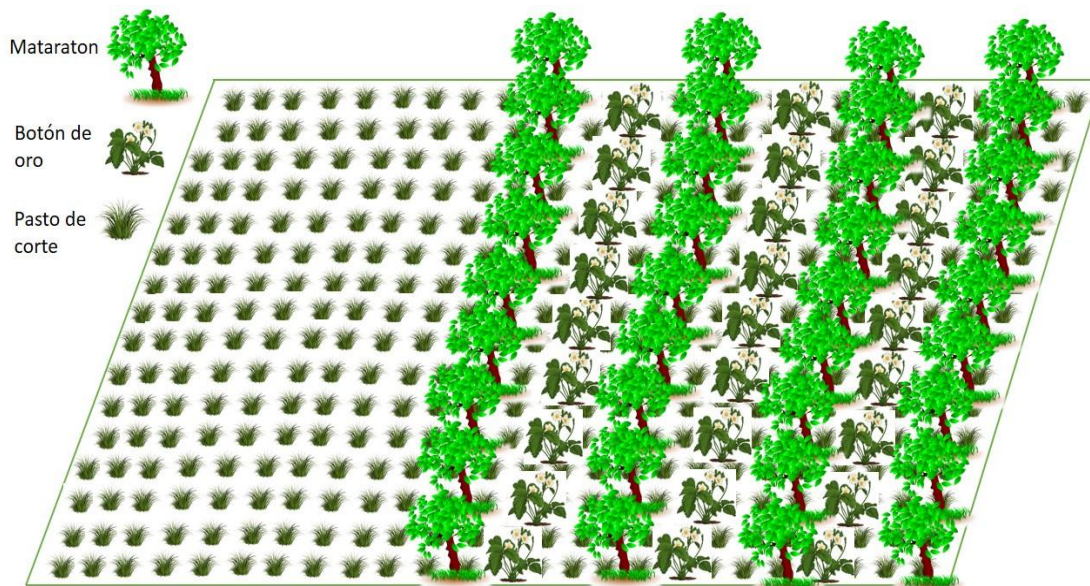
El arreglo planteado abarca un área de 2500 m², en la mitad del área (1250 m²) se establece pasto de corte elefante morado (*Pennisetum purpureum*) y en el área restante se establecen surcos intercalados de Botón de Oro (*Thitonia diversifolia*) y Matarraton (*Gliricidia sepium*) sembrados a distancia de 3 m entre surcos y 1 m entre plantas en las dos especies. El Anexo N muestra los costos de establecimiento.

Figura 12. Distribución espacial de arreglo silvopastoril en cercas vivas.



Fuente: El autor.

Figura 13. Distribución espacial de banco de proteína.



Fuente: El autor.

4.2.4 Restauración pasiva. La restauración pasiva o liberación de áreas siendo una acción institucional se propuso al modelo para saber en qué medida pudiese ser recomendado como una opción por parte del agricultor de aumentar la captura

de carbono. Este diseño solo contempla el aislamiento de zonas y su costo aparece en el Anexo Ñ.

4.3 ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Descritas los sistemas productivos o tipologías de productores se evidencia que aquellos que contemplan la siembra anual de frijol recurriendo a las quemas agrícolas y la presencia permanente de ganado, impactan de mayor forma que el resto de las tipologías, además que están ubicados en la parte media de la micocuena San Bartolo; por lo tanto, se priorizó la corrida del modelo para los sistemas productivos: Potrerización, transitorios y café; y Ganadería, transitorios y café.

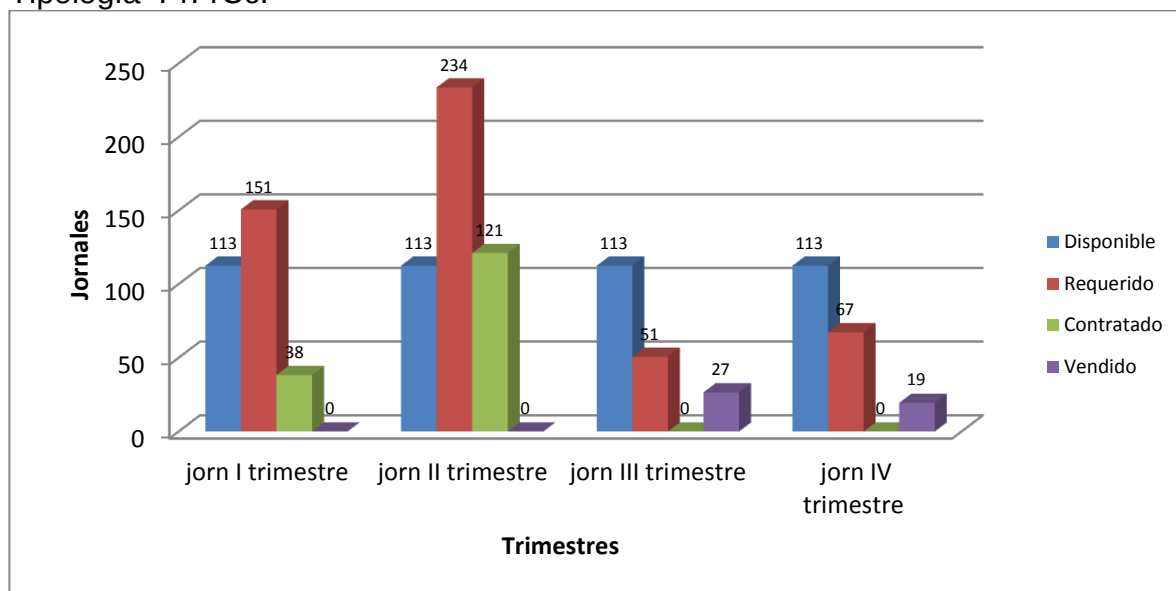
El modelo es alimentado con las circunstancias actuales de cada actividad productiva de los sistemas productivos identificados con el fin de establecer la línea base, pero también con las alternativas productivas sostenibles de mayor rentabilidad y menor impacto ambiental; para que al correr el modelo se tengan en cuenta todas las apuestas productivas.

A continuación se analizarán los diferentes escenarios mencionados en la metodología: actual, óptimo tendencial y deseados bajo tres circunstancias planteadas: aumento de los ingresos, disminución de erosión y aumento de captura de carbono, corridos con ayuda de la herramienta econométrica:

4.3.1 Análisis de escenarios en la Tipología Potrerización, transitorios y café.

PrFrCc. De acuerdo al modelo el escenario actual de la presente tipología requiere para desarrollar sus actividades productivas un capital de 16,9 SMLV, en un área de 17,34 ha con 112 jornales disponibles por trimestre; estos últimos están por debajo del requerimiento en los dos primeros trimestres del año, por lo tanto, se ven obligados a contratar 38 y 121 jornales adicionales (Figura 14) ya que además de las labores de mantenimiento de café y potreros coincide con la época del año para sembrar frijol y la cosecha principal de café, porque establecen 5 hectáreas de frijol, administran 1,5 ha de café y un mantenimiento mínimo a 10,48 ha de potreros. De ahí, que se vean obligados a contratar mano de obra adicional que es solventada con los ingresos de la venta de frijol seco y café pergamino seco.

Figura 14. Mano de obra disponible por trimestre en el Escenario actual de la Tipología PrFrCc.



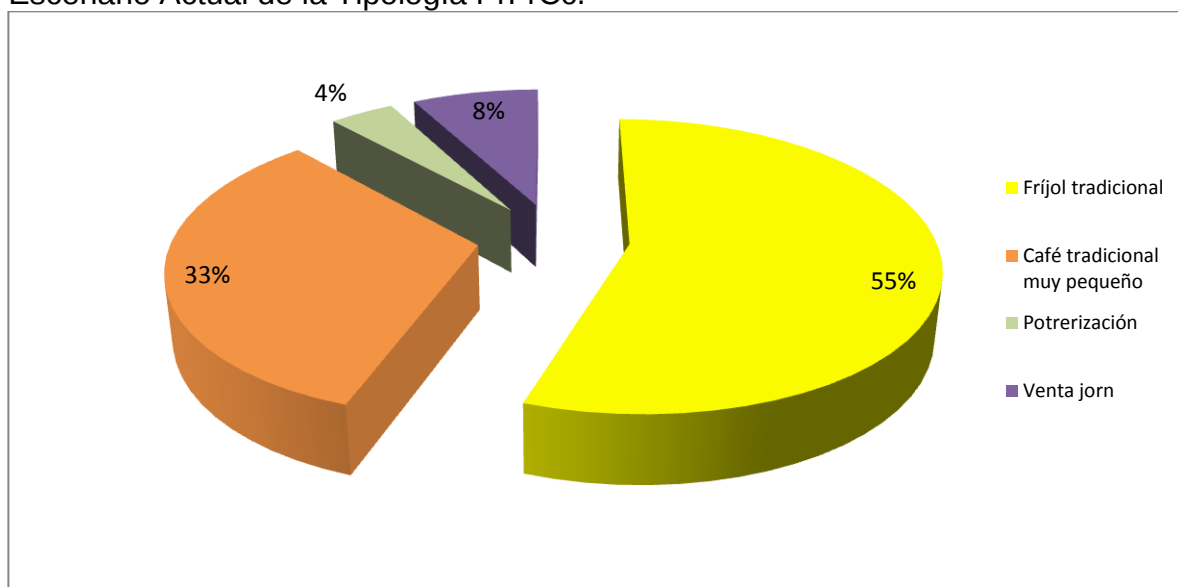
Fuente: El autor.

Durante el tercer y cuarto trimestre del año, la mano de obra disponible es mayor a la demandada porque principalmente se requiere para hacer labores de mantenimiento o recolección de la mitaca de café, que no demanda mucha mano de obra. Como esta cosecha representa pocos ingresos se ven obligados a vender una parte de mano de obra a sus vecinos, como mínimo una tercera parte de los disponibles, es decir, venden 27 y 19 jornales en el tercer y cuarto trimestre respectivamente.

La adecuación de la mano de obra refleja esta situación, es decir, en el primer semestre tiene menos jornales disponibles que los requeridos, por ende debe contratar mano de obra, mientras que para el segundo semestre la mano de obra disponible es mucho mayor que la requerida, por lo tanto, tiene la posibilidad de vender jornales. Emplea toda su mano de obra en los dos primeros trimestres al punto que debe contratar una parte para cumplir con las labores de siembra y cosecha de frijol y cosecha de café. En el segundo semestre le sobra la mano de obra que puede vender o invertir en mejorar aspectos del predio más el tiempo requerido para ir a Neiva por la manutención de la familia (salud, educación, vestido, alimentación). Esto financieramente se refleja en la retribución de mano de obra que para el jornal laborado es de \$ 37.145, es decir, \$ 7.145 pesos adicionales al valor de un jornal y para la mano de obra disponible es de \$ 28.301, es decir, recibe \$ 1.699 pesos menos del valor del jornal. Esta relación se da sobre la mano de obra propia, la cual no ha sido contemplada en los costos de producción como una condición particular presente en los sistemas productivos de economía campesina.

Si bien el uso del suelo con mayor área son las praderas (Figura 15), superando el 50% del predio, su rentabilidad es baja por la mínima producción de biomasa correspondiente a una capacidad de carga de 0,5 UGG/ha, además que los terrenos con fuertes pendientes que predominan en la zona no son adecuados para la ganadería intensiva. Las actividades de mayor importancia para estas familias campesinas son en su orden el frijol y el café. Sus ingresos provienen principalmente del frijol y del café, que representan el 55% y el 33% de sus ingresos anuales respectivamente, es decir, el 88% (Figura 16), cuya importancia radica en que con estos se van a sostener económicamente el resto del año. Sin embargo, en el segundo semestre deben vender mano de obra temporalmente puesto que les queda disponible frente a las actividades que tradicionalmente realizan. El arrendamiento de potrero también les representa, aunque mínimos, ingresos adicionales durante el año.

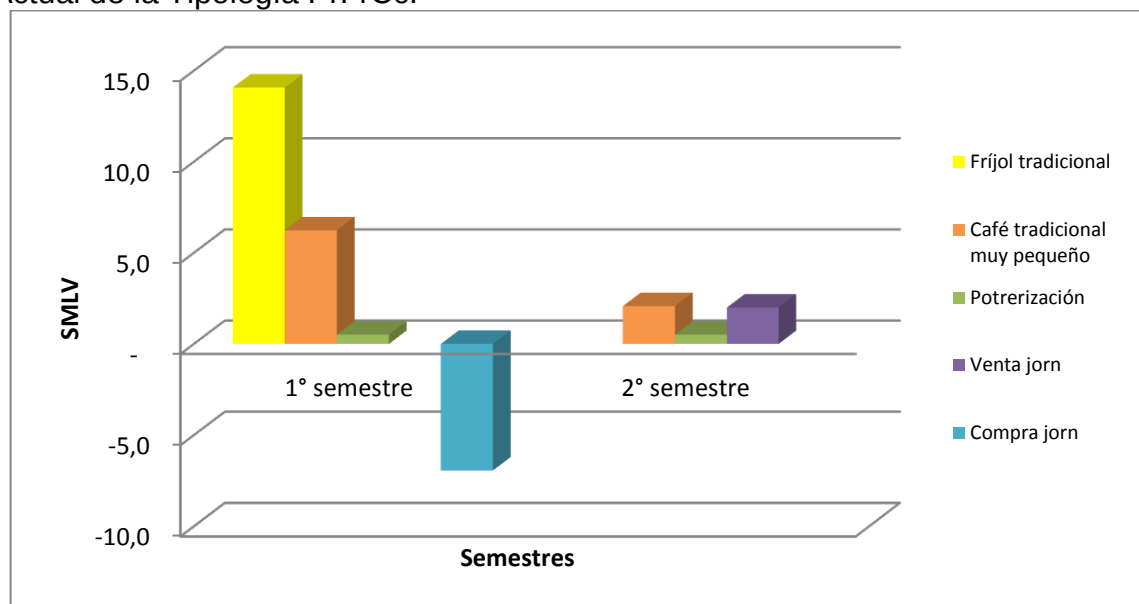
Figura 15. Distribución porcentual de ingreso neto por actividad productiva en el Escenario Actual de la Tipología PrFrCc.



Fuente: El Autor.

Gracias a estas actividades productivas, al año se está generando un ingreso de 18,5 SMLV, es decir, 1,5 SMLV/mes. Frente al análisis financiero, el capital requerido para el funcionamiento de esta tipología es de 16,9 SMLV, sin tener en cuenta la mano de obra; pero, incluyendo la mano de obra aportada por el agricultor y su familia el valor ascendería a 31,9 SMLV, por lo tanto, la relación beneficio costo es 0,58, menor a 1, es decir, que aquí se ve reflejada la economía campesina donde la mano de obra por ser propia no conduce a “la quiebra” de la pequeña empresa agropecuaria sino que permite su sostenimiento así haya ineficiencia financiera.

Figura 16. Ingresos por semestre de las actividades productivas en el Escenario Actual de la Tipología PrFrCc.



Fuente: El autor.

Frente a los indicadores ambientales el índice de captura de carbono alcanzado es -3,2, es decir, se libera más de lo que alcanza a fijar en las plantas por las quemadas agrícolas empleadas en la siembra de frijol cada año. La producción de sedimentos es muy alta, reflejada en el índice de valor 12,2, ya que un suelo desprotegido por la quema en terrenos muy pendientes, al iniciar el período de lluvias el arrastre de suelo a los drenajes es alto y responsable en parte del alto porcentaje de sólidos suspendidos encontrados en el río Las Ceibas en esa época.

Después de conocido el escenario actual, se quiso conocer con el modelo de optimización un escenario donde el productor tuviese la posibilidad de mejorar sus ingresos sin tener en cuenta las variables ambientales, el cual se llamó escenario tendencial óptimo; cuyos resultados muestra la Tabla 20, y en la que se aprecia con respecto al escenario actual un leve aumento en las áreas de café y potrerización, similar comportamiento de los indicadores ambientales, y un aumento en los ingresos a 21,3 SMLV por año, es decir, 2,8 más que el escenario actual, con los mismos recursos de capital, tierra y mano de obra, lo que puede ser ventajoso para los agricultores, pero continúa generando un alto impacto ambiental por aporte de sedimentos y liberación de carbono, situación indeseable para la conservación del ecosistema estratégico cuenca río Las Ceibas.

Tabla 20. Indicadores del escenario óptimo tendencial de la Tipología PrFrCc.

Uso del suelo de la Tipología PrFrCc	Unidades	Resultado Óptimo tendencial
Fríjol tradicional	Ha	3,5
Potrerización	Ha	11,9
Café tradicional pequeño	Ha	2,0
Índice de captura de carbono		-2,1
Índice de producción de sedimentos		13,4
Retribución mano de obra \$ / jornal laborado	\$	39.103
Retribución mano de obra \$ / jornal disponible	\$	32.629
Precio sombra		55.672
Ingreso anual en SMLV		21,3
Ingreso mensual en SMLV		1,8

Fuente: El autor.

Análisis de escenarios de la Tipología PrFrCc con el modelo de optimización.

Con el objetivo de identificar los escenarios que mejoren los indicadores económicos y ambientales de esta tipología frente los escenarios actual y óptimo tendencial, se corrió el modelo condicionado a tres situaciones:

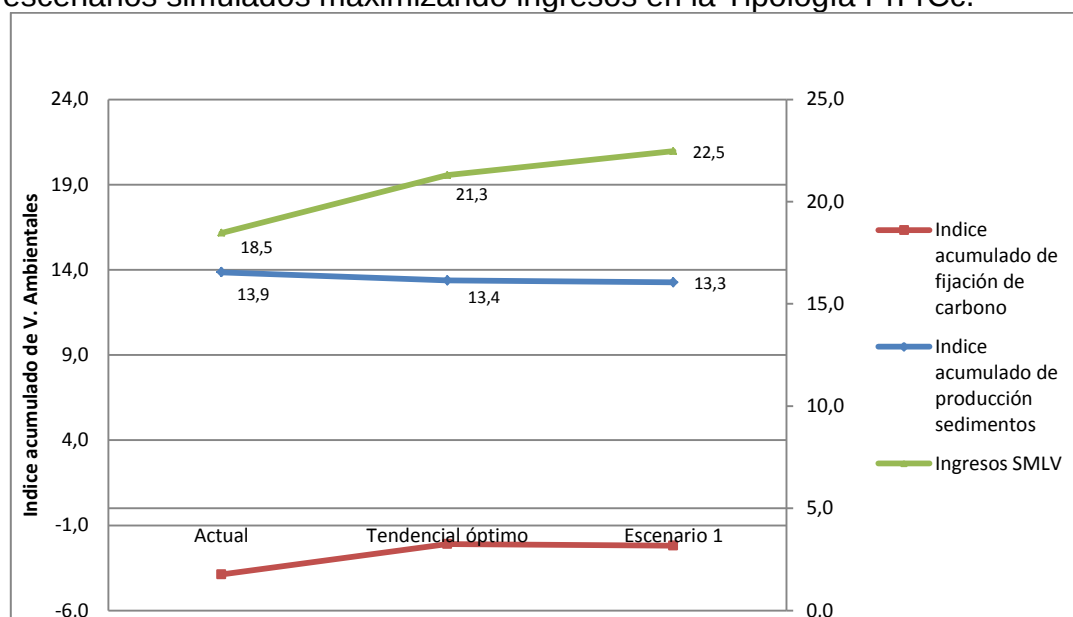
1. Maximización de los ingresos con los recursos de tierra, capital y mano de obra disponibles en la tipología.
2. Minimización de la producción de sedimentos con diferentes ingresos propuestos.
3. Maximización de la captura de carbono con diferentes ingresos propuestos.

Gracias a la practicidad del modelo de optimización, además de condicionar la maximización de los ingresos, se plantearon restricciones para ver el comportamiento de las variables financieras y sociales de la tipología PrFrCc presionando el cambio positivo de las variables ambientales, es decir, minimizando el índice de erosión o maximizando el índice de captura de carbono, con el fin de analizar el comportamiento de las variables sociales, económicas y ambientales, frente al impacto que se requiere en la ruta hacia la conservación del ecosistema estratégico cuenca del río Las Ceibas: disminuir el arrastre de sedimentos y aumentar la captura de CO₂, con igual o mayor ingreso económico de la tipología.

