



Solutions for environment and development  
Soluciones para el ambiente y desarrollo

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

ESCUELA DE POSGRADO

Modelo experto para el análisis de la adopción de árboles en pasturas del  
trópico seco de Nicaragua

por

Álvaro Germán Salazar Oviedo

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

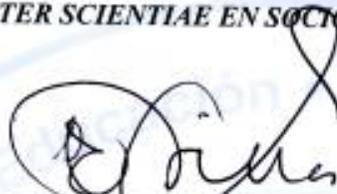
*Magister Scientiae* en Socioeconomía Ambiental con especialización en  
Prácticas del Desarrollo

Turrialba, Costa Rica, 2012

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

**MAGISTER SCIENTIAE EN SOCIOECONOMÍA AMBIENTAL**

**FIRMANTES:**

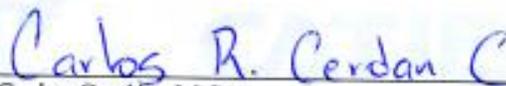


Cristóbal Villanueva, M.Sc.  
**Co-Director de tesis**



David Barton, Ph.D.  
**Co-Director de tesis**

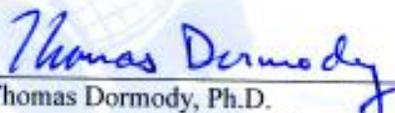
Tamara Benjamin, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**



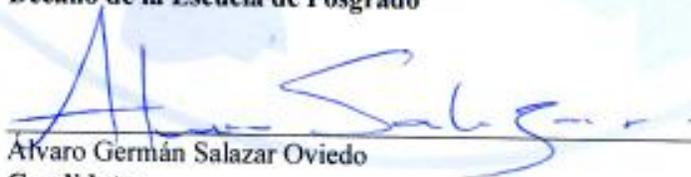
Carlos Cerdán, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



Alejandro Imbach, M.Sc.  
**Coordinador, Especialización en Práctica para el Desarrollo**



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



Alvaro Germán Salazar Oviedo  
**Candidato**

# **DEDICATORIA**

A mi hija Tania Sofia Salazar

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimientos a los productores de Rivas en Nicaragua por su aporte en esta investigación. Así como a la totalidad de personas que colaboraron en la realización de esta investigación, en especial a los codirectores del comité de tesis Cristóbal Villanueva, David N. Barton. También a los integrantes del comité de tesis Carlos Cerdán, Tamara Benjamín por sus valiosos aportes durante el desarrollo del proyecto de tesis. Así como a los demás integrantes (directivos y estudiantes) del Proyecto FUNCiTree en especial al Dr Fabrice Declerck por su apoyo y Dalia Sanchez en Nicaragua.

Agradecimientos a toda mi familia en Colombia Mónica, Vivian, Constanza (hermanas) a mi madre y Padre por su apoyo afectivo y económico. A mi hija Tania por visitarme en Costa Rica, también a Mille Johanna Gómez por su apoyo y compañía. A mis amigos Federico Gutiérrez, Julián Góngora, Diego Santacruz. También los compañeros de FUNCiTree que me acompañaron en Rivas Iván, Fabián, Pilar, Juliana, María Amalia, Carlita, José, Marlon. También a Rosita Jara por su amistad durante mis estudios. Agradecimientos a José Encarnación y Gerald asistentes de investigación. Agradecimientos a mis amigos en Colombia Julian Góngora, y Federico Gutiérrez.

Agradecimientos a los entrevistados en conocimiento experto en Ecología Funcional Fausto, Adina, Sonia, Piedad, Graciela que aportaron con sus conocimientos en el desarrollo de la tesis.

Agradecimientos muy especiales a mi yo interior y a al poder infinito por permitirme sobrevivir (y salir más fuerte de lo que entre) durante el transcurso de esta Maestría.

## BIOGRAFÍA

El autor nació en el Municipio de Tumaco, Nariño en Colombia el 29 de Julio de 1982. Vivió durante los primeros 10 años de su vida en medio de una comunidad afro colombiana. Después vivió en el Departamento del Putumayo (Mocoa, Puerto Leguizamo) en Colombia por cerca de 5 años y posteriormente se radicó en la Ciudad de San Juan de Pasto a los 16 años de edad donde terminó sus estudios de secundaria. Desde temprana edad se interesó por el estudio de la Economía carrera que cursó en la Universidad de Nariño (UDENAR) durante 6 años. Trabajó en Colombia como analista financiero en Barranquilla, asistente administrativo en Popayán, analista de estudios de mercado en San Juan de Pasto y fundó la Organización No Gubernamental Fundación Raíces en Colombia. A la edad de 29 años ingresa como estudiante de Maestría en Socio Economía Ambiental y Especialización en Desarrollo Rural en el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE), durante este periodo fue becado por el proyecto Diversidad Funcional (FUNCiTree) para realizar una investigación relacionada a la adopción de sistemas silvopastoriles. Fue enviado a una gira a Senegal en África en donde aprendió a modelar Redes Bayesianas y comprendió temas relacionados a las dificultades que presenta el pueblo africano en el tema de erosión y estrategias de adaptación al cambio climático por medio de la adopción de sistemas agroforestales. Terminó la investigación de tesis de Maestría creando un modelo experto basado en redes bayesianas que permite sistemas silvopastoriles (árboles dispersos en potrero, cercas vivas y linderos) óptimos desde la perspectiva social, económica y ambiental en beneficio del productor del trópico seco de Nicaragua. Actualmente, trabaja en ONG Raíces como líder de proyectos y como consultor independiente para diversas organizaciones para comunidades rurales y urbanas en Nariño y Cauca en Colombia.

@alvarogsalazar

# CONTENIDO

DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO .....	VI
RESUMEN .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ÍNDICE DE CUADROS .....	X
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	XII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1 Objetivos del estudio .....	4
1.1 Objetivo general:.....	4
1.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Preguntas de investigación .....	4
2 Marco conceptual.....	5
2.1 Sistemas silvopastoriles .....	5
2.1.1 Árboles dispersos en potreros .....	6
2.1.2 Cercas vivas.....	7
2.2 Beneficios económicos.....	7
2.3 Conocimiento Local.....	8
2.4 Rasgos funcionales.....	9
2.5 Motivaciones y limitantes para la adopción .....	10
2.6 Factores indirectos para identificar difusores de mejoras tecnológicas .....	12
2.7 Redes bayesianas .....	13
3 Métodos.....	14
3.1 Descripción del área de estudio .....	14
3.1.1 Características socioeconómicas de los productores .....	16
3.2 Idea central de la metodología.....	17
3.3 Recolección de información .....	19
3.3.1 Entrevistas a productores .....	19
3.3.2 Información sobre ingresos y costos de los árboles .....	22

3.3.3	<i>Entrevistas a expertos</i> .....	23
3.4	Análisis de la información.....	24
3.4.1	<i>Funcionamiento teórico de las redes bayesianas</i> .....	24
3.4.2	<i>Beneficios financieros de las especies arbóreas</i> .....	27
3.4.2.1	Valorar ingresos financieros de los árboles .....	27
3.4.3	<i>Diseño de un modelo experto para el análisis de la información</i> .....	30
3.4.3.1	Rasgos/atributos funcionales y servicios ecosistémicos .....	32
3.4.3.2	Subred limitantes, motivaciones y soluciones .....	33
3.4.3.3	Subred de ingreso y costos financieros (potrero actual vs ideal) .....	34
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1	Análisis de la adopción de las especies arbóreas.....	36
4.1.1	<i>Cobertura actual y futura en potrero</i> .....	36
4.1.2	<i>Funcionamiento del modelo experto</i> .....	39
4.1.2.1	Análisis de alternativas al productor .....	42
4.1.3	<i>Especies arbóreas por tipologías de productores</i> .....	44
4.1.4	<i>Implicaciones del tamaño de la copa del árbol en la adopción</i> .....	48
4.1.5	<i>Diseño de potreros multifuncionales eliminando características negativas</i> .....	50
4.2	Limitantes, motivaciones y soluciones .....	51
4.2.1	<i>Dinámica sugerida con grupos de productores</i> .....	56
5	Conclusiones .....	60
6	Recomendaciones .....	61
7	BIBLIOGRAFÍA .....	63
	ANEXOS .....	73

## RESUMEN

La multifuncionalidad en las especies arbóreas (EA) es un criterio importante para productores rurales a la hora de seleccionar y conservar árboles en usos ganaderos. La multifuncionalidad permite obtener beneficios adicionales para los productores mientras perdura la vida útil de un árbol y proporciona más resiliencia al sistema ya que a falta o desaparición de una especie otras la pueden sustituir. Se desarrolló una metodología alrededor de recrear el potrero ideal del productor con base a un potrero representativo de su finca (usando una maqueta) adicionando árboles de utilidad, y eliminando árboles no deseados hasta llegar al potrero ideal desde la perspectiva del productor. Se identificaron especies arbóreas desde 4 criterios: 1) Adaptación a las características de la zona, 2) Preferencia de los productores, 3) Provisión de bienes y servicios ecosistémicos, 4) Generación de utilidades al productor. Se diseñó mediante redes bayesianas un modelo experto que ejemplifica el potrero ideal de los productores en cuanto a EA teniendo en cuenta características: 1) de los productores, 2) de la finca, 3) rasgos funcionales y servicios ecosistémicos de los árboles, 4) cobertura arbórea ideal, y 5) cuantificación ingresos y costos de los árboles. El modelo experto permite diseñar sistemas silvopastoriles en árboles dispersos en potreros y cercas vivas ideales por el productor y ofrece alternativas silvopastoriles a nivel de potrero y finca de forma óptima en términos sociales, ambientales y económicos para el productor. Los productores a partir del potrero actual representativo de su finca incrementaron en promedio un 209% la densidad arbórea en cercas vivas y linderos y en un 57% en árboles dispersos en potrero. Los productores prefirieron EA como *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Cordia alliodora*, *Diphysa robinoides*, *Guazuma ulmifolia*, *Pachira quinata*, y *Enterolobium cyclocarpum*. En promedio un productor puede obtener ingresos por hectárea de US\$1169 en potrero actual y llegar a obtener ingresos adicionales de US\$2948 a 25 años si realiza los cambios en composición y abundancia de EA en un potrero de su finca.

## SUMMARY

Multifunctionality in tree species is an important criterion for farmers when selecting and preserving trees for livestock uses. Multifunctionality allows farmers to procure additional benefits over the course of the lifetime of tree. It also provides more resilience to agricultural ecosystems. For example, if one species disappears another may replace it. Promoting multifunctional tree species (MTS) provides an effective way to promote rural development based on the natural resources of trees. A methodology was developed to identify an ideal farm pasture based on farmer perceptions of tree composition and number. The farmer was free to add additional useful trees, and remove the nonproductive or little-used pasture until achieving the optimal pasture. MTS were identified based on 4 criteria: 1) the species are adapted to the area, 2) the tree carries out multiple functions, 3) the tree is desirable to the farmer (ecosystem services), 4) the tree generates monetary benefits. The results of the study determined the constraints and motivations that farmers observed on their farms in the application of the idea of ‘ideal pastures’. It was designed using Bayesian network software to exemplify the probable tree species characteristics of an ideal pasture dependent on farmer characteristics, income level, ecosystem services, and ideal tree cover. Farmers preferred tree species such as, *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Cordia alliodora*, *Diphysa robinoides*, *Guazuma ulmifolia*, *Pachira quinata*, and *Enterolobium cyclocarpum*. The proposed changes increased tree density by 209% in comparison to the current situation for living fences and boundaries and 57% in scattered trees in pasture. An average farmer gets an average income potential of US\$1169 for the use of the trees, and may increase to US\$2948 over 25 years by increasing the composition and abundance of multifunctional trees in their farms.

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cantidades estimadas de producción de frutas .....	8
Cuadro 2. Servicios ecosistémicos y rasgos funcionales.....	10
Cuadro 3. Características socioeconómicas por tipos de productores en Rivas. ....	16
Cuadro 4. Información de ingresos y costos de árboles (n=8) .....	23
Cuadro 5. Beneficios económicos potrero ideal productor subsistencia. ....	45
Cuadro 6. Beneficios económicos potrero ideal productor intensivo. ....	47
Cuadro 7. Beneficios económicos potrero ideal productor Extensivo. ....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama conceptual para el análisis de la adopción. ....	5
Figura 2. Árboles dispersos en el potrero proporcionando sombra para animales. ....	6
Figura 3. Árboles en cercas vivas y linderos en Rivas Nicaragua. ....	7
Figura 4. Mapa de Rivas en Nicaragua .....	15
Figura 5. Paisaje ganadero de Rivas Nicaragua. ....	15
Figura 6. Diagrama estructural para el análisis de la información. ....	17
Figura 7. Potrero representativo de un productor de la localidad de Cantimplora. ....	19
Figura 9. Ejemplo visual de un estudio de caso con maqueta. ....	22
Figura 11. Vínculos entre nodos correctos .....	25
Figura 12. Tres tipos de redes causales. ....	26
Figura 13. Redes Bayesianas Orientadas a Objetos .....	26
Figura 14. Red causal modelo experto de conocimiento local y experto. ....	31
Figura 15. Subred bayesiana de conocimiento local y experto. ....	33
Figura 16. Subred de antiservicios de las especies arbóreas .....	33
Figura 17. Subred de limitantes, motivaciones y soluciones de la adopción .....	34
Figura 18. Red causal de costos e ingresos financieros. ....	34
Figura 20. Especies arbóreas eliminadas en potrero actual. ....	37
Figura 21. Ingreso netos potenciales unitarios de los Especies Arbóreas. ....	38
Figura 22. Red bayesiana modelo experto de conocimiento local y experto. ....	41
Figura 23. Red bayesiana modelo experto que potencia servicios prioritarios. ....	43
Figura 24. Diseño espacial de un potrero de un productor subsistencia. ....	44
Figura 25. Diseño espacial de un potrero de un productor autosuficiente .....	46
Figura 26. Diseño espacial de un potrero de un productor extensivo. ....	47
Figura 27. Beneficios de la inclusión de EA controlando el nivel de cobertura. ....	50
Figura 28. Composición arbórea de un potrero ideal eliminando un rasgo negativo. ....	51
Figura 29. Limitantes en la adopción del sistema silvopastoril .....	52
Figura 30. Motivaciones para adopción del sistema silvopastoril ideal. ....	54
Figura 31. Motivaciones para adopción del sistema silvopastoril. ....	56

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

ADP: Árboles dispersos en potrero

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CV: Cerca viva

EA: Especies Arbóreas

EAM: Especies arbóreas multifuncionales

FUNCiTree: Proyecto Diversidad Funcional

Ha: Hectárea

HE: HuginExpert

m<sup>2</sup>: Metros cuadrados

PSA: Pago por servicios ambientales

RB: Redes Bayesianas

SE: Servicios Ecosistémicos

SSP: Sistemas Silvopastoriles

# 1 INTRODUCCIÓN

La ganadería es uno de los subsectores más importantes del sector agrícola con una participación del 40% del valor mundial de la producción agrícola (FAO 2009). Para pastoreo se destina el 26% de la superficie terrestre que no está ocupada por hielo, aproximadamente 36 millones de km<sup>2</sup> (Steinfeld *et al.* 2006). Este sector ha venido creciendo vertiginosamente debido al incremento de la población mundial y del incremento del consumo per cápita, que en los países en desarrollo se ha duplicado en el caso de la leche y triplicado en el caso de la carne desde la década de los 60 (FAO 2009). En Centroamérica el área dedicada a ganadería se duplicó entre 1950 y 1970 y se triplicó entre 1979 y 1983 llegando a 11 millones de hectáreas (Pasos *et al.* 1994). En la actualidad en América Central se estima que el área destinada a pasturas es de 18,4 millones de hectáreas lo que representa un 46% del área total (Szott *et al.* 2000). Todo este incremento asociado a la producción y demanda derivada de la ganadería ha venido asociada a la fragmentación y pérdida de los bosques (Kaimowitz 2001).

Durante las últimas décadas se ha deforestado una gran proporción de áreas boscosas para ser usadas directa o indirectamente en usos ganaderos (Kaimowitz 2001). Se estima que la deforestación en América Central fue aproximadamente de 400 mil hectáreas al año finalizando la década 70's y de 300 mil durante la década de los 90's (Kaiminovitiz 1996). Los principales beneficios del cambio de uso del suelo forestal a pasturas se encuentran aproximadamente en los primeros cinco años de uso del suelo (Nepstad *et al.* 1991). Sin embargo, el sobre pastoreo y la falta de inversión en mejoramiento y mantenimiento de los potreros ha ocasionado que aproximadamente el 50% de las pasturas se encuentren en un estado de degradación mediante invasión de malezas, y degradación del suelo (Pazos *et al.* 1992, Szott *et al.* 2000). En América Central existe un interés en el diseño y manejo de modelos sostenibles de producción ganadera basados en sistemas silvopastoriles competitivos y que contribuyan con la generación de servicios ecosistémicos como protección a fuentes de agua, secuestro de carbono y protección de la biodiversidad (Ibrahim y Harvey 2003). También, que sean sistemas que presenten bajas emisiones de carbono y adaptación al cambio climático.

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una opción de manejo eficiente para los productores que tienen como actividad la ganadería. Los árboles dispersos en los potreros y las cercas vivas son dos SSP tradicionales en Centroamérica (Ibrahim *et al.* 2007). Los árboles en los potreros pueden proporcionar beneficios a los productores como madera, leña, forraje, frutos para el ganado o postes para cercas como valor económico y hábitats y recursos para fauna y flora, conservación de agua, conservación de suelos como valor ecológico (Sanchez *et al.* 2004). A pesar de los conocidos beneficios (sociales, económicos y ambientales) que se desprenden de la adopción de estas mejoras tecnológicas especialmente en la época seca donde escasea el alimento para los animales (Muñoz *et al.* 2003), los productores enfrentan cierto nivel de riesgo e incertidumbre al adoptarlas (Mercer 2004, Alonzo e Ibrahim 2001).

Los productores tienen la concepción de que manejar una cobertura alta de árboles es contraproducente porque la sombra que ofrecen estos afecta la productividad de las pasturas al impedir la entrada de los rayos del sol (Marie 2010). Esquivel (2007) encontró que la productividad de las pasturas en términos de biomasa no tiene efectos negativos a un nivel de cobertura arbórea inferior al <20%. En Costa Rica y Nicaragua se ha identificado que los potreros tienen un rango de cobertura arbórea entre el 2 y 11,8% (Ruiz *et al.* 2005, Villanueva *et al.* 2004, Villacís 2003). Otros aspectos de importancia que limitan la adopción de estas mejoras tecnológicas son: la falta de mano de obra (ya que estos sistemas son intensivos), la falta de capital o inversión inicial para el establecimiento, el costo de oportunidad del dinero ya que es menos riesgoso para el productor invertir en actividades reconocidas (Alonso 2000), y el hecho de que los retornos de beneficios de los árboles son a largo plazo comparado con opciones de inversión como las actividades agrícolas (Barrance *et al.* 2003).

Es por tanto propicio identificar nuevas formas que permitan el desarrollo de los SSP para que productores ganaderos puedan implementar estas mejoras tecnológicas minimizando los riesgos que ellos enfrentan en la adopción. Para que las innovaciones propuestas por la ciencia sean desarrolladas por el productor estas deben tener un

beneficio reconocido cuantitativo y cualitativo, un nivel de riesgo aceptable, compatible con los recursos del productor, y estar acorde con los gustos y aversiones en este caso en cuanto el tipo de especie arbórea (Somarriba 2009).

El principal objetivo de la investigación consistió en elaborar una metodología que permita diseñar SSP con árboles dispersos en potrero y cercas vivas y linderos de una forma eficiente con el menor riesgo de adopción para el productor y adquirir información sobre los beneficios de dichos sistemas aplicados en potreros. Para el desarrollo de esta metodología se propone una herramienta tecnológica basada en redes bayesianas (RB). Las RB son un conjunto de nodos o grafos a cíclicos dirigidos mediante flechas que reflejan una relación causal. La relación expresada por las flechas dirigidas entre un nodo y otro está representada mediante probabilidades condicionales (Horvitz *et al.* 1988).

Las RB han sido utilizadas para modelar sistemas expertos en campos como la medicina para sistematizar el conocimiento médico y poder inferir diagnósticos de enfermedades (Lucas 2000, Papaconstantinou *et al.* (1997). En el campo de la agroforestería han incursionado con trabajos como el Joshi *et al.* (2001) y Villanueva *et al.* (2003) donde se identificó mediante redes bayesianas y con información de productores los determinantes de la tala y el aprovechamiento forestal respectivamente y los factores que influyen en la cobertura arbórea en fincas. Sin embargo, hasta el momento no se ha realizado ningún intento exitoso dentro del campo de la agroforestería en realizar modelos expertos que sistematicen el conocimiento especializado y funcionen como una herramienta de apoyo y análisis para diseñar sistemas agroforestales o silvopastoriles óptimos a productores.

# **1 OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

## **1.1 Objetivo general:**

Desarrollar una metodología para analizar la factibilidad de adopción de árboles con múltiples funciones en fincas ganaderas.

## **1.2 Objetivos específicos**

- I. Identificar árboles multifuncionales con potencial de adopción para establecer en potreros a partir de la toma de decisiones de los productores (Portafolios de adopción).
- II. Diseñar potreros ideales multifuncionales con base en un modelo experto en redes bayesianas.
- III. Estimar las ventajas (beneficios) y desventajas (costos) de la implementación de los árboles multifuncionales.

## **1.3 Preguntas de investigación**

- I. ¿Cuáles son las EA que los productores desean retener e incluir en un potrero ideal?
- II. ¿Cuáles son las EA de mayor importancia en la generación de ingresos a los productores?
- III. ¿Es posible diseñar un programa de aplicación para uso de extensionistas que sistematice el conocimiento local y experto para el diseño de potreros ideales en cuanto a combinación de especies arbóreas?
- IV. ¿Cuáles son los beneficios financieros del cambio del potrero actual al ideal entre diversos tipos de productores?
- V. ¿Cuáles otras alternativas al productor le reportan mejores o menores ingresos?
- VI. ¿Cuáles son las principales limitantes, motivaciones y soluciones para implementar el concepto de potrero ideal a nivel de finca?

## 2 MARCO CONCEPTUAL

La Figura 1 es un esquema que refleja en síntesis los elementos necesarios para fundamentar los componentes incluidos en el análisis de la adopción de árboles<sup>1</sup> en pasturas. Posteriormente se abordan cada uno de los tópicos aquí mencionados.