A continuación se muestran los resultados del modelo en las tres situaciones planteadas:

Situación 1. Maximización de los ingresos con los recursos de tierra, capital y mano de obra disponibles en la Tipología PrFrCc. Corrido el modelo al que se le exigió maximizar los ingresos considerando las nuevas alternativas diseñadas (escenario 1), se comparó con los escenarios actual y óptimo tendencial. Con ayuda de la Figura 17 se nota que los ingresos aumentaron en un 15% y 21% respectivamente, mas no sucedió lo mismo con los indicadores ambientales, los cuales mejoraron mínimamente.

Figura 17. Comportamiento de ingresos y variables ambientales frente a los escenarios simulados maximizando ingresos en la Tipología PrFrCc.



Fuente: El autor.

Al indagar las actividades productivas que propone el modelo para entender los motivos del comportamiento de las variables evaluadas, se ve que no hay un cambio sustancial en el manejo tecnológico y áreas de la producción de la finca; si bien mejoran los ingresos cambia un poco la proporción de las actividades realizadas pero con el mismo tipo de manejo sin priorizar la disminución de erosión y aumentar la fijación de carbono; solo una, plantea una tímida opción de sembrar Café agroforestal sin barreras vivas pero con la continuidad del manejo de potrerización y el fríjol tradicional con quema (Tabla 21).

Tabla 21. Actividades productivas de los escenarios simulados: Actual, óptimo tendencial y maximizando ingresos en la tipología PrFrCc.

Escenarios	Actividades productivas					Total área sembrada
	Potrero ⁴	Fríjol trad ⁵	Cc mp ⁶	Cc p ⁷	Cc AF sbv ⁸	
Actual	10,8	5,0	1,5			17,3
Tendencial óptimo	11,9	3,5		2,0		17,3
Escenario 1	12,1	3,8			1,4	17,3

Fuente: El autor.

Situación 2. Minimización de la producción de sedimentos con diferentes ingresos propuestos, en la Tipología PrFrCc. Se modificaron los criterios y restricciones en el modelo multicriterio de tal forma que minimizara la erosión partiendo de los ingresos obtenidos en los escenarios corridos: escenario actual y objetivo tendencial. Así, se analizaron más escenarios con el mismo capital disponible que aumentaran los ingresos bajo la premisa: minimización de la erosión.

Se corrió el modelo cinco veces sobre ingresos conocidos (Tabla 22): los obtenidos en el escenario actual, aumentándolos un 5 y 10%, los obtenidos en el escenario óptimo tendencial y los obtenidos en el escenario 1.

Tabla 22. Escenarios corridos de acuerdo a ingresos esperados.

Escenarios	Ingresos	SMMLV	Observaciones
Actual	12.735.611	18,5	
Tendencial óptimo	14.682.999	21,3	
Escenario 2a	12.735.611	18,5	Escenario basado en los Ingresos obtenidos en el escenario actual.
Escenario 3a	13.372.392	19,4	Escenario basado en los ingresos del escenario actual con un aumento del 5%
Escenario 4a	14.009.173	20,3	Escenario basado en los ingresos del escenario actual con un aumento del 10%
Escenario 5a	14.682.999	21,3	Escenario basado en los Ingresos obtenidos en el escenario óptimo tendencial.
Escenario 6a	15.494.061	22,5	Escenario basado en los Ingresos obtenidos en el escenario 1.

Fuente: El autor.

⁴ Potrero: Potrerización.

⁵ Fríjol trad: Fríjol con manejo tradicional, es decir, con quemas agrícolas.

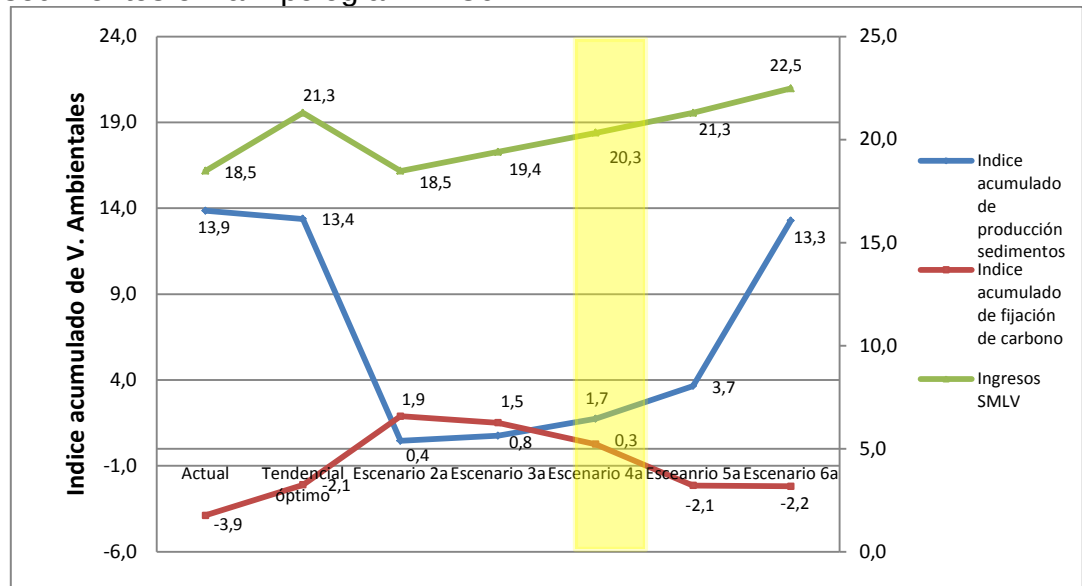
⁶ Cc mp: Café con manejo técnico de Tipología PrFrCc.

⁷ Cc p: Café con manejo técnico de Tipología GnFrCc.

⁸ Cc AFsbv: Café agroforestal sin barreras vivas.

De acuerdo a la figura 18, entre los escenarios corridos 2a, 3a y 4a se reúnen parcialmente las condiciones deseadas: disminución significativa de producción de sedimentos y un aumento simbólico de captura de carbono, que si bien no tiene capacidad de fijarlo al menos deja de liberar gases efecto invernadero, siendo esta una situación aceptable.

Figura 18. Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología PrFrCc.



Fuente: El autor.

Al revisar bajo que usos del suelo se presentan estos escenarios la Tabla 23 muestra que el modelo prioriza el café agroforestal en uno de los casos con barreras vivas y en los otros sin ellas. En la medida que se van aumentando los ingresos el modelo va incluyendo frijol tradicional aunque en poca área y la va aumentando paulatinamente al igual que se aumenta el aporte de sedimentos. Finalmente para obtener unos ingresos significativos aumenta el área productiva con potrerización y disminuye el café agroforestal.

Lo más significativo de los escenarios 2a, 3a y 4a, que contemplan café agroforestal es que emplearía para la producción agropecuaria entre el 12 y el 28% del área que usa actualmente, pudiendo emplear buena parte para la conservación y conectividad de coberturas boscosas ampliando los bosques de galería o restaurando las áreas pendientes mayores al 70% que en estos predios alcanza a ser el 13% del área dedicada a las pasturas y que se encuentra sin cobertura forestal por el empleo de las quemas

agrícolas. Si bien los escenarios 2a y 3a presentan un mejor comportamiento de las variables ambientales, los ingresos no aumentan significativamente, mientras que el escenario 4a con un comportamiento aceptable de las variables ambientales así sean superadas mínimamente por los escenarios 2a y 3a, los ingresos aumentan el 10%, por lo tanto, tiene mejor perspectiva analizado en conjunto, así considere 1,2 ha de fríjol tradicional.

Tabla 23. Actividades productivas de los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología PrFrCc.

Escenarios	Actividades productivas						Total área sembrada
	Potrero ⁹¹	Fríjol trad ¹⁰	Cc ¹¹ mp	Cc ¹² p	Cc ¹³ AF sbv	Cc ¹⁴ AF cbv	
Actual	10,8	5,0	1,5				17,3
Tendencial óptimo	11,9	3,5		2,0			17,3
Escenario 2a					0,0	2,2	2,2
Escenario 3 a		0,2			2,3		2,5
Escenario 4 a		1,2			2,0		3,3
Escenario 5 a		3,3			1,5		4,8
Escenario 6 a	12,1	3,8			1,4		17,3

Fuente: El autor.

Situación 3. Maximización de la captura de carbono con diferentes ingresos propuestos, en la Tipología PrFrCc. En este caso se modificaron los criterios y restricciones en el modelo multicriterio de tal forma que maximizara la captura de carbono de acuerdo a los ingresos obtenidos en los escenarios corridos inicialmente: escenario actual, objetivo tendencial y uno, como muestra la Tabla 21 mencionada anteriormente.

⁹ Potrero: Potrerización.

¹⁰ Fríjol trad: Fríjol con manejo tradicional, es decir, con quemas agrícolas.

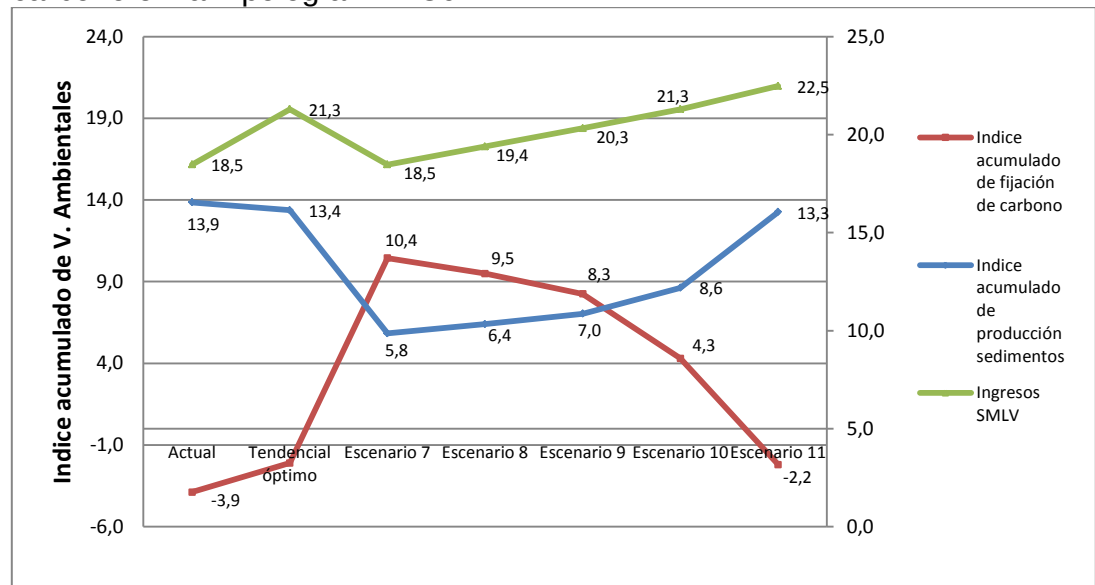
¹¹ Cc mp: Café con manejo técnico de Tipología PrFrCc.

¹² Cc p: Café con manejo técnico de Tipología GnFrCc.

¹³ Cc AF sbv: Café agroforestal sin barreras vivas.

¹⁴ Cc AF cbv: Café agroforestal con barreras vivas.

Figura 19. Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados maximizando captura de carbono en la Tipología PrFrCc.



Fuente: El autor.

De acuerdo a la Figura 19, los escenarios 7, 8 y 9 son muy atractivos en la medida que disminuyeron la erosión entre un 58 y 49% y aumentó la fijación de carbono en cantidades muy significativas, entre 8,3 y 10,4 unidades. De acuerdo a las premisas que condicionaron la corrida del modelo esta mejora significativamente los indicadores ambientales, sin embargo, los usos del suelo como muestra la Tabla 24, deben analizarse detenidamente puesto que a diferencia de los escenarios 2, 3 y 4, estos priorizaron la ganadería sostenible en gran parte del área y alcanzan a proponer el establecimiento de restauración en parte del área, por ello el significativo aumento en la fijación de carbono en los escenarios 7 y 8, principalmente. Los demás escenarios tienen mayores ingresos pero los indicadores ambientales no representan disminución de sus externalidades.

Así exista un aumento significativo en captura de carbono y sutil en los ingresos, estos escenarios no disminuyen convincentemente el aporte de sedimentos, quizás la variable ambiental de mayor significado en la parte media de una cuenca abastecedora de acueducto. Por lo tanto, estos escenarios no representan un cambio de uso del suelo que contribuya al mejoramiento de la calidad del recurso hídrico.

Tabla 24. Actividades productivas de los escenarios simulados maximizando la captura de carbono en la tipología PrFrCc.

Escenarios	Actividades productivas							Restauración pasiva	Total área sembrada
	Pr ¹⁵	Gn ¹⁶ SSP	Fr ¹⁷ trad	Fr ¹⁸ BPA sbv	Cc ¹⁹ mp	Cc ²⁰ p	Cc AF ²¹ sbv		
Actual	10,8		5,0		1,5				17,3
Tendencial óptimo	11,9		3,5			2,0			17,3
Escenario 7		13,0					1,4	3,0	17,3
Escenario 8		14,9					1,4	1,1	17,3
Escenario 9		15,6	0,4	0,1			1,2	0,0	17,3
Escenario 10		13,6	3,0				0,7	0,0	17,3
Escenario 11	12,1	0,0	3,8				1,4	0,0	17,3

Fuente: El autor.

4.3.2 Análisis de escenarios en la Tipología Ganadería, transitorios y. GnFrCc. De acuerdo al modelo, el escenario actual de la presente Tipología requiere para desarrollar sus actividades productivas un capital de 83,5 SMLV en un área de 117,9 ha. Tiene 129 jornales disponibles por trimestre pero adicionalmente requieren contratar 201, 419, 86 y 138 jornales en cada uno de los respectivos trimestres del año (Figura 20) necesarios para la siguiente estructura productiva: 7 hectáreas de fríjol tradicional del propietario del predio, 8 hectáreas de fríjol en partija, 3 ha de café tradicional y 100 ha de ganadería doble propósito en ladera con baja eficiencia financiera, pero por la magnitud del área, sus ingresos son muy superiores a las otras tipologías presentes en la cuenca. Requieren contratar mano de obra que es solventada con los ingresos de la venta de fríjol seco y café pergamino seco.

Durante los dos primeros trimestres se concentran las principales actividades productivas del predio: la siembra y cosecha de fríjol y la cosecha principal de café, por ello, se ven en la necesidad de contratar tanta mano de obra. El quehacer ganadero se adelanta principalmente con mano de obra disponible pero contratan la guadañada de los potreros durante el segundo semestre del año.

¹⁵ Pr: Potrerización.

¹⁶ GnSSP: Ganadería en sistemas silvopastoril.

¹⁷ Fr trad: Fríjol con manejo tradicional, es decir, con quemas agrícolas.

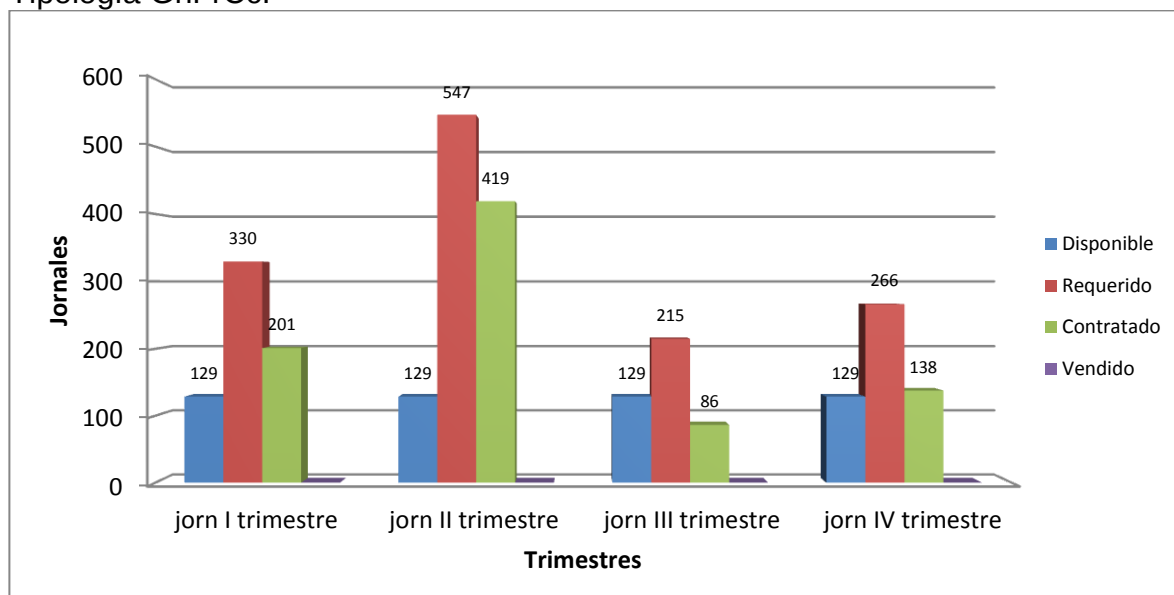
¹⁸ Fr BPA sbv: Fríjol con Buenas Prácticas Agrícolas sin barreras vivas.

¹⁹ Cc mp: Café con manejo técnico de Tipología PrFrCc.

²⁰ Cc p: Café con manejo técnico de Tipología GnFrCc.

²¹ Cc AF sbv: Café agroforestal sin barreras vivas.

Figura 20. Mano de obra disponible por trimestre en el Escenario actual de la Tipología GnFrCc.

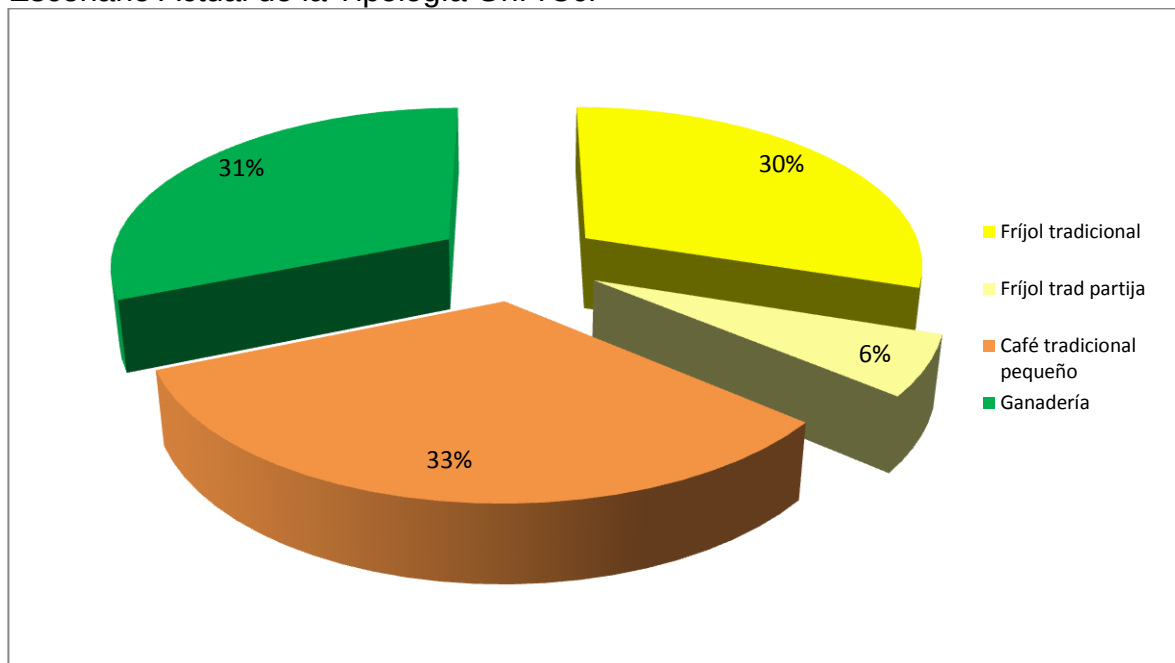


Fuente: El autor.

Por la dimensión del área sembrada en café y frijol principalmente, siempre se está requiriendo mano de obra adicional, situación que se ve reflejada en la adecuación de mano de obra, es decir, su disponibilidad es menor a la requerida, por lo tanto, se convierte en un actor de importancia relevante por demandar mano de obra que ofertan los vecinos de la tipología PnFrCc. Esto financieramente se refleja en la retribución de mano de obra que para el jornal laborado y disponible es de \$ 38.567, es decir, \$ 8.567 pesos adicionales al valor de un jornal. Esta relación se da sobre la mano de obra propia, la cual no ha sido contemplada en los costos de producción como una condición particular presente en los sistemas productivos de economía campesina.

La distribución de los ingresos por actividad productiva no es directamente proporcional al área ocupada por cada una de ellas en el predio; siendo que las praderas que ocupan el 85% del área en el predio, aportan solo el 31% de los ingresos; mientras que el frijol y el café con el 8 y 7% del área aportan el 36% y 33 % de los ingresos respectivamente (Figura 21).

Figura 21. Distribución porcentual de ingreso neto por actividad productiva en el Escenario Actual de la Tipología GnFrCc.

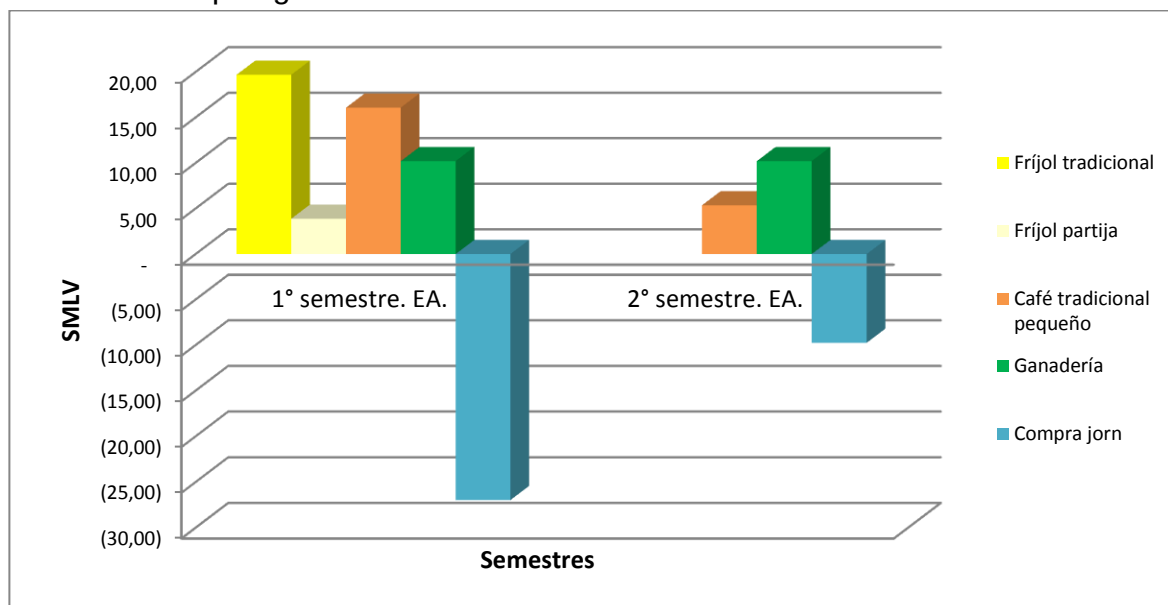


Fuente: El autor.

En términos generales la ganadería tiene una baja rentabilidad soportada por la oferta ambiental y los parámetros productivos mencionados en la descripción de la tipología. Baja producción de biomasa, limitada oferta hídrica, además de terrenos con fuertes pendientes no son las condiciones adecuadas para la ganadería sostenible. Las actividades de mayor rentabilidad por unidad de área para estas familias campesinas son en su orden el fríjol y el café, sin embargo, por el flujo de caja que representa la ganadería doble propósito en la zona, se convierte en una alternativa de uso del suelo posible e importante cuando los predios son grandes porque por la baja capacidad de carga se requiere área suficiente para el pastoreo del ganado.

Gracias a estas actividades productivas, al año se está generando un ingreso de 28,8 SMLV, es decir, 2,4 SMLV/mes. La mayor cantidad de ingresos se presenta durante el primer semestre porque se cosecha fríjol y café (Figura 22), coincidiendo con la época de mayor demanda de mano de obra. Frente al análisis financiero, el capital requerido para el funcionamiento de esta tipología es de 83,57 SMLV, sin tener en cuenta la mano de obra; por lo tanto, la relación beneficio costo es 0,27, menor a 1, es decir, que aquí se ve reflejada la economía campesina donde la mano de obra por ser propia no conduce a “la quiebra” de la pequeña empresa agropecuaria sino que permite su sostenimiento así haya ineficiencia financiera.

Figura 22. Ingresos por semestre de las actividades productivas en el Escenario Actual de la Tipología GnFrCc.



Fuente: El autor.

Frente a los indicadores ambientales, el índice de captura de carbono alcanzado es -8,9, es decir, se libera más de lo que alcanza a fijar en árboles y suelos por las quemadas agrícolas empleadas en la siembra de frijol cada año. La producción de sedimentos es muy alta, reflejada en el índice de valor 91,5, ya que un suelo desprotegido por la quema en terrenos muy pendientes, al iniciar el período de lluvias el arrastre de suelo a los drenajes es alto y también por el sobre pastoreo que se presenta en buena área del predio.

En la Tipología GnFrCc, también se quiso conocer con el modelo de optimización el escenario Tendencial óptimo, es decir, donde el productor tuviese la posibilidad de mejorar sus ingresos sin tener en cuenta las variables ambientales; cuyos resultados muestra la Tabla 25, y en la que se aprecia con respecto al escenario actual un cambio en la forma de sembrar frijol, pues prioriza la partija sobre la siembra propia al igual que la potrerización sobre la ganadería doble propósito, pues para el modelo es más económico producir de esta forma pues invertiría menos mano de obra que podría dedicar al café que es más rentable. Así, los ingresos aumentarían en un 47% con respecto al escenario actual, con los mismos recursos de capital, tierra y mano de obra; sin que ello represente un aumento del impacto ambiental al generado actualmente, pero los indicadores ambientales mantienen un comportamiento similar al del escenario actual. Un aumento en ingresos muy representativo para estos agricultores, pero que por estar muy arraigados a la tradición productiva, difícilmente tendrían la iniciativa de variar su arreglo productivo.

Tabla 25. Indicadores del escenario óptimo tendencial de la Tipología GnFrCc.

Uso del suelo en la Tipología GnFrCc	Unidades	Resultado Óptimo tendencial
Fríjol tradicional	ha	2,1
Fríjol en partija	ha	14,3
Potrerización	ha	94,1
Café tradicional pequeño	ha	7,4
Índice de captura de carbono		-8,9
Índice de producción de sedimentos		90,7
Retribución mano de obra \$ / jornal laborado	\$	56.615
Retribución mano de obra \$ / jornal disponible	\$	56.615
Precio sombra		27.836
Ingreso anual en SMLV		42,2
Ingreso mensual en SMLV		3,5

Fuente: El autor.

Análisis de escenarios de la Tipología GnFrCc con el modelo. Con el objetivo de identificar los escenarios que mejoren los indicadores económicos y ambientales de esta tipología, se corrió el modelo condicionado a tres situaciones:

1. Maximización de los ingresos con los recursos de tierra, capital y mano de obra disponibles en la tipología.
2. Minimización de la producción de sedimentos con diferentes ingresos del productor.
3. Maximización de la captura de carbono con diferentes ingresos del productor.

Siempre los diferentes escenarios se compararon con la situación actual y la tendencial óptima, entendida esta última como la posibilidad del productor de mejorar sus ingresos sin tener en cuenta las variables ambientales.

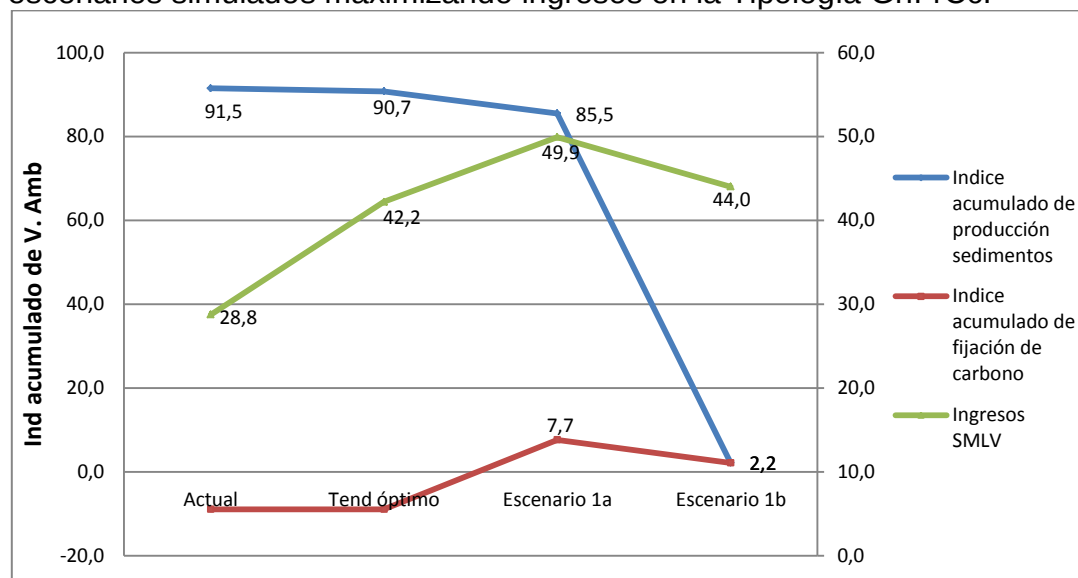
Por la practicidad del modelo, además de condicionar la maximización de los ingresos se plantearon restricciones para ver el comportamiento de las variables financieras y sociales de la Tipología GnFrCc presionando el cambio positivo de las variables ambientales, es decir, minimizando el índice de erosión o maximizando el índice de captura de carbono, con el fin de analizar el comportamiento de las variables sociales, económicas y ambientales, frente al impacto que se requiere en la ruta hacia la conservación del ecosistema

estratégico cuenca del río Las Ceibas: disminuir el arrastre de sedimentos y aumentar la captura de CO₂, con igual o mayor ingreso económico de la tipología.

A continuación se muestran los resultados del modelo en las tres situaciones planteadas:

Situación 1. Maximización de los ingresos con los recursos de tierra, capital y mano de obra disponibles en la Tipología GnFrCc. Alimentado el modelo con la estructura de costos de las alternativas productivas con mayor rentabilidad y mejor gestión frente a la conservación de los suelos y la mitigación al cambio climático para la Tipología GnFrCc, se corrió el modelo para comparar el escenario resultante con los escenarios actual y óptimo tendencial. Así se obtuvo el escenario 1, con un aumento en el ingreso del 73% con respecto al escenario actual, sin embargo, las variables ambientales poco cambiaron, sobre todo la de producción de sedimentos, razón por la cual, se revisó el uso del suelo propuesto por el modelo y arrojó 107,5 ha de potrerización, actividad productiva que de acuerdo a la pendiente predominante del terreno, no es viable promoverla, y 7,4 ha de café agroforestal; de ahí, que se corriera un nuevo escenario sin ganadería tradicional o potrerización, y se obtuviera el escenario 1b que presenta un ingreso de 53,1% superior al escenario actual, y donde las variables ambientales presentaron un cambio significativo para bien, es decir, el índice de producción de sedimentos disminuyó de 91,5 a 2,2 unidades y el índice de captura de carbono pasó de -8,9 a 2,2 unidades Figura 23.

Figura 23. Comportamiento de ingresos y variables ambientales frente a los escenarios simulados maximizando ingresos en la Tipología GnFrCc.



Fuente: El autor.

El escenario 1b, por el contrario concentra el interés en café agroforestal sin barreras vivas con 7,6 ha y 3,4 ha de frijol tradicional (Tabla 26), llamando la atención que solo emplea el 9,3 % del área del predio en producción. Ventaja comparativa que tendrá que analizarse frente a los otros escenarios evaluados.

Tabla 26. Actividades productivas de los escenarios simulados: Actual, óptimo y maximizando ingresos en la Tipología GnFrCc.

Escenarios	Actividades productivas						total área
	Pr ²²	Gn ²³ trad	Fríjol ²⁴ trad	Fríjol ²⁵ partija	Cc ²⁶ p	Cc ²⁷ AF sbv	
Actual		100	7	8	3		117,9
Tendencial óptimo	94,1		2,1	14,3	7,4		117,9
Escenario 1a	107,5		3,0	0,0		7,4	117,9
Escenario 1b			3,4			7,6	11,0

Fuente: El autor.

²² Pr: Potrerización.

²³ Gn trad: Ganadería tradicional.

²⁴ Fríjol trad: Fríjol con manejo tradicional, es decir, con quemas agrícolas.

²⁵ Fríjol partija: Fríjol con manejo tradicional en partija.

²⁶ Cc p: Café con manejo técnico de Tipología GnFrCc.

²⁷ Cc AF sbv: Café agroforestal sin barreras vivas.

Situación 2. Minimización de la producción de sedimentos con diferentes ingresos propuestos. Se modificaron los criterios y restricciones en el modelo multicriterio de tal forma que minimizara la erosión partiendo de los ingresos obtenidos en los escenarios corridos: escenario actual y objetivo tendencial. Así, se analizaron más escenarios con el mismo capital disponible que aumentar los ingresos bajo la premisa: minimización de la erosión.

Se corrió el modelo seis veces para esta situación, es decir, se obtuvieron resultados de seis escenarios sobre ingresos conocidos: los obtenidos en el escenario actual, aumentándolos un 5 y 10%, los obtenidos en el escenario óptimo tendencial y los obtenidos en el escenario 1b (Tabla 27).

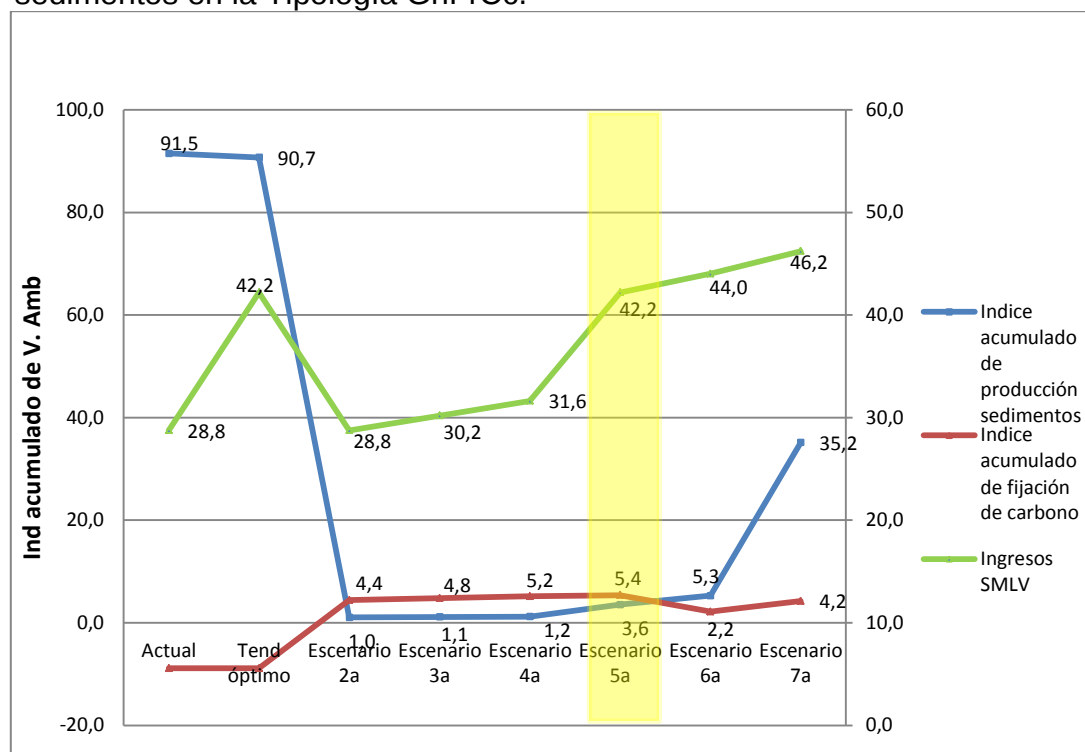
Tabla 27. Escenarios corridos de acuerdo a ingresos esperados.

Escenarios	Ingresos	SMMLV	Observaciones
Actual	19.823.272	28,8	
Tendencial óptimo	29.100.333	42,2	
Escenario 2a	19.823.272	28,8	Escenario basado en los Ingresos obtenidos en el escenario actual.
Escenario 3a	20.814.435	30,2	Escenario basado en los ingresos del escenario actual con un aumento del 5%
Escenario 4a	21.805.599	31,6	Escenario basado en los ingresos del escenario actual con un aumento del 10%
Escenario 5a	29.100.333	42,2	Escenario basado en los Ingresos obtenidos en el escenario óptimo tendencial.
Escenario 6a	30.349.664	44,0	Escenario basado en los Ingresos obtenidos en el escenario 1b.
Escenario 7a	31.867.147	46,2	Escenario basado en los Ingresos obtenidos en el escenario 1b con un aumento del 5%.

Fuente: El autor.

Los resultados obtenidos se aprecian en la Figura 24. Los escenarios 5a y 6a reúnen los atributos deseados: aumento significativo de los ingresos (entre el 46,7 y 53,1% respectivamente), con disminución significativa de producción de sedimentos y un aumento simbólico de captura de carbono, que si bien no tiene alta capacidad de fijarlo al menos deja de liberar gases efecto invernadero, siendo esto una situación aceptable.

Figura 24. Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología GnFrCc.



Fuente: El autor.

En los escenarios 3a y 4a las variables ambientales se comportan muy bien pero los ingresos no aumentaron significativamente; y en el caso del escenario 7a los ingresos son muy altos pero el índice de producción de sedimentos no presenta un comportamiento deseable.

Al revisar bajo que usos del suelo se presentan estos escenarios la Tabla 28 muestra que el modelo prioriza el café agroforestal en unos casos con barreras vivas y en los otros sin ellas. En la medida que se van aumentando los ingresos el modelo va incluyendo frijol con barreras vivas y luego frijol tradicional aunque en poca área y la va aumentando paulatinamente al igual que se aumenta el aporte de sedimentos. Finalmente para compensar unos ingresos significativos incluye al área productiva la potrerización (escenario 7a). Lo más particular de estos escenarios es que emplearía para la producción agropecuaria entre el 4,4 y el 43,1% del área que usa actualmente, pudiendo dedicar buena parte del predio a la restauración y conectividad de coberturas boscosas ampliando los bosques de galería o restaurando las áreas pendientes mayores al 70% que en estos predios alcanza a ser mínimo del 13% del área dedicada a las pasturas y que se encuentra sin cobertura por el empleo de las quemadas agrícolas.

Tabla 28. Actividades productivas de los escenarios simulados minimizando producción de sedimentos en la Tipología GnFrCc.

Escenarios	Actividades productivas								total área
	Pr ²⁸	Gn ²⁹ trad	Fríjol ³⁰ trad	Fríjol ³¹ partija	Fr ³² BPA sbv	Cc ³³ p	Cc ³⁴ AF sbv	Cc ³⁵ AF cbv	
Actual		99,92	7	8		3			117,9
Tendencial óptimo	94,1		2,1	14,3		7,4			117,9
Escenario 2a								5,2	5,2
Escenario 3a								5,6	5,6
Escenario 4a								6,1	6,1
Escenario 5a					2,3		7,4		9,7
Escenario 6a			3,4				7,6		11,0
Escenario 7a	40,0		3,2				7,5		50,8

Fuente: El autor.

Situación 3. Maximización de la captura de carbono con diferentes ingresos propuestos. En este caso se modificaron los criterios y restricciones en el modelo multicriterio de tal forma que maximizara la captura de carbono de acuerdo a los ingresos obtenidos en los escenarios corridos inicialmente: escenario actual, objetivo tendencial y uno, como muestra la Tabla 25 mencionada anteriormente.

De acuerdo a la Figura 25, los escenarios 8, 9 y 10 son muy atractivos en la medida que disminuyeron el índice de erosión entre un 47,2 y 45,4 unidades y aumentaron ostensiblemente el índice de fijación de carbono, entre 64,8 y 61,8 unidades. Pero los ingresos realmente no presentan una diferencia llamativa con respecto al escenario actual. Por otro lado, los escenarios 11 y 12 aumentaron los ingresos en un 46,8 y 53,1 %, siendo muy superiores a los escenarios anteriores; el índice de captura de carbono no siendo tan alto como en los anteriores escenarios tiene un impacto importante, mientras que el aporte de sedimentos reportó una disminución en su índice entre el 26,9 y el 22,8 unidades, siendo menor a los anteriores escenarios.