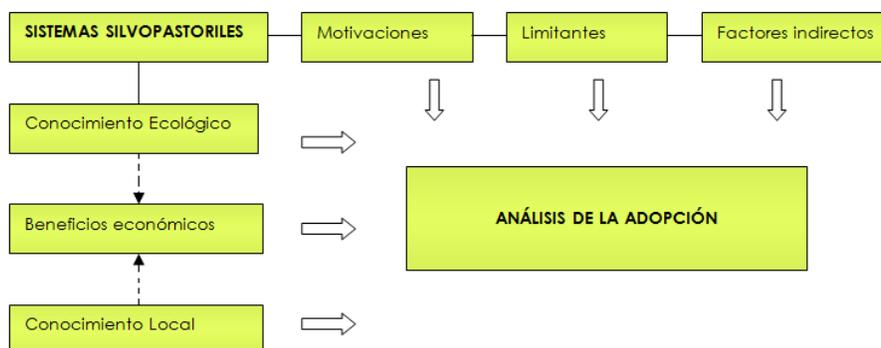


Figura 1. Diagrama conceptual para el análisis de la adopción.

(Las líneas discontinuas indican una relación indirecta).

### 2.1 Sistemas silvopastoriles

Cuando los árboles, arbustos o palmas, interactúan bajo un manejo integral con herbáceas (gramíneas o leguminosas) y animales para maximizar o potencializar los beneficios sociales, económicos y ecológicos se les conoce como sistemas silvopastoriles (Pezo e Ibrahim 1999). En Centroamérica se ha desarrollado un interés en potencializar las prácticas silvopastoriles para diversificar la productividad en las fincas, asegurar la sostenibilidad, y brindar servicios ecosistémicos como protección a fuentes de agua, secuestro de carbono, conservación de la biodiversidad (Ibrahim y Harvey 2003).

Por muchos años se tuvo la concepción que el árbol y el ganado no eran compatibles, donde el potrero ideal de los productores era el que menos árboles podría tener (Casassola *et al.* 2005). Sin embargo, se ha identificado que estos esquemas han

---

<sup>1</sup>Las especies arbóreas serán nombradas con su nombre científico la primera vez nombradas, en adelante se utiliza su nombre común.

venido cambiando y los productores están reconociendo las bondades de tener los árboles en el potrero (Mosquera 2010).

### ***2.1.1 Árboles dispersos en potreros***

Los árboles dispersos en potrero son leñosas (árboles, palmas, arbustos) que usualmente existen por regeneración natural o ya sea debido a un manejo selectivo después de que un bosque fue transformado paulatinamente a pasturas (Pezo e Ibrahim 1999) (Figura 2). Estudios han encontrado que la existencia de árboles dispersos en los potreros beneficia la productividad animal al reducir el estrés calórico, de esta forma los animales pasan menos tiempo descansando debajo de las sombras incrementando el consumo de materia seca (Esquivel *et al.* 2009). Se ha identificado en Nicaragua que potreros con una cobertura arbórea entre el 20 y 32% los animales incrementan el periodo de consumo en cuanto a pastoreo y ramoneo, incrementando la producción de leche en época seca (Bettancourt *et al.* 2003).



*Figura 2. Árboles dispersos en el potrero proporcionando sombra para animales.*

Esquivel *et al.* (2003) en Costa Rica manifiesta que algunos productores suelen manejar árboles con copas grandes a bajas densidades <2% por hectárea en árboles dispersos en potreros. Principalmente los árboles de copa grande son útiles por la sombra que proporcionan y la madera como aprovechamiento final. Los árboles con mayor tamaño de la copa son: *Enterolobium cyclocarpum* (481 m<sup>2</sup>), *Pithecellobium saman* (303 m<sup>2</sup>), seguido por *Guazuma ulmifolia* (141 m<sup>2</sup>). Sin embargo, la amplitud de la copa es un

impedimento para que los productores aumenten densidades en los potreros con árboles de estas características. En cambio árboles como *Acrocomia vinífera*, *Cordia alliodora* y *Tabebuia rosea* son más abundantes en potreros.

### ***2.1.2 Cercas vivas***

Son una categoría de sistemas agroforestales de amplio uso en Latinoamérica. Conceptualmente son hileras de árboles o arbustos plantados en línea o en linderos externos e internos, pueden ser unidos mediante alambres. Se plantan en forma de postes o estacas de plantas que posean capacidad de rebrote (Gutiérrez y Fierro 2006, Budowski 1993, Hernández y Simón 1993) (Figura 3). Las cercas vivas facilitan la conectividad estructural en paisajes desfragmentados permitiendo que los animales silvestres puedan descansar, alimentarse, hacer escalas para llegar a otros usos del suelo y reproducirse. El rol productivo de las cercas vivas en América Central generalmente es el dividir los potreros y servir como rompeviento. Aunque también pueden ser usadas para proveer de forraje, leña, madera y frutos (Harvey *et al.* 2003).



*Figura 3. Árboles en cercas vivas y linderos en Rivas Nicaragua.*

## **2.2 Beneficios económicos**

Estudios *ex ante* y *ex post* en adopción han identificado que los productores tienden a adoptar sistemas agroforestales que representen beneficios inmediatos y con bajos costos de establecimiento antes que beneficios cualitativos como mejoramiento de suelos, o control de erosión. Los productores prefieren árboles que proporcionen bienes

ecosistémicos como leña, madera y frutas porque proveen ingresos económicos al productor (Sirrinc *et al.* 2010; Bellow *et al.* 2008).

Zamora *et al.* (2001b) ha identificado que productores en Nicaragua proporcionan suplemento a vacas paridas durante la época seca como suplemento alimenticio del ganado, algunos de ellos son: follajes (47%), caña de azúcar (27%), pastos de corte y rastros (23%), frutos de árboles (17%), y melaza (20%). El motivo es que la disminución de leche se reduce en un 31% es decir entre 3 a 4,4 kilogramos al día en algunos casos puede ser superior. Acorde al estudio, los productores suelen proporcionar 3,6 kilogramos de frutas al animal de *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman* (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidades estimadas de producción de frutas

Especies arbórea	Producción de Frutas	Consumo diario
<i>Enterolobiumcyclocarpum</i>	37 - 86 kg	2,5 – 3,6 kg
<i>Guazumaulmifolia</i>	20 - 26 kg	2,5 - 3,6 kg
<i>Pithecellobiumsaman</i>	36 kg	2,6 -3,6 kg
<i>Crescentiaalata</i>	25 kg	3,6 - 4,4 kg

Fuente: Zamora *et al.* (2001b), Barrance *et al.* (2003), Esquivel (2007).

Para consumo humano se ha encontrado que un árbol de *Spondias purpurea* puede proporcionar en promedio 100 kilogramos de frutos al año, la fruta es acida pero de buen sabor. Para obtener la fruta el árbol es sacudido y la fruta recogida sobre sacos para evitar que el fruto pierda calidad. Las cualidades de esta EA es que presenta una relativa fácil recolección del fruto y altos rendimientos, esto indica que se pueden seleccionar variedades de buena producción de uso comercial (Barrance *et al.* 2003).

## 2.3 Conocimiento Local

Por conocimiento local se entiende al conocimiento tradicional adquirido por los campesinos o productores acerca de su entorno natural (Gómez 1995). En sistemas ganaderos este conocimiento está relacionado a las preferencias que tienen los

productores respecto a especies arbóreas, la interacción entre seres humanos, pastos, árboles y animales, y en general sobre la visión que tienen los productores respecto al componente arbóreo en sus fincas (Mosquera 2010, Joya *et al.* 2004). El conocimiento local en países es extenso y en muchas ocasiones se usa para tomar decisiones de manejo agrícola relacionado a la adopción o no adopción de mejoras tecnológicas. Cuando las decisiones se basan exclusivamente en el uso del conocimiento local se pueden obtener conclusiones erróneas por ejemplo el uso incorrecto de una mejora tecnológica (Bellon 1997). Sin embargo, al incluir el conocimiento científico en el proceso los dos tipos de conocimiento el local y el experto pueden complementarse para tomar decisiones más acertadas (Chalmers y Fabricius 2007). En Nicaragua se han realizado esfuerzos significativos por documentarlo, estudios realizados por Mosquera (2010) y Joya *et al.* (2004) en donde se documentó el conocimiento de los productores acerca de las especies arbóreas que los productores manejan en las fincas.

## **2.4 Rasgos funcionales**

Los investigadores suelen estudiar los árboles teniendo en cuenta que muchos de sus procesos ecológicos pueden ser observables y medibles mediante características o rasgos funcionales (RF). Estos RF son características morfológicas, ecofisiológicas, bioquímicas y fenológicas en cada especie (Lavorel *et al.* 2007) que pueden incidir indirectamente en el crecimiento, reproducción y supervivencia de los individuos (Violla *et al.* 2007).

Se ha identificado también que productores pueden empíricamente determinar cómo las características de un árbol se relaciona con la capacidad de una planta de proveer los servicios ecosistémicos (Mosquera 2010). Estas características son importantes porque el productor puede tomar decisiones de manejo de los árboles de acuerdo a las características que ellos observan en ellos. En Nicaragua se han hecho significativos esfuerzos por documentarlo (Cuadro 2).

*Cuadro 2. Servicios ecosistémicos y rasgos funcionales.*

SERVICIO ECOSISTÉMICO	RASGOS FUNCIONALES
Frutas a humanos	Sabor dulce, tamaño grande, contenido de vitamina C, producción abundante
Leña	Leña compacta: alta densidad, peso, bajo contenido de humedad. Leña porosa: baja densidad, poco peso, alto contenido de humedad
Madera para Construcción	Madera dura: alta densidad, crecimiento a veces lento, alto peso
Madera para muebles y artesanías	Madera blanda: baja densidad, Rápido crecimiento, poco peso, fibras largas, fibras cortas, presencia de veteados
Sombra para el ganado	Perennifolios, copa amplia
Sombra para el pasto	Copa rala, árbol caducifolio
Protección contra el viento	Tamaño grande, copa densa
Producción de forraje	Hojas suaves, palatabilidad, hojas pequeñas, contenido de proteínas, producción de vainas
Frutas al animal	Sabor dulce, olor a miel, estacionalidad, producción abundante
Mejoramiento de suelos	Hojas suaves, producción de vainas, rápida descomposición, producción de biomasa
Protección de fuentes de agua.	Abundantes raíces, raíces profundas, copa densa, arboles grandes, perennifolios
Control de erosión	Raíces profundas, raíces abundantes, producción de biomasa, árboles grandes densidad de árboles
Resistencia a sequia	Raíces profundas, caducifoleidad, contenido de agua del tallo, producción abundante de semillas, presencia de espinas (indirecto)
Biodiversidad	Copa densa, perennifolios, producción de frutos (preferiblemente dulces)

Fuente: Mosquera (2010).

## 2.5 Motivaciones y limitantes para la adopción

### Motivaciones

El productor hace una serie de manejos silviculturales (raleos, aprovechamientos, plantaciones) que afectan positiva y negativamente la cobertura arbórea y el medio ambiente (Villanueva *et al.* 2003, Harvey y Ibrahim 2003). Se ha identificado una tendencia en que los productores manejan cobertura arbórea seleccionando árboles teniendo en cuenta la sombra que producen, el rápido prendimiento y desarrollo (Muñoz *et al.* 2003). Positivamente los productores tienden a plantar postes vivos cuando tienen disponibilidad de capital y tiempo libre en la finca (Villanueva *et al.* 2003). También se ha encontrado que productores retienen en mayor proporción árboles que posean copas pequeñas y maderables tanto por sus beneficios y necesidades de productos, además también porque no reducen el nivel de pasto comparado con árboles grandes y de copas densas (Esquivel *et al.* 2007).

## **Limitantes**

La falta de capital para la inversión y la falta de atractivo económico es un claro desestimulante para la adopción (Murgueitio *et al.* 2006, Osemeobo 1990). Generalmente los pequeños productores tienden a hacer un uso muy racional de sus recursos escasos, por lo que prefieren ir a lo seguro y lo tradicional antes que en probar nuevas y complicadas tecnologías que le puedan generar incertidumbre sobre sus beneficios. Al implementar una nueva mejora tecnológica los productores requieren una inversión inicial para el establecimiento. Los productores suelen tener un presupuesto limitado por lo que necesitan tener pleno conocimiento de que la tecnología ofrecida les reportará los beneficios esperados (Alonso 2000). Comparado con la inversión agrícola, los retornos que pueden proporcionar los árboles dilatan más tiempo por ejemplo para el caso del *Gliricidia sepium* los productores deben esperar como mínimo dos años para obtener algún tipo de beneficio (Thangata *et al.* 2003, Alonso 2000).

Los sistemas silvopastoriles tienden a ser intensivos en mano de obra que generalmente es escasa (Murgueitio *et al.* 2006). Como alternativa por los productores sugieren que estos sistemas pueden ser desarrollados por pocos y no necesariamente grandes áreas, por ejemplo es posible empezar con pequeñas parcelas de 0,5 y 1 hectáreas (Alonso 2000).

Algunos productores también consideran que la existencia de árboles en los potreros causa un efecto negativo en el desarrollo de pasturas (Marie 2010). Se ha identificado que debajo de la copa de los árboles se disminuye la disponibilidad de pasto significativamente entre un (12 – 72%) en comparación con la que se obtiene a pleno sol (Esquivel 2007). Por ejemplo Zapata (2009) encontró en Muy Muy y Matiguas, Nicaragua que bajo árboles de *Cassia grandis* la cobertura de especies herbáceas varió significativamente con relación a árboles como *Tabebuia rosea*, *Guazuma ulmifolia* y en la pastura abierta. Sin embargo, los productores pueden observar ciertas características específicas en cada EA con que identifican y clasifican los árboles que menos inciden de forma negativa en las pasturas. Estos atributos/rasgos funcionales puede ser: sombra

fresca y hojas pequeñas que permitan la penetración de los rayos del sol, identificados para su inclusión en potreros (Mosquera 2010).

Una limitante considerable para el establecimiento de árboles es el periodo de espera para el establecimiento (Clavero y Suarez 2006). Los productores consideran que los árboles difícilmente sobreviven al pisoteo, y al ramoneo de los árboles en sus primeras etapas de desarrollo. Como alternativas importantes se ha propuesto 1) realizar trasplante de los árboles en vivero a sistemas agrícolas transitorios y rotar a ganadería hasta cuando este tenga la altura y el desarrollo suficiente para poder sobrevivir con el pastoreo; 2) realizar control manual de malezas selectivas permitiendo que los árboles crezcan mediante regeneración natural; 3) sembrar estacas de árboles que poseen características especiales de rebrote y que tengan una alta probabilidad de éxito.

## **2.6 Factores indirectos para identificar difusores de mejoras tecnológicas**

Se han realizado significativos esfuerzos por explicar las razones por las cuáles los productores adoptan o no adoptan mejoras tecnológicas. Pattayanak *et al.* (2003) realizó un meta análisis en cerca de 120 estudios desarrollados sobre adopción en sistemas agroforestales, se identificaron varias variables como significativas en la adopción de sistemas agroforestales. Los productores que tienen mayores tierras son más propensos a experimentar con mejoras tecnológicas. Esto debido a que el tener tierras en mayor proporción hace que los productores tengan más tolerancia al riesgo, siendo la capacidad de tener tierras un indicador del nivel de riqueza que tiene un productor. También la cantidad de ganado que tiene una familia en una finca funciona como un indicador de riqueza.

Los estudios de adopción generalmente no incluyen categorías de clasificación entre productores, solo un 10% de los estudios analizados midieron el estatus socioeconómico del productor. Sin embargo, en esta investigación se realiza un énfasis en agrupar a los productores por sus características socioeconómicas para agrupar factores que inciden en la adopción. Es posible agrupar a productores por su capacidad económica

y que esta categorización sea ideal para determinar el tipo de productor del cual estamos investigando, ya que al definir su estatus socioeconómicos podemos tener una idea de las características personales y de la finca como un indicador de la tolerancia al riesgo que puede tener un productor.

## **2.7 Redes bayesianas**

Las redes bayesianas (RB) son modelos matemáticos que gráficamente representan correlaciones y causalidades entre variables. Cada variable es presentada gráficamente como un nodo que a su vez contiene estados, la causalidad entre nodos es representada mediante flechas dirigidas (McCann *et al.* 2006, Naim *et al.* 2008). La idea base del modelaje en RB es el poder explicar mediante probabilidades el nivel de incertidumbre de un problema de estudio (Varis y Kuikka 1997).

Las RB tienen una serie de ventajas en el modelaje y aplicación que las hacen útiles para analizar incertidumbre, análisis de caso de la vida real y decisiones de manejo (Heckerman 1995). Además proporcionar facilidad para manejar y relacionar datos incompletos o con muestras pequeñas y aún así realizar conclusiones de la información suministrada (Myllymäki *et al.* 2002).

La causalidad en los modelos bayesianos ha sido objeto de críticas por ser considerados subjetivos, y también por representar sin precisión el conocimiento incierto mediante probabilidades numéricas. Aún así los modelos han sido eficaces al representar causalidades en modelos probabilísticos. La subjetividad de los modelos puede ser controlada al usar el razonamiento científico. Sí se logra construir modelos bayesianos que logren imitar el razonamiento humano o científico, es posible obtener explicaciones comprensibles en los resultados (Druzdzel 1993, Druzdzel 1996).

Los análisis realizados con el uso de redes bayesianas es escaso aún (Uusitalo 2006). Sin embargo, se pueden citar estudios como el de Varis y Kuikka (1997) en donde se desarrolló modelos utilizando cálculos bayesianos que permiten realizar predicciones probabilísticas en la evaluación de las poblaciones amenazadas de salmón salvaje en el

Mar Báltico para tomar decisiones teniendo en cuenta el principio de precaución. Kragt *et al.* (2009) desarrollaron modelos de calidad de agua, información ecológica, datos económicos y determinaron relaciones causales entre características biofísicas y valoración de bienes que no tienen precio en el mercado. Barton (2008) relacionó costos y beneficios que no tienen precio en el mercado con decisiones de manejo en cuenca. Kuhnert *et al.* (2010) sistematizaron redes bayesianas con el conocimiento de expertos cuando existen limitantes y recursos en obtener más información para modelar temas relacionados a la gestión de la biodiversidad. En el tema de adopción de sistemas Joshi *et al.* (2001), modelaron factores socioeconómicos que inciden en las decisiones de manejo agroforestales de productores en Jambi (Indonesia). En Centro América Villanueva *et al.* (2003) modelaron RB con información de productores en fincas de Cañas en Costa Rica para identificar los factores considerados en la toma de decisiones de los productores y que indiquen en la cobertura arbórea de la finca.

El reto de proponer nuevos desarrollos metodológicos como es en el caso de la aplicación de las RB en temas ambientales radica en la aplicabilidad, y la capacidad del que la desarrolla de hacer que las demás personas puedan aceptar la metodología (Varis y Kuikka 1999). Se debe tener en cuenta a la hora de diseñar modelos que existe dificultad en las personas para pensar en términos de distribución condicional, con bastantes variables (Morgan and Henrion 1990, citado por Uusitalo 2006) es por esto que resulta práctico escoger las variables más importantes, sintetizar los modelos y de ser necesario descartar las variables de menor importancia (Armstrong *et al.* 1975).

### **3 MÉTODOS**

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

Rivas es uno de los 18 departamentos que componen Nicaragua. Cuenta con una temperatura promedio anual (entre los años 1971-2000) de 26,1 °C y la precipitación promedio anual es de 1519 mm (INETER, 2000). La elevación se encuentra entre los 100 a 200 metros sobre el nivel del mar y se identifican dos tipos de suelos vertisoles y molisoles (Sánchez *et al.* 2004). Rivas pertenece a la región Pacífico de Nicaragua en

donde se presentan dos estaciones, una estación seca de noviembre a abril y una de lluvias de mayo a octubre (INETER 2000) (Figura 4). La investigación se desarrolló en tres localidades cercanas a la capital Rivas estas son: Mata de Caña, Cantimplora, y La Chicolata.

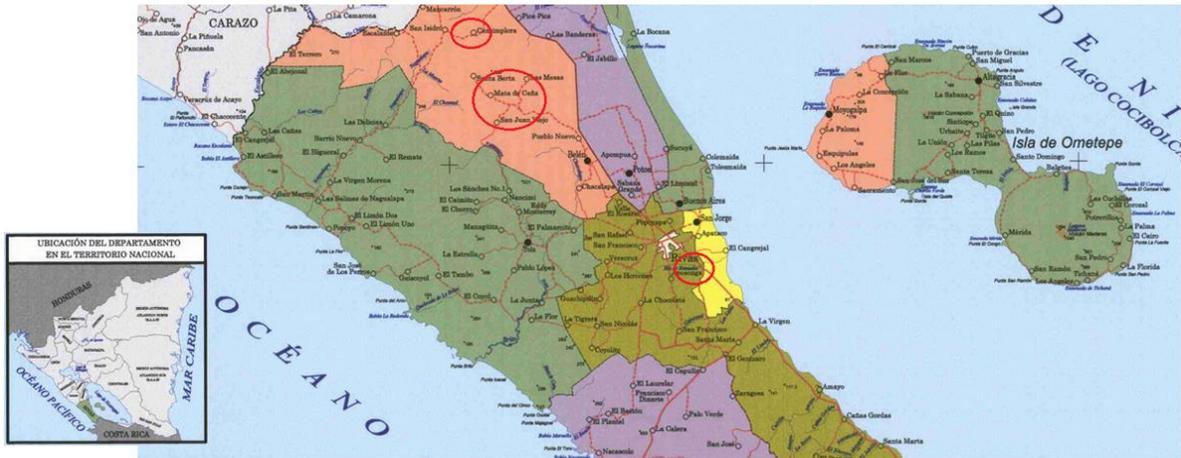


Figura 4. Mapa de Rivas en Nicaragua<sup>2</sup>

El paisaje de Rivas es principalmente de uso ganadero. El paisaje es un conjunto de parches aislados que conforman un mosaico en donde se integran pequeños bosques riparios y manejados en medio de potreros y cercas vivas (Figura 5). Los árboles dispersos en potreros y cercas vivas son los arreglos predominantes en la zona. En promedio una finca presenta 0,7 km de cerca viva y 16,2 árboles por hectárea de potrero (Sánchez *et al.* 2004).



Figura 5. Paisaje ganadero de Rivas Nicaragua.

<sup>2</sup> Tomado de: Instituto Nicaragüense de Estudio Territoriales.

Las especies arbóreas más abundantes en la zona son *Cordia alliodora* (22,7%), *Guazuma ulmifolia* (15,2%), *Tabebuia rosea* (7,1%), *Byrsonima crassifolia* (6,6%), *Gliricidia sepium* (6,49%), la densidad de árboles en Nicaragua depende de la dependencia de la familia a la finca, el manejo de las pasturas y de la dinámica de uso del suelo. El productor usa ampliamente la leña para cocinar sus alimentos (95%), esto incide en la retención de árboles en pasturas (Ibrahim *et al.* 2005).

### 3.1.1 Características socioeconómicas de los productores

De acuerdo al estudio realizado por Marie (2010), los productores de la región pueden ser clasificados mediante criterios socioeconómicos relacionados a las estrategias del productor. Tres marcadas tendencias es posible identificar en Rivas Nicaragua (productor subsistencia, intensivo, extensivo) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características socioeconómicas por tipos de productores en Rivas.

Nombre variable	Productor Extensivo	Productor Intensivo	Productor Subsistencia
Tamaño de Finca	Tamaño de finca superior a 40 hectáreas	Tamaño de la finca de 6 a 40 hectáreas	Tamaño de la finca de 6 a 20 hectáreas
Tipo mano de obra	Contratar mano de obra permanente u ocasional y Permanente.	Contrata mano de obra ocasional y es más dependiente de la familiar.	Mano de obra Familiar y en ocasiones es vendida
Destino de producción	El destino de la producción sea la venta y el autoconsumo principalmente.	El destino de la producción es el consumo y la venta en caso de necesidad.	El destino de la producción es el consumo y la venta en caso de necesidad.
Cantidad de ganado	Poseer un amplio número de cabezas de ganado entre (30 y 100).	Poseer más de 10 cabezas de ganado aproximadamente en la propiedad y menos de 40.	Poseer entre 6 y 20 cabezas de ganado principalmente
Fuente de ingreso principal	El ingreso principal del productor este concentrado en la agricultura o la ganadería o ambas en mayor o menor grado.	Agricultura o ganadería con un enfoque de autoconsumo y orientado al mercado.	Principalmente agricultura

Tierras de descanso	Poseer amplias tierras de descanso como bosques manejados, tacotales, bosques riparios mayor a 40 hectáreas.	Productor poca o sin tierras de descanso.	Productor poca o sin tierras de descanso.
---------------------	--	---	---

### 3.2 Idea central de la metodología

La metodología consiste en recolectar información que alimente una red causal para posteriormente identificar especies arbóreas con las características adecuadas para productores. En la Figura 6 se presenta un diagrama de la estructura base de las dos redes bayesianas finales de la investigación. Una vez la información este incluida en una red causal previamente diseñada en el programa Hugin Expert (HE), es posible realizar análisis en dos direcciones lo que se conoce como análisis inductivos y deductivos en RB. Por ejemplo, es posible inducir las características de productores que desean ciertos niveles de bienes y servicios de los árboles, o deducir que composición de árboles desean productores con ciertas características socioeconómicas.

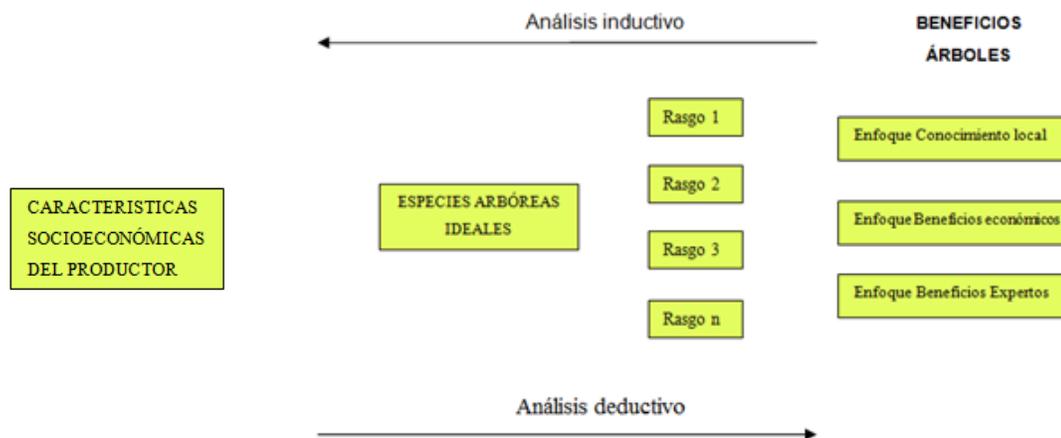


Figura 6. Diagrama estructural para el análisis de la información.

La explicación de los principales componentes de la RB se exponen a continuación:

#### Características del productor

La RB contiene información relacionada a características socioeconómicas del productor y de la finca. Esta información es útil para clasificar a productores de acuerdo a los objetivos del productor en la finca. Para esta clasificación y las variables incluidas en el

modelo se trabajó con la clasificación por tipologías de productores desarrollada en el estudio de Marie (2010) en la zona. Las variables incluidas en el modelo son: tipo de localidad, tamaño de la finca en hectáreas, cantidad de ganado, tipo de mano de obra, fuente de ingresos principal.

### **Especies arbóreas en potrero ideal**

Se incluye las EA más importantes identificadas por los productores en un potrero ideal diseñado por ellos mismos. El productor diseñó el potrero ideal a partir de un potrero representativo de su finca y lo transformó mediante una maqueta prediseñada hasta obtener el potrero ideal. Con la información aglomerada de los árboles existentes en los potreros ideales se obtuvo frecuencias para cada EA. Estas frecuencias están condicionadas al tipo de informante de acuerdo a sus características socioeconómicas.

### **Rasgos/atributos Funcionales y beneficios de los árboles (conocimiento local)**

Se tomó de las bases de datos del proyecto FUNCiTree el ranqueo<sup>3</sup> realizado por Mosquera (2010), información sobre la relación entre EA, rasgos/atributos funcionales y servicios ecosistémicos ranqueados (leña, sombra para animales, nutrición animal, protección fuentes de agua, mejoramiento de suelos, resistencia a sequía).

### **Rasgos Funcionales y beneficios de los árboles (Conocimiento experto)**

Se recolectó información mediante encuestas a expertos en ecología funcional donde se determinó la relación entre rasgos funcionales y beneficios ambientales desde la perspectiva de los expertos.

### **Beneficios financieros de los árboles**

La RB contiene información sobre retorno de ingresos de los árboles identificados para un potrero ideal a una hectárea. La RB realiza las operaciones matemáticas<sup>4</sup> necesarias dependiendo de la configuración del potrero deseado. Esta información fue

---

<sup>3</sup> Ranqueo se refiere a la valoración mediante características funcionales de un grupo de especies arbóreas en la prestación de servicios ecosistémicos prioritarios.

<sup>4</sup>Durante el desarrollo de la metodología las formulas se explican de la misma forma en la red bayesiana se presenta un resumen más detallado de la construcción de la red.

levantada durante el desarrollo de esta investigación con productores y con información secundaria.

### **3.3 Recolección de información**

#### ***3.3.1 Entrevistas a productores***

##### **Selección de Fincas**

Para recolectar la información se realizaron entrevistas semiestructuradas a 55 fincas de las 76 fincas seleccionadas por Mosquera (2010) para el estudio de ranqueo de las especies arbóreas. La razón fundamental para darle el mismo seguimiento, se debe a que en la muestra anteriormente seleccionada se realizó un ranqueo participativo de especies, y esta información fue utilizada en este estudio para identificar EAM y rasgos funcionales en potrero ideal por tipos de servicio ecosistémico.

##### **Selección del potrero**

En la visita a cada productor se identificó con ayuda del productor el potrero representativo del área ganadera de la finca o homogéneo en cuanto características (densidad de árboles, diversidad de árboles) a otros potreros de la finca del productor especialmente teniendo en cuenta que no sea un potrero atípico. Una vez que el potrero fue seleccionado, se procedió a realizar el conteo de los árboles, y el reconocimiento de las especies tanto en cerca viva como dispersos en potrero superior a 10 cm de diámetro. También se Georeferenció (GPS) las coordenadas de los extremos del potrero con el propósito de medir su tamaño en metros cuadrados (Figura 7).



*Figura 7. Potrero representativo de un productor de la localidad de Cantimplora.*

## Diseño de maqueta portátil

Para recolectar la información se propuso una herramienta facilitadora que consiste en una maqueta que representa un potrero del productor. Con la asesoría de un asistente con conocimiento local de los árboles y la lista de las especies más abundantes generada en la investigación de Mosquera (2010) se procedió a recolectar imágenes computarizadas ya sea de páginas de internet como MOBOT<sup>5</sup> (<http://www.tropicos.org/Project/FM>) o tomas individuales con cámara de las especies arbóreas en la zona. Aproximadamente 30 imágenes de cada especie (en ocasiones hasta 60) se imprimieron con papel cartulina. Cada imagen tenía un tamaño aproximado de 2 X 2 cm y fue adherido a un palillo mediante dos grapas de tal forma que no se soltaran de la imagen, cada imagen tenía el nombre común en la parte superior.

Además una tabla de icopor o ploroplax de 1 cm de espesor con dimensiones iguales a una hoja de tamaño A1<sup>6</sup> fue diseñada a la medida. Luego se construyó un mesón portátil que abre y cierra para evitar la humedad en época lluviosa en donde se colocó el icopor y se adherían las figuras de los árboles uno a uno.

Antes de la entrevista la maqueta fue preparada tal como está el potrero actual. Una vez lista la maqueta, se le preguntó al productor si reconocía los árboles y la ubicación de los árboles en la maqueta tal como los tiene ubicado en el potrero (Figura 8).



Figura 8. Ejemplo de una maqueta

---

<sup>5</sup> Flora Mesoamericana

<sup>6</sup> Hoja A1: 594 × 841 mm

Una vez el reconocimiento del potrero está superado, se procedió a explicarle al productor el objetivo del ejercicio. Se le pidió al productor hacer los cambios necesarios hasta llegar al potrero con todas las características deseadas para llegar al potrero ideal (Figura 9)<sup>7</sup>. El productor tuvo opción de visualizar y modificar su potrero teniendo en cuenta composición, densidad, arreglo espacial y tamaño. Algunos ejemplos de la entrevista introductorias se indicaron a continuación (Anexo 1, Entrevista semiestructurada):

- a. ¿Sí usted deseara tener un potrero ideal, para ser ampliado en otros potreros en su finca que le añadiría y que le quitaría a este?
- b. ¿Qué beneficios le trae a usted tener esta especie arbórea en sus potreros?
- c. ¿Cuál fue la razón por la cual eliminó esta especie arbórea del potrero?

Se indagó la distancia mínima en metros entre árboles que desea incluir en cerca viva y árboles dispersos en potrero. Con la información del potrero en GPS (instrumento manual para tomar puntos geográficos) se determinó el tamaño en metros cuadrados del potrero. Se calculó la cantidad máxima de árboles que el productor sugiere teniendo en cuenta las distancias mínimas sugeridas por el productor.

Posteriormente se cuantificaron las EA identificadas en los potreros y se estandarizaron a nivel de hectárea los árboles de las cercas vivas y árboles dispersos para toda la muestra.

Fórmula aplicada para convertir árboles de un potrero del productor a hectárea (promedio aproximado):

$$F = (H/T)$$

$$Y = (N/F)$$

Donde:

F= Factor de conversión

Y= Número de árboles en el potrero a nivel de hectárea

T= Tamaño de una hectárea (10.000m<sup>2</sup>).

---

<sup>7</sup> Durante la presentación de resultados se tomó cuatro estudios de caso de acuerdo a lo observado en campo con los productores en la construcción del potrero ideal.

H= Tamaño del potrero original  
 N= Número de árboles en potrero

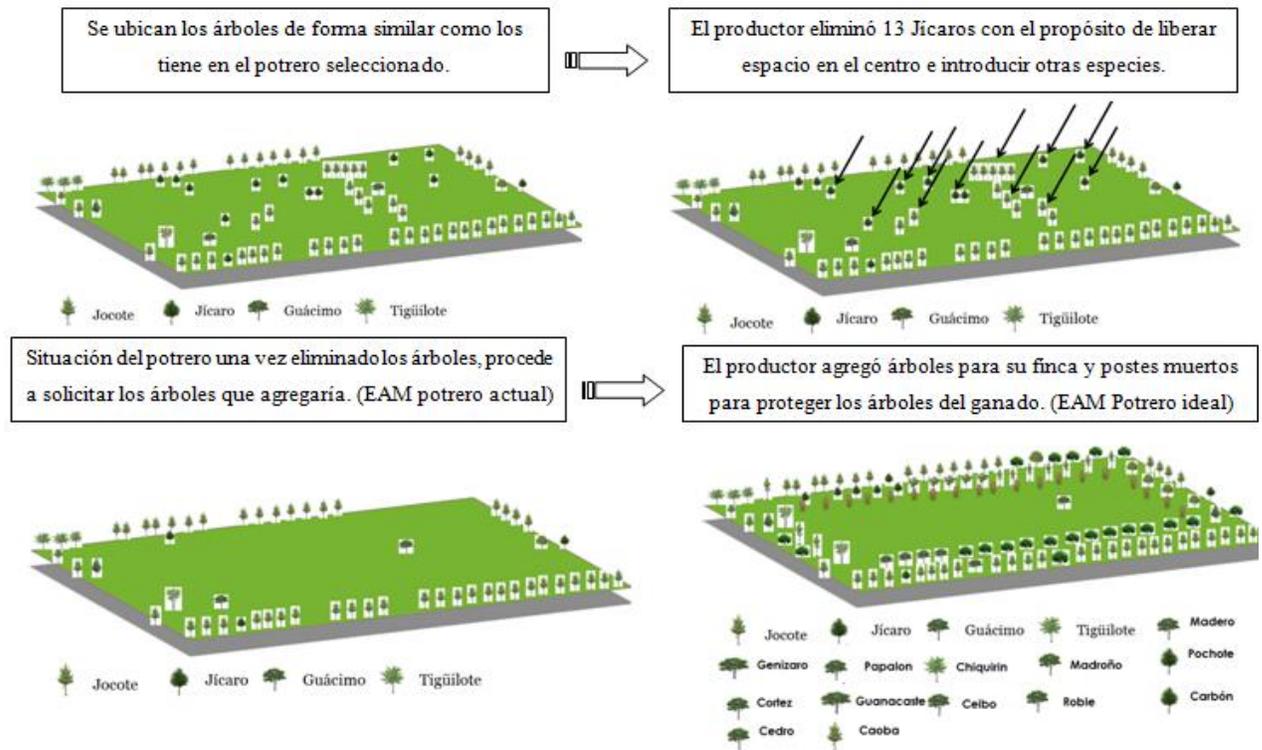


Figura 9. Ejemplo visual de un estudio de caso con maqueta.

Se escogió tres estudios de caso entre las 55 elaboradas para cada una de los tres tipos de productores en campo. Los resultados de los estudios de caso se analizan por separado en el documento.

### 3.3.2 Información sobre ingresos y costos de los árboles

Para recolectar la información se procedió de la siguiente forma:

- I. Durante los ejercicios con la maqueta se identificó a ocho productores (Fase de generalización) que tenían conocimiento y experiencia sobre costos de implementación y aprovechamiento de árboles. Se sistematizó información básica de forma indirecta con relación a los rendimientos financieros desde la perspectiva del productor. Se seleccionó a cuatro productores entre los ocho teniendo en cuenta el mayor grado de conocimientos se procedió a identificar costos e ingresos de implementación y aprovechamiento con previa encuesta diseñada los otros cuatro productores proporcionaron información adicional que complementó la información (Ver Anexo 2).

- II. Las especies que proporcionan bienes ecosistémicos fueron preguntadas y se encontraron 13 EA (*Guazuma ulmifolia*, *Gliricidia sepium*, *Pachira quinata*, *Tabebuia rosea*, *Cordia dentata*, *Cordia alliodora*, *Spondias purpurea*, *Crescentia alata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Diphysa robinoides*, *Pithecellobium saman*, *Cedrela odorata*, *Simarouba glauca*) de las cuales fue posible encontrar usos y cuantificarlos. El propósito de la cuantificación es principalmente identificar cuál es la percepción que tienen los productores en cuanto a los ingresos potenciales esperados de los árboles (Cuadro 4).

*Cuadro 4. Información de ingresos y costos de árboles (n=8)*

TEMA	INFORMACIÓN
Estimación de costos del potrero ideal desde la perspectiva del productor	Costos de semilla, esfuerzos plantación, costos unitarios bolsa, estaca por longitud estándar con alambre, protección del árbol. Con base en la experiencia de la situación actual del potrero.
Beneficios cuantitativos de los árboles	Cantidad de madera (postes, vigas, etc) por especie a precios de mercado perspectiva del productor.

### **Costos de implementación**

Con preguntas pre-elaboradas a informantes claves se identificaron costos para la inclusión de árboles de acuerdo a las prácticas regulares de los productores. Algo de la información suministrada se presenta a continuación:

#### **Cercas vivas**

- I. Costos unitarios de recolección de estacas para incluir árboles en cercas vivas.
- II. Costos de implementación de las estacas por metro lineal (alambre, clavos, mano de obra) de acuerdo a los estándares del productor.

#### **Árboles dispersos en potrero**

- I. Costos de semilla en campo (Anexo 6).
- II. Costos de jornales e insumos para establecer vivero.
- III. Costo de establecimiento y mantenimiento hasta el segundo año de un árbol.

### **3.3.3 Entrevistas a expertos**

Se realizaron 8 entrevistas a profesionales especializados en trabajos relacionados al estudio de los rasgos funcionales con especies arbóreas. El objetivo de la entrevista

consistió en determinar la relación existente entre rasgos funcionales y servicios que prestan los árboles a los productores. (Anexo 7. formato entrevista).

### 3.4 Análisis de la información

#### 3.4.1 Funcionamiento teórico de las redes bayesianas

Las redes bayesianas se representan en forma gráfica mediante nodos. La Figura 10A, se detalla dos nodos de especies arbóreas (nodo padre) y servicios ecosistémicos (nodo hijo), en la Figura 10B se conectan los dos nodos mediante una flecha dirigida indicando que el nodo servicio ecosistémico está condicionado al nodo especies arbóreas. En la Figura 10C, se indica los estados de los nodos y sus probabilidades. La Figura 10D, se determina cuáles son las especies arbóreas con mayor probabilidad de suministrar el servicio ecosistémico sombra para los animales<sup>8</sup>. Una de las ventajas de las RB es el poder calcular no solo la distribución de probabilidad del nodo hijo dado el nodo padre, sino también la distribución de probabilidad del nodo padre dado el nodo hijo.

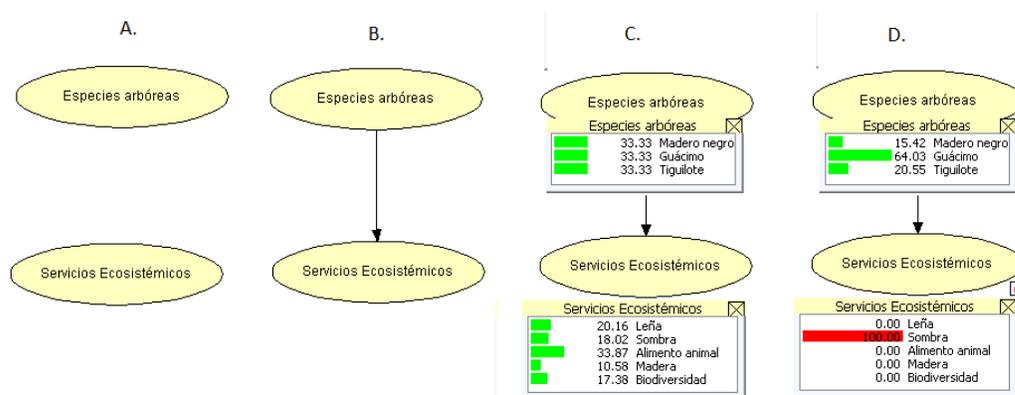


Figura 10. Explicación de una Red bayesiana de dos nodos<sup>9</sup>.

Una regla de importancia en redes bayesianas es que los nodos o grafos son acíclicos dirigidos. En la Figura 11 imagen (a), es un grafo ciclo, imagen (b) y (c) no lo

<sup>8</sup> Los resultados de los estados de las variables pueden ser representados mediante porcentajes de 0 a 100% o ranqueando el estado más probable y valorando a los demás estados en comparación al estado más probable.

<sup>9</sup> A) dos nodos, B) una flecha dirigida condiciona a dos nodos, C) se indican los nodos con sus posibles estados, D) análisis inductivo dado servicio ecosistémico sombra.

son. La segunda y tercera imagen son ejemplos de redes bayesianas la primera no lo es (Lauritzen *et al.* 1988).

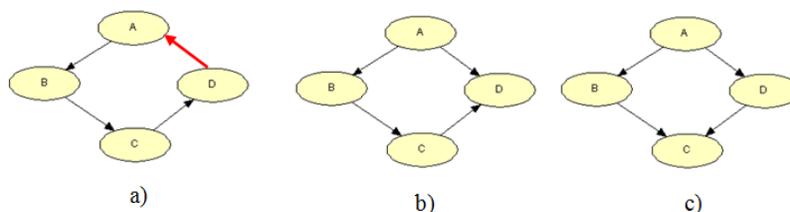


Figura 11. Vínculos entre nodos correctos

El análisis a continuación es una adaptación de algunas reglas para el modelaje de redes causales adaptado de Jensen *et al.* (2007) a esta investigación<sup>10</sup> (Figura 12):

- I. La red causal (a) es conocida como conexión convergente. El nodo título de propiedad contiene los estados (propia, alquilada), el nodo incentivos de protección contiene los estados (con/sin), para el nodo árboles protegidos los estados son (protege/no protege). En este caso el conocimiento de la existencia de títulos de propiedad no tiene relación si ha recibido incentivo para proteger los árboles. En cambio proteger los árboles resulta más probable que sea por incentivos que por tener títulos de propiedad. Si no existiese información en el nodo protección de árboles no se podría saber la influencia o relación entre títulos de propiedad e incentivos a la protección de árboles.
- II. La red causal (b) es conocida como conexión serial. La red está compuesta por el nodo cosecha de mango (buena/mala), precio de los frutos de mango (altos/bajos), temporada (invierno/verano). En esta ocasión de no conocerse los precios del mango, el tener información sobre la cosecha de mango siendo buena y dado que es en verano o temporada baja entonces mi creencia sobre el comportamiento de los precios del mango se fortalecen debido a un razonamiento económico de oferta y demanda.
- III. La red causal (c) cuenta con los nodos tipo de productor (grande/pequeño), destino de la producción (autoconsumo/venta), tamaño de finca (grande/pequeña), cantidad de ganado (muchos/pocos). Si no sabemos el tipo de productor entonces el conocimiento de que se tenga sobre tamaño de finca (grande) incrementa la creencia de que el productor tenga poder económico y clasifique como grande.

<sup>10</sup>La adaptación se hizo con ejemplos propios Figura (b) y (c), y Figura (a) adaptado por un taller hecho para el modelamiento de RB en el 2010 (Barton 2010: Workshop: Senegal).