²⁸ Pr: Potrerización.

²⁹ Gn trad: Ganadería tradicional.

³⁰ Fríjol trad: Fríjol con manejo tradicional, es decir, con quemas agrícolas.

³¹ Fríjol partija: Fríjol con manejo tradicional en partija.

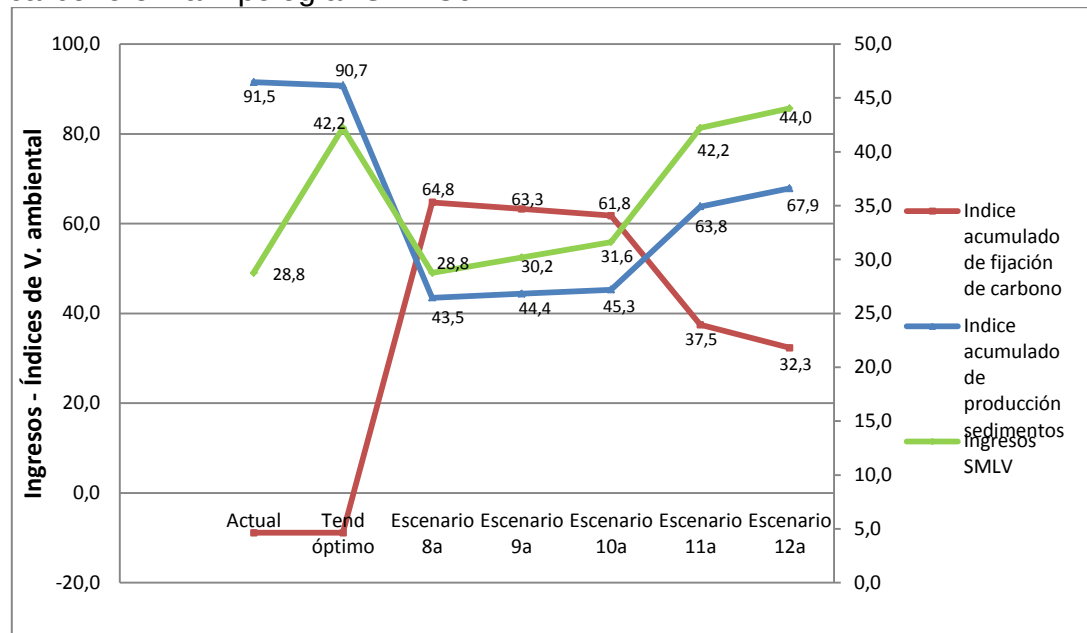
³² Fr BPA sbv: Fríjol con Buenas Prácticas Agrícolas sin barreras vivas.

³³ Cc p: Café con manejo técnico de Tipología GnFrCc.

³⁴ Cc AF sbv: Café agroforestal sin barreras vivas.

³⁵ Cc AF cbv: Café agroforestal con barreras vivas.

Figura 25. Comportamiento de variables ambientales con ingresos propuestos frente a los escenarios simulados maximizando captura de carbono en la Tipología GnFrCc.



Fuente: El autor.

De acuerdo a las premisas que condicionaron la corrida del modelo, ésta mejora significativamente la captura de carbono porque prioriza la ganadería con silvopastoriles sobre el café y el frijol sostenibles. La Tabla 29, muestra que a diferencia de los escenarios 2a, 3a, 4a, 5a, 6a y 7a, estos, es decir, 8a, 9a, 10a, 11a y 12a priorizan la ganadería. Cuando los ingresos apenas sobrepasan los actuales, el modelo recomienda la ganadería con silvopastoreo y la restauración del bosque. Pero cuando se proyectan ingresos altos, distribuye el área de la finca entre la potrerización y la ganadería sostenible y entre 3,8 y 4,8 ha de café agroforestal.

Tabla 29. Actividades productivas de los escenarios simulados maximizando la captura de carbono en la tipología GnFrCc.

Escenarios	Actividades productivas							Rest ⁴³	Total área
	Pr ³⁶	Gn ³⁷ trad	Gn ³⁸ SSP	Fríjol ³⁹ trad	Fríjol ⁴⁰ partija	Cc ⁴¹ p	Cc ⁴² AF svb		
Actual		99,92		7	8	3			117,9
Tendencial óptimo	94,1			2,1	14,3	7,4			117,9
Escenario 8a			105,3				0,8	11,8	117,9
Escenario 9a			108,3				0,7	8,9	117,9
Escenario 10a			111,4				0,6	6,0	117,9
Escenario 11a	49,3		64,7				3,9		117,9
Escenario 12a	61,0		52,0	0,06			4,8		117,9

Fuente: El autor.

Al analizar el objetivo principal del ordenamiento de la cuenca del río Las Ceibas que es la oferta permanente de agua de calidad, una de las condiciones que deberán darse es la disminución significativa del aporte de sedimentos, servicio ambiental que no ofrecen los escenarios de la Maximización de la captura de carbono con diferentes ingresos del productor, es decir, entre el 8 y 12. Bajo otra perspectiva la condición de alta captura de carbono es razón suficiente para decidirse por uno de estos escenarios y promoverlo en la cuenca, pero como en este caso el modelo propone el uso total del área entre ganadería sostenible y/o potrerización, en un área que no tiene condiciones óptimas por pendiente del terreno principalmente, se descartan estos escenarios.

De otro lado, entre los escenarios de la Minimización de la producción de sedimentos con diferentes ingresos propuestos, el 5a, además de tener unas variables ambientales con buen comportamiento e ingresos muy significativos, el uso del suelo cumple con las expectativas de manejo sostenible.

³⁶ Pr: Potrерización.

³⁷ Gn trad: Ganadería tradicional.

³⁸ Gn SSP: Ganadería en sistema silvopastoril.

³⁹ Fríjol trad: Fríjol con manejo tradicional, es decir, con quemas agrícolas.

⁴⁰ Fríjol partija: Fríjol con manejo tradicional en partija.

⁴¹ Cc p: Café con manejo técnico de Tipología GnFrCc.

⁴² Cc AF svb: Café agroforestal sin barreras vivas.

⁴³ Rest: Restauración de coberturas forestales.

5. DISCUSIÓN

Como el análisis multicriterio es una herramienta adecuada de decisión sobre problemas que incluyen conflictos sociales, económicos y objetivos de conservación del medio ambiente, con una pluralidad de escalas de medición (físicas, monetarias, cualitativas, etc); cuenta más el proceso de toma de decisiones, que el resultado mismo, el cual no persigue una "solución óptima", sino una "solución de compromiso u objetivo" entre los distintos actores involucrados. (Falconi, 2004).

Los modelos de optimización son aquellos que no proporcionan al sujeto decisor una o varias decisiones sino tan solo las consecuencias de adoptar distintos cursos de acción posibles (Köbrich, 1999); razón por la cual entre los escenarios evaluados se identificó uno en cada Tipología que combinaba de mejor manera los atributos esperados, económicos, sociales y ambientales.

5.1 ESCENARIO OBJETIVO EN LA TIPOLOGÍA PrFrCc

El escenario (4a), es el escenario objetivo, el que se debe promover a nivel institucional, es decir, desde el POMCA del río Las Ceibas, como la alternativa productiva al uso tradicional del suelo dentro de la Tipología Potrerización, transitorios y café en la micocuena San Bartolo porque reúne varios de los atributos deseados al revisar los indicadores que muestra la Tabla 30. Aumentan los ingresos totales en un 10%, mejora ostensiblemente la adecuación de la mano de obra, pues solo tendría que contratarla en el segundo trimestre del año en la recolección de café, el resto del año cuenta con mano de obra suficiente para mejorar la administración de unidad productiva y en algunos momentos venderla. La retribución a la mano de obra mejoró, pues al hacer un uso más intensivo del predio en un área más pequeña aumenta su demanda en siembra y administración de café, por lo tanto, aumenta el precio del jornal laborado en \$ 7.598. La retribución al capital se mantuvo estable en los otros escenarios, aquí aumentó 0,1, es decir, que por cada peso invertido generó 1 centavo adicional.

El precio sombra por el contrario quedó en cero, es entendible al concentrar la producción en un área más pequeña de la que tenía, es decir, no le hace falta más área para el capital disponible. Los costos de oportunidad mejoraron lógicamente, porque así mismo las unidades productivas se vuelven más rentables.

El impacto sobre los recursos naturales disminuye porque el nuevo escenario plantea una unidad productiva compuesta de 2,0 ha de un agroforestal de café sin barreras vivas con 70 árboles de sombrero por ha y 1,2 ha de frijol tradicional que se interpretaría como estrategia de seguridad alimentaria para producir el grano de

autoconsumo del predio. El resto del área, según el modelo, no se requiere porque el agricultor no posee más capital de trabajo, siendo así, habría terreno en el predio disponible a liberar quedando a criterio del propietario definir el tamaño del área que quiera convertir en bosque, sin embargo, se sugiere que mínimo sean 2,3 ha (13 % del área del predio) que corresponde al área aproximada de los potreros con pendiente mayor al 70%.

En este sentido es bueno recordar que el uso de la programación lineal en el desarrollo y la aplicación de estos modelos de optimización se ha mostrado exitoso para examinar y comparar el desempeño económico de diferentes actividades de acuerdo con el trade off con las externalidades ambientales (Quintero, 2006); es decir, unos atributos mejorarán más con respecto a otros.

Tabla 30. Diferencias entre indicadores del Escenario Actual y el Objetivo en la Tipología PrFrCc.

Variables	Escenario actual	Escenario objetivo	Diferencia
Fríjol tradicional	5		NA ⁴⁴
Café tradicional muy pequeño	1,5		NA
Potrerización	10,8		NA
Fríjol tradicional		1,2	NA
Café agroforestal sin barreras vivas		2,0	NA
Área empleada (ha)	17,3	3,3	14
\$ / jornal laborado	37.145	44.743	7.598
\$ / jornal disponible	28.301	31.131	2.830
Retribución al capital	1,1	1,2	
SMLV invertidos	16,9	16,9	0
SMLV invertido incluyendo mano de obra	31,9	30,6	1,3
SMLV ingresos/ año	18,5	20,3	0,1
Relación B/C	0,58	0,66	0,08
Costos de oportunidad	141.606	266.212	124.606
Precio sombra	57.226	0	
Índice de captura de carbono	-3,9	0,3	4,1 ⁴⁵
Índice de producción de sedimentos	13,9	1,7	12,1

Fuente: El autor.

⁴⁴ NA: No Aplica.

⁴⁵ La diferencia realmente es mayor, porque en el escenario actual no había capacidad de almacenamiento de carbono, por el contrario, se liberaba una significativa cantidad cada año; con el escenario objetivo inicia la acumulación a nivel del predio.

5.2 ESCENARIO OBJETIVO EN LA TIPOLOGÍA GnFrCc

El escenario (5a), es el escenario objetivo, es la alternativa productiva al uso tradicional del suelo dentro de la Tipología Ganadería, transitorios y café en la microcuenca San Bartolo que debe impulsarse a nivel del POMCA del río Las Ceibas porque reúne atributos deseados revelados por los indicadores socioeconómicos y ambientales que muestra la Tabla 31.

De los escenarios analizados con ayuda del modelo la unidad productiva más promisoría es la que propone establecer 7,4 ha de café en agroforestal sin barreras vivas con 70 árboles de sombrío por ha además de 2,3 ha fríjol con buenas prácticas agrícolas generando unos ingresos anuales por \$ 42,2 SMLV, por lo tanto, hay una alta retribución a la mano de obra superando la actual en \$ 29.465; y así mismo aumentaría la retribución al capital con respecto al invertido.

Los costos de oportunidad aumentaron como debía ser, ya que la tipología en su conjunto es más rentable con el área de café y fríjol a sembrarse. El precio sombra se comportó igual que la nueva propuesta de uso del suelo en la Tipología PrFrCc, ya que intensifica la mano de obra disponible, propia de la economía campesina y emplea menos área del predio que el escenario actual, pues área adicional no le significaría un aumento en los ingresos.

De los indicadores ambientales se puede decir que el índice de erosión bajó de 91,5 en el escenario actual a 3,56; realmente una disminución significativa; y el de captura de carbono pasó de -8,9 a 5,36, muy superior al del escenario actual porque la capacidad de almacenarlo es inferior a la liberación por el área quemada cada año.

Tabla 31. Diferencias entre indicadores del Escenario Actual y el Objetivo en la Tipología GnFrCc.

Variables	Escenario actual	Escenario objetivo	Diferencia
Fríjol tradicional (ha)	7		NA*
Fríjol en partija (ha)	8		NA
Café tradicional pequeño (ha)	3		NA
Ganadería tradicional (ha)	99,9		NA
Fríjol BPA (ha)		2,3	NA
Café AF sin barreras vivas (ha)		7,4	NA
Área empleada (ha)	117,9	9,7	
\$ / jornal laborado	38.567	68.023	29.465
\$ / jornal disponible	38.567	56.615	18.048
Retribución al capital	0,3	0,5	0,2
SMLV invertidos	83,6	83,6	0
SMLV invertido incluyendo mano de obra	105,9	102,2	-3,7
SMLV ingresos/ año	28,8	42,2	13,4
Relación B/C	0,27	0,41	0,14

Variables	Escenario actual	Escenario objetivo	Diferencia
Costos de oportunidad	37.341	137.943	100.601
Precio sombra	0	0	0
Índice de captura de carbono	-8,9	5,39	5,39*
Índice de producción de sedimentos	91,5	3,56	-87,94

* NA: No aplica.

Fuente: El autor.

En esta tipología de producción quedaría un área importante sin uso que podría destinarse a la conservación en zonas adyacentes a los drenajes naturales o aquellas que por fuerte pendiente deberían tener cobertura forestal.

En conclusión, de todos los escenarios evaluados en la tipología GnFrCc el de mejor comportamiento en conjunto de los indicadores económicos, sociales y ambientales, por tal razón, es la opción a impulsar en la microcuenca del río Las Ceibas.

6. CONCLUSIONES

Los sistemas productivos o tipologías de productores más representativas de la microcuenca San Bartolo son: potrerización, transitorios y café; ganadería, transitorios y café; potrerización mayor y menor a 50 ha; y Cacao, potrerización con transitorios.

Los costos de oportunidad de los sistemas productivos campesinos presentes en la cuenca son bajos, pero la disponibilidad permanente de mano de obra hacen viable las actividades agropecuarias con manejo tradicional porque por la escasez de capital no pueden acceder a tecnología y medios de producción en general.

El cultivo de frijol es fundamental en la economía de la microcuenca San Bartolo, por la recuperación rápida de capital y porque hace parte de su dieta alimentaria.

El frijol es la actividad productiva de mayor dificultad en el cambio de uso del suelo por ser la actividad agrícola que representa mayores ingresos a los habitantes de la cuenca y la oportunidad de renovar potreros.

En el sistema productivo Cacao, potrerización y transitorios, al aumentarse los rendimientos de cacao con el apoyo Institucional en la implementación del POMCA, la siembra de frijol arbustivo dejó de ser una prioridad, los ingresos del productor se duplicaron y las externalidades negativas disminuyeron considerablemente.

Existen serias dudas sobre el potencial productivo agropecuario de las tipologías campesinas definidas por la potrerización, por no poseer una base social permanente, es decir, no estar habitados o sus propietarios no depender económicamente de las actividades agropecuarias del predio; además, por su limitada oferta de agua, suelos con baja retención de agua, escasez de pasto en verano, sumado al difícil acceso.

La ganadería doble propósito no es una actividad rentable por el comportamiento pobre de sus indicadores ya que la oferta ambiental es limitada; pero su importancia radica en el flujo de caja permanente por la venta semanal de queso y la oferta de la leche para el autoconsumo. En la medida que los ingresos y rentabilidad de las actividades agrícolas mejore, así mismo, se disminuirá el interés en la actividad ganadera.

La ganadería doble propósito con manejo extensivo en la microcuenca es una actividad posible en predios grandes mayores a 100 hectáreas, mas no es rentable, por lo tanto, su permanencia en el tiempo ha contado con el aporte de mano de obra familiar; de ahí que recurran a las quemas agrícolas como es tradición para la renovación de praderas.

El mejoramiento de los indicadores de las variables ambientales seleccionadas en el análisis, capacidad de almacenamiento de carbono y producción de sedimentos, contribuyen eficazmente en la identificación de escenarios con externalidades ambientales positivas.

El modelo de optimización propuesto es funcional así se carezca de registros de las variables ambientales, sin embargo, en la medida que haya información local, suficiente y actualizada, los resultados serán más contextualizados y su interpretación más ventajosa.

Las alternativas tecnológicas propuestas están diseñadas para aumentar rentabilidad y disminuir las externalidades negativas, por ello contemplan tecnologías apropiadas de conservación de suelos y mitigación al cambio climático, manteniendo la tradición productiva del café y un poco el frijol.

El modelo de optimización empleado da cuenta que no todos los escenarios planteados tienen un comportamiento equilibrado entre las variables económicas y ambientales, trade off, por lo tanto, una buena caracterización del área de estudio y claros objetivos de conservación del ecosistema estratégico brindarán insumos para tomar una buena decisión que sopesa variables económicas vs externalidades ambientales.

El nuevo uso del suelo propuesto para la Tipología Potrerización, transitorios y café es: café en agroforestal (2 ha) y frijol tradicional (1,2 ha); y para la Tipología Ganadería, transitorios y café es: café en agroforestal (7,4 ha) y frijol (2,3 ha).

El diseño de café agroforestal en ambos casos está compuesto por 70 árboles maderables como sombrío y 5128 plantas de café por hectárea con manejo de coberturas nobles.

Como los escenarios objetivo proponen emplear menor área en la producción agropecuaria, las áreas de protección en los predios pueden aumentar significativamente en las rondas hídricas y terrenos con pendiente mayor al 70%.

En ambos sistemas productivos analizados con el modelo de optimización existe la coincidencia que el escenario objetivo tiene a los sistemas agroforestales de café como la actividad que reúne los atributos requeridos en una propuesta sostenible: alta rentabilidad, disminución de externalidades negativas y empleo de mano de obra familiar; y sumado a la aceptación social en la zona, situación que contribuirá de manera decisiva a la conservación de la microcuenca San Bartolo. Por lo tanto, hay que resaltar la contribución del café con buenas prácticas agrícolas en la economía campesina y la conservación de los ecosistemas estratégicos.

7. RECOMENDACIONES

Promover los cambios de uso del suelo en la cuenca con sistemas agroforestales de café genera tranquilidad por la tradición productiva en la cuenca y la existencia de un gremio consolidado con respaldo gubernamental por lo que representa socialmente a nivel nacional.

Siendo la ganadería una actividad de tradición en la parte media de la microcuenca San Bartolo, la promoción de sistemas agroforestales adaptables a la oferta ambiental y la promoción de incentivos a la conservación, motivarían a los productores a iniciar los cambios convenientes de uso del suelo.

La evaluación integral de variables ambientales, sociales y económicas en la gestión territorial es necesaria y los modelos de optimización así lo permiten, por lo tanto, la difusión y empleo de estos debería ser mayor considerando los retos que están por enfrentarse con el fenómeno del cambio climático que exigen prontas acciones integrales de mitigación y adaptación.

Si bien, el presente estudio recomienda usos y manejos del suelo económicamente viables y ambientalmente sanos, estrategias a la conservación de los recursos naturales como el pago por servicios ambientales, el ecoturismo y los incentivos tributarios, serían complementos justos para consolidar una propuesta integral que genere ingresos económicos justos a los agricultores.

Las acciones de conservación mediante el establecimiento de sistemas productivos sostenibles en áreas de influencia de los ecosistemas estratégicos requerirán un complemento social para lograr la apropiación de las comunidades campesinas como procesos de educación ambiental, asistencia técnica garantizada y promoción de liderazgo, entre otros.

Aunque se están promoviendo los cambios de uso del suelo hacia un manejo agropecuario sostenible, en la parte media de la cuenca donde se concentra la potrerización, se debe proponer como prioridad la restauración de la cobertura de bosque ya que los antecedentes productivos no son eficientes en esta área y constantemente se están generando sedimentos.

El presente estudio deberá emplearse como un insumo técnico confiable que incida en la construcción de una política pública de conservación de los ecosistemas estratégicos de la mano con la producción agropecuaria sustentable que garantice el bienestar de los campesinos y la oferta de servicios ambientales.

La reconversión de sistemas productivos requiere un análisis de viabilidad y alcance para garantizar la sostenibilidad financiera de las metas a plantearse.

Como la compleja de tarea de proteger los ecosistemas estratégicos depende de conocer sus particularidades socioeconómicas, servicios ambientales, externalidades ambientales, antecedentes, entre otros; el modelo de optimización diseñado puede ajustarse a las necesidades y al contexto del área en estudio, es decir, cambiar o aumentar las variables socioeconómicas y ambientales a criterio de los planificadores.

Promover desde el POMCA procesos de restauración pasiva en predios de la zona productiva fomentando los incentivos a la conservación.

Hacer difusión de los resultados mediante cartillas ilustrativas como estrategia de promoción del cambio de uso del suelo donde sean evidentes las ventajas sociales, económicas y ambientales, por adoptar las nuevas alternativas de producción o escenarios objetivos que tienen como finalidad garantizar la oferta de servicios ambientales y mejorar el nivel de vida de los habitantes de la microcuenca San Bartolo.

BIBLIOGRAFIA

AGUDELO, Camilo et al. Relaciones entre pobreza rural y deterioro ambiental en una zona de ladera de la región andina en Colombia. Universidad de Caldas – Maestría en Sistemas de Producción Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción (RIMISP) Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). En: V simposio latinoamericano sobre Investigación y Extensión en Sistemas Agropecuarios. Florianópolis, Brasil. Mayo 20 – 23 de 2002. 10p.

ALMOROX, Javier et al. La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. Murcia: Universidad de Murcia, 2010. 384p

ANDRADE, Hernán, MARÍN, Lina y PACHÓN, Diana. Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. En: Bioagro 26(2): 127-132. 2014

ANDRADE B, Oneila del C y RODRIGUEZ, Oscar P. Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. En: Bioagro. 2002. 14(3): p123-133.

ANDRADE, H.J.A , BROOK, R.B, IBRAHIM, M.A. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. En: Plant and Soil; Volume 308, Issue 1-2, July 2008, p 11-22.

ARAMBURU, Julián et al. Cuando un análisis de corto plazo no es un enfoque cortoplacista: Impactos de la adopción tecnológica agropecuaria en Bolivia. Banco Interamericano de Desarrollo, Sector de Infraestructura y Medio Ambiente y Oficina de planeación. Estrategia y efectividad de desarrollo. Septiembre 2014. 539 p.

AVELLANEDA, Teófilo. Percepciones del liderazgo en la Cuenca del río Las Ceibas. Informe corto. Neiva, 2010. 4p.

BERENGUER, Erika et al. Developing Cost-Effective Field Assessments of Carbon Stocks in Human-Modified Tropical Forests. En: PLOS ONE | DOI:10.1371/journal.pone.0133139 August 26, 2015.

CARDENAS MIRANDA, Loreni. Caracterización de la producción ganadera en la cuenca del río Las Ceibas. Informe. Neiva, 2011. 40 p.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL – CIAT Y CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA - CAM.

Potencial de generar un sistema de compensación por servicios ambientales: Estudio de caso cuenca río Las Ceibas, Departamento del Valle. Santiago de Cali, 2007. 53 p.

CHAMORRO T., G.; GALLO C., A y LÓPEZ A., R. Evaluación económica del sistema agroforestal café asociado con nogal. *Cenicafé* (Colombia) 45 (4); 164-170. 1994.

CONCHA, JUANITA Y., ALEGRE, JULIO C. Y POCOMUCHA, VICENTE. Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* en el departamento de San Martín, Perú. En: *Ecología Aplicada*. 2007, Vol. 6 Issue 1/2, p75-82. 8p.

CORPORACIÓN AMBIENTAL CUCHIYUYO Y FONDO PARA LA BIODIVERSIDAD Y ÁREAS PROTEGIDAS PATRIMONIO NATURAL. Diseño del esquema funcional de compensaciones e incentivos por servicios ambientales para la microcuenca Los Micos, cuenca del río Las Ceibas, Municipio de Neiva, Departamento del Huila. Neiva, julio de 2010. 140 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA, CAM Y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, UNAL. Zonificación de la torrencialidad y diseño de un sistema de seguimiento y pronóstico para la cuenca del río Las Ceibas (Huila). Bogotá, noviembre de 2006. 174 p

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA, CAM. Diagnóstico cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. Neiva, diciembre de 2006. 372 p.

_____. Plan de Manejo de la cuenca del río Las Ceibas. Neiva, abril de 2007. 174 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA, CAM Y CORPORACIÓN NACIONAL DE INVESTIGACIÓN Y FOMENTO FORESTAL. Plan de manejo Parque Natural Regional La Siberia. Bogotá, marzo de 2007. 257 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA, CAM. Acuerdo n° 013 de septiembre de 2007, mediante el cual se declara el Parque Regional Natural Siberia Ceibas.

_____. Evaluación de estrategias de intervención para el proyecto corredor biológico PNN Puracé -PNN Cueva de los Guácharos. Neiva, 2.007.

_____. Gestión POMCA río las Ceibas 2008 – 2016. Presentación power point. Neiva, octubre de 2016.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA, CAM y FUNDACIÓN DEL ALTO MAGDALENA, FAM. Estudio para la estimación de los contenidos de carbono de las principales coberturas de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas y la elaboración de una propuesta de compensación de acciones de mitigación del cambio climático. Neiva, junio de 2016. 283 p.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CALDAS, CORPOCALDAS. Revisado 15 de noviembre de 2016. Disponible en internet: http://www.corpocaldas.gov.co/dynamic_page.aspx?p=574

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, DANE reporta reducción en índices de pobreza e indigencia. En: Terra.com.co 18 de abril de 2013. Revisado 3 de septiembre de 2016. Disponible en internet: <http://noticias.terra.com.co/nacional/dane-reporta-reduccion-en-indices-de-pobreza-indigencia,b80a7bcad9e1e310VgnCLD2000000ec6eb0aRCR D.html>

DO PRADO WILDNER, L. y DA VEIGA, M. Erosión de los suelos en América latina. FAO. Chile, 1994. ISBN 92-854-3001-5. Revisado 29 de agosto de 2016. Disponible en internet: <http://www.fao.org/docrep/T2351S/T2351S00.htm>

ECHEVERRI, Ana María. El manejo integral de la cuenca del río Las Ceibas: Una experiencia de gestión territorial. Sistematización de Experiencias. Proyecto de Ordenamiento y Manejo de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO Colombia. Neiva, 2013. 72 p.

ESCOBAR, María Teresa y MORENO, José María. Técnicas multicriterio discretas en la planificación de cuencas fluviales. En: Estudios de economía aplicada. 1994. N° 1. p 7-29. ISSN 1133-3197.

ESCUADERO, Gerardo. La misión y la visión de la agricultura al año 2020: Hacia un enfoque que valore la agricultura y el medio rural. En: Agricultura, medio ambiente y pobreza rural en América Latina / compilado por Lucio G. Reca y Rubén G. Echeverría. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias (IFPRI) Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 1998. Washington, DC. p 21-54.

ESPINOZA, William et al. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. En: Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 18, núm. 1, enero-abril, 2012, p. 57-70

SEGURA LEON, Esperanza. Tipificación de fincas en la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. Neiva, 2007. 65 p.

FALCONI, Fander y BURBANO, Rafael. Instrumentos económicos para la gestión ambiental: decisiones monocriteriales versus decisiones multicriteriales. En: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. 2004. Vol. 1: 11- 20.

FARFAN V, FERNANDO et al. Guamo santaferño en sistemas agroforestales de café. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná: Cenicafé, 2010. 8p. (Avances técnicos N° 396).

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, FEDERECAFÉ. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, CENICAFE. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Cenicafé. 1975. 267 p.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS, FNC y CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ, CENICAFÉ. Manual del Cafetero Colombiano. Tomo 2. Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Bogotá, 2013.

FIGUEROA, Adolfo. Pobreza rural en los países andinos. En: Agricultura, medio ambiente y pobreza rural en América Latina. Compilado por Lucio G. Reca y Rubén G. Echeverría. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias (IFPRI). Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 1998. Washington, DC. p 85-120

GARCÍA LEYTON, Luis Alberto. Aplicación del análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales. Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2004. 285p. ISBN: 84-688-8147-3.

GARLAND, Theodore Jr. Quick guide: Trade offs. En: Current Biology 24:R60-R61. Enero, 2014.

GOMEZ A., Alvaro. Las malezas nobles previenen la erosión. En: Avances Técnicos Cenicafé N° 0151: 1-4. 1990.

GOMEZ A., Alvaro. Las barreras vivas conservan los suelos con cultivos de café. En: Avances Técnicos Cenicafé N° 0152: 1-4. 1990.

GOMEZ A., Alvaro y RIVERA P., Horacio. La conservación de los suelos y la sostenibilidad de la productividad en la zona cafetera. En: Avances Técnicos Cenicafé N° 190: 1-8.1993.

GRANJED, Arturo J. P. Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo. Incendios naturales e incendios experimentales bajo

condiciones de campo y laboratorio. Universidad de Sevilla. Sevilla, marzo de 2011. 181 p.

GROSS, Patricio. Ordenamiento territorial: el manejo de los espacios rurales. En: EURE, Revista Latinoamericana de Estudios Urbanos Regionales. Santiago, diciembre, 1998. vol. 24, no.73, p. 112 -120. ISSN 0250-7161.

GUEVARA, A.; MUÑOZ, C. La dinámica de la pobreza y el medio ambiente. México: Centro de Estudios Económicos, Colegio de México y Unidad de Análisis Económico de la Secretaría de Desarrollo Social, 1993.

HERNÁNDEZ PEÑA, Yolanda Teresa. El ordenamiento territorial y su construcción social en Colombia: ¿un instrumento para el desarrollo sustentable? En: Cuadernos de geografía. Revista Colombiana de Geografía. no.19 Bogotá Jan./Dec. 2010. p. 97 – 109.

HUDSON, Norman. Conservación del suelo. 2° edición. México. Editorial Reverté, S.A. 2006. 337p. ISBN 84-291-1027-5.

IBARRA LOZANO, Jairo. Reflexiones sobre el ordenamiento territorial en Colombia. En: Justicia Juris, ISSN 1692-8571, Vol 7. Abril-Septiembre 2007. p. 37-45.

IBRAHIM, M. et al. 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. En: Revista Agroforestería en la Américas. 2007. N° 45. p. 27-36.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM Y MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MADS. Apoyar la consolidación metodológica de los estudios regionales de agua, en lo concerniente al índice de uso del agua en el contexto de la tasa por utilización de aguas, así como para desarrollar elementos técnicos orientados a la incorporación de nuevos parámetros de cobro de la tasa retributiva. Bogotá, 2012. 268 p.

JARAMILLO J., Daniel F. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín, 2002. 53 p.

KANNINEN, Markku. Secuestro de Carbono en bosques, su papel en el ciclo global. En: Agroforestería para la producción animal en América Latina-II. Memorias de la segunda conferencia electrónica agosto de 2000 – marzo de 2001. Estudio FAO producción y sanidad animal. M.D. Sanchez y M. Rosales Méndez, editores. Dirección de producción y sanidad animal. FAO, Roma, 2003. p. 99-110.

KÖBRICH G., Claus y MAINO M., Mario. Guía metodológica para la optimización del uso de la tierra. Información sobre tierras agrícolas y agua para un desarrollo

agrícola sostenible. Departamento de fomento de la Producción Animal. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile. 1.999. FAO. 45p

LÓPEZ VAZQUEZ, Víctor Hugo et al. Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. En: CIENCIA ergosum, ISSN 1405-0269, Vol. 22-2, julio-octubre 2015. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. p. 136-144.

LÓPEZ C., Hugo y NÚÑEZ M., Jairo. Pobreza y desigualdad en Colombia Diagnóstico y estrategias. Estrategia para la reducción de la pobreza y la desigualdad. Departamento nacional de Planeación. Bogotá, Colombia. 2007. 150p.

MARCHENA, Williams, ORNELAS, Carlos y GONZÁLEZ, Francisco. Optimización y la programación lineal: Una introducción. Reporte de investigación. Iniciativa para la Investigación y Desarrollo de la Energía Eólica. Caracas, Julio de 2007. 21p.

MENDOZA, Claudia. Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización convencionales y revegetalización. En: Ingeniería e investigación vol. 31 no. 3, December 2011 (80-90).

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, MADS. Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico. Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Bogotá. Diciembre, 2013. p 115.

MORENO JIMENEZ, Antonio. La medición de externalidades ambientales: un enfoque espacio-temporal. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid. En: Anales de Geografía de la Universidad Complutense. Madrid, 1995.Nº 15. P 485-496.

MURGUEITIO, Enrique et al. Adopción de Sistemas Agroforestales Pecuarios. En: Pastos y Forrajes. 2006. Vol. 29, No. 4. 365 - 381p.

MURGUEITIO, Enrique. Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, CIPAV, Colombia. En: Avances en investigación agropecuaria, AIA. 2009. 13(1): 3 – 19.

NEARING, M.A. (1998): Why soil erosion models over-predict small soil losses and underpredict Large soil losses. En: Catena. Febrero, 1998. V 32. p. 15-22.

NÚÑEZ, Solís Jorge. Manejo y conservación de suelos. 1 ed. San José de Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia, 2001. 288 p.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, FAO. Erosión de los suelos en américa latina. Chile, 1994. 156 p.

_____. Sistema de información de recursos de tierras para la planificación una herramienta de apoyo para la planificación y ordenamiento del uso del territorio. Proyecto regional "información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible" (proyecto gcp/rla/126/jpn). Santiago, Chile, diciembre 2.000.

_____. Nueva metodología de la FAO para la gestión sostenible de pastizales. En: Revista digital: Ojeando la Agenda.com. Índice N° 14, Noviembre de 2011. ISSN 1989-6794

_____. Cuenca del Río Las Ceibas: una alianza estratégica, colectiva y participativa para su protección y producción sostenible. Experiencia postulada al Premio Nacional de Ecología Planeta Azul 2010 – 2011. Neiva, 2010. 43p

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA – FAO Y UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA – USCO. Propiedades hidrodinámicas de los suelos de la cuenca del río Las Ceibas e identificación de su susceptibilidad al proceso de erosión hídrica. En: Línea base de la caracterización agroambiental con énfasis en el recurso agua y suelo de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, y estructurar el sistema para su seguimiento durante la ejecución del plan de ordenamiento y manejo. Neiva, 2009. 66 p.

_____. Línea base de la caracterización agroambiental con énfasis en el recurso agua y suelo de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, y estructurar el sistema para su seguimiento durante la ejecución del Plan de Ordenamiento y Manejo. Neiva, 2009. 139 p.

PEÑA LIOPIS, Juan. Efectos ecológicos de los cambios de coberturas y usos del suelo en la Marina Baixa, Alicante. Departamento de Ecología. Universidad de Alicante. Julio, 2007. p 550.

PÉREZ, Carlos J. Barreras vivas para producción de granos básicos en zonas de ladera de América Central. En: Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y la adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Informe técnico No 377. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE. Turrialba, Costa Rica. 2009. p 69 – 86.

PÉREZ N., Joel et al. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. En: Agrociencia 39: 409-418. 2005. Julio – Agosto.

PLA SENTIS, Ildefonso. Problemas de degradación de los suelos en América Latina: Evaluación de causas y efectos. En: X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, SECSUELO. Quito, 2006. p. 5-28.

PRADA, Jorge Dante de et al. Análisis multicriterio de la conservación del suelo: Aplicación a una cuenca representativa del centro argentino. En: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica. 2008. Vol 9. 45- 59 p

QUINTERO, MARCELA y otros. Modelo de optimización para evaluación ex ante de alternativas prácticas cuantificación. Modelo de evaluación ex ante de alternativas económica, social y ECOSAUT. Proyecto Regional Cuencas Andinas. Perú, marzo de 2006. 76 p.

RAJAB, Y. et al. Cacao Cultivation under Diverse Shade Tree Cover Allows High Carbon Storage and Sequestration without Yield Losses. En: PLOS ONE | DOI:10.1371/journal.pone.0149949 February 29, 2016

RAMÍREZ C., Maidali Erizabeth y OROPEZA Mota, José Luis. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. En: Agrociencia 35: 489-495. 2001.

RAMOS, et al. Modelos matemáticos de optimización. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Departamento de Organización Industrial. Universidad Pontificia Comillas. Madrid. Octubre de 2010. 53 p.

RENDA, A. Papel de los sistemas agroforestales en el escenario agrario de las cuencas hidrográficas de Cuba. En: Pastos y Forrajes. 2006. Vol. 29, No. 4. p 351 - 364.

RICHARDS, Meryl Breton and MENDEZ, V. Ernesto. Interactions between Carbon Sequestration and Shade Tree Diversity in a Smallholder Coffee Cooperative in El Salvador. En: Conservation Biology, Volume 28, No. 2, 489–497 C 2013 Society for Conservation Biology

RIVERA P., Horacio y GOMEZ A., Alvaro. El sombrío en los cafetales protege los suelos de la erosión. En: Avance Técnico N° 0177. Cenicafé. 1992.

RIVERA P., Horacio. Causas y consecuencias de la erosión de suelos en la ladera colombiana. Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles en Producción Agropecuaria, CIPAV. Cali. Junio de 2005. 19 p.

ROJAS ALBARRACIN, José Alberto. Líneas de gestión sobre sistemas productivos sostenibles en un contexto de paisaje, que apoyen la conservación de biodiversidad y áreas protegidas, articulados a proceso de ordenamiento territorial. Serie Documentos de Trabajo VII. Fondo para la Biodiversidad y Áreas protegidas Patrimonio Natural. Bogotá. Noviembre, 2007.

ROMERO DÍAZ, Asunción, RUIZ SINOGA, José Damián y BELMONTE SERRATO, Francisco. Tasas de erosión hídrica en la región de Murcia. Departamento de Geografía. En: Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles Junio, 2011. Volumen. N° 56. p. 129-153. I.S.S.N.: 0212-9426

RUIZ, J.; BRAVO, M. y LOAEZA, G. Cubiertas vegetales y barreras vivas: Tecnologías con potencial para reducir la erosión en Oaxaca, México. En: TERRA volumen 19 número 1, 2001. México.

SCALONE E, Miguel A. Introducción al análisis rural. Instituto de Agrimensura Montevideo, Uruguay. Marzo, 2008. 30 p.

SEGURA LEÓN, Esperanza. Tipificación de fincas en la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. Proyecto para el fortalecimiento y desarrollo del proceso de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, CAM. Neiva. Mayo, 2007. 65 p.

SEGURA LEÓN, Esperanza. Metodología de tipificación de fincas en la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. Proyecto para el fortalecimiento y desarrollo del proceso de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena, CAM. Neiva. Febrero, 2007. 25 p.

SERRA DE LA FIGUERA, Daniel. Métodos cuantitativos para la toma de decisiones. Barcelona. Universidad Pompeu Fabra. Octubre, 2002. Barcelona. 135 p.

SISTEMA DE NACIONES UNIDAS. Construcción de una paz territorial estable, duradera y sostenible en Colombia. Consideraciones ambientales para la construcción de una paz territorial estable, duradera y sostenible en Colombia. Insumos para la discusión. Bogotá. Septiembre, 2014. 122 p.

SMITH, Joyotee et al. Bosques secundarios como recurso para el desarrollo rural y la conservación ambiental en los trópicos de América Latina. Indonesia. Center

for International Forestry Research, CIFOR. Diciembre, 1997. 31 p Occasional Paper No 13. ISSN 0854-9818.

STOKES, Alexia et al. How vegetation reinforces soil on slopes. En: Slope stability and erosion control: Ecotechnological solutions. Springer. Canadá-UK, 2008. 287 p.

SUAREZ V., S et al. Caracterización física, uso, manejo y conservación de algunos suelos de origen ígneo, metamórfico y sedimentario de la zona cafetera del Departamento del Huila. En: arc037(02)41-60. 1986. Cenicafé.

THOKCHOM, A. and YADAVA , P. S. Changes in the seasonal cycle of carbon stocks and fluxes due to fires in the grassland ecosystem of Manipur, Northeast India. En: Current Science, vol. 110, N° 6, 25 march, 2016. 1088-1094 p.

TORRENTE, Armando. Pérdidas de suelos bajo diferentes arreglos productivos en el corredor biológico entre Parques Nacionales Naturales Puracé y Cueva de Los Guácharos. En: Revista Ingeniería y Región N° 7. p. 58 – 63. 2010

TORRES, Enrique A. SWAT: Bases teóricas. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Santiago de Cali, 2004.