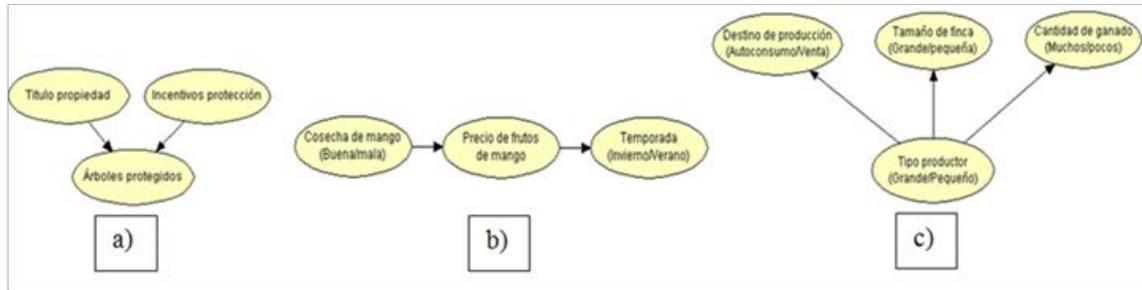


Figura 12. Tres tipos de redes causales.

Se trabajó con redes llamadas Redes Bayesianas Orientadas a Objetos. El programa computacional HE permite la modelación de una gran cantidad de subredes interrelacionadas entre sí, por medio de tablas condicionales de probabilidad conectada por interfaces y vinculo a subredes. Todo este modelo estructurado por jerarquías que permite organizar el conocimiento local, la información de expertos, relacionado a temas ambientales, económicos y sociales es conocido como Redes Bayesianas Orientadas a Objetos (Koller 1997). La Figura 13, muestra en un diagrama como una red bayesiana superficial (arriba), está condicionada a otras subredes bayesianas abajo interconectado mediante interfaces.

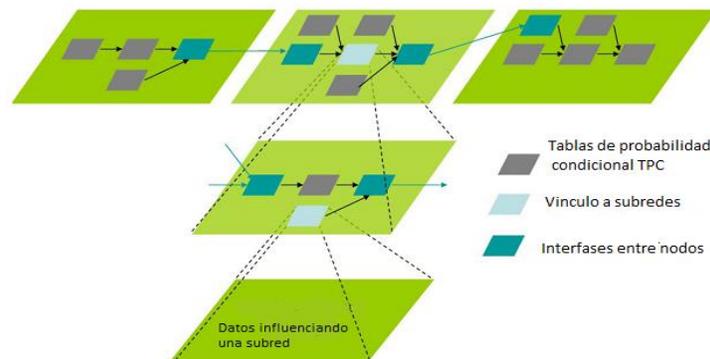


Figura 13. Redes Bayesianas Orientadas a Objetos<sup>11</sup>

En esta investigación se escogió el uso de redes bayesianas porque:

- I. Se puede integrar información incompleta o imperfecta.

<sup>11</sup> . Tomado de Barton et al. (2008), Modificado al Español.

- II. Es posible incorporar análisis económicos de factibilidad bajo incertidumbre en modelos agroecológicos.
- III. Una vez la red bayesiana esta completada permite ser analizada por personas sin necesidad de una fuerte capacitación en el programa.

### ***3.4.2 Beneficios financieros de las especies arbóreas***

Se diseñó un modelo financiero en hojas de cálculo a términos constantes del 2011 y teniendo en cuenta los ingresos netos que obtiene el productor de los árboles desde su perspectiva. Se recolectó información bibliográfica para soportar los datos para complementar la información. En ocasiones que las cantidades (costos de manejo, adopción de árboles) suministradas por el productor fueran inferiores a las de la bibliografía. Se usó el conocimiento del productor para crear un modelo más ajustado teniendo en cuenta la capacidad en mano de obra del productor.

A continuación los supuestos con los cuáles se construyó el modelo financiero.

#### **SUPUESTOS:**

- I. Los productores entrevistados (4) representaron el conocimiento generalizado de los habitantes de la zona.
- II. Los frutos de los árboles para consumo humano como *Spondias purpurea* son cuantificados en 50% bajo la premisa de que la otra mitad la comparten con sus vecinos o se pierde.
- III. Todos los árboles son aprovechados a un tamaño comercial desde la perspectiva del productor que ronda de 20 a 30 años según la EA, aunque para algunos árboles el periodo puede ser inferior (Anexo 3). No se tiene en cuenta el costo de oportunidad del dinero para la inversión en la inclusión de los árboles, y los análisis son en términos constantes.
- IV. La tasa de cambio de córdobas a dólares es de 22,75 córdobas por un dólar de Norteamericano a diciembre del 2011. Los valores están presentados y analizados en Dólares Norteamericanos<sup>12</sup>.

#### **3.4.2.1 Valorar ingresos financieros de los árboles**

El modelo financiero se desarrolló teniendo en cuenta la composición y abundancia de la muestra a una hectárea en la situación en potrero actual (línea base) y

---

<sup>12</sup> Las unidades están separadas por punto y las fracciones de entero por comas.

con potrero ideal con inclusión de EA. Las proyecciones financieras se trabajaron teniendo en cuenta los días que dura la época seca en Rivas que generalmente es de febrero a mayo (el periodo más fuerte) en total se consideran 120 días al año. Se realizó esta abstracción para valorar los beneficios indirectos adicionales de las EA como frutas al animal y forraje y compararlo con la situación sin suplemento de estos servicios ecosistémicos se valoró teniendo en cuenta el efecto indirecto en la producción de leche y la capacidad de suplementación de vacas en producción en una hectárea. La proyección financiera del modelo fue estático (antes vs después) se consideraron los beneficios de los árboles ya establecidos.

El alimento que proporcionan EA como *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman*, *Cordia dentata* se valoró como un beneficio para el productor entre la diferencia que existe en la producción de leche sin suplementos alimenticios y con suplementos alimenticios que proveen las EA como frutas al animal, y para *Guazuma ulmifolia* también forraje. El beneficio monetario se cuantificó como el incremento aproximado de 1 litro de leche en la producción como resultado de alimentar a las vacas con frutas de los árboles, en comparación a la situación de no alimentarlos con no alimentarlos con estos frutos en época de verano (Fandiño 1998 Citado por Zamora *et al.* 2001, Zamora *et al.* 2001b).

Se tomaron en cuenta los siguientes criterios para diseñar un modelo financiero para valorar bienes ecosistémicos por EA a nivel de hectárea: los costos de implementación para cercas vivas tanto como para árboles dispersos en potreros; los costos de extracción de leña y madera se evaluaron como perspectiva del conocimiento local sobre cantidades extraídas de árboles a un tamaño mediano. Los costos de extracción se cuantificó como alquiler de mano de obra técnica, en donde el subcontratado cuenta con su instrumento de trabajo tal como sucede en la zona. Se consideró que el valor de la madera es la misma ya sea si se usa para autoconsumo o para venta. La leche, leña y la madera se venden libre (el 100% de los productos) de costos de fletes en finca (Anexo 3 y 4 cantidades y precios de los derivados de los árboles).

Los pasos seguidos hasta llegar a los resultados finales fueron:

- I. Se cuantificó el potrero actual e ideal en composición y abundancia para toda la muestra y se trajeron los resultados a hectárea (con fines de estandarización). Debido a que algunas EA fueron poco abundantes el valor estandarizado para todos los potreros a hectárea puede ser inferior a uno sin embargo para el caso de árboles de copa amplia que se encontraron en la mayoría de los potreros como *Enterolobium cyclocarpum*, y *Pithecellobium saman* se estandarizó como un valor entero igual a 1 por ser importantes en la realidad del productor.
- II. Se estimó el ingreso promedio por venta de leche y se asumió los costos teniendo en cuenta que la mano de obra familiar es un costo implícito de las actividades de la finca para el productor.
- III. Se identificó el ingreso promedio por venta de leche de un productor por hectárea teniendo en cuenta la cantidad de ganado que pueda suplementar la configuración de árboles en el potrero como forrajes, y frutas al animal.
- IV. Para determinar los beneficios de los suplementos forrajeros y frutas al animal de EA como *Guazuma ulmifolia*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman*, *Crescentia alata* se valoró como suplemento para el productor teniendo en cuenta el efecto en la producción de leche. La producción de leche en la zona en las épocas lluviosa y seca es de 8 y 5 litros respectivamente de acuerdo a los informantes clave, con suplemento de remantes del arroz y otros insumos una vaca puede pasar de producir 5 litros a 8 litros es decir 3 litros de diferencia coincide con los resultados de algunas fincas en los estudios de Pérez (2010). Para nuestro caso se tomó como referencia el estudio de Zamora *et al.* (2001) donde manifiesta incrementos de 1,1 litros con suplementos de puesta en fruta bajo sombra de EA como *Pithecellobium saman*, y del 40% de *Crescentia alata* con mayor potencial. Para redondear el indicador y ser modestos se trabajó con un rendimiento de 1 litro con suplemento de EA con dosis recomendadas y molidas.
- V. Se determinó los ingresos para la venta de leña (sin cargos de transporte), madera (sin cargos de transporte) y venta de derivados de los árboles como frutas al humano, artesanías.
- VI. Se identificó la capacidad de suplemento que tiene el potrero ideal (promedio) con los árboles antes y después en días. La capacidad de carga de vacas paridas por hectárea está en función de la disponibilidad de la cantidad de suplemento. Por lo tanto si hay más suplemento alcanzan más animales, por tal razón la producción de leche aumenta así como el margen de retorno de ingresos de los bienes ecosistémicos planteados.
- VII. Se identificaron los ingresos netos unitarios de las especies arbóreas multifuncionales con mayor potencial de adopción.
- VIII. Se encontraron ingresos unitarios mínimos y máximos teniendo en cuenta un análisis de sensibilidad financiero basado en cantidades de productos derivados de los árboles. Esto se hizo para incorporar incertidumbre a los datos y así dar mayor

variabilidad a los análisis, ya que esta información fue incorporada en el modelo bayesiano experto.

### ***3.4.3 Diseño de un modelo experto para el análisis de la información***<sup>13</sup>

Para el análisis de la información, se diseñó una red bayesiana orientada a objetos o en otras palabras redes bayesianas influenciadas a otras subredes de información financiera que contiene información sobre ingresos y costos de árboles en potrero ideal.

La red causal (Figura 14<sup>14</sup>) sistematiza información de características de un potrero ideal del productor teniendo en cuenta los beneficios actuales versus futuros. Los nodos color verde oscuro y amarillo hacen referencia a información primaria de la presente investigación, los nodos color rojo a conocimiento especializado, los nodos color azul a información financiera, nodos color verde fosforescente a información de conocimiento local.

Los beneficios actuales corresponden a los ingresos que el productor percibe en el actual sistema ideal, mientras que futuros a los ingresos adicionales que el productor esperaría obtener con los cambios esperados. Para el diseño de esta red bayesiana se tomó la siguiente información:

- I. Información sobre características del productor y de la finca fueron asociadas a tipologías de productores.
- II. Configuración en composición y abundancia de EA en potrero actual y adicional en cercas vivas y árboles dispersos en potreros.
- III. Ingresos unitarios y costos unitarios fueron asociados a las densidades de cada especie y se determinó los ingresos netos actuales y adicionales que el productor esperaría obtener.
- IV. Se integró a esta red la subred de conocimiento local y experto para determinar la diferenciación en cuanto a beneficios cualitativos.

---

<sup>13</sup> El funcionamiento del modelo es explicado en mayor detalle durante la explicación de los resultados.

<sup>14</sup> El nombre de origen de archivo de la red bayesiana que es utilizada en todos los análisis de la investigación es: redmodeloexperto.oobn

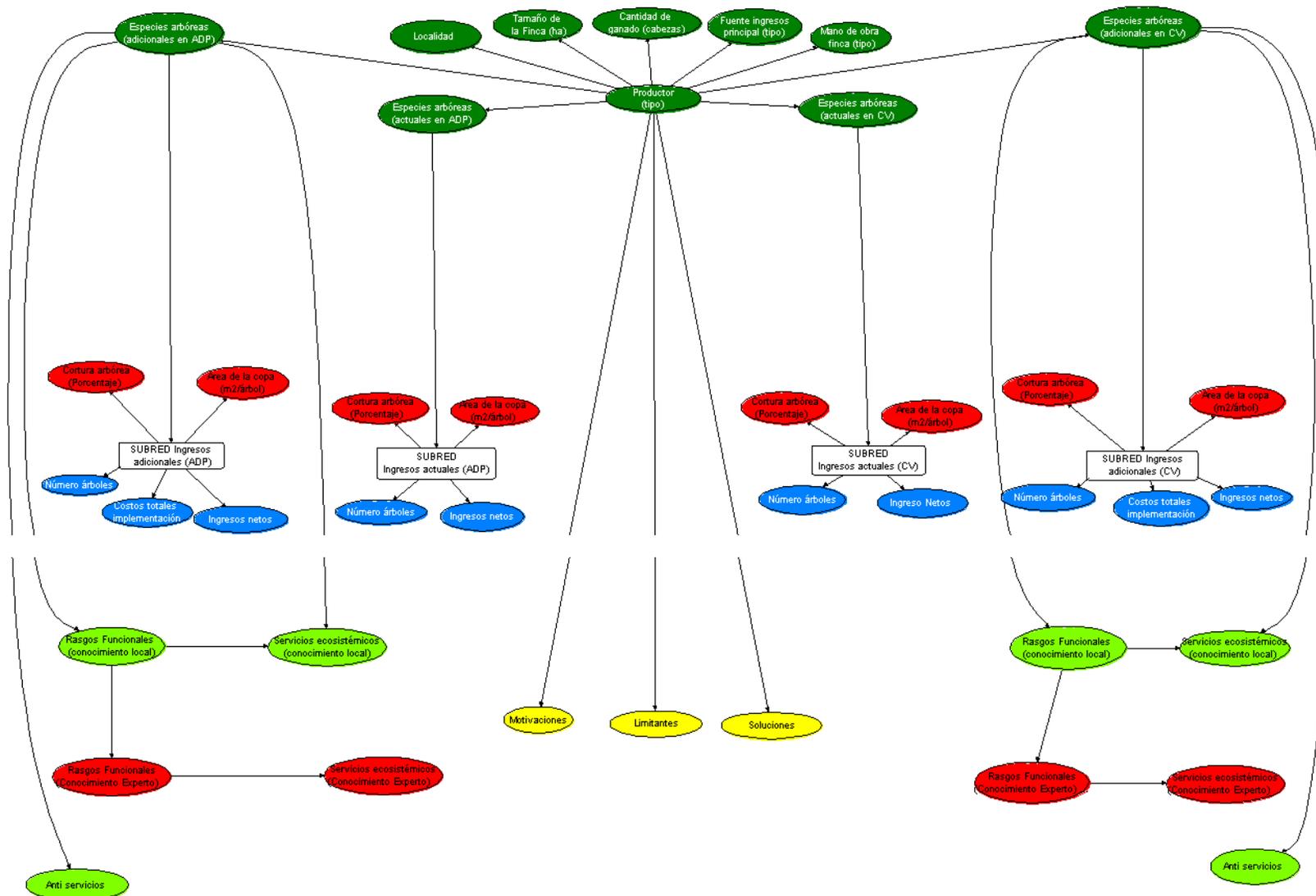


Figura 14. Red causal modelo experto de conocimiento local y experto.

A continuación se explican algunas de las características fundamentales de las subredes que se integraron:

#### **3.4.3.1 Rasgos/atributos funcionales y servicios ecosistémicos**

Se recopiló de bases de datos del proyecto FUNCiTree información sobre el ranqueo realizado por Mosquera (2010) en donde se evaluaron seis servicios ecosistémicos de interés (leña, sombra, nutrición animal, control de erosión y mejoramiento de suelos, resistencia a sequía, protección fuentes de agua). Se identificaron de las 27 especies arbóreas ranqueadas que son más importantes por los productores de Rivas Nicaragua para un potrero ideal.

La subred bayesiana (Figura 14) fue adherida al modelo principal. A continuación un detalle de la información que tiene cada uno de los nodos:

- (A) **Rasgos funcionales (conocimiento local):** Este nodo está condicionado a la información que resulta de la composición y abundancia del potrero ideal del nodo “especies arbóreas potrero ideal” (Figura 13). La información de frecuencias que alimenta este nodo fue tomado del número de veces fue mencionado que un rasgo/atributo funcional es asociado a una EA entre las seleccionadas. Cuando no se encontró información para el caso de algunas EA como *Simarouba glauca*, *Swietenia humilis*, *Cedrela odorata*, *Bursera simaruba*, *Cordia alliodora*, *Byrsonima crassifolia*, *Pachira quinata*, se registró información homogénea de tal forma que no afecte los estados condicionales en otros nodos.
- (B) **Rasgos o atributos funcionales desde la perspectiva de los expertos:** Para este nodo se registró la existencia o no existencia mediante variables dicotómicas (1 o 0) de la relación entre conceptos de rasgos/atributos funcionales conocimiento local y rasgos funcionales terminología de experto. Lo único que busca este enlace es homogeneizar el lenguaje científico con el del conocimiento local. Prácticamente los resultados de este nodo son los mismos del nodo rasgos funcionales (conocimiento local) pero con terminología de expertos en ecología funcional. Cuando no se encontró una asociación clara se puso el número 1 en todos los estados relacionados al estado dudoso para no afectar la condicionalidad.
- (C) **Servicios ecosistémicos (conocimiento local):** Se registró información de la base de datos de ranqueo de Mosquera (2010), y se llenó teniendo en cuenta el número de observaciones que los productores mencionaron que existe un rasgo/atributo funcional valorando la capacidad de una EA de proveer un servicio ecosistémico.

(D) **Servicios ecosistémicos (conocimiento experto):** Se realizaron 8 entrevistas a especialistas en el tema de ecología para identificar la relación (positiva) que ellos encuentran entre rasgos funcionales/ atributos y servicios ecosistémicos. Es decir cuáles son las características que tiene una EA que la capacitan para la prestación de un servicio ecosistémico (Anexo 7 formato de entrevista conocimiento especializado). El objetivo fue realizar una alineación entre EA en potrero ideal, rasgos/atributos funcionales conocimiento local y conocimiento experto sobre servicios ecosistémicos (Figura 15).

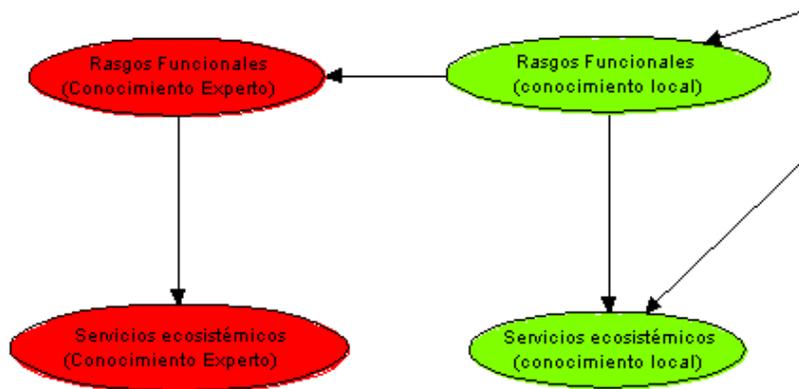


Figura 15. Subred bayesiana de conocimiento local y experto

Se incluyó también información relacionada a antiservicios de las especies arbóreas con base a la información del ranqueo realizado por Mosquera (2010) (Figura 16), esta red fue adherida al modelo experto principal.

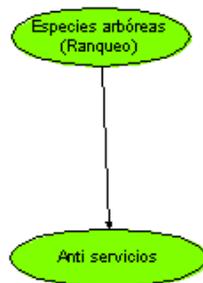


Figura 16. Subred de antiservicios de las especies arbóreas

### 3.4.3.2 Subred limitantes, motivaciones y soluciones

De la encuesta a productores se obtuvo información sobre las limitantes, motivaciones y soluciones que encuentra el productor de adoptar el sistema en conjunto

no solo a nivel de potrero sino a nivel de finca. La Figura 17 fue adherida a la red principal modelo experto.

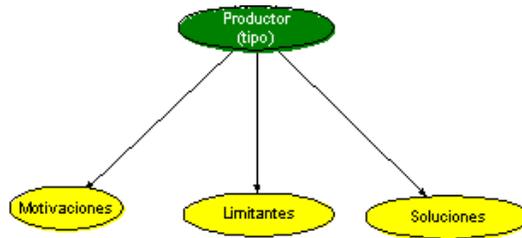


Figura 17. Subred de limitantes, motivaciones y soluciones de la adopción

### 3.4.3.3 Subred de ingreso y costos financieros (potrero actual vs ideal)

La subred de la Figura 18, es una subred de costos e ingresos de las 4 subredes incluidas en el modelo integral experto, para las subredes de adición de árboles adicionales se agregó un nodo adicional que cuantifica los costos totales de implementación del sistema en cercas vivas y árboles dispersos en potrero.

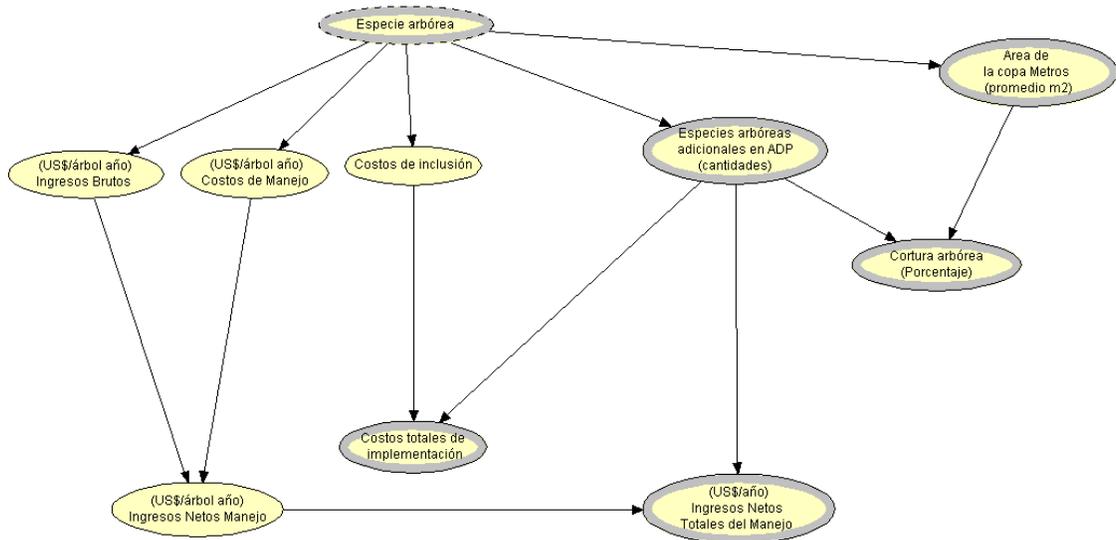


Figura 18. Red causal de costos e ingresos financieros.

A continuación una explicación breve de los nodos:

- (A) **Ingresos brutos (US\$/árbol)**: Contiene información sobre mínimos y máximos de ingresos brutos unitarios a términos constantes del 2011 para las especies arbóreas de las cuáles se obtuvo información financiera.

- (B) **Costos de manejo (US\$/árbol):** Contiene información sobre mínimos y máximos de costos de manejo a términos constantes<sup>15</sup> a precios del 2011 para las especies arbóreas de las cuáles se obtuvo información financiera.
- (C) **Ingresos netos de manejo (US\$/árbol):** Determina mediante cálculos probabilísticos los ingresos netos unitarios por árbol durante el periodo de proyección. El nodo realiza la operación que resta la información contenida del nodo ingresos brutos y los resta con las del nodo costos de manejo.
- (D) **Área de la copa promedio m<sup>2</sup>:** Contiene información retomada de bases de datos del proyecto SILPAS sobre información de diámetros de la copa por tipo de especie arbóreas de 1821 árboles en 21 especies arbóreas.
- (E) **Especies arbóreas adicionales en ADP (cantidades):** Determina el número de árboles que deben incluirse en el potrero teniendo en cuenta un porcentaje de cobertura ideal. Este nodo contiene la siguiente ecuación:  $\text{Arboles/ha} = (\text{cobertura ideal (porcentaje)} * 10.000\text{m}^2) / (\text{Área copa}(\text{m}^2) * 100)$ . La fórmula es la misma para las otras tres subredes del modelo cambiando solo los valores de la fuente.
- (F) **Cobertura arbórea (Porcentaje):** Determina el nivel de cobertura del potrero ideal cualquiera programado. Dentro del nodo se uso la siguiente fórmula para determinar el porcentaje de cobertura:  $\text{nodo especies arbóreas} * \text{Área de la copa (m}^2/\text{árbol)} / 10000 * 100$ . Esta fórmula se aplicó para las cuatro subredes.
- (G) **Ingresos netos totales de manejo (US\$/árbol año):** Contiene información sobre ingresos totales de las especies arbóreas en potrero a términos constantes del 2011 para las especies arbóreas de las cuáles se obtuvo información financiera. El nodo realiza la operación restando la información contenida del nodo ingresos netos de manejo y los multiplica con la información del nodo (árboles #/ha) para aquellas especies arbóreas que se ha recolectado información. Las operaciones que se realicen en este nodo estarán condicionadas a la información origen de distribución de especies arbóreas, cobertura ideal de copas, área de la copa y otros nodos que puedan ser manipulados por el usuario en la red integrada tal es el caso de los servicios ecosistémicos.

---

<sup>15</sup> El dinero no pierde ni gana valor en el tiempo.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de la adopción de las especies arbóreas

#### 4.1.1 Cobertura actual y futura en potrero

Para las 3 localidades (considerando a 55 potreros) se identificaron en potrero actual 1856 individuos, 2409 individuos adicionales en potrero ideal. La composición y abundancia de EA en potrero actual coincide con lo identificado por Sanchez *et al.* (2005) en donde se encontró que EA como *Tabebuia rosea*, *Pachira quinata*, *Gliricidia sepium*, *Cordia dentata*, *Cordia alliodora*, *Guazuma ulmifolia* son abundantes en potreros del trópico seco en Nicaragua. Muchas de estas EA son de fácil prendimiento (*Gliricidia sepium*, *Spondias purpurea*, *Cordia dentata*, *Pachira quinata*, *Bursera simaruba*) (Figura 19). Los árboles ideales actuales en potrero son un indicador importante para determinar en que EA es más beneficio diseñar encaminar estrategias de capacitación mediante asistencia técnica, mientras la configuración de EA adicionales indican los ideales del productor para su finca propicios para fortalecer sistemas silvopastoriles mediante estrategias de reforestación.

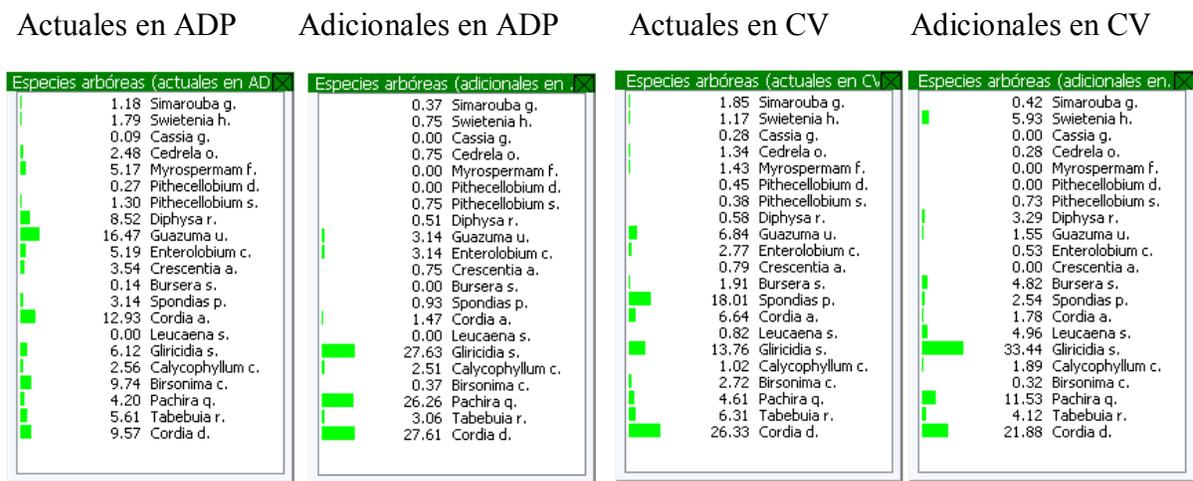


Figura 19. Composición porcentual a nivel de hectárea de las especies arbóreas identificadas en Rivas (especies arbóreas actuales y especies arbóreas adicionales en CV y ADP).

Del potrero real del productor, se eliminaron 187 individuos equivalente a un 4% de la muestra como parte del ejercicio de definición del potrero ideal sin embargo, el productor compensa este porcentaje agregando un mayor número de especies arbóreas y cantidades de ellas. Las razones más importantes para la eliminación de las EA en potrero actual fue el exceso de individuos en el potrero por lo que la sombra afecta la productividad de las pasturas (el productor hace un razonamiento costo beneficio y se motiva a incorporar otras EA en vez de las que elimina) (Figura 20). Elimina<sup>16</sup> EA como *Acacia cornígera* porque tienen espinas que dificultan su manejo, *Cordia dentata* cuando están los árboles deteriorados en las cercas vivas lo eliminan, o *Gliricidia sepium* porque no deja crecer el pasto. El alto porcentaje de eliminación de *Guazuma ulmifolia* se debió a la existencia de un sistema silvopastoril de un productor que contaba con muchos árboles de este tipo y que deseó reducir su abundancia. La alta densidad en la finca de esta EA generaba demasiada sombra lo que fue considerado un aspecto negativo. De cualquier manera las EA eliminadas son tan solo un indicador de lo que no desean los productores aunque si bien no es posible hacer generalizaciones al respecto ya que las razones de eliminación fueron varias siendo la más representativa la excesiva sombra que generaba el sistema (Anexo 5. Razones para la retención y eliminación de algunas especies arbóreas en potrero maqueta).

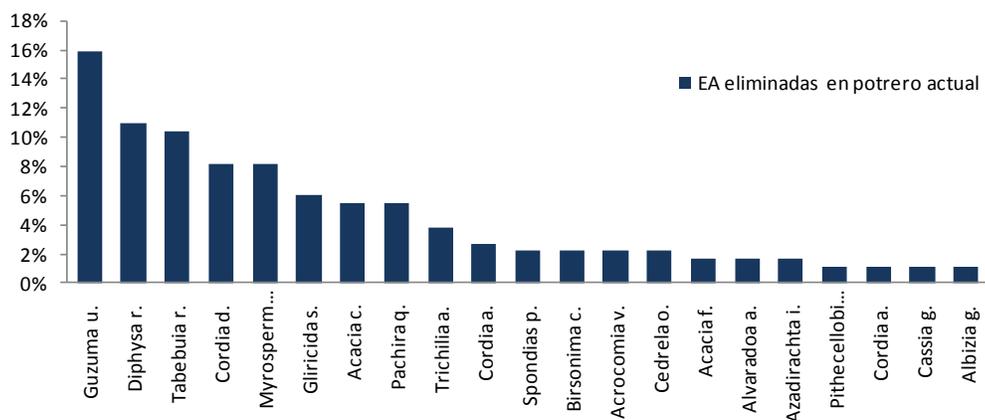


Figura 20. Especies arbóreas eliminadas en potrero actual.

<sup>16</sup> El deseo de incluir o excluir una EA de un potrero ideal es una evaluación subjetiva del productor, lo que significa que las EA incluidas o excluidas pueden variar de acuerdo a características de cada productor.

Se ha identificado que los productores están prefiriendo árboles que representen beneficios económicos al productor. Una combinación distinta de estos árboles es la ideal. Algunos EA pueden reportar beneficios económicos a largo plazo con la venta de la madera como el *Tabebuia rosea*, o también pueden reportar ingresos a corto plazo por venta de leña o de uso para el hogar como el *Cordia dentata*, que además cumple otras funciones como cerca viva y forrajera.

En la Figura 21 se indican las EA que presentaron los ingresos unitarios proyectados a 25 años (perspectiva del productor). Principalmente especies maderables y que proporcionan frutas a los animales como *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium saman*, y árboles que proporcionan frutas al animal, forraje y leña *Crescentia alata*, *Guazuma ulmifolia*. Sobresalen en la proyección en potrero ideal a una hectárea las EA que proporcionan suplementos debido a que al aumentar la producción de leche los beneficios implícitos de estas EA aumentan.

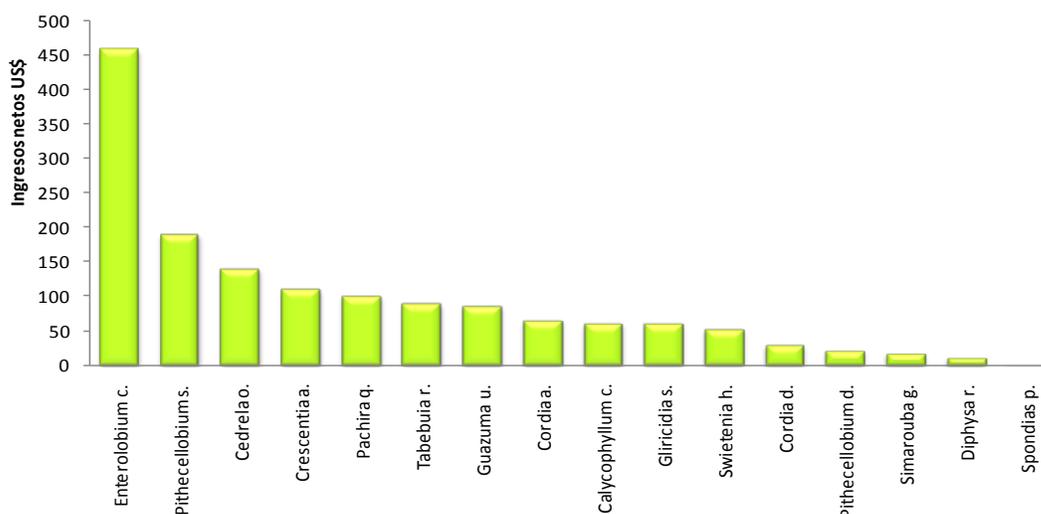


Figura 21. Ingreso netos potenciales unitarios de los Especies Arbóreas.

Los productores tienen árboles en potrero actual (ADP) que proveen servicios ecosistémicos como leña, madera y protección a la biodiversidad y en CV los servicios como madera, leña, protección a la biodiversidad y cercas vivas. Los productores desean adicionar en ADP que proporcionen madera, cercas vivas, control de erosión y útiles como cortinas rompevientos mientras en CV prefieren árboles maderables, que sean útiles como cercas vivas, leña, y forraje para animales.

#### ***4.1.2 Funcionamiento del modelo experto***

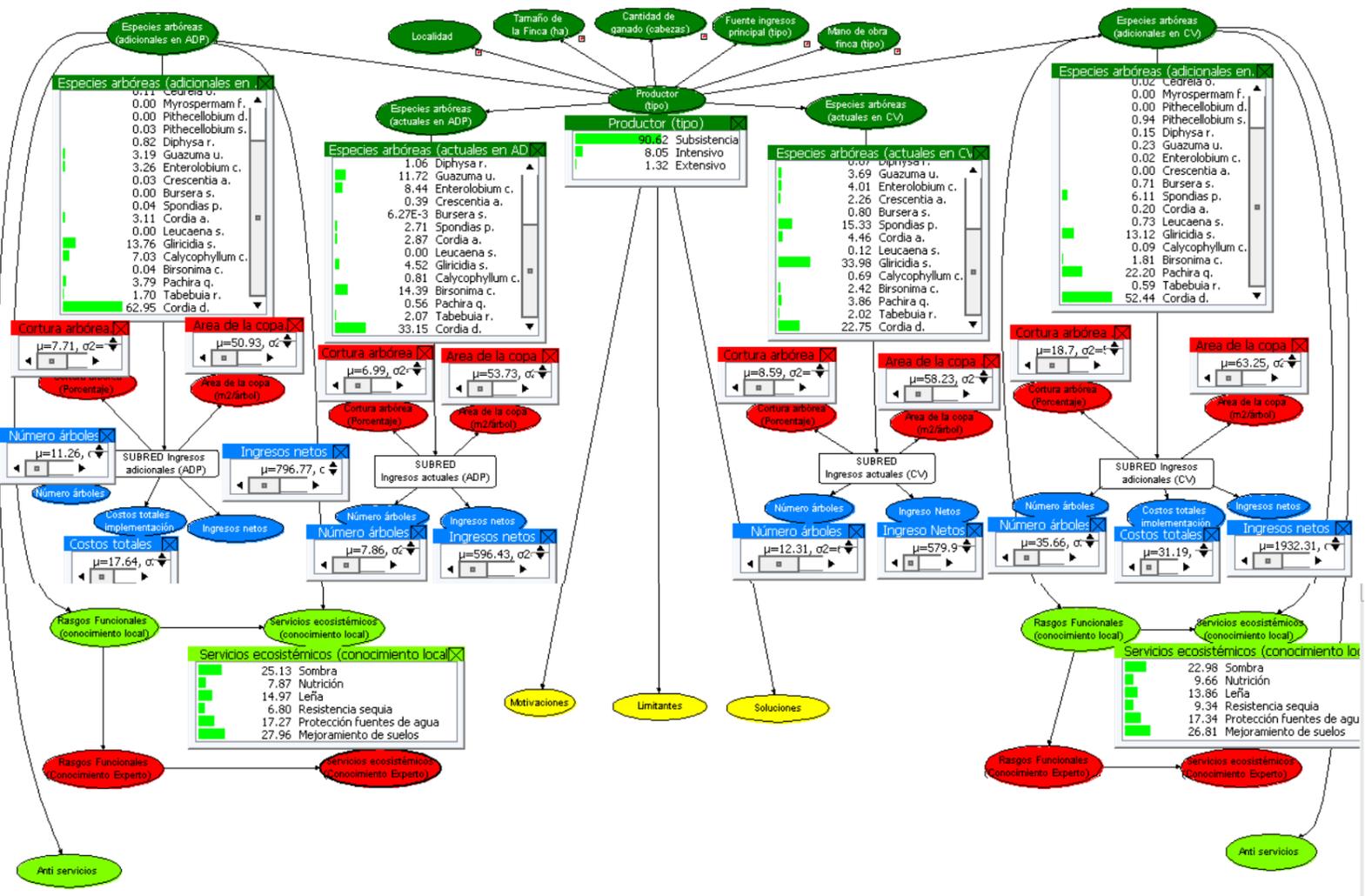
Para explicar el funcionamiento de la red bayesiana (modelo experto) se presenta en la Figura 22 un estudio de caso para un productor tipo extensivo. La dinámica de la red consistió en definir características socioeconómicas de un productor cualquiera, para este caso un productor que tuviera un tamaño de finca de 6 a 20 hectáreas, de 2 a 10 cabezas de ganado, fuente de ingresos principal asalariado, y mano de obra familiar para estas características de productor se determinó que existe un 90% de probabilidad que el productor sea un pequeño productor tipo subsistencia.

El análisis deductivo que se realizó en la RB modelo experto (Figura 22) deduce la composición más probable de EA en términos de participación porcentual del potrero ideal para los productores tipo extensivo tanto en potrero actual como en potrero ideal (árboles adicionales) para los dos sistemas en CV y ADP. Se determinó el porcentaje de cobertura arbórea probable que corresponde para dichos sistemas por separado para 1 hectárea, el promedio de copa estimado de la composición de árboles seleccionada por el productor así como el número de árboles, ingresos netos de los árboles a los 25 años, y los costos totales de implementación del sistema cuando se trata de adicionar árboles al potrero.

La RB también proporcionó información sobre los rasgos/atributos funcionales más probables para la composición de árboles adicionales tanto en ADP como en CV, así como los servicios ecosistémicos que estos proporcionan desde la perspectiva del conocimiento local como desde la perspectiva de especialistas en ecología.

También se determinó para este tipo de productor las motivaciones que ellos encuentran para establecer el potrero visualizado en conjunto, así como las limitantes y soluciones que ellos perciben para establecerlo. Para este caso el productor seleccionó un potrero con un 48% de cobertura arbórea total. El productor incrementó su cobertura arbórea en mayor proporción en CV (18%) pasando de tener 12 árboles a 35 árboles.

El sistema propuesto por el productor provee de sombra para los animales, mejoramiento de suelos, provisión de leña, protección fuentes de agua y en menor proporción nutrición animal y resistencia a sequía. Esta afirmación coincide con lo que encuentran los especialistas al afirmar que este sistema proporciona las mejores características para mejoramiento de suelos.



Rasgos Funcionales (conocimiento local)	
3.14	Arbol frondoso
3.48	abundHojarasca
1.63	Adaptado a la zona
1.93	Alta temperatura
5.45	Abono
3.40	Arbol grande
2.06	consFuego
2.63	contproteinas
1.63	Copa alta
2.31	Copa amplia
2.91	Copa densa
2.64	Copa rala
4.73	Crece el pasto
1.61	Espinas
2.00	Fruto dulce
2.98	Fruto nutritivo
3.46	Hoja nutritiva
1.97	Hoja pequeña
1.61	Hoja suave
3.72	lenadura
2.76	Llama fuerte
1.71	No ceniza
1.61	No desgaste
1.61	Preferencia
2.57	prodrbrasa
9.36	Raiz abundante
1.62	Raiz Fuerte
2.11	Raiz grande
2.40	Raiz profunda
2.29	Rapida combustion
1.62	Rapido crecimiento
2.00	Sombra alta
9.10	Sombra fresca
1.95	Sombra rala
2.01	Tallo almacena agua

Rasgos Funcionales (Conocimiento Experto)	
4.31	Altura de la copa
5.19	Profundidad de raíz
8.19	Amplitud de la copa
3.59	Alta densidad de la copa (copa cerrada)
5.27	Densidad de copa baja
4.16	Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
6.13	Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
3.32	Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
2.65	Hojas pequeñas.
2.29	Tasa de degradación baja (hoja)
2.29	Palatabilidad
7.12	Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
0.68	Contenido de nutritivo (Alto)
2.68	Alta cantidad de azúcar (fruto)
0.68	Sombra fresca
2.29	Producción de espinas
5.41	Interacción positiva con pasturas
17.35	Flamabilidad de la leña
10.04	Raíces abundantes.
0.68	Raíces superficiales
0.68	Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la m)
2.30	Tasa de producción de biomasa
2.69	Baja densidad de madera

Rasgos Funcionales (Conocimiento Experto)	
4.81	Altura de la copa
5.28	Profundidad de raíz
8.28	Amplitud de la copa
3.67	Alta densidad de la copa (copa cerrada)
5.61	Densidad de copa baja
4.09	Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
5.92	Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
3.42	Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
2.87	Hojas pequeñas.
2.60	Tasa de degradación baja (hoja)
2.60	Palatabilidad
6.98	Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
0.68	Contenido de nutritivo (Alto)
2.67	Alta cantidad de azúcar (fruto)
0.68	Sombra fresca
2.60	Producción de espinas
4.83	Interacción positiva con pasturas
16.54	Flamabilidad de la leña
8.93	Raíces abundantes.
0.68	Raíces superficiales
0.68	Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la m)
2.60	Tasa de producción de biomasa
2.98	Baja densidad de madera

Rasgos Funcionales (conocimiento l.)	
3.10	Arbol frondoso
3.41	abundHojarasca
2.09	Adaptado a la zona
2.10	Alta temperatura
5.24	Abono
2.23	Arbol grande
2.93	consFuego
2.74	contproteinas
1.93	Copa alta
2.27	Copa amplia
2.99	Copa densa
2.74	Copa rala
4.15	Crece el pasto
1.92	Espinas
1.99	Fruto dulce
2.90	Fruto nutritivo
3.41	Hoja nutritiva
2.19	Hoja pequeña
1.92	Hoja suave
3.34	lenadura
2.63	Llama fuerte
1.98	No ceniza
1.95	No desgaste
1.92	Preferencia
2.52	prodrbrasa
8.25	Raiz abundante
1.92	Raiz Fuerte
2.29	Raiz grande
2.31	Raiz profunda
1.52	Rapida combustion
1.92	Rapido crecimiento
2.20	Sombra alta
7.68	Sombra fresca
2.19	Sombra rala
2.30	Tallo almacena agua

Anti servicios	
1.89	Abortivo
0.25	Arbol escaso
0.25	Ataque de polillas
0.26	Atoramiento
1.29	Caducifolio
0.25	Cont. Proteinas
0.43	Copa densa
43.01	Copa pequeña
1.44	Copa rala
7.24	Corta vida
1.55	Escaso
0.25	Fruto dulce
0.25	Fruto duro
0.25	Fruto nutritivo
9.77	Hoja escasa
0.25	Hoja nutritiva
0.25	Hoja suave
1.70	Leña blanda
0.43	Leña humeda
0.26	Leña muy dura
0.75	Llama debil
0.58	Mucha ceniza
0.62	Mucho humo
0.25	No adaptada a la zon
2.91	No cons. Fuego
0.99	No crece el pasto
2.41	Poca preferencia
0.25	Raiz debil
4.43	Raiz escasa
13.15	Raiz superficial
1.97	Rapido consumo
0.45	Sombra oscura

Motivaciones	
16.33	El ganado estaria sombreado
2.53	El valor de la tierra incrementaria
5.50	Mejora el paisaje
16.12	Alimentación animal
5.66	Leña para cocinar
4.39	Protección animales silvestres
0.71	Conectividad
4.07	Humedad
5.00	El ganado se maneja eficientemente
5.08	Estacas para las cercas
3.17	Protección de los suelos
1.82	Campeño a campesino
4.23	Confortabilidad/Satisfacción
2.51	Herencia a los hijos
0.68	Sombra sirve para descansar
4.26	Madera comercial
0.76	Medicinal
1.95	Forraje
1.32	Vecinos se benefician
1.32	Protección agua
12.62	Autosuficiente

Limitantes	
11.61	Falta semilla
0.60	Robo de árboles
0.60	Estado no ayuda
4.65	Falta créditos
0.60	Faltan proyectos
16.83	Falta mano de obra
4.92	Alternativas
1.06	Derechos de propiedad
8.51	Leyes
0.60	Falta herramientas
19.44	Dedicación
7.81	Falta alambre
1.30	Robo de árboles
0.60	Ganado daña árboles
0.71	Falta abonos
4.65	Falta riego
0.71	Verano acaba el pasto
0.78	Falta motivación
4.30	Faltan estacas

Soluciones	
11.84	Donar semillas árboles
17.69	PSA
7.38	Acceso a créditos
7.33	Protoger árboles del vecino
11.84	Detener tentación de cortarlos
12.02	Venta de árboles
7.68	Ninguna
6.50	Semillas de pasto mejorado a bajos precios
6.68	Asistencia técnica
1.86	Viveros comunales
1.51	Subsidio
1.51	Brindar alambre
1.51	Aprovechar árboles y venderlos
1.48	Capacitaciones
1.48	Brindar semillas
1.69	Regeneración Natural con semillas

Anti servicios	
1.33	Abortivo
0.96	Arbol escaso
0.96	Ataque de polillas
1.52	Atoramiento
0.97	Caducifolio
0.96	Cont. Proteinas
0.96	Copa densa
36.10	Copa pequeña
2.10	Copa rala
6.78	Corta vida
1.01	Escaso
0.96	Fruto dulce
1.34	Fruto duro
0.96	Fruto nutritivo
6.92	Hoja escasa
0.96	Hoja nutritiva
0.96	Hoja suave
1.15	Leña blanda
0.97	Leña humeda
0.96	Leña muy dura
0.99	Llama debil
0.98	Mucha ceniza
0.99	Mucho humo
0.96	No adaptada a la zon
1.88	No cons. Fuego
1.18	No crece el pasto
3.62	Poca preferencia
0.96	Raiz debil
4.95	Raiz escasa
11.92	Raiz superficial
1.70	Rapido consumo
1.09	Sombra oscura

Figura 22. Red bayesiana modelo experto de conocimiento local y experto.