WISCHMEIER, W. H. y SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. En: The USDA Agriculture Handbook. December, 1978. N° 537. 58 p.

WISCHMEIER W.C. 1976. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. En: J. Soil and Water Cons. 1976. 31(1):5-9

YEPES A.P., et al. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa - carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM-. Bogotá D.C., Colombia. 2011. 162 p.

ANEXOS

Anexo A. Tabla usos del suelo por tipología. Fuente: El autor.

Tipología	Área del predio (Ha)	Área cultivada café (Ha)	Área cultivada frijol (Ha)	Área en pastos (Ha)	Área en cacao (Ha)	Rastrojo (Ha)	Bosques (Ha)	Capital (\$/año) contratando mano de obra externa	Capital (\$/año) ; solo insumos y materiales; sin contratar mano de obra	Mano de obra 1 trimestre (Jornales)	Mano de obra 2 trimestre (Jornales)	Mano de obra 3 trimestre (Jornales)	Mano de obra 4 trimestre (Jornales)
Potrerización, transitorios, café (< 50 ha)	18,93	1,50	5,00	10,84	0,00	0,59	1,00	1.680.776	6.898.584	112,5	112,5	112,5	112,5
Ganadería extensiva, transitorios, café (>50 ha).	128,37	3,00	15,00	99,92	0,00	3,50	6,95	55.094.565	32.722.499	128,5	128,5	128,5	128,5
Potrerización y transitorios (< 50 ha)	21,26	0,00	5,00	10,20	0,00	3,56	2,50	7.442.134	4.320.934	79	79	79	79
Potrerización y transitorios (> 50 ha)	99,48	0,00	15,00	75,52	0,00	3,57	5,39	4.779.994	4.779.994	45	45	45	45
Potrerización, cacao	22,27	0,00	2,00	15,77	2,00	1,00	1,50	2.758.129	2.758.129	108	108	108	108

Anexo B. Información de actividades productivas. Fuente: El autor.

VARIABLES	ACTIVIDADES PRODUCTIVAS PRESENTES EN LA MICROCUENCA SAN BARTOLO									ALTERNATIVAS PROPUESTAS PARA RECONVERSIÓN HACIA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE								
	Frijol tradicional	Frijol tradicional en partija	Café tradicional producción pequeño	Café tradicional producción muy pequeño	Potreriación	Ganadería tradicional (unidad 40 ha)	Cacao	Intercambio rastrojo-área cultivable	Intercambio bosque-área cultivable	Frijol sostenible con barreras vivas	Frijol sostenible sin barreras vivas	Café agroforestal con barreras vivas	Café agroforestal sin barreras vivas	Ganadería sostenible con silvopastoreo	Ganadería sostenible sin silvopastoreo	Cacao agroforestal	Cacao agroforestal con riego por goteo	Bosque (Área a restaurar)
INGRESO max	1.940.085	335.217	4.930.425	3.823.719	1.299.443	5.637.202	1.596.200	300.000	600.000	2.476.286	2.789.086	7.227.561	7.298.063	5.805.563	3.682.456	5.885.632	7.347.068	225.017
Requerimientos de tierra ha	1	1	1	1,0	20	40	1	-1,0	-1,0	1	1	1	1	15	15	1	1	1
Requerimientos de Capital	849.850	1.059.750	2.376.544	1.715.435	140.557	4.301.888	473.800			2.089.317	1.776.517	3.345.927	2.996.131	7.361.397	6.445.536	3.289.536	4.419.536	225.017
Mano de obra 1 trimestre	28	0	8	8	2	45	7	0	0	37	31	5	5	38	37	19	19	0
Mano de obra 2 trimestre	25	3	80	73	2	45	20	0	0	44	44	114	114	26	25	22	22	0
Mano de obra 3 trimestre	0	0	15	13	10	68	7	10	20	0	0	9	9	42	41	26	28	3,8
Mano de obra 4 trimestre	0	0	32	28	10	68	20	0	0	0	0	50	48	45	43	37	37	0
Área Bosque	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	0	0	1
Área Rastrojo	0	0	0	0	0	0	0	1	0									
Índice de captura de carbono	1,00	1,00	0,38	0,38	0,05	0,05	0,85	1,00	1,00	0,35	-	0,77	0,73	0,50	0,42	0,85	0,89	1,00
Índice de pdn de sedimentos	1,00	1,00	0,50	0,50	0,75	0,75	0,40	1,00	1,00	0,50	0,75	0,20	0,25	0,40	0,50	0,20	0,20	0,10

Anexo C. Estructura de matriz multicriterio para correr modelo de optimización en solver de Excel (Primera parte). Fuente: El autor.

ACTIVIDAD	Fríjol tradicional	Fríjol tradicional en partija	Café tradicional producción pequeño	Café tradicional producción muy pequeño	Ganadería tradicional (unidad 40 ha)	Potreriización	Cacao	Intercambio bosque- area cultivable	Intercambio rastrojo- area cultivable
INGRESO max	1.940.085	335.217	4.930.425	3.823.719	5.637.202	1.299.443	1.596.200	- 600.000	- 300.000
Requerimientos de Capital	849.850	1.059.750	2.376.544	1.715.435	4.301.888	140.557	473.800		-
Mano de obra 1 trimestre	28	-	8	8	45	2	7	-	-
Mano de obra 2 trimestre	25	1	80	73	45	2	20	-	-
Mano de obra 3 trimestre	-	-	15	13	68	10	7	20	10
Mano de obra 4 trimestre	-	-	32	28	68	10	20	-	-
Area disponible	1,0	1,0	1,0	1,0	99,9	20,0	1,0	- 1,0	- 1,0
Area Bosque								1,0	
Area Rastrojo									1,0
Indice de captura de carbono	- 1,00	- 1,00	0,38	0,38	1,99	0,99	0,85	- 1,00	- 1,00
Indice de producción de sedimentos	1,00	1,00	0,50	0,50	30,00	15,00	0,40	1,00	1,00
Máximo	1000	0	1000	1000	1000	1000	0	0	1000
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cantidad simulada	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0000	0,0	0,0	0,0	0,0
INGRESO max	152.690	-	-	-	-	-	-	-	-
Requerimientos de Capital	66.885	-	-	-	-	-	-	-	-
Mano de obra 1 trimestre	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Mano de obra 2 trimestre	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Mano de obra 3 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mano de obra 4 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area disponible	0	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Bosque	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Rastrojo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Indice de captura de carbono	- 0,08	-	-	-	-	-	-	-	-
Indice de producción de sedimentos	0,08	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo C. (Continuación) Estructura de matriz multicriterio para correr modelo de optimización en solver de Excel (Segunda parte).

Fuente: El autor.

ACTIVIDAD	Cacao agroforestal con riego por goteo	Fríjol sostenible sin barreras vivas	Fríjol sostenible con barreras vivas	Café agroforestal con barreras	Ganadería sostenible con silvopastoreo	Ganadería sostenible sin silvopastoreo	Cacao agroforestal	Café agroforestal sin barreras vivas	Bosque (Area a restaurar)
INGRESO max	7.347.068	2.789.086	2.476.286	7.227.561	5.805.563	3.682.456	5.885.632	7.298.063	- 225.017
Requerimientos de Capital	4.419.536	1.776.517	2.089.317	3.345.927	7.361.397	6.445.536	3.289.536	2.996.131	225.017
Mano de obra 1 trimestre	19	31	37	5	38	37	19	5	-
Mano de obra 2 trimestre	22	44	44	114	26	25	22	114	-
Mano de obra 3 trimestre	28	-	-	9	42	41	26	9	3,8
Mano de obra 4 trimestre	37	-	-	50	45	43	37	48	-
Area disponible	1,0	1,0	1,0	1,0	20,0	20,0	1,0	1,0	1,0
Area Bosque									
Area Rastrojo									
Indice de captura de carbono	0,89	-	0,35	0,85	9,95	8,45	0,85	0,73	1,00
Indice de producción de sedimentos	0,20	0,75	0,50	0,20	8,00	10,00	0,20	0,25	0,10
Máximo	0	1000	1000	1000	1000	1000	0	1000	1000
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	2,2542
Cantidad simulada	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	2
INGRESO max	-	-	-	-	-	-	-	16.794.296	-507.233
Requerimientos de Capital	-	-	-	-	-	-	-	6.894.694	507.233
Mano de obra 1 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	11	-
Mano de obra 2 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	262	-
Mano de obra 3 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	20	9
Mano de obra 4 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	111	-
Area disponible	-	-	-	-	-	-	-	2,30	2
Area Bosque	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Rastrojo	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Indice de captura de carbono	-	-	-	-	-	-	-	1,67	2,25
Indice de producción de sedimentos	-	-	-	-	-	-	-	0,58	0,23

Anexo C. (Continuación) Estructura de matriz multicriterio para correr modelo de optimización en solver de Excel (Tercera parte).

Fuente: El autor.

ACTIVIDAD	Compra de jornales 1 tri	Compra de jornales 2 tri	Compra de jornales 3 tri	Compra de jornales 4 tri	Venta de Jornales 1 tri	Venta de Jornales 2 tri	Venta de jornales 3 tri	Venta de Jornales 4 tri
INGRESO max	- 30.000	- 30.000	- 30.000	- 30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Requerimientos de Capital	30000	30000	30000	30000				
Mano de obra 1 trimestre	-1	0	0	0	1	0	0	0
Mano de obra 2 trimestre	0	-1	0	0	0	1	0	0
Mano de obra 3 trimestre	0	0	-1	0	0	0	1	0
Mano de obra 4 trimestre	0	0	0	-1	0	0	0	1
Area disponible								
Area Bosque								
Area Rastrojo								
Indice de captura de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-
Indice de producción de sedimentos	-	-	-	-	-	-	-	-
Máximo	1000	1000	1000	1000	0	0	27	19
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0
Cantidad simulada	0	151	0	0	0	0	27	1
INGRESO max	-	- 4.531.187	-	-	-	-	795.722	31.324
Requerimientos de Capital	-	4.531.187	-	-	-	-	-	-
Mano de obra 1 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	-
Mano de obra 2 trimestre	-	- 151	-	-	-	-	-	-
Mano de obra 3 trimestre	-	-	-	-	-	-	27	-
Mano de obra 4 trimestre	-	-	-	-	-	-	-	1
Area disponible	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Bosque	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Rastrojo	-	-	-	-	-	-	-	-
Indice de captura de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-
Indice de producción de sedimentos	-	-	-	-	-	-	-	-

Anexo D. Estructura productiva del modelo de optimización. Ejemplo: Escenario óptimo tendencial de la Tipología productiva: Potrerización, transitorios y café. Fuente: El autor.

Potrerización, transitorios, café (< 50 ha)	
Escenario:	óptimo tendencial
ESTRUCTURA SIMULADA DEL SISTEMA	
Alternativa Productiva	Estructura óptima según simulación
Fríjol tradicional	3,5
Fríjol tradicional en partija	-
Café tradicional producción pequeño	1,9
Ganadería tradicional (unidad 40 ha)	-
Cacao	-
Potrerización	11,9
Café tradicional producción muy pequeño	-
Fríjol sostenible sin barreras vivas	-
Fríjol sostenible con barreras vivas	-
Café agroforestal sin barreras vivas	-
Café agroforestal con barreras vivas	-
Ganadería sostenible sin silvopastoreo	-
Ganadería sostenible con silvopastoreo	-
Intercambio bosque- area cultivable	
Intercambio rastrojo- area cultivable	
Bosque (Area a restaurar)	-
Compra de jornales 1 tri	-
Compra de jornales 2 tri	132
Compra de jornales 3 tri	-
Compra de jornales 4 tri	-
Venta de Jornales 1 tri	-
Venta de Jornales 2 tri	-
Venta de jornales 3 tri	27
Venta de Jornales 4 tri	19

Anexo E. Estructura de Indicadores económicos y ambientales del modelo de optimización. Ejemplo: Escenario óptimo tendencial de la Tipología productiva: Potrerización, transitorios y café. Fuente: El autor.

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LOS IMPACTOS SOBRE EL SISTEMA PRODUCTIVO DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS SELECCIONADAS		
INDICADORES ECONÓMICOS		
INDICADOR	UNIDAD	VALOR
INGRESO NETO	\$ / AÑO	14.682.999
ADECUACIÓN DE MANO DE OBRA (jornales disponibles/jornales utilizados)	Jornales I trimestre	1,000
	Jornales II trimestre	0,461
	Jornales III trimestre	1,820
	Jornales IV trimestre	1,268
RETRIBUCIÓN A LA MANO DE OBRA	\$ / jornal laborado	39.103
	\$ / jornal disponible	32.629
RETRIBUCIÓN AL CAPITAL	\$ / \$ invertido	1,3
COSTOS FINANCIEROS DE PRODUCCIÓN	\$ / año	11.680.776
COSTOS DE PRODUCCIÓN (INCLUYENDO EL VALOR DE LA MANO DE OBRA)	\$ / año	22.945.669
RELACIÓN B/C		0,64

INDICADORES AMBIENTALES		
INDICADOR	UNIDAD	VALOR
Indice de captura de carbono		- 2,1
Indice de producción de sedimentos		13,4
Area a restaurar	Ha	-
% area de bosque a restaurar	%	-

Anexo F. Costos de producción de frijol arbustivo en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas. Fuente: El autor.

DETALLE	UNIDAD	CANT	V/R UNIT	con todos los gastos	gastos diferidos
				V/R TOTAL	V/R TOTAL
INSUMOS					
Semilla	Kg	93,75	5.000	468.750	468.750
Herbicida	l	2	20.000	40.000	40.000
Fertilizante edáfico x 50 Kg	Bulto	1,5	84.000	126.000	126.000
Fertilizante foliar 10 30 10	l				0
Fertilizante foliar nutrimin	l	4	12.000	48.000	48.000
Fungicida sulfato de cobre	Kg				0
Insecticida (Iorsban líquido)	l	1	25.000		0
Empaque	Unidad	15	1.500	22.500	22.500
Otros: Herramientas	Global	1	50.000	50.000	25.000
Toldo	m	40	700	28.000	5.600
Transporte de insumos	carga	2	12.000	24.000	24.000
Transporte de cosecha	carga	7,5	12.000	90.000	90.000
Subtotal insumos				897.250	849.850
MANO DE OBRA					
Transporte menor	jorn	1	30.000	30.000	30.000
Rocería	jorn	5	45.000	225.000	225.000
Aplicación de herbicida	jorn	2	30.000	60.000	60.000
Rondas de protección	jorn	4	30.000	120.000	120.000
Limpieza de la ronda + quema	jorn	1	30.000	30.000	30.000
os	jorn		30.000	0	0
Siembra	jorn	8	30.000	240.000	240.000
Fertilización edáfica	jorn	0,5	30.000	15.000	15.000
Mantenimiento: Deshelechada	jorn	4	30.000	120.000	120.000
Fertilización foliar	jorn	2	30.000	60.000	60.000
Recolección	jorn	10	30.000	300.000	300.000
Secado	jorn		30.000	0	0
Trilla o desgrane	jorn	6	30.000	180.000	180.000
Limpieza	jorn	0,5	30.000	15.000	15.000
Clasificación	jorn	2,5	30.000	75.000	75.000
Acarreo de la casa a la vía	jorn	5,5	30.000	165.000	165.000
Subtotal mano de obra				1.605.000	1.635.000
TOTAL INVERSION EN EFECTIVO				2.502.250	2.484.850
VARIABLES ECONOMICAS	UNIDAD	CANT	\$ VENTA	TOTAL	TOTAL
RENDIMIENTO/Ha	Kg	937,5			
AUTOCONSUMO		37,521			
INGRESOS BRUTOS/Ha			3.100	2.789.935	2.789.935
INGRESOS NETOS/Ha				287.685	305.085
RELACIÓN B/C				1,11	1,12

Anexo G. Costos de producción de muy pequeño productor de café en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas.

Fuente: El autor.

DETALLE	UNIDAD	CANT	V/R UNIT	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	promedio/ha
INSUMOS										
Semilla-colino	colinos	5100	450	2.295.000	0	0	0	0	0	382.500
Herbicida	l	8	20.000	160.000	167.200	0	0	0	0	54.533
Abono orgánico	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilizante urea	bultos	2	84.000	168.000	0	0	0	0	0	28.000
Fertilizante 10-30-10	bultos	4	84.000	336.000	790.020	917.301	1.054.437	1.001.716	942.114	840.265
Fungicida	l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecticida x 250 cc	frasco	2	25.000	50.000	26.125	0	0	0	0	12.688
Empaque	unidad	0	4.000	0	50.160	87.362	118.681	104.942	69.786	71.822
Otros: Herramientas	global	1	100.000	100.000	0	0	0	0	0	16.667
Fumigadora	unidad	1	250.000	250.000	261.250	0	0	0	0	85.208
Transporte de insumos	global	1	503.850	503.850	194.213	150.699	175.968	165.999	151.785	223.752
Transporte de cosecha	carga	0	12.000	0	75.240	131.043	178.022	157.412	104.679	107.733
Subtotal insumos				3.862.850	1.564.208	1.286.405	1.527.109	1.430.068	1.268.364	1.715.435
MANO DE OBRA										
Rocera	guadaña	4	45.000	180.000	0	0	0	0	0	30.000
Quema y/o arrastre de material	jorn	2	30.000	60.000	0	0	0	0	0	10.000
Aplicación de herbicida	jorn	6	30.000	180.000	188.100	0	0	0	0	61.350
Trazado y ahoyado	jorn	9	30.000	270.000	0	0	0	0	0	45.000
siembra	jorn	12	30.000	360.000	0	0	0	0	0	60.000
Deschuponada	jorn	4	30.000	120.000	125.400	229.325	239.645	250.429	261.698	204.416
Deshierbas	jorn	18	30.000	540.000	564.300	327.608	0	0	0	238.651
Fertilización	jorn	6,8	30.000	204.000	109.725	114.663	119.822	125.214	130.849	134.046
Control de broca - plaguicida	jorn	0	30.000	0	0	196.565	205.410	214.653	224.313	140.157
Aplicación de plaguicidas	jorn	0	30.000	0	15.675	0	0	0	0	2.613
Aplicación de fungicida	jorn	3	30.000	90.000	0	0	0	0	0	15.000
Cosecha	jorn	0	30.000	0	2.052.000	3.573.900	4.855.143	4.293.067	2.854.890	2.938.167
Beneficio	jorn	0	30.000	0	56.430	98.282	133.516	118.059	78.509	80.800
Acarreo de la casa a la vía	carga	0	20.000	0	125.400	218.405	296.703	262.354	174.465	179.555
Subtotal mano de obra				2.004.000	3.237.030	4.758.747	5.850.240	5.263.777	3.724.725	4.139.753
Mano de obra contratada				1.940.000						
COSTO TOTAL				5.802.850	4.801.238	6.045.153	7.377.349	6.693.845	4.993.088	5.855.188
VARIABLES ECONOMICAS	UNIDAD	CANT	\$ VENTA	TOTAL						
Rendimiento cps/carga/ha	carga									7,8
Rendimiento cps/Kg/Ha	Kg			0						979,2
Rendimiento cps/@/ha	@									80,0
Rendimiento total por las 2,5 ha	carga									20
Venta de café verde			353.563	0	0	0	0	0	0	0
Venta de café pergamino seco/cargas			707.126	4.242.756	7.071.260	9.192.638	7.778.386	4.949.882	5.539.154	
COSTO ACUMULADO AÑO ANTERIOR				0	5.802.850	6.361.332	5.335.225	3.519.935	-1.084.541	
COSTOS TOTALES/ha				5.802.850	10.604.088	12.406.485	12.712.573	10.213.781	3.908.548	5.855.188
INGRESOS BRUTOS/ha		0		0	4.242.756	7.071.260	9.192.638	7.778.386	4.949.882	5.539.154
INGRESOS NETOS/ha		0		0	-6.361.332	-5.335.225	-3.519.935	1.084.541	-43.206	-316.034

Anexo H. Costos de producción de frijol arbustivo en partija en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas. Fuente: El autor.