#### **4.1.2.1 Análisis de alternativas al productor**

Con ayuda del modelo experto se estableció a modo de ejemplo una alternativa silvopastoril al mismo productor bajo un enfoque de multifuncionalidad, es decir potencializando uno o más servicios ecosistémicos con EA de la mejor calidad y con la mayor prestación de servicios múltiples al productor.

Para explicar de forma gráfica lo anterior se presentó el funcionamiento del modelo de la red bayesiana modelo experto en la Figura 23. En esta red se ejemplifica el caso hipotético de un productor tipo subsistencia con similares características a la Figura 23 anteriormente expuesta. Se pretende identificar un sistema silvopastoril alternativo para el productor teniendo en cuenta que se desea potencializar el servicio nutrición para animales (nodo servicios ecosistémicos conocimiento local estado nutrición). Posteriormente se despliegan la configuración de EA, rasgos funcionales con base a conocimiento local y experto, servicios ecosistémicos conocimiento experto e información financiera de la configuración de EA.

Se puede determinar que el conocimiento experto y conocimiento local coinciden al afirmar que el grupo de EA y los rasgos funcionales asociadas a ellas están relacionadas con la prestación del servicio nutrición para animales y además proporciona otros servicios ecosistémicos como mejoramiento de suelos entre otros. Los rasgos/atributos más importantes de las EA del sistema son contenido de proteína, una característica importante para la nutrición de animales así como frutos nutritivos desde la perspectiva del conocimiento local.

Los ingresos netos que obtendría el productor a 25 años es de US\$1211 en potrero actual mientras que los ingresos esperados en potrero ideal incrementarían a US\$2.444 en potrero ideal. Las motivaciones que el productor observa en el potrero ideal visto de forma integral es que el ganado está bien alimentado y sombreado, entre las limitantes que el productor observa está la falta de mano de obra y entre las soluciones incentivos económicos como pagos por servicios ambientales y acceso a créditos.

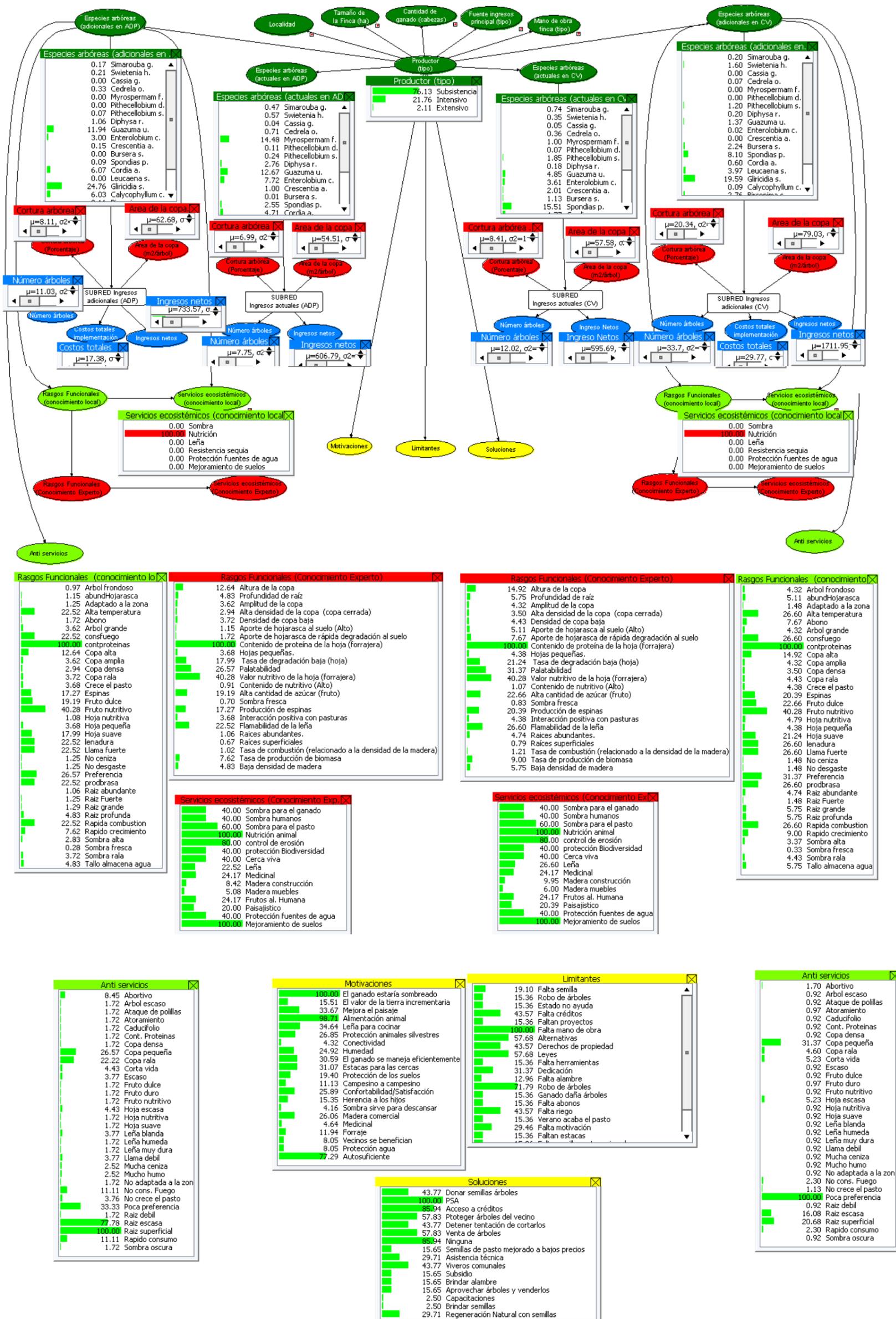


Figura 23. Red bayesiana modelo experto que potencia servicios prioritarios.

### 4.1.3 Especies arbóreas por tipologías de productores

Se identificó diversas preferencias en cuanto a la configuración de árboles dependiendo de las características socioeconómicas de los productores. A continuación se presenta 3 estudios de caso tomados de diseños de sistemas silvopastoriles ideales teniendo en cuenta las características socioeconómicas del productor y de la finca así como un análisis de las EA con potencial de adopción para cada tipo de productor mediante redes bayesianas.

**Productores subsistencia:** Un estudio de caso de un productor tipo subsistencia desea una parcela ideal diversificada; ellos dicen “de todo un poquito hay que aprovechar los espacios al máximo”. Por lo tanto combina EA frutales cerca al patio en linderos (*Spondias purpurea*, *Citrus sinensis*); con EA de aprovechamiento de leña y útil para ramoneo por el ganado (*Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*); con maderables comerciales y de construcción (*Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia rosea*, *Pithecellobium saman*) que proporcionen sombra, situados en las esquinas para compartir la sombra con el vecino o con otro potrero aledaño. Prefiere no tener árboles dispersos en el potrero porque compite con la pastura, alimento necesario para el ganado, en cambio teniendo los árboles en los linderos el ganado solo se repliega al lugar más cerca así no se acumula en un solo sitio, lo que compactaría el suelo. La distancia ideal entre troncos de árboles en casi la totalidad de productores es entre 36 m, esto aplica a casi todos los árboles según el productor. La razón encontrada por él, es que a esa distancia las ramas entre árboles no chocan, esto permite que los árboles se desarrollen con mayor volumen en el dosel o si son frutales permite que los árboles den buen fruto (Figura 24).

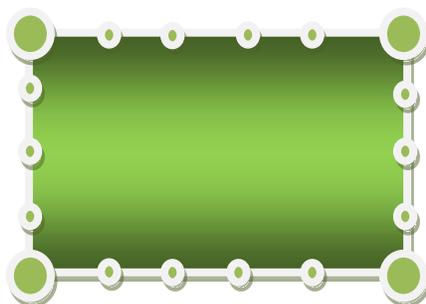


Figura 24. Diseño espacial de un potrero de un productor subsistencia.

Los productores tipo subsistencia en general diversificaron en menor proporción la variedad de EA para un total de 13 EA en potrero ideal, y pasó de tener 20,3 individuos en potrero actual e incluyó 47 individuos en potrero ideal. Los datos son similares a los encontrados por Sanchez *et al.* (2004) en la zona donde se identificó un promedio de 16 árboles por hectárea y una cobertura inferior al 15% en los potreros. La abundancia probable de EA en potrero ideal para un productor subsistencia es de 67 individuos. El productor prefirió incluir EA como *Cordia dentata*, *Pachira quinata* como adicionales en CV por ser EA que tienen una alta tasa de prendimiento (Ver Anexo 8).

Con el nuevo sistema un productor tipo subsistencia<sup>17</sup> incrementó en un 143% los ingresos netos por el recurso forestal en comparación al potrero actual. En total un productor subsistencia obtendría ingresos por US\$3.967 en potrero ideal. Si un productor tipo subsistencia deseará potencializar servicios ecosistémicos específicos en su finca podría obtener ingresos superiores al potrero ideal potencializando EA que proporcionan servicios como sombra para animales, protección fuentes de agua o mejoramiento de suelos manteniendo los mismos márgenes en cobertura arbórea (Cuadro 5) (para más información del sistema ver Anexo 8).

*Cuadro 5. Beneficios económicos potrero ideal productor subsistencia.*

Beneficios de las especies arbóreas adicionales en potrero ideal	Potrero actual	Potrero adicional	Potrero ideal	Sombra	Nutrición	Leña	Resistencia a sequía	Protección fuentes de agua	Mejoramiento de suelos
<b>Árboles adicionales potrero ideal (Cerca viva)</b>									
Número de árboles	12,4	35,7	48,1	47,9	46,5	51,0	44,7	47,3	49,2
Cobertura arbórea (%)	8,7	18,6	27,3	26,5	29,4	30,7	27,8	26,5	26,7
Costos de implementación (US\$/ha)		31,2	31,2	31	30	33	28,7	30,6	32
Ingresos netos (US\$/ha)	567	1996	2563	2749	2437	2078	2408	2721	2620
<b>Árboles adicionales potrero ideal (árboles dispersos)</b>									
Número de árboles	7,9	11,5	19,4	18,7	18,9	21,4	20,6	18,9	18,9
Cobertura arbórea (%)	6,9	7,6	14,5	14,2	14,7	15,4	14,9	14,2	14,3
Costos de implementación (US\$/ha)		17,8	17,8	17,2	17,9	19,6	19,1	17	17,4
Ingresos netos (US\$/ha)	590	814	1404	1428	1352	1335	1479	1442	1387
<b>TOTAL NÚMERO DE ÁRBOLES</b>	<b>20,3</b>	<b>47,18</b>	<b>67,48</b>	<b>66,64</b>	<b>65,4</b>	<b>72,32</b>	<b>65,28</b>	<b>66,21</b>	<b>68,1</b>
<b>TOTAL COBERTURA ARBÓREA (%)</b>	<b>16</b>	<b>26</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>46</b>	<b>43</b>	<b>41</b>	<b>41</b>
<b>TOTAL COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN (US\$/ha)</b>		<b>49,0</b>	<b>49,0</b>	<b>48,2</b>	<b>47,9</b>	<b>52,6</b>	<b>47,9</b>	<b>47,6</b>	<b>49,4</b>
<b>TOTAL INGRESOS NETOS (US\$/ha)</b>	<b>1157</b>	<b>2810</b>	<b>3967</b>	<b>4177</b>	<b>3789</b>	<b>3413</b>	<b>3887</b>	<b>4163</b>	<b>4007</b>

**Productor intensivo:** Un estudio de caso de un productor tipo intensivo prefirió un diseño en cercas vivas con un árbol en el centro de copa amplia de *Enterolobium Cyclocarpum* (Figura 25). Las cercas vivas son importantes porque proporcionan alimento

<sup>17</sup> Para toda la muestra

a animales que ramonean los rebrotes de las cercas vivas en especial cuando el pasto escasea. El productor combina cerca viva de EA como *Cordia dentata* en la cerca y *Gliricidia sepium* como postes maestros cada 20 metros lineales para dar soporte al alambrado.

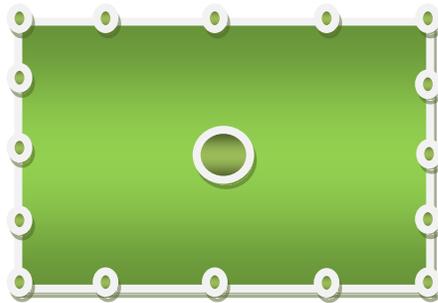


Figura 25. Diseño espacial de un potrero de un productor autosuficiente<sup>18</sup>

El productor considera que hacer el potrero ideal no es difícil de hacer, asegura que está en el proceso, sin embargo necesita tener unos ahorros para ir haciéndolo paulatinamente. También, es importante el factor tiempo ya que vive solo en la finca y debe hacer esta labor por su cuenta. Finalmente, el productor en época lluviosa se motivó a plantar cercas vivas de *Spondias purpurea* por ser un árbol bueno para sombra, frutos tanto para el ganado, vida silvestre como a seres humanos y por tener disponibilidad de estacas en la finca.

El productor tipo intensivo en general incrementa la cobertura arbórea en un 28% incrementando potencialmente sus ingresos en un 45% adoptando el sistema para un total de ingreso en potrero ideal de US\$3.248. El productor podría potencializar el sistema incrementando ingresos potenciales si adoptará sistemas silvopastoriles que potencializan servicios ecosistémicos como sombra para animales, resistencia a sequía y protección fuentes de agua con similares márgenes de porcentaje de cobertura arbórea en potrero (Cuadro 6) (para más información del sistema ver Anexo 9).

---

<sup>18</sup> Círculos representan tamaño de copa representativa de especies arbóreas.

Cuadro 6. Beneficios económicos potrero ideal productor intensivo.

Beneficios de las especies arbóreas adicionales en potrero ideal	Potrero actual	Potrero adicional	Potrero ideal	Sombra	Nutrición	Leña	Resistencia a sequía	Protección fuentes de agua	Mejoramiento de suelos
<b>Árboles adicionales potrero ideal (Cerca viva)</b>									
Número de árboles	10,3	34,8	45,1	41,98	42,18	51,2	40,0	40,7	47,88
Cobertura arbórea (%)	7,5	18,9	26,3	24,05	26,35	29,55	24,55	23,65	26,9
Costos de implementación (US\$/ha)		30,6	30,6	28,3	28,5	35,1	26,8	27,1	32,6
Ingresos netos (US\$/ha)	661	1334	1995,0	2325,6	1874	1621	1957	2293	2041
<b>Árboles adicionales potrero ideal (árboles dispersos)</b>									
Número de árboles	7,2	8,9	16,1	15,0	15,85	17,1	15,1	14,95	16,35
Cobertura arbórea (%)	7	8,86	15,9	16	15,9	15,7	16	15,9	15,8
Costos de implementación (US\$/ha)		15,8	15,8	15,0	15,6	16,3	15,0	15	15,9
Ingresos netos (US\$/ha)	663	590	1253,0	1438	1289	1092	1449	1445	1167
<b>TOTAL NÚMERO DE ÁRBOLES</b>	<b>17,43</b>	<b>43,7</b>	<b>61,13</b>	<b>56,93</b>	<b>58,03</b>	<b>68,23</b>	<b>55,03</b>	<b>55,63</b>	<b>64,23</b>
<b>TOTAL COBERTURA ARBÓREA (%)</b>	<b>14</b>	<b>28</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>42</b>	<b>45</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>43</b>
<b>TOTAL COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN (US\$/ha)</b>		<b>46,3</b>	<b>46,3</b>	<b>43,3</b>	<b>44,1</b>	<b>51,4</b>	<b>41,8</b>	<b>42,1</b>	<b>48,5</b>
<b>TOTAL INGRESOS NETOS (US\$/ha)</b>	<b>1324</b>	<b>1924</b>	<b>3248</b>	<b>3763,6</b>	<b>3163</b>	<b>2713</b>	<b>3406</b>	<b>3738</b>	<b>3208</b>

**Productor extensivo:** Un estudio de caso de un productor tipo extensivo prefirió árboles dispersos en potrero pero de forma organizada o en línea. En una hectárea de 100 por 100 ubican árboles cada 25 m . Para una densidad de 400 árboles por hectárea (Figura 26). Prefieren árboles maderables para construcción y venta primordialmente.

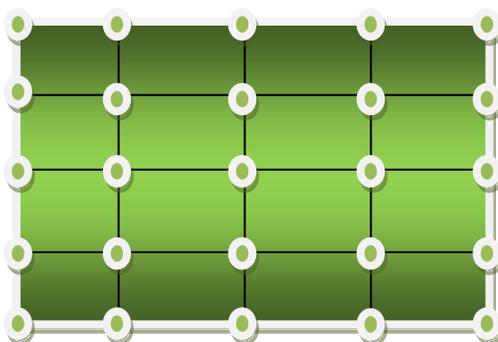


Figura 26. Diseño espacial de un potrero de un productor extensivo.

El productor tipo extensivo en general reportó el menor incremento en ingresos (29%) comparado con los productores tipo subsistencia e intensivo. El productor incrementó la cobertura arbórea en un 28% con relación al potrero actual (15%). El productor tipo extensivo podría incrementar los ingresos potenciales en su finca si adopta árboles que potencialicen servicios ecosistémico como sombra para animales, resistencia a sequía y protección a fuentes de agua (Cuadro 7) (para más información del sistema ver Anexo 10).

Cuadro 7. Beneficios económicos potrero ideal productor Extensivo.

Beneficios de las especies arbóreas adicionales en potrero ideal	Potrero actual	Potrero adicional	Potrero ideal	Sombra	Nutrición	Leña	Resistencia a sequía	Protección fuentes de agua	Mejoramiento de suelos
<b>Árboles adicionales potrero ideal (Cerca viva)</b>									
Número de árboles	13,4	36,8	50,2	45,1	50,6	52,6	43,9	44,5	53,9
Cobertura arbórea (%)	8,1	20,1	28,2	26	28,81	28,8	25,9	26	29,8
Costos de implementación (US\$/ha)		32,4	32,4	28,6	32,75	34,2	27,9	28,3	35
Ingresos netos (US\$/ha)	935	1171	2106,0	2497	2065	1866	2345	2457	2067
<b>Árboles adicionales potrero ideal (árboles dispersos)</b>									
Número de árboles	7,4	11,1	18,5	17,7	18,2	20,6	20,4	18,2	18,3
Cobertura arbórea (%)	7,2	7,8	15,0	14,8	15,3	15,4	15,7	14,9	14,8
Costos de implementación (US\$/ha)		17,5	17,5	16,7	17,0	19,5	19,6	17,2	17,4
Ingresos netos (US\$/ha)	627	844	1471,0	1440	1436	1494	1484	1508	1479
<b>TOTAL NÚMERO DE ÁRBOLES</b>	<b>20,8</b>	<b>47,9</b>	<b>68,7</b>	<b>62,8</b>	<b>68,8</b>	<b>73,2</b>	<b>64,3</b>	<b>62,7</b>	<b>72,2</b>
<b>TOTAL COBERTURA ARBÓREA (%)</b>	<b>15</b>	<b>28</b>	<b>43</b>	<b>41</b>	<b>44</b>	<b>44</b>	<b>42</b>	<b>41</b>	<b>45</b>
<b>TOTAL COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN (US\$/ha)</b>		<b>49,9</b>	<b>49,9</b>	<b>45,3</b>	<b>49,8</b>	<b>53,7</b>	<b>47,5</b>	<b>45,5</b>	<b>52,4</b>
<b>TOTAL INGRESOS NETOS (US\$/ha)</b>	<b>1562</b>	<b>2015</b>	<b>3577</b>	<b>3937</b>	<b>3501</b>	<b>3360</b>	<b>3829</b>	<b>3965</b>	<b>3546</b>

#### 4.1.4 Implicaciones del tamaño de la copa del árbol en la adopción

El tamaño de la copa es un factor de importancia al momento de incluir un mayor o menor número de árboles en el potrero. Especies arbóreas como *Enterolobium cyclocarpum* y *Pithecellobium saman* que tienen un gran potencial como árbol proveedor de frutas para animales no son incluidos con abundancia por el amplio tamaño de la copa. El tamaño de la copa es un factor considerado negativo por los productores porque afectan la productividad de las pasturas. Ningún productor escogió potreros ideales donde se localizan excesivamente estos árboles en las pasturas, pero se consideran importantes combinados con otros árboles de copas menos amplias para la prestación de sombra para los animales.