DETALLE	UNIDAD	CANT	V/R UNIT	con todos los gastos para propietario predio	gastos diferidos para propietario predio
				V/R TOTAL	V/R TOTAL
INSUMOS					
Semilla	Kg	93,75	5.000	468.750	468.750
Herbicida	l	2	20.000	40.000	40.000
Fertilizante edáfico x 50 Kg	Bulto	1,5	84.000	126.000	126.000
Fertilizante foliar 10 30 10	l				0
Fertilizante foliar nutrimin	l	4	12.000	48.000	48.000
Fungicida sulfato de cobre	Kg				0
Insecticida (lorsban líquido)	l	1	25.000		0
Empaque	Unidad	8	1.500	12.000	12.000
Otros: Herramientas	Global	1	50.000		0
Toldo	m	40	700		0
Transporte	carga	2	12.000	24.000	24.000
Transporte de cosecha	carga	3	12.000	36.000	36.000
Aporte para mano de obra de partijero				305.000	305.000
Subtotal insumos				1.059.750	1.059.750
MANO DE OBRA			2,70		
Transporte menor	jorn	1	10.000	10.000	
Rocería	jorn	8	10.000	80.000	
Aplicación de herbicida	jorn	2	10.000	20.000	
Rondas de protección	jorn	4	10.000	40.000	
Limpieza de la ronda + quema	jorn	1	10.000	10.000	
os	jorn		10.000	0	
Siembra	jorn	8	10.000	80.000	
Fertilización edáfica	jorn	0,5	10.000	5.000	
Mantenimiento: Deshelechada	jorn	4	10.000	40.000	
Fertilización foliar	jorn	2	10.000	20.000	
Recolección	jorn	10	0	0	0
Secado	jorn		0	0	0
Trilla o desgrane	jorn	6	0	0	0
Limpieza	jorn	0,5	0	0	0
Clasificación	jorn	2,5	0	0	0
Acarreo de la casa a la vía	jorn	3	30.000	90.000	90.000
Subtotal mano de obra				385.000	90.000
TOTAL INVERSION EN EFECTIVO				1.444.750	1.149.750
VARIABLES ECONOMICAS	UNIDAD	CANT	\$ VENTA	TOTAL	TOTAL
RENDIMIENTO/Ha	Kg	468,75			
AUTOCONSUMO		18,7605			335.217
INGRESOS BRUTOS/Ha			3.100	1.394.967	1.394.967
INGRESOS NETOS/Ha				-49.783	245.217
INGRESOS NETOS/Ha en partija				-24.891	
RELACIÓN B/C				0,97	1,21

Anexo I. Costos de producción ganadera doble propósito y potrerización en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas. Fuente: El autor.

ACTIVIDADES REALCIONADAS CON LA GANADERÍA	UNIDAD Y/ O INSUMO UTILIZADO	CANT	VALOR UNITARIO	con 6 vacas de ordeño y 10 novillos	OBSERVACIONES	costos para los que alquilan potrero
V/R DE INSUMOS						
Alambre de púa cal 12 x 500 m (Km)	Rollos	3	146.068	87.641		56.967
Estantillos para mantenimiento 1 Km	Unidad	142,89	4.500	128.601	renovación cada 3 años	83.591
Canecas - baldes-filtros	global	1	40.000	40.000		
Lazos		1	30.000	30.000		
Medicamentos				0		
Antibióticos	frascos	2	14.000	28.000	oxitetraciclina Frasco X 500 ml	
Antidiarreico	Sobre X 25 Gr.	4	5.000	20.000	Coccidiol	
Vitaminas	frasco X 100 ml	2	25.000	50.000	Complejo B	
vacuna antiaftosa (Cada 6 Meses)	dosis x 2ml	40	1.200	48.000	valor de dosis aplicado en la vereda por vacunador contratado por comité ganaderos	
Vacuna Triple (combibac) (Cada 6 meses)	Dosis x 5 ml	40	700	28.000	valor de dosis aplicado en la vereda por vacunador contratado por comité ganaderos	
Baño garrapaticida y mosquicida (1 Baño al mes)	Frasco de 20 cc	6	6.000	36.000	con ivermectinas al 3.15 % reemplazan el baño, generalmente lo aplican a los animales de ceba, y bañan por aspersión a las vacas de ordeño y toro	
vermifugacion con febendazol	Frasco X litro	1	60.000	60.000	purgas cada 3 meses 5cc por animal, 1 cc por 50 kg. Estas son subdosis; en la realidad son 20cc por adulto y 5 cc por 4 arrobas o 50 Kg. peso y generalmente y se da febendazol si acaso 1 vez al año. Porque se purga mas que todo con ivermectina al 3,15% 2 veces al año	
vermifugación con Ivermectina 3,15	Frasco X 500 ml	1	80.000	80.000	Aplican dosis de 5 cc en general , cada 6 meses	
Suplementación Melaza	Bolsa X 30 Kg.	12	28.000	336.000		
Sal mineralizada somex del 8% de P	bultos x 40 Kg	8	45.000	360.000		
Sal blanca yodada (para la cuajada)	bultos x 40 Kg	1	25.000	25.000		
Sal ganadera	bultos x 40 Kg	20	25.000	500.000		
Transporte de queso	Kg	673,4	240	64.646		
COSTO TOTAL DE INSUMOS				1.921.888		140.557
V/R DE MANO DE OBRA						
MANTENIMIENTO						
Mantenimiento Infraestructura, cercas, corrales y equipos	jornal	18	30.000	540.000		270.000
Limpia de Potreros	jornal	28	30.000	840.000	se arregla un potrero por año	420.000
Vaquería	jornal	65	30.000	1.950.000		
Sanidad Animal	Jornal	20	30.000	600.000		
Ordeño	jornal	91	30.000	2.730.000	2 hora diarias para rodeo y ordeño durante un año	
GASTOS DE VENTA (G.V)						
Vaquería	jornal	4	30.000	120.000		
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA				6.780.000		690.000
PIE DE CRIA						
Vaca parida cada cuatro años	atado	0,25	1.200.000	300.000		
Terneros para cebar		10	450.000	1.800.000		
Novillonas		1	700.000	280.000		
COSTO TOTAL PIE DE CRIA				2.380.000		
COSTOS TOTALES				11.081.888	24934248,45	830.557
COSTOS MENOS MANO DE OBRA				4.301.888		140.557
	95000	130,9		4.301.888	Costo de insumos y pie de cría	
		129,5				
INGRESOS BRUTOS (IB)		129,5				
Venta de queso	Lb	1346,8	3.800	5.117.840		
Animales destetos hembras	Unidades	1,4	450.000	630.000		
Animales destetos machos	Unidades	1,4	450.000	630.000		
Novillos cebados	Unidades	7	1.200.000	3.360.000	18000000	
Cabezas (vacas horas, sueltas y destetos)			900.000			
Vacas adultas	Unidades	0,25	805.000	201.250		
Arrendamiento potrero						1440000
TOTAL DE INGRESOS				9.939.090		1.440.000

Anexo J. Costos de establecimiento y producción de pequeño productor de café en la microcuenca San Bartolo, cuenca del río Las Ceibas. Fuente: El autor.

DETALLE	UNIDAD	AÑO 1			AÑO 2		AÑO 3		AÑO 4		AÑO 5		AÑO 6		V/R TOTAL	promedio/ha
		CANT	V/R UNIT	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL		
INSUMOS																
Semilla-colino	colinos	5100	450	2.295.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.295.000	382.500
Herbicida	I	8	20.000	160.000	167.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	327.200	54.533
Abono orgánico	NO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fertilizante urea	bultos	4	84.000	336.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	336.000	56.000
Fertilizante compuesto	bultos	4	84.000	336.000	1.228.920	1.467.682	1.725.443	1.803.088	1.884.227	8.445.360	1.407.560	0	0	0	8.445.360	1.407.560
Fungicida	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Insecticida x 250 cc	frasco	2	25.000	50.000	26.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76.125	12.688
Empaque	unidad	0	4.000	0	58.520	113.571	164.328	133.562	99.695	569.675	94.946	0	0	0	569.675	94.946
Otros: Herramientas	global	1	100.000	100.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100.000	16.667
Fumigadora	unidad	1	250.000	250.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	250.000	41.667
Transporte de insumos	global	1	529.050	529.050	222.115	237.188	283.466	290.498	297.588	1.859.904	309.984	0	0	0	1.859.904	309.984
Transporte de cosecha	carga	0	12.000	0	87.780	170.356	246.492	171.723	119.633	795.984	132.664	0	0	0	795.984	132.664
Subtotal insumos				4.056.050	1.790.660	1.988.796	2.419.729	2.398.870	2.401.143	14.259.264	2.376.544					
		78														
MANO DE OBRA																
Rocería	guadaña	4	45.000	180.000	0	0	0	0	0	180.000	30.000	0	0	0	180.000	30.000
Quema y/o arrastre de material	jorn	2	30.000	60.000	0	0	0	0	0	60.000	10.000	0	0	0	60.000	10.000
Aplicación de herbicida	jorn	6	30.000	180.000	0	0	0	0	0	180.000	30.000	0	0	0	180.000	30.000
Trazado y ahoyado	jorn	11,2	30.000	336.000	0	0	0	0	0	336.000	56.000	0	0	0	336.000	56.000
siembra	jorn	14,0	30.000	420.000	0	0	0	0	0	420.000	70.000	0	0	0	420.000	70.000
Deschuponada	jorn	4	30.000	120.000	125.400	229.325	239.645	250.429	261.698	1.226.497	204.416	0	0	0	1.226.497	204.416
Deshierbas	jorn	21	30.000	630.000	501.600	327.608	0	0	0	1.459.208	243.201	0	0	0	1.459.208	243.201
Fertilización	jorn	7	30.000	210.000	238.260	248.982	260.186	271.894	284.129	1.513.451	252.242	0	0	0	1.513.451	252.242
Control de broca - plaguicida	jorn	0	30.000	0	0	196.565	205.410	214.653	224.313	840.940	140.157	0	0	0	840.940	140.157
Aplicación de plaguicidas	jorn	0	30.000	0	15.675	0	0	0	0	15.675	2.613	0	0	0	15.675	2.613
Aplicación de fungicida	jorn	3	30.000	90.000	0	0	0	0	0	90.000	15.000	0	0	0	90.000	15.000
Cosecha	jorn	0	30.000	0	1.995.000	3.871.725	5.602.088	3.902.788	2.718.942	18.090.544	3.015.091	0	0	0	18.090.544	3.015.091
Beneficio	jorn	0	30.000	0	109.725	212.945	308.115	214.653	149.542	994.980	165.830	0	0	0	994.980	165.830
Acarreo de la casa a la vía	carga	0	20.000	0	146.300	283.927	410.820	286.204	199.389	1.326.640	221.107	0	0	0	1.326.640	221.107
Subtotal mano de obra				2.226.000	3.131.960	5.371.075	7.026.264	5.140.622	3.838.014	26.733.935	4.455.656					
Mano de obra contratada				1.940.000												
COSTO TOTAL				5.996.050	4.922.620	7.359.871	9.445.992	7.539.493	6.239.157	40.993.199	6.832.200					
PRECIO DE VENTA																
Café verde	carga	1	353.563													
Café pergamino seco	carga	1	707.126													
PIC por carga de cps	carga	1	-7.126													
VARIABLES ECONOMICAS	UNIDAD	CANT	\$ VENTA	TOTAL												
Rendimiento cps/carga/ha	carga															
Rendimiento cps/Kg/Ha	Kg			0												
Rendimiento cps/@/ha	@															
Rendimiento total por las 2,5 ha	carga															
Venta de café verde			353.563	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Venta de café pergamino seco/cargas			707.126	4.949.882	9.192.638	12.728.268	9.899.764	7.071.260	0	7.306.969						
COSTO ACUMULADO AÑO ANTERIOR				0	5.996.050	5.968.788	4.136.021	853.745	-2.360.271	-832.103						
COSTOS TOTALES/ha				5.996.050	10.918.670	13.328.659	13.582.013	8.393.238	3.878.886	40.161.096	6.832.200					
INGRESOS BRUTOS/ha		0		0	4.949.882	9.192.638	12.728.268	9.899.764	7.071.260	0	7.306.969					
INGRESOS NETOS/ha		0		0	-5.968.788	-4.136.021	-853.745	2.360.271	832.103	-40.993.199	474.769					

Anexo K. Costos de mantenimiento de plantaciones de cacao. Fuente: El autor.

MANTENIMIENTO				
DETALLE	UNIDAD	CANT	V/R UNIT	V/R TOTAL
INSUMOS				
Semilla-colino	colinos	0	1.100	0
Abono orgánico	kg	0	350	0
Enmiendas roca fosfórica-serpentinita	bultos	0	13.585	0
Fertilizante triple 15	bultos	6	84.000	504.000
Agrocafé	bultos	0	84.000	0
Fungicida	l	0		0
Insecticida x 250 cc	frasco	0	26.000	0
Herbicida	l	0	20.000	0
Empaque	unidad	5	5.000	25.000
Otros: Herramientas	global		100.000	0
Fumigadora	unidad	0	200.000	0
Transporte de cosecha	carga	5,6	12.000	67.200
Subtotal insumos				596.200
MANO DE OBRA				
Rocería	guadaña	0	45.000	0
Quema	jorn	0	30.000	0
Trazado, ahoyado		0	30.000	0
siembra	jorn	0	30.000	0
Deshierbas	jorn	10	30.000	300.000
Aplicación de herbicida	jorn	0	30.000	0
Deschuponada	jorn	2	30.000	60.000
Fertilización	jorn	3	30.000	90.000
Cosecha	jorn	30	30.000	900.000
Beneficio	jorn	7	30.000	210.000
Control de monilia escoba bruja	jorn	5	30.000	150.000
Aplicación de plaguicidas	jorn	0	30.000	0
Acarreo de la casa a la vía	carga	0	15.000	0
Subtotal mano de obra				1.710.000
COSTO TOTAL				2.306.200
VARIABLES ECONOMICAS	UNIDAD	CANT		TOTAL
Rendimiento cacao/carga/ha		5,6	862500	
Rendimiento cacao/Kg/Ha	Kg	700	6.900	4.830.000
Rendimiento cacao/@/ha		56		
<u>COSTO ACUMULADO AÑO ANTERIOR</u>				0
<u>COSTOS TOTALES</u>				2.306.200
INGRESOS BRUTOS		0		4.830.000
INGRESOS NETOS		0		2.523.800

ANEXO L. Costos de producción de alternativa productiva sostenible de frijol arbustivo con y sin barreras vivas. Fuente: El autor.

CULTIVO EN CALLEJONES (CON FRIJOL ARBUSTIVO)					
DETALLE	UNIDAD	CANT	V/R UNITARIO	Amortizado a 5 años	
				con vetiver	sin vetiver
				V/R TOTAL	V/R TOTAL
INSUMOS					
Herbicida - Glifosato	l	4	20.000	80.000	80.000
Semilla frijol calima	Kg	62	12.000	744.000	744.000
Matraca Sembradora-abonadora	Unidad	1	280.000	56.000	56.000
Fertilizante edáfico triple 15 x 50 Kg	Bulto	3	84.000	252.000	252.000
Fertilizante sulfato de amonio	Bulto	1	84.000	84.000	84.000
Agrimins	Bulto	1	50.000	50.000	50.000
Fungicida con base a ácidos orgánicos	litro	2	27.170	54.340	54.340
Insecticida con base a neem	l	2	26.125	52.250	52.250
Coadyuvante no iónico	l	1	22.990	22.990	22.990
Empaque	Unidad	24	1.000	24.000	24.000
Transporte de insumos	Global	1		212.937	212.937
Transporte de cosecha	Carga	12	12.000	144.000	144.000
Subtotal insumos				1.776.517	1.776.517
MANO DE OBRA					
Preparación de suelo, surcos en curvas a nivel	jorn	20	30.000	150.000	150.000
Siembra y fertilización con matraca	jorn	3	30.000	90.000	90.000
Deshierbas	jorn	8	30.000	240.000	240.000
Segunda fertilización	jorn	2	30.000	60.000	60.000
Aplicaciones de foliares y plaguicidas	jorn	8	30.000	240.000	240.000
Recolección	jorn	15	30.000	450.000	450.000
Trilla o desgrane	jorn	8	30.000	240.000	240.000
Limpieza	jorn	1	30.000	30.000	30.000
Clasificación	jorn	2	30.000	60.000	60.000
Acarreo de la casa a la vía	jorn	8	30.000	240.000	240.000
Subtotal mano de obra				1.800.000	1.800.000
TOTAL INVERSION				3.576.517	3.576.517
INSUMOS CONTROL EROSION					
Vetiver (barreras vivas cada 12 m, 8 surcos; colin	Unidad	4000	300	240.000	
Leguminosas arbóreas (matarratón, chachafruto	Unidad	800	200	32.000	
Transporte	global	1	204.000	40.800	
Subtotal insumos sostenibles				312.800	0
MANO DE OBRA CONTROL EROSION					
Siembra de vetiver	jorn	4	30.000	24.000	
Siembra de leguminosas arbóreas	jorn	1,5	30.000	9.000	
Subtotal mano de obra				33.000	0
COSTO CONTROL EROSION				345.800	0
COSTO TOTAL				3.922.317	3.576.517
VARIABLES ECONOMICAS	UNIDAD	CANT	\$ VENTA		
RENDIMIENTO/Ha	Kg	1500			
AUTOCONSUMO		27,225			
COSTOS TOTALES		1472,78		3.922.317	3.576.517
INGRESOS BRUTOS/Ha			3.100	4.565.603	4.565.603
INGRESOS NETOS/Ha				643.286	989.086
RELACIÓN B/C				1,16	1,28

Anexo M. Costos de producción de alternativa productiva sostenible de café agroforestal con y sin barreras vivas. Fuente: El autor.