*Enterolobium cyclocarpum* y *Pithecellobium saman* son EA de gran tamaño, son muy importantes para el productor. Esto se refleja en la casi nula eliminación de estas EA en el potrero actual. Sin embargo, se reporta una baja inclusión de estos árboles en potrero ideal comparados con árboles como *Cordia dentata*, *Gliricidia sepium*, *Pachira quinata* entre otros que presentan copas pequeñas. Por ejemplo, áreas de copas promedio de EA como *Cassia grandis* (255 m<sup>2</sup>), *Pithecellobium saman* (175 m<sup>2</sup>), *Enterolobium cyclocarpum* (130 m<sup>2</sup>), *Pachira quinata* (122 m<sup>2</sup>), *Leucaenas leucocephala*. (102 m<sup>2</sup>),

*Guazuma ulmifolia* (75m<sup>2</sup>)<sup>19</sup>, representan el 20% de la cantidad de árboles en potrero ideal con un tamaño de copa superior al promedio.

Para el caso de *Pachira quinata*, tiene una copa relativamente amplia es tan bien la tercera EA más importante, los productores consideran que esta EA además de ser de fácil prendimiento se desarrolla de forma rápida y tiene una alta demanda comercial en la zona. Esta EA también es importante para establecer postes maestros que se ubican cada 25 metros lineales en la cerca viva para templar el alambre y dar soporte a la cerca. Productores han manifestado el tener un sentimiento de protección y preferencias por *Pachira quinata* debido a que esta EA cada vez es menos vista en los potreros debido a que es deseada por su madera de alto valor comercial, además de ser un árbol que proporciona belleza escénica.

Es también importante considerar que los potreros ideales diseñados por los productores en todos los casos reportaron niveles de cobertura superiores al 40%. Esquivel (2007) menciona que a partir de niveles de cobertura del 30% la productividad de las pasturas empieza a declinar. Pensando en esto el modelo experto puede ser de ayuda para identificar una opción silvopastoril al productor que no supere los niveles de cobertura en donde la productividad del sistema productivo empieza a deteriorarse o superar el 30% de cobertura seleccionando características funcionales como árboles de copa liviana de acuerdo a criterios técnicos.

El modelo experto cuenta con la opción de modelar diversos sistemas silvopastoriles de interés teniendo en cuenta el factor cobertura arbórea. En la Figura 27 se indican los beneficios de la inclusión de un probable sistema silvopastoril para un productor de Rivas promedio en donde se moduló el incremento de la cobertura arbórea en 10% teniendo en cuenta que el productor promedio tiene en potrero actual una cobertura arbórea del 15%.

---

<sup>19</sup> Estos valores se identificaron tomando el estado más probable de las áreas de copa por especie arbórea. La información proviene de bases de datos del proyecto SILPAS

## Cercas vivas y linderos

## Árboles dispersos en potreros

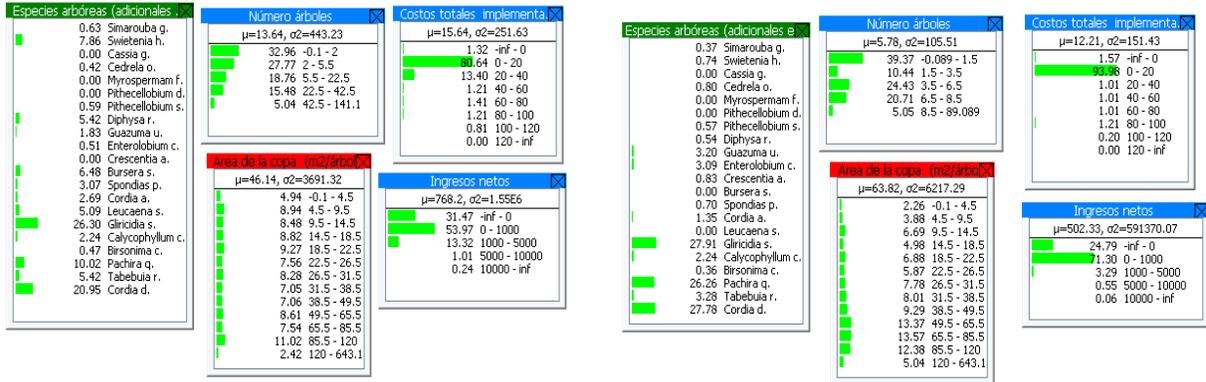


Figura 27. Beneficios de la inclusión de EA controlando el nivel de cobertura.

### 4.1.5 Diseño de potreros multifuncionales eliminando características negativas

Con ayuda del modelo experto se identificó un potrero multifuncional en donde se potencializa el servicio sombra para animales para un productor tipo extensivo, además se controló el nivel de cobertura arbórea y se eliminó características funcionales de los árboles adicionales que los productores consideran negativas (antiservicios) para sombra para animales como lo es el tener una copa pequeña (Figura 28).

## Sistema propuesto por el productor

## Sistema propuesto por el modelo experto

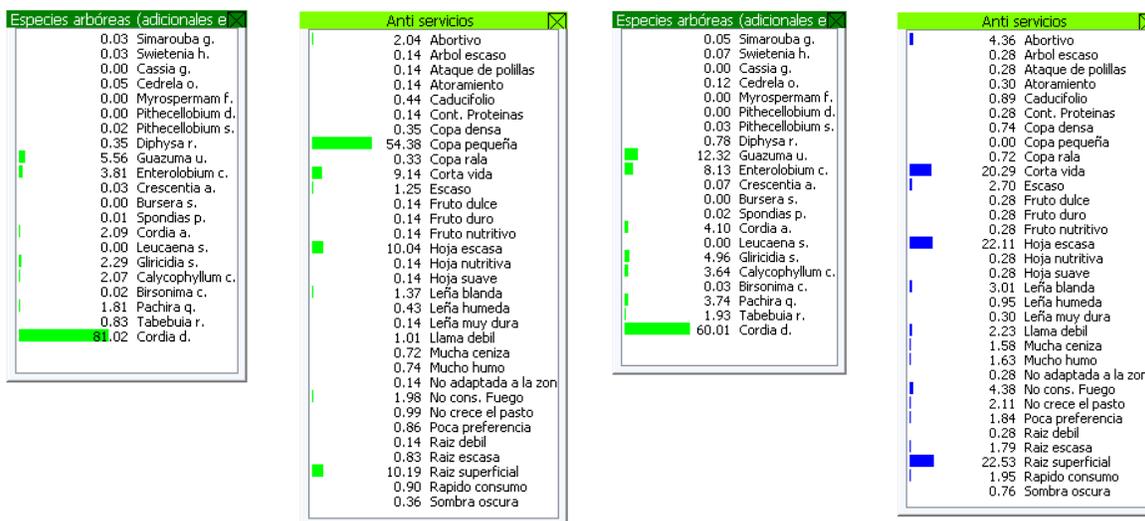


Figura 28. Composición arbórea de un potrero ideal eliminando un rasgo negativo.

## 4.2 Limitantes, motivaciones y soluciones<sup>20</sup>

El potrero ideal es una idea que tienen todos los productores, en algunos casos muy concreta y se viene desarrollando por inercia en sus actividades diarias. Más del 50% de los productores afirma haber empezado a hacer mejoras a sus potreros hace ya más de dos años. Solo dos casos de los productores afirmaron tener su potrero tal como lo desea. En Mata de Caña un productor ha establecido un sistema silvopastoril con árboles de *Diphysa rubinoides*, el productor se siente muy cómodo con el sistema, afirma que la EA *Diphysa rubinoides* tiene una copa liviana y alta que afecta muy poco la productividad en la pastura y que además le es útil para provisión de leña y belleza escénica.

**Limitantes:** La adopción de sistemas agroforestales es más probable en escenarios donde los productores reciben mayores incentivos económicos por la adopción del sistema (Sherr 1995). Los productores suelen preocuparse por los costos de

<sup>20</sup> Capitulo de la tesis para optar al título de Especialista en Prácticas del Desarrollo Rural. (CATIE/Mc Arthur Foundation)

implementación del sistema y los retornos de sus ingresos por ser de largo plazo en comparación con invertir capital y mano de obra en otras labores de la finca (Palo 2001).

El espacio temporal de la adopción de los árboles que idealmente según los productores coincide con la época de lluvias y es esta época la que ellos utilizan para planificar otras actividades como las agrícolas. Esto coincide con lo afirmado por Mercer y Hyde (1991) que indican que la mano de obra puede afectar la adopción agroforestal especialmente en épocas de plantación y cosecha ya que la demanda de mano de obra se acrecienta y tienen que utilizarla para terminar sus actividades laborales.

La falta de mano de obra es una clara limitante ya que para poder obtener un potrero ideal se requiere arreglar nuevas cercas por divisiones buscando aumentar el número de potreros para un pastoreo rotacional, lo cual no solo sirve para un uso eficiente de la pasturas sino que sirve para planificar acciones de cambios en cobertura arbórea a los potreros. Todo esto se logra con mano de obra en la finca, que en familias con mano de obra escasa necesita ser contratada y que generalmente compiten con otras necesidades del productor más inmediatas. Esto concuerda con los resultados del meta análisis hecho por Pattanayak *et al.* (2003) donde encontró que la disponibilidad de mano de obra reflejada en la cantidad de personas del género masculino es uno de los indicadores más importantes en la adopción de mejoras tecnológicas en fincas (Figura 29).



Figura 29. Limitantes en la adopción del sistema silvopastoril <sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Histograma de la muestra

Los productores consideran que el costo del alambre es muy elevado (45 US\$ rollo<sup>22</sup>) y el acceso a créditos además de ser restringido se han tenido malas experiencias. Por eso algunos productores se han endeudado y han perdido sus tierras al no poder pagar los préstamos que tienen elevadas tasas de interés (14 – 18% anualmente). Algunos productores pueden llegar a considerar los préstamos como algo negativo, en especial los productores que tienen suficientes tierras para replicar el sistema poco a poco. En cambio productores con menos acceso a tierras y más intensivos en la producción reciben con agrado la idea de más créditos siempre y cuando estos lleguen con tasas de interés blandas es decir cómodas cuotas que vayan concordancia con la capacidad de pago de los productores y su dinámica, muchos productores se quejan que el riesgo del sector agropecuario y la banca no entiende la dinámica de la economía campesina. Es por esto que una limitante importante es la falta de cooperación de organismos que colaboren al productor ya sea mediante créditos blandos incluso subsidios.

**Motivaciones:** Un nivel de sombra en equilibrio y que no perjudique el desarrollo de las pasturas es un aliciente para que el productor realice los cambios. Ibrahim (2007) indica que la sombra de los árboles en pasturas puede incrementar en un 15-20% la producción de leche y carne. En segunda instancia, los beneficios directos de los árboles como producción de alimento para los animales (frutas y follajes), madera, postes y leña. Así como la provisión de servicios ecosistémicos como secuestro de carbono, conservación de biodiversidad, protección de suelo y fuentes de agua (Figura 30).

---

<sup>22</sup>Precio del alambre en Nicaragua consultado el 27 de Marzo del 2012 alambre recogido negro. <http://www.construccion.com.ni/>

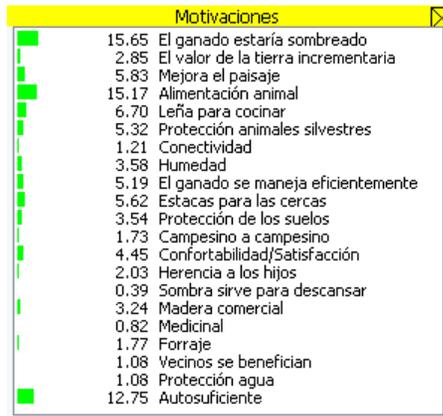


Figura 30. Motivaciones para adopción del sistema silvopastoril ideal<sup>23</sup>.

El potrero ideal permite que los productores manejen de forma adecuada el sistema, ya que muchos potreros son demasiado grandes y desearían convertirlos generalmente a la mitad del tamaño. El tamaño de potrero ideal para el productor es aproximadamente de una hectárea. De esta forma el productor podría rotar el ganado, mejorar la calidad del pasto, aislar reducidas zonas para regeneración natural y reducir el tiempo de agrupamiento de los animales diario para llevarlos al corral.

El productor considera también que desarrollar el potrero ideal incrementa el valor de la tierra. No es lo mismo vender un potrero sin o pocos árboles que un potrero con árboles de utilidad. En palabras de un productor de La Chocolatala EA “*Pachira quinata* entre más exista es mejor porque es madera preciosa”. El potrero ideal no solo brindaría un mayor valor al terreno también sería un motivo de orgullo para el productor, para explicar a otros productores como lo diseñó, Max Neef (1993) se refiere esta necesidad básica del ser humano como la necesidad de creación que el productor afianza mediante acciones como inventar, construir, componer y que satisface necesidades del ser humano como la pasión, la imaginación, audacia, autonomía.

Algunos productores han asignado la frase “trabajar de choña” lo que hace referencia al trabajo silvicultural del productor al momento de implementar EA que no rebrotan con éxito. Esta es una característica importante en la adopción ya que el objetivo

<sup>23</sup> Histograma de la muestra

final del productor es que el árbol crezca y sea útil por sus beneficios, por lo tanto EA que no tengan estas características consideran un tiempo parcialmente perdido ya que puede ser utilizado en plantar árboles de poca utilidad. La familiaridad de la tecnología como motivante en la adopción ha sido también manifestada por productores en Belice que afirman que prefieren ir a lo seguro con tecnologías que garantizan éxito o probadas (Alonso 2000).

Los productores se sienten motivados por créditos bancarios rurales del Fondo de Desarrollo Local (FDL) ya que necesitan recursos para ampliar el negocio de la finca. El sistema del FDL según los productores que se visitó y los cuáles implementaron cercas vivas de *Cordia dentata* y *Pachira quinata* entre las EA más importantes consistía en la aprobación de un crédito con intereses blandos para compra de animales para producción si el FDL verificaba la implementación de cercas vivas en sus fincas. Si bien la estrategia del banco parecía tener acogida entre los productores, estos últimos se quejaron de forma jocosa de que nunca llegaron los tales evaluadores “un poco decepcionados pero a la vez contentos”<sup>24</sup> de que les quedo el beneficio de sus cercas vivas.

**Soluciones:** Desarrollar el potrero ideal es un proceso que se va desarrollando por etapas. El 15,4% de los productores consideró que no ven ninguna solución externa a la implementación del sistema ideal ya que ellos vienen trabajando el potrero ideal por etapas y de acuerdo a sus capacidades. Algunos productores rechazan la ayuda de los técnicos porque prefieren planificar su finca de acuerdo a sus conocimientos y habilidades.

El 15% de los productores se inclinó por los incentivos económicos como pagos por servicios ambientales (PSA) como solución a la adopción, se observa al PSA como un impulso, una motivación aunque sea esta mínima para compensar el esfuerzo que implica adoptar el sistema (Figura 31). En Centroamérica y Suramérica se han dado casos exitosos como lo fue el proyecto “Enfoque silvopastoriles intensivos para el Manejo de Ecosistemas” que trabajo con pequeños y medianos productores pecuarios mediante un

---

<sup>24</sup> Percepción del investigador

impulso de pagos por servicios ambientales para motivar el cambio de uso del suelo. El empleo generado aumento en cerca del 30%, y en fincas bajo monitoreo se registró un incremento en la carga animal (Murgueitio 2009). Dentro del marco de este proyecto el PSA provocó una disminución en el porcentaje de áreas degradadas (2,2%), un incremento en el porcentaje de pasturas mejoradas con alta y baja densidad de árboles (10%), también se incrementaron las cercas vivas simples y multiestrato (Zapata *et al.* 2007). Los PSA han demostrado tener buenos resultados con productores de bajos recursos, sin embargo los costos de transacción pueden ser un impedimento para la participación de pequeños productores (Pagiola *et al.* 2008, Pagiola *et al.* 2010).

Se considera relevante la asistencia técnica en la que se incluye estrategias de desarrollo rural que integre a la organización de los productores para trabajar en temas de beneficio común como lo son la reforestación por lugares donde pasan las quebradas y ríos. Históricamente los estudios han identificado la asistencia técnica como la variable más importante en estudios ex-post con una relación de 100% (Pattayanak *et al.* 2003).

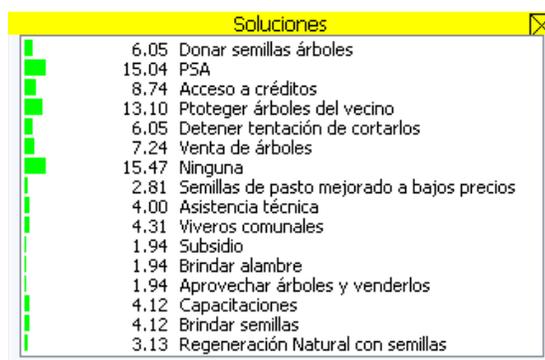


Figura 31. Motivaciones para adopción del sistema silvopastoril<sup>25</sup>.

#### 4.2.1 Dinámica sugerida con grupos de productores

##### Alternativa #1. Capacitaciones grupales con base en maquetas de potreros multifuncionales

Se sugiere para esta modalidad diseñar maquetas a escala en cuanto a composición y abundancia de especies arbóreas ideales en un potrero. Capacitar a

<sup>25</sup> Histograma de la muestra

técnicos locales para que conozcan todos los beneficios que puedan derivarse de los seis escenarios de potreros ideales por servicio ecosistémico (leña, sombra, alimentación, fuentes de agua, resistencia a sequía, control de erosión y mejoramiento de suelos) para capacitar a los productores y orientarlos en sus preguntas. La información debe ser complementada con folletos donde se identifiquen las ventajas y usos de cada especie arbórea, funcionalidades y la capacidad de ingresos que puedan proporcionar al productor.

En caso de que los productores deseen tener una asesoría más personalizada sobre uso de la maqueta física y asistencia técnica, es posible hacer uso de un tablero electrónico para realizar una mayor aproximación al productor sobre sus deseos en finca.

Con preguntas como:

- a) ¿Cuántos animales tiene usted en su finca?
- b) ¿Cuántas hectáreas tiene usted en su finca?
- c) ¿A cuál localidad usted pertenece?
- d) ¿Tipo de mano de obra de la finca?
- e) ¿Qué servicio ecosistémico estaría interesado en fortalecer en la finca?
- f) ¿Cuántos árboles estaría dispuesto usted a incrementar, cuanto estaría dispuesto a invertir para reforestar su finca o sus potreros a mediano plazo?
- g) Sí se le ofreciese un crédito con el “Fondo de Desarrollo Local<sup>26</sup> para compra de animales cuantos árboles estaría dispuesto a sembrar”?

## **Alternativa #2. Diseño y validación de modelos silvopastoriles alternativos para evaluación del productor**

Los modelos silvopastoriles pueden ser elaborados teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) El tipo o tipos de servicio ecosistémicos que desee potencializar el productor en la finca.
- 2) Por tipo o tipos de rasgos funcionales deseados por el productor o sugerido por especialista.
- 3) Por la cantidad de ingresos financieros que el productor desee obtener de las EAM.
- 4) Por tamaño de copa promedio de los árboles (grande, mediana, pequeña).
- 5) Por la cantidad de árboles que desee el productor en su finca.
- 6) Por tipo de EA deseadas en el potrero ideal.

---

<sup>26</sup>Dato hipotético

Diseñar sistemas silvopastoriles con EAM en potrero ideal, para ello se realizan preguntas directas a tres productores sobre su condición socioeconómica y de la finca usando encuesta con maqueta (información ex ante al productor), posteriormente usar el modelo experto para recomendar alternativas de combinaciones de árboles multifuncionales.

La adopción de árboles en la finca del productor es un proceso difícil y que va a depender de múltiples variables como la capacidad de mano de obra del productor, si en la finca tienen necesidades más inmediatas, o si la densidad de árboles que tienen actualmente en sus fincas es la deseada o superior a la deseada por los productores. Ante esto, Somarriba (2009) plantea una metodología en donde se realiza un previo diagnóstico biofísico, agroforestal, social, económico y financiero, posteriormente se sugiere una serie de alternativas desde la perspectiva del técnico o especialista para evaluación del productor teniendo en cuenta la visión del productor en su finca. Esta dinámica propuesta para planificación de fincas agroforestales se estima en total en 33 horas en recursos humanos.

Para el desarrollo de validación de la mejora tecnológica propuesta en esta investigación el tiempo de mano de obra especializada y la del productor está estimada entre 1-3 horas en recursos humanos. Esto debido a que la fase de diagnóstico y propuestas de mejoras y sistematización del conocimiento ecológico y financiero de la RB facilita al técnico en presentarle las alternativas de combinaciones de EA y discusión de beneficios para el productor. En caso que el productor no esté interesado en ninguna de las 5 principales alternativas anteriormente definidas de manera participativa el productor siempre contará con la opción de diseñar su propio modelo silvopastoril escogiendo las EA deseadas y modeladas en la RB. Se sugiere en todos los casos diseñar en hojas de cálculo un modelo de sensibilidad que permita identificar los beneficios de las EA modelado por cantidades en el potrero ideal soportado con investigación cuantitativa sobre beneficios de EA como los realizados por Pérez (2011).

Posteriormente se compara las recomendaciones del modelo con las respuestas directas del productor (validación). En este momento es importante percibir las dificultades que expresa el productor en el proceso de reforestación de la finca. Es posible que algunos productores puedan estar interesados en reforestar diferentes secciones de su finca con diferentes sistemas por ejemplo reforestar frutales cerca del hogar, maderables en lugares donde es deseable altas densidades o identificar por uso del suelo la distancia máxima de inclusión entre árboles.