			AÑO 1		AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	con vetiver	sin vetiver
DETALLE	UNIDAD	CANT	V/R UNIT	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	V/R TOTAL	costo anual amortizado	costo anual amortizado
INSUMOS											
Colino (siembra en triángulo 1,5 x 1,3 m)	colinos	5.100	450	2.295.000	0	0	0	0	0	382.500	382.500
Nogal	Unidad	70	450	31.500	0	0	0	0	0	5.250	5.250
Abono orgánico	Kg	5.100	300	1.530.000	0	0	0	0	0	255.000	255.000
Enmienda (cal dolomita)	Bulto	10	13.585	135.850	0	0	155.027	0	0	48.480	48.480
Fertilizante DAP	Bulto	1	84.000	84.000	877.800	1.100.761	1.150.295	1.202.059	1.256.151	945.178	945.178
Fertilizante urea	Bulto	3	84.000	252.000	87.780	183.460	287.574	300.515	314.038	237.561	237.561
Fertilizante KCl	Bulto	3	84.000	252.000	87.780	183.460	287.574	300.515	314.038	237.561	237.561
Agrimins	Bulto	1	52.250	52.250	109.203	114.117	119.252	124.618	130.226	108.278	108.278
Herbicida	l	4	20.000	80.000	41.800	0	0	0	0	20.300	20.300
Selector de arvenses	Unidad	1	60.000	60.000	0	0	0	0	0	10.000	10.000
Fumigadora	unidad	1	300.000	300.000	0	0	0	0	0	50.000	50.000
Fungicida con base a ácidos orgánicos	litro	2	27.170	54.340	113.571	118.681	0	0	0	47.765	47.765
Insecticida con base a neem	l	2	26.125	52.250	109.203	114.117	0	0	0	45.928	45.928
Empaque	unidad	0	4.000	0	83.600	174.724	255.621	209.883	159.511	147.223	147.223
Otros: Herramientas	global	1	100.000	100.000	52.250	54.601	57.058	59.626	62.309	64.307	64.307
Transporte de insumos	global	1	791.879	791.879	234.448	306.588	346.860	329.582	335.441	390.800	390.800
Transporte de cosecha	carga	0	12.000	0	125.400	262.086	383.432	314.825	239.267	220.835	220.835
Subtotal insumos		76,05		6.071.069	1.797.433	2.350.510	2.659.262	2.526.798	2.571.715	2.996.131	2.996.131
MANO DE OBRA											
Rocera	guadaña	4	45.000	180.000	0	0	0	0	0	30.000	30.000
Amontonamiento de material grueso	jorn	4	30.000	120.000	0	0	0	0	0	20.000	20.000
Aplicación de herbicida	jorn	6	30.000	180.000	0	0	0	0	0	30.000	30.000
Trazado, ahoyado	jorn	10,9	30.000	327.000	0	0	0	0	0	54.500	54.500
siembra	jorn	19,7	30.000	591.000	0	0	0	0	0	98.500	98.500
Deschuponada y desbejudada	jorn	5	30.000	150.000	156.750	229.325	239.645	250.429	261.698	214.641	214.641
Deshierbas	jorn	18	30.000	540.000	470.250	327.608	0	0	0	222.976	222.976
Fertilización	jorn	8	30.000	240.000	288.420	458.651	479.290	500.858	523.396	415.102	415.102
Control de broca	jorn	0	30.000	0	100.320	209.669	219.104	228.964	239.267	166.221	166.221
Aplicación de plaguicidas	jorn	1	30.000	30.000	0	0	0	0	0	5.000	5.000
Aplicación de fungicida	jorn	3	30.000	90.000	0	0	0	0	0	15.000	15.000
Cosecha	jorn	0	30.000	0	2.351.250	4.914.113	7.189.347	5.902.967	4.486.255	4.140.655	4.140.655
Beneficio	jorn	0	30.000	0	94.050	196.565	287.574	236.119	179.450	165.626	165.626
Acarreo de la casa a la vía	carga	0	20.000	0	209.000	436.810	639.053	524.708	398.778	368.058	368.058
Subtotal mano de obra				2.448.000	3.670.040	6.772.739	9.054.012	7.644.044	6.088.845	5.946.280	5.946.280
Mano de obra contratada				1.940.000							
Total insumos y mano obra tecnificado				8.519.069	5.467.473	9.123.249	11.713.274	10.170.842	8.660.559	8.942.411	8.942.411
INSUMOS CONTROL EROSION											
Vetiver (cada 7 surcos de café; máximo 8 surcos)	Unidad	4000	400	1.600.000						266.667	
Transporte	global	1	273.750	273.750						45.625	
Subtotal insumos sostenibles				2.098.750						349.796	
MANO DE OBRA CONTROL EROSION											
Siembra de vetiver	jorn	8	30.000	240.000						40.000	
Subtotal mano de obra				240.000						40.000	
COSTO PARCIAL CONTROL EROSION				2.338.750						389.796	
COSTO TOTAL				10.857.819	5.467.473	9.123.249	11.713.274	10.170.842	8.660.559	9.332.207	
VARIABLES ECONOMICAS											
UNIDAD	CANT	\$ VENTA	TOTAL								
Rendimiento cps/carga/ha	carga									13,2	13,2
Rendimiento cps/Kg/ha	Kg	5.657	0							1.645,7	1.645,7
Rendimiento cps/@/ha	@									131,7	131,7
Ingresos por café					7.071.260	14.142.520	19.799.528	15.556.772	11.314.016	9.589.113,45	9.309.818,88
Rendimiento de madera tabla burra/árbol	unidad	15	20.000								
Ingresos por madera 70 arb/ha										984.375,00	984.375,00
INGRESOS BRUTOS/ha			707.126							10.573.488	10.294.194
Venta de café verde											
Venta de café pergamino seco/cargas				0							
COSTO ACUMULADO AÑO ANTERIOR		\$ VENTA		0	8.519.069	6.915.282	1.896.011	-6.190.243	-11.576.173		
COSTOS TOTALES/ha tecnificado				8.519.069	5.467.473	9.123.249	11.713.274	10.170.842	8.660.559		8.942.411
COSTOS TOTALES/ha control erosión				10.857.819						9.332.207	0
INGRESOS NETOS/ha		0		0	-6.915.282	-1.896.011	6.190.243	11.576.173	14.229.630	1.241.282	1.351.783

ANEXO N. Costos de establecimiento de cercas vivas y banco de proteína para una unidad ganadera sostenible. (Primera parte).
Fuente: El autor.

				AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	SUMA TOTAL	DIO/AÑO AMORTIZACION	
ACTIVIDADES RELACIONADAS CON EL MEJORAMIENTO DE PRADERAS Y SILVOPASTOREO	UNIDAD	CANT AÑO 1	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL	VALOR TOTAL	VALOR PROMEDIO	VALOR PROMEDIO SIN CONSERVACION DE SUELOS
V/R DE INSUMOS											
Mejoramiento y división de praderas											
Impulsor 25 Km. 110 voltios.	Unidad	1	209.000	209.000	0	0	0	0	209.000	41.800	41.800
Varilla cooperwell	Unidad	6	10.000	60.000	0	0	0	0	60.000	12.000	12.000
Desviador de rayos	Unidad	1	54.842	54.842	0	0	0	0	54.842	10.968	10.968
Cuchiya doble tiro	Unidad	1	31.350	31.350	0	0	0	0	31.350	6.270	6.270
kit maniqueta o portillo	Unidad	6	26.125	156.750	0	0	0	0	156.750	31.350	31.350
Aislador esquintero o terminal (4/100m) bolsa por 50	Unidad	112	836	93.632	0	0	0	0	93.632	18.726	18.726
Aislador pivote puntilla bolsa x 100 (32/100m)	bolsa	8,96	26.125	234.080	0	0	0	0	234.080	46.816	46.816
Tensor (6/100m)	Unidad	168	3.658	614.460	0	0	0	0	614.460	122.892	122.892
Cable aislado	rollo x 50 mt.	1	41.800	41.800	0	0	0	0	41.800	8.360	8.360
Alambre liso galvanizado No. 12,5 (22m /kg; es decir, 550m /rollo 25kg)	kg.	256,36545	6.000	1.538.193	0	0	0	0	1.538.193	307.639	307.639
bebedero sustituto (250 litros)	Unidad	4	160.000	640.000	0	0	0	0	640.000	128.000	128.000
conduccion agua bebedero, manguera revestida1/2" x rollo de 100m	rollos	12	55.000	660.000	0	0	0	0	660.000	132.000	132.000
Saladero inteligente	Unidad	2	180.000	360.000	0	0	0	0	360.000	72.000	72.000
Herbicida	l	5	20.000	100.000		109.203	0	0	209.203	52.301	52.301
Semilla de pasto brachiaria decumbens	Kg	90	37.500	3.375.000	0	0	0	0	3.375.000	675.000	675.000
Estantillos 2,5 m diámetro ≥10 cm	Unidad	117	4.500	525.000	27.431	57.331	149.778	156.518	916.059	183.212	183.212
Estantillos 2,0 m diámetro ≥ 8 cm	Unidad	430	3.500	1.505.000	78.636	164.350	171.746	179.474	2.099.206	419.841	419.841
Canecas - baldes-filtros	global	1	40.000	30.000		43.681	0	47.701	121.382	30.345	30.345
Lazos	global	1	30.000	25.000	31.350	32.761	0	35.776	124.886	24.977	24.977
Manguera Revestida x 1" X80	rollo	1	89.700	89.700	0		0	0	89.700	22.425	22.425
Manguera Revestida x 1/2" x 100	rollo	3	60.145	180.435	0		0	0	180.435	45.109	45.109
Aspersores de 1/2"	unidad	8	9.200	73.600	0		0	0	73.600	18.400	18.400
Tee x 1"	unidad	5	1.495	7.475	0		0	0	7.475	1.869	1.869
Buje de 1" a 1/2"	unidad	5	805	4.025	0		0	0	4.025	1.006	1.006
Tee x 1/2"	unidad	10	1.495	14.950	0		0	0	14.950	3.738	3.738
Llaves de paso x 1/2"	unidad	5	6.900	34.500	0		0	0	34.500	8.625	8.625
Llaves de paso x 1"	unidad	1	8.050	8.050	0		0	0	8.050	2.013	2.013
Flancher de 1"	unidad	1	9.890	9.890	0		0	0	9.890	2.473	2.473
Insertos de 1"	unidad	10	1.955	19.550	0		0	0	19.550	4.888	4.888
Insertos de 1/2"	unidad	38	920	34.960	0		0	0	34.960	8.740	8.740
Adaptadores hembra de 1/2"	unidad	10	483	4.830	0		0	0	4.830	1.208	1.208
Adaptador hembra de 1"	unidad	1	920	920	0		0	0	920	230	230
Adaptador Macho de 1"	unidad	1	920	920	0		0	0	920	230	230
Abrazaderas de 1/2"	unidad	20	997	19.940	0		0	0	19.940	4.985	4.985
Flotador	unidad	1	17.825	17.825	0		0	0	17.825	4.456	4.456
Tanque plástico de 2000 Litros	unidad	1	697.015	697.015	0		0	0	697.015	174.254	174.254
Pegante 1/32	unidad	1	5.175	5.175	0		0	0	5.175	1.294	1.294
picapasto	unidad	1	1.840.000	1.840.000	0		0	0	1.840.000	460.000	460.000
Semilla de pasto de corte	Tn	0,75	150.000	112.500	0		0	0	112.500	28.125	28.125
Plantas forrajeras proteicas	Unidad	1000	375	375.000	0		0	0	375.000	93.750	93.750
Transporte de materiales	global	1	400.000	400.000	20.613	61.099	48.229	62.920	592.860	118.572	118.572
Subtotal de material de ferretería				14.205.366	158.030	468.424	369.752	482.389	15.683.961	3.330.884	3.330.884

ANEXO N. (Continuación) Costos de establecimiento de cercas vivas y banco de proteína para una unidad ganadera sostenible.
(Segunda parte). Fuente: El autor.

Transporte de materiales	global	1		400.000	400.000	20.010	20.020	40.020	40.020	392.000	110.010	110.010
Subtotal de material de ferretería					14.205.366	158.030	468.424	369.752	482.389	15.683.961	3.330.884	3.330.884
Medicamentos												
Antibióticos x 500 ml	Frasco	2	14.000	28.000	29.260	30.577	31.953	33.391	33.391	153.180	30.636	30.636
Antidiarreico (Sobre x 25 g)	Sobre	5	5.000	25.000	26.125	27.301	28.529	29.813	29.813	136.768	27.354	27.354
Vitaminas x 100 ml	Frasco	2	25.000	50.000	52.250	54.601	57.058	59.626	59.626	273.535	54.707	54.707
Vacuna antiatafosa (Cada 6 Meses) x 2ml	Dosis	26	1.200	31.200	32.604	34.071	35.604	37.207	37.207	170.686	34.137	34.137
Vacuna Triple (combibac) Cada 6 meses x 5 ml	Dosis	26	700	18.200	19.019	19.875	20.769	21.704	21.704	99.567	19.913	19.913
Baño garrapaticida y mosquicida (1 Baño al mes) x 20 ml	Frasco	12	6.000	72.000	75.240	78.626	82.164	85.861	85.861	393.891	78.778	78.778
vermifugación con Ivermectina 3,15 x 200 ml	Frasco	1	80.000	80.000	83.600	87.362	91.293	95.401	95.401	437.657	87.531	87.531
vermifugación con febendazol	Frasco X litro	1	60.000	60.000	62.700	65.522	68.470	71.551	71.551	328.243	65.649	65.649
Sal mineralizada somex del 8% de P	Bultos	15	45.000	675.000	705.375	737.117	770.287	804.950	804.950	3.692.729	738.546	738.546
Sal blanca yodada (para la cuajada)	bultos x 40 Kg	1	25.000	25.000	26.125	27.301	28.529	29.813	29.813	136.768	27.354	27.354
Transporte de materiales	Global	1	53.220	53.220	166.845	174.353	182.199	190.398	190.398	767.014	153.403	153.403
Transporte de queso	Kg	1533	240	367.920	355.183	432.389	515.825	605.895	605.895	2.277.213	455.443	455.443
Subtotal de droga veterinaria e insumos					1.485.540	1.634.326	1.769.094	1.912.681	2.065.609	8.867.250	1.773.450	1.773.450
COSTO TOTAL DE INSUMOS					15.690.906	1.792.356	2.237.518	2.282.433	2.547.998	24.551.211	5.104.334	5.104.334,40
V/R DE MANO DE OBRA MEJORAMIENTO PRADERAS												
Aplicación de herbicida	jorn	2,5	30.000	75.000	62.700	65.522	0	0	0	203.222	40.644	40.644
Siembra de pasto con labranza cero	jorn	5	30.000	150.000	156.750	163.804	0	0	0	470.554	94.111	94.111
Ahoyada e hincada de estantillos	jorn	22	30.000	660.000	0	0	0	0	0	660.000	132.000	132.000
Instalación de cerca y alambre	jorn	16	30.000	480.000	0	0	0	0	0	480.000	96.000	96.000
Instalación de bebederos y conexión de mangueras	jorn	1,5	30.000	45.000	0	0	0	0	0	45.000	9.000	9.000
Preparación lote	jorn	2	30.000	60.000	0	0	0	0	0	60.000	12.000	12.000
y Siembra de pasto de corte	jorn	2	30.000	60.000	0	0	0	0	0	60.000	12.000	12.000
Siembra de árboles forrajeros	jorn	4	30.000	120.000	0	0	0	0	0	120.000	24.000	24.000
Mantenimiento primer año	jorn	9	30.000	270.000	125.400	131.043	0	71.551	597.994	119.599	119.599	
									0			
Subtotal de mejoramiento de praderas					1.920.000	219.450	229.325	0	0	2.696.769	539.354	539.354
V/R MANO DE OBRA MANTENIMIENTO												
Mantenimiento Infraestructura y equipos	jorn	6	30.000	180.000	188.100	196.565	205.410	214.653	214.653	984.728	196.946	196.946
Mantenimiento potreros	jorn	30,00	30.000	900.000	470.250	491.411	342.350	357.756	357.756	2.561.767	512.353	512.353
Sanidad Animal	jorn	6	30.000	180.000	188.100	196.565	205.410	214.653	214.653	984.728	196.946	196.946
Ordeño	jorn	25	30.000	750.000	783.750	819.019	855.875	894.389	894.389	4.103.032	820.606	820.606
Vaquería	jorn	1	30.000	30.000	31.350	32.761	34.235	35.776	35.776	164.121	32.824	32.824
Corte y suministro de forraje	jorn	68	30.000	2.040.000	2.131.800	2.227.731	2.327.979	2.432.738	2.432.738	11.160.248	2.232.050	2.232.050
Subtotal de mantenimiento					4.080.000	3.793.350	3.964.051	3.971.258	4.149.965	19.958.624	3.991.725	3.991.725
COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA					6.000.000	4.012.800	4.193.376	3.971.258	4.149.965	22.655.393	4.531.079	4.531.079

ANEXO N. (Continuación) Costos de establecimiento de cercas vivas y banco de proteína para una unidad ganadera sostenible. (Tercera parte). Fuente: El autor.

COSTO TOTAL DE MANO DE OBRA				V/R AÑO 1	V/R AÑO 2	V/R AÑO 3	V/R AÑO 4	V/R AÑO 5	V/R TOTAL	V/R PROMEDIO	V/R PROMEDIO
PIE DE CRIA											
Vaca parida cada cuatro años	atado	1	2.000.000	2.000.000	0	0	0	0	2.000.000	400.000	400.000
Novillonas		1	1.100.000	1.100.000	1.149.500	1.201.228	1.255.283	0	4.706.010	941.202	941.202
COSTO TOTAL PIE DE CRIA				3.100.000					6.706.010	1.341.202	1.341.202
INSUMOS CONSERVACION DE SUELOS											
Estacas de matarratón de 2 m	Unidad	375	450	168.750	0	0	0	0	168.750	33.750	
Eucaliptus grandis	Unidad	375	450	168.750	0	0	0	0	168.750	33.750	
Aislador esquinero o terminal (4/100m) bolsa por 50	Unidad	80	836	66.880	0	0	0	0	66.880	13.376	
Aislador pivote puntilla bolsa x 100 (32/100m)	bolsa	6,4	26.125	167.200	0	0	0	0	167.200	33.440	
Tensor (6/100m)	Unidad	120	3.658	438.900	0	0	0	0	438.900	87.780	
Alambre liso galvanizado No. 12,5 (22m /kg; es decir, 550m /rollo 25kg)	kg.	228,63273	6.000	1.371.796	0	0	0	0	1.371.796	274.359	
Estantillos 2,0 m diámetro ≥ 8 cm	Unidad	433,33333	3.500	1.516.667	79.246	165.624	432.692	2.799	2.197.028	439.406	
Subtotal insumos sostenibles				3.898.943	79.246	165.624	432.692	2.799	4.579.304	915.861	
MANO DE OBRA CONSERVACION DE SUELOS											
Preparación de sitio (plateo inicial y ahoyada)	jorn	4,5	30.000	135.000					135.000	135.000	
Siembra de material vegetal forestal	jorn	3	30.000	90.000					90.000	90.000	
Construcción doble cerca para proteger árboles	jorn	14	30.000	420.000					420.000	420.000	
Mantenimiento cercas	jorn		30.000	0	62.700	131.043	205.410	0	399.153	79.831	
Mantenimiento de plato árboles	jorn	4,5	30.000	135.000	125.400	131.043			391.443	130.481	
Subtotal mano de obra				780.000	188.100	262.086	205.410	0	1.435.596	855.312	
COSTO PARCIAL CONTROL EROSION				4.678.943	267.346	427.710	638.102	2.799	6.014.900	1.771.172	
COSTOS TOTALES				21.690.906	5.805.156	6.430.894	6.253.691	6.697.963	53.221.504	11.406.585	9.635.413
COSTOS MENOS MANO DE OBRA				17.610.906	2.011.806	2.466.843	2.282.433	2.547.998	29.130.515	6.020.195	5.104.334
INGRESOS BRUTOS (IB)											
Producción de leche	botellas	4,8	7665	0	0	0			0	0	0
Venta de queso	Lb	8	1533	3.800	5.825.400	5.623.730	6.846.167	8.167.235	9.593.335	26.462.532	7.139.062
Animales destetos hembras	Unidades		1	450.000	450.000	940.500	491.411	1.027.050	1.073.267	2.908.961	796.446
Animales destetos machos	Unidades		2	450.000	900.000	470.250	982.823	513.525	1.073.267	2.866.597	787.973
Vacas adultas	Unidades		0	805.000		841.225	879.080	918.639	959.977	2.638.944	899.730
Producción de estantillos	Unidades		10125	3500						35.437.500	3.543.750
TOTAL DE INGRESOS				7.175.400	7.875.705	9.199.481	10.626.448	12.699.846	70.314.534	13.166.960	10.127.992
VARIABLES ECONOMICAS											
RENDIMIENTO Kg queso/año									860	3.440	
COSTOS TOTALES				21.690.906	5.805.156	6.430.894	6.253.691	6.697.963	53.221.504	11.406.585	9.635.413
COSTOS SIN MANO DE OBRA				17.610.906	2.011.806	2.466.843	2.282.433	2.547.998			
INGRESOS BRUTOS				7.175.400	7.875.705	9.199.481	10.626.448	12.699.846	70.314.534	13.166.960	10.127.992
INGRESOS NETOS/AÑO				-14.515.506	2.070.549	2.768.587	4.372.756	6.001.884	17.093.030	1.760.375	492.579
INGRESOS NETOS/MES				-1.209.626	172.546	230.716	364.396	500.157	1.424.419	146.698	41.048
Ingresos netos descontando mano de obra				-10.435.506	5.863.899	6.732.638	8.344.014	10.151.848	41.184.019	7.146.765	5.023.658
RELACIÓN B/C				0,330802222	1,356674221	1,430513561	1,699228033	1,896075999	1,32	1,15	1,05

ANEXO Ñ. Costos de aislamiento para restauración pasiva. Fuente: El autor.

Inversión para el establecimiento de aislamiento por metro lineal.

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Estantillos de 2,2 m largo y diámetro ≥10 cm		433	6.000	2.598.000
Transporte menor de estantillos	Jornales	4	30.000	120.000
Ahoyado	Jornales	6	30.000	180.000
Hincado de estantillos	Jornales	8	30.000	240.000
Distribución del alambre	Jornales	4	30.000	120.000
Templado y grapado del alambre	Jornales	2	30.000	60.000
Transporte de estantillos	Global	1	389.700	389.700
				3.707.700
Materiales que entrega el proyecto				
alambre de púa N° 14 x 500 m	rollos	6	179.072	1.074.430
grapas cortas	kg	9,0	4.500	40.500
Transporte de alambre y grapas 15%	Global	1	167.240	167.240
Flete a Caballo alambre y grapas	Fletes	6,4	25.000	160.247
Subtotal de materiales				1.442.417
TOTAL				5.150.117
costo por m lineal				5150,11712

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total/ha
Aislamiento por ha de zona a restaurar	m	156	3400	530.400