## 5 CONCLUSIONES

- 1) Se diseñó un modelo experto basado en redes bayesianas que permite determinar los beneficios actuales de un sistema silvopastoril (árboles dispersos en potrero, cercas vivas y linderos) y diseñar alternativas óptimas a productores potencializando bienes y servicios ecosistémicos prioritarios para los productores, modelando cobertura arbórea, número de árboles, costos de implementación, ingresos esperados, eliminando antiservicios del sistema.
- 2) Un productor promedio de Rivas aumenta su cobertura arbórea en un 10% sin tener mayores efectos en la productividad de la pastura puede obtener ingresos por US\$1270 dólares por hectárea por los árboles adicionales a 25 años y requiere invertir cerca de US\$28 dólares para establecer dicho sistema.
- 3) El productor tipo subsistencia es el que mayores retornos de ingresos reportó (US\$ 2.810) por la adición de árboles en potrero ideal mientras el productor tipo intensivo reporto menores ingresos (US\$1924).
- 4) El estado más probable de nivel de cobertura para los potreros ideales de los productores se encuentra en un rango del 40% y 45% y en potrero actual entre 13 y 16%, es decir un incremento en la cobertura arbórea aproximadamente de un 27%.
- 5) Los potreros que potencializan EA multifuncionales en servicios como sombra para animales y protección a fuentes de agua reportaron mejores ingresos para las tres tipologías de productores como alternativas silvopastoriles.
- 6) Entre las limitantes más importantes para desarrollar el potrero ideal multifuncional la falta de mano de obra en la finca y créditos blandos. Entre las principales motivaciones para desarrollar el potrero ideal se encuentra el obtener una sombra para los animales que se encuentre en equilibrio (que no afecte la productividad de la pastura) y mejorar la diversidad de alimento al ganado como frutos y follaje. Los productores proponen que para motivarlos, es necesario la existencia de asistencia técnica en la finca para capacitarlos en temas de alimentación animal y prácticas silviculturales de los árboles en potrero. Desarrollar viveros comunales con estrategias de desarrollo que permitan hacer conciencia a los productores para reforestar las fuentes de agua y otros lugares de la finca.

## 6 RECOMENDACIONES

- 1) Para futuras investigaciones se recomienda utilizar en lo posible tres tipos de medidas en el tamaño de la maqueta que estandarice las dimensiones de potreros más comunes por ejemplo tableros de 3, 6 y 8 hectáreas en esta investigación.
- 2) Los estudios ex post fueron útiles en la medida que se determinó variables socioeconómicas que permitieron definir tipologías de productores en la zona. La función práctica de la división por tipologías es aún no explorado pero se considera importante para definir a productores por fuera de la muestra, posiblemente puede ser usado por gestores de recursos para la aprobación de créditos rurales, o para anclar esta variable a algún incentivo económico como pagos por servicios ambientales de acuerdo a una clasificación *in situ*.
- 3) Los ingresos potenciales de los árboles tienen supuestos que no han sido contrastados con las cantidades de frutas que el productor tiene capacidad de cosechar para suministrar el ganado. Se requieren más investigaciones que midan la capacidad de los productores y sus familiares en hacer uso de los beneficios de los árboles para así tener un criterio objetivo para simular.
- 4) Si bien las EA identificadas fueron determinadas para usos ganaderos, muchas de estas EA pueden ser incluidas efectivamente alrededor de las fuentes de agua y prestarían el servicio ecosistémicos que desea el productor, y los rasgos funcionales favorecen la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, estudios complementarios por especialistas en ecología en el área podrían aún ser más específicos en identificar formas de conservar estos recursos naturales dando espacio a otras formas de vida como lo es la silvestre algo apreciado por los productores.
- 5) Durante la fase de investigación en campo se pudo establecer que los productores están impacientes en saber cómo los estudios relacionados en la zona los pueden beneficiar. Muchos se pregunta ¿Cuál es el papel del científico y como esto nos puede beneficiar?. Por lo que se considera, que el fortalecimiento del conocimiento local mediante capacitaciones ambientales efectivas y demostraciones campesino a campesino son herramientas útiles para que el productor se empodere de sus recursos naturales. Es necesario también desarrollar estrategias de desarrollo rural que

permitan trabajar conjuntamente en el desarrollo de objetivos comunes para fortalecer el capital humano y social que induzcan un fortalecimiento del capital natural en especial la protección fuentes de agua, algo en que ellos tienen un real interés. Pero el estilo de reforestación propuesto se sugiere tenga en cuenta EA con beneficios cuantitativos y cualitativos al productor, que fortalezcan sus actividades productivas maximizando sus beneficios.

- 6) Los productores no tienen un valor económico en mente con el cual se puedan sentir motivados por un Pago por Servicios ambientales. Pero se entiende que muchos productores visualizan estos pagos como una forma de jubilación en donde ellos se dedicarían a la protección del medio ambiente y disminuirían la necesidad de enfocarse en sus actividades productivas. Otros productores sugieren que no se desarrollen estas donaciones porque se estaría distorsionando algo que es una responsabilidad del productor. Por lo tanto, se puede plantear como alternativa los créditos rurales con subsidios a la reforestación como por ejemplo, lo que está haciendo en estos momentos el Fondo de Desarrollo Local una agencia del estado que presta dinero para actividades productivas siempre y cuando el productor reforeste sus potreros.
- 7) Se diseñó el primer programa de aplicación con el uso de redes bayesianas que determina potreros ideales para productores. Sin embargo, el modelo necesita ser validado con productores para determinar el grado de aceptación no solo para productores, sino extensionistas y asesores de créditos rurales.
- 8) El modelo aún requiere ser analizado en mayor detalle solo se arrojaron algunos resultados de interés del investigador pero se espera analizar otras variables como lo son: variables socioeconómicas que afectan adopción, efecto de los rasgos funcionales (conocimiento experto) en el diseño de sistemas silvopastoriles mejorados, diseño de sistemas silvopastoriles de acuerdo al tamaño de copa, determinar beneficios detallados por nivel de cobertura arbórea se puede determinar el potrero ideal dependiendo del nivel de ingresos que se quiera obtener, el monto de inversión que se desee invertir.
- 9) Se encontró dificultades en la modelación de la red bayesiana porque incorporar información directamente de la base de datos al modelo causal implicaba una des configuración de la red causal e incrementar mayor número de nodos. Se recomienda tener en cuenta estas complicaciones para mejorar aspectos en el programa HE.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, M. 2000. Potential of silvopastoral systems for economic dairy production in Cayo, Belize and constraints for their adoption. Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción económica de leche en Cayo, Belice y limitaciones para la adopción. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. p.75-79.
- Alonso, M; Ibrahim, M; Gómez, M; Prins, K. 2001. Potencial y limitaciones para la adopción de sistemas silvopastoriles para la producción de leche en Cayo Belice. *Agroforestería en las Américas* 8(30): 24-27.
- Armstrong, J; Denniston, J; W, Gordon, M. 1975. The use of the decomposition principle in making judgments. *Org. Behav. Hum. Perform.* 14: 257-263.
- Barrance, J; David, B; Cordero, J; Barrance, A. 2003. Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Oxford Forestry Institute. 1079p
- Barton, D; Saloranta, T; Moe, S; Eggestad, H; Kuikka, S. 2008. Bayesian belief networks as a meta-modelling tool in integrated river basin management - Pros and cons in evaluating nutrient abatement decisions under uncertainty in a Norwegian river basin. *Ecological Economics* 66(1): 91-104.
- \_\_\_\_\_ ; Bechmann, M; Eggestad, H; Moe, J; Saloranta, T; Kuikka, S; Haygarth, P. 2008. Integration of nutrient loading and lake eutrophication models in cost-effectiveness analysis of abatement measures. NIVA Bioforsk Report. 85p.
- Beedel, J; Rehman, T. 1999. Using social-psychology models to understand farmers' conservation behaviour. *Journal of rural studies* (16): 117-127.
- Bellow, J; Hudson, R; Nair, P. 2008. Adoption potential of fruit-tree-based agroforestry on small farms in the subtropical highlands. *Agroforestry Systems* 73(1): 23-36.
- Betancourt, K; Ibrahim, M; Harvey, C; Vargas, B. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* (10): 39-40.
- Bryant, D; Nielsen, D; Tangle, L. 1997. The last frontier forest: Ecosystems and economies on the edge. *World Resources Ins.* 54p.
- Cassasola, F; Ibrahim, M; Barrantes, J. 2005. Los árboles en los potreros. *IMPASA.* 2:19p.

- Chalmers, N; Fabricius, C. 2007. Expert and Generalist Local Knowledge about Land-cover Change on South Africa's Wild Coast: Can Local Ecological Knowledge Add Value to Science?. *Ecology and Society* 12(1):10
- Clavero T. y Suárez, J. 2006. Limitaciones en la adopción de los sistemas silvopastoriles en Latinoamérica. *Pastos y Forrajes* 29(3): 303-317
- Conference on ecotechnology and rural employment; an interdisciplinary dialogue. 1993. Tropical home garden and living fences. Budowski, G. Two successful ecotechnologies with world diffusion potencial. India. The M.S Swaminathan Research Foundation 7-20p
- Current, D; Lutz, E; Scherr, S. 1995. Costs, benefits, and farmer adoption of agroforestry: project experience in Central America and the Caribbean. *World Bank Publications* (14): 1-212p.
- Diaz, S; Fargione, J; Chapin, S; Tilman, D. 2006. Biodiversity loss threateans human well being. *PLos Biology* 4(8): 277
- \_\_\_\_\_ 1996. Qualitative verbal Explanation in Bayesian Belief Networks. *Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour Quarterly*. 3p.
- Druzdzel, M. 1993. *Causality in Bayesian Belief Networks*. Morgan Kauffman Publisher. 11p
- Esquivel, H; Ibrahim, M; Harvey, C; Benjamin, T; Villanueva, C; Sinclair, F. 2003. Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica. *Agroforesteria en las Américas* 10(39/40): 24-29.
- \_\_\_\_\_; Ibrahim, M; Harvey, C; Benjamin, T; Sinclair, F. 2007. Impacts of dispersed trees in pastures on fodder quantity and quality to cattle in seasonally dry ecosystems. *Departament of Agriculture and Agroforestry, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*. 100p.
- FAO. *Estado Mundial de la Ganadería y la Alimentación*. 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 184p.
- Gomez, C. 1995. Diversidad biológica, conocimiento local y desarrollo. *Revista Agricultura y Sociedad* (77): 127-146.
- Gutierrez, B; Fierro, L. 2006. Diagnostico y diseño participativo en diseños agroforestales. *Corpoica\_MDR* (1): 41p
- Gittinger, J. 1972. *Economic Analysis of Agricultural Projects*. The John Hopkins University Press. 221p.

- Harvey, C; Ibrahim, M. 2003. Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ecológicos. *Agroforestería en las Américas*. (10): 39-40
- \_\_\_\_\_; Villanueva, C; Villacis, J; Chacon, M; Muñoz, D; López, D; Ibrahim, I; Gómez, R; Taylor, R; Martinez, J; Navas, A; Saenz, J; Sanchez, D; Medina, A; Vilchez, S; Hernandez, B; Perez, A. Ruiz, F. López, F. Lang, I. Kunth, S. Sinclair, F. 2003. Contribución de las cercas vivas a la productividad e integridad ecológica de los paisajes agrícolas en América Central. *Agroforestería en las Américas* (10): 29-40.
- \_\_\_\_\_; Haber, W. 1999. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* (44): 37–68.
- Heckerman, D. 1995. A tutorial on learning with Bayesian networks. Technical report. 3p
- Hernández, I; y Simón, L. 1993. Los sistemas silvopastoriles: Empleo de la agroforestería en las explotaciones ganaderas. *Pastos y Forrajes*. 99p.
- Holling, C. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics* (4): 17p.
- Horvitz, E; Breese; Henrion, M. 1988. Decision Theory in Expert Systems and Artificial Intelligence. To appear in *Journal of Approximate Reasoning*, Special Issue on Uncertain Reasoning. *International Journal of Approximate Reasoning*. 50p.
- Ibrahim, I; Gobbi, J; Mora, J; Harvey, C; Villanueva, C. 2004. Importance of Silvopastoral Systems in livelihoods of livestock farmers and rural poor in Central America. *Revista Semana*. 19p.
- \_\_\_\_\_, Ibrahim, M; Harvey, C. 2003. Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ambientales. *Agroforestería en las Américas* 10 (40): 4-5.
- \_\_\_\_\_; Villanueva, C; Mora, J. 2005. Traditional and improved silvopastoral systems and their importance in sustainability of livestock farms. *CAB International*. 14p.
- \_\_\_\_\_; Harvey, C. 2003. Diseño y manejo de la cobertura arbórea en fincas ganaderas para mejorar las funciones productivas y brindar servicios ambientales. *Agroforestería en las Américas* 10(39/40): 5p

- \_\_\_\_\_ ; Villanueva, C. Casasola, F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en centro américa. Archivos Latinoamericanos de Produccion Animal (15): 74-88.
- Janzen, D. 1998. Fruit, traits, and seed consumption by rodents of *Crescentia alata* (*Bignoniaceae*) in Santa Rosa National Park, Costa Rica. American Journal of Botany (69): 1258-1268.
- Janzen, F; Nielsen, T. 2007. Bayesian Networks and decision Graphs. Information Science and statics. 27p.
- Joshi, L; Wibawa, G; Sinclair, FL. 2001. Local ecological knowledge and socio-economic factors influencing farmers' management decisions in jungle rubber agroforestry systems in Jambi, Indonesia. School of Agricultural and Forest Sciences University of Wales, Bangor. 33p.
- Joya, M; López, M; Gómez, R; Harvey, C. Conocimiento local sobre el uso y manejo de los árboles en las fincas ganaderas del municipio de Belén, Rivas. Revista Encuentro N°68. Universidad Centroamericana, Managua: Nicaragua. 2004. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/nicargua/uca/encuen/encuen68/art3.rtf>
- In Proceedings of the Thirteenth Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. 1997. D. Object-Oriented Bayesian Networks. Koller, D. Rhode Island, EEUU. p. 302-313.
- Kaimowitz, D. 1996. Livestock and deforestation Central América in 1980's and 1990's: A policy perspective. Center for International Forestry Research. p. 1-81.
- \_\_\_\_\_. 2001. Will livestock intensification help save Latin America Tropical Forest?. Agricultural Technologies and Tropical Deforestation. CABI publishing. Wallingford, Oxon. 20p.
- Kuhner, P; Martin, T; Griffiths S. 2010. A Guide to eliciting and using expert knowledge in Bayesian Ecological models. Ecology letter. p. 900-914.
- Lauritzen, S; Spiegelhalter, D. 1988. Local computations with probabilistics on graphical structures and their application to expert systems, Journal of the Royal Statistical Society. p. 157-224.

- Lavorel, S; Diaz, S; Cornelissen, J; Garnier, E; Harryson, S; McIntyre, S; Pausas, J; Perez, N; Roumet, C; Urcelay, C. 2007. Plant Functional Types: Are We Getting Any Closer to the Holy Grail?. *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. Springer-Verlag. 150p.
- \_\_\_\_\_, Garnier E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits - revisiting the Holy Grail. *Functional Ecology* (16): 545–556.
- López, F; Gómez, R; López, M; Harvey, C; Fergus, L. 2003. Toma de decisiones de los productores sobre la eliminación, retención, selección y aprovechamiento de los árboles y sus efectos sobre la cobertura arbórea en los potreros de finca de Bélen-Rivas. *Encuentro*. 92p.
- Lopez, M; Gonzales, J; Diaz, S; Castro, I; Garcia, M. 2007. Biodiversidad y bienestar humano: El papel de la diversidad funcional. *Ecosistemas* (19): 68:79.
- Lucas, P; Bruijn, N; Schurink, K; Hoepelman, A. 2000. A probabilistic and decision-theoretic approach to the management of infectious disease at the ICU. *Artificial Intelligence*. (19): 251:279.
- MARENA (Ministerio de Medio Ambiente y de los Recursos Naturales). 2003. Estado del Ambiente en Nicaragua. Managua, NI. Segundo Informe GEO. 289p.
- Marie, C. 2010. Of trees and pastures management of woody resources and the social dynamics in La Chocolata, Rivas Nicaragua. *CATIE*. 59p
- Memorias Seminario Internacional Sistemas Silvopastoriles: Casos Exitosos y su Potencial en Colombia. 1996. Efecto de tres Densidades de Arboles en el Potencial Forrajero de un Sistema Silvopastoril Natural. IN. Giraldo L. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. p. 57-72.
- Mendez, V; Lock, R; Sombarriba, E. 2001. "Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: micro- zonation, plant use and socioeconomic importance." *Agroforestry Systems* 51(2): 85-96.
- Mercer, D. E. (2004). "Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review." *Agroforestry Systems* 61-62(1): 311-328.
- Mercer, D; Hyde, W. 1991. The economics of agroforestry. Parker(Eds.). *Social Science Applications in Asian Agroforestry*. New Delhi, India: Oxford &IBH Publishing. p. 111-143.

- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-Being Synthesis. A Report of the Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington. 137p.
- Mosquera, D. Conocimiento local sobre bienes y servicios de especies arbóreas y arbustivas en sistemas de producción ganadera de Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 128p.
- Muñoz D; Harvey C; Sinclair F. Mora J; Ibrahim M. 2003. Conocimiento local de la cobertura arbórea en sistemas de producción ganadera en dos localidades de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 10(39/40): 68p.
- Murgueitio, E; Cuellar, P; Ibrahim, M; Gobbi, J; Cuartas, CA; Naranjo, JF; Zapata, A; Mejía, CE; Zuluaga, AF; Casasola, F. 2006. Adopción de Sistemas Agroforestales Pecuarios. *Pastos y Forrajes* 29(4): 365-378.
- \_\_\_\_\_, E; Cuella, P; Ibrahim, M; Gobbi, J; Cuartas, C; Naranjo, J; Zapata, A; Mejia, C; Zuluaga, A; Casasola, F. 2006. Adopción de Sistemas Agroforestales Pecuarios Adoption of Agroforestry Systems for Animal Production. *Pastos y Forrajes*, 29(4): 372p.
- \_\_\_\_\_, E. 2009. Incentivos para los sistemas silvopastoriles en América Latina. Fundación para la investigación de sistemas sostenibles de producción agropecuaria (CIPAV). p. 3-20.
- Myllymäki, P; Silander, T; Tirri, H; Uronen, P. 2002. B-Course: a web-based tool for Bayesian and causal data analysis. *Int. J. Artificial Intelligence Tools* 11(3): 369–387.
- Naim, P; Wuillemin, P; Leray, P; Pourret, O; Becker, A. 2008. Réseaux bayésiens. p. 1-209.
- Neef, M. 1993. Desarrollo a Escala Humana. Conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. Editorial Norman Comunidad. Barcelona, España. 59p.
- Nygren, A. 1993. El bosque y la naturaleza en la percepción del campesino costarricense: un estudio de caso. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 203-103.
- Ojeda, P; Restrepo, J; Villada, D; Gallego, J. 2003. Sistemas Silvopastoriles, una opción para el manejo sustentable de la ganadería. Manual de Capacitación: Sistemas Agrícolas Sostenibles en la Región Andina. Fidar. 52p.
- Osemeobo, G. 1990. Why people don't grow trees: a case study of Nigerian smallholders. *Quarterly Journal of International Agriculture* (29): 303-319.

- Pagiola, S; Angostini, P; Gobbi J, Ibrahim, M; Murgueitio, E; Ramírez, E; Rosales, M; Ruiz J. 2004. "Paying for Biodiversity Conservation Services." *Mountain Research and Development* 25(3): 206-211.
- \_\_\_\_\_. Arcenas, A y Platais, G. 2005. "Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America." *World Development* (33): 237-253
- \_\_\_\_\_. Rios, A. (2010). "Poor Household Participation in Payments for Environmental Services: Lessons from the Silvopastoral Project in Quindío, Colombia." *Environmental and Resource Economics* 47(3): 371-394.
- Palo, M; Uusivuori, G. Mery, G. 2001. *World Forests, Markets and Policies*. World Forests (3): 79p
- Papaconstantinou, C; Theocharous, G; Mahadevan, S. 1998. An expert system for assigning patients into clinical trials based on Bayesian networks. *J. Medical System* (3):189-202.
- Pazos, R; Girot, P; Laforge, M.; Torrealba, P; Kaimowitz, D. 1994. *El último despale: la frontera agrícola en Centroamérica*. FUNDESCA. Garnier Relaciones Públicas. San José, Costa Rica. 132p
- Pattanayak, S; Mercer, D; Sills, E; Yang, J. 2003. Taking stock of agroforestry adoption studies *Agroforestry System* (57): 173-186.
- Paz, N. 1996. *Optimización de Sistemas de producción animal de doble propósito en la zona atlántica de Costa Rica*. CATIE. 148p.
- Pearl, J. 1988. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems*. Morgan Kaufmann, San Mateo, CA. 552p.
- Perez, N. 2010. *Rasgos funcionales nutricionales de especies leñosas en sistemas silvopastoriles y su contribución a la sostenibilidad de la ganadería bovina en la época seca en el departamento de Rivas, Nicaragua*. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 123p
- Pezo, D; Ibrahim, M. 1999. *Sistemas Silvopastoriles. Módulo de enseñanza agroforestal*. Colección Módulos de enseñanza agroforestal. Proyecto agroforestal CATIE/ GTZ.
- Piotto, D; Montagnini, F; Kanninen, M; Ugalde, L; Viquez, E. (s.f). *Comportamiento de las especies y preferencias de los productores. Plantaciones forestales en Costa Rica y Nicaragua*. *Revista Forestal Centroamericana* p.59-66.

- Primer Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la Producción Animal Sostenible, Memorias. CIPAV. 1998. Producción de vacas de doble propósito suplementadas con frutos de algarobillo (*Pithecellobium saman*) durante la época de lluvias. Fandiño, BR; Velandia, E; Sierra. Cali, Colombia. 1-8p
- Raintree, J. Warner, K. 1986. "Agroforestry pathways for the intensification of shifting cultivation." *Agroforestry Systems* 4(1): 39-54.
- Randolph, R; Thaman, R; Craig, R; Elevitch; Wilkinson, M. 2000. Multipurpose Trees for Agroforestry in the Pacific Island. *Permanent Agriculture Resources*. 9p.
- Rodríguez, B. 2010. Efecto de los árboles dispersos sobre las características del suelo en sistemas silvopastoriles en Rivas, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE.. 77p.
- Ruiz, F; Gómez, R; Harvey, C. 2005. Caracterización del componente arbóreo en los sistemas ganaderos de Matiguás, Nicaragua. TROPITECNICA – NITLAPAN. 40 p. Sabido, W. 2001. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 105p.
- Sanchez, F; López, M; Medina, A; Gómez, R; Harvey, C; Vilchez, S; Hernández, B; López, F; Joya, M; Sinclair, F; Kunth, S. 2004. Importancia ecológica y socioeconómica de la cobertura arbórea en un paisaje fragmentado de bosque seco de Belén Rivas Nicaragua. *Encuentro*. p. 7-20.
- \_\_\_\_\_, Harvey, C; Grijalba, A; Medina, A; Vilchez, S; Blas, H. 2005. Diversidad, composición y estructura de la vegetación en un agro paisaje ganadero en Matiguás, Nicaragua. *Revista Biologica Tropical* (53) 387-414
- Scherr, S. 1992. Not out of the woods yet: challenges for economics research on agroforestry. *American Journal of Agriculture Economics* 74(3): 802-808.
- Sherr, J. 1995. Economic factors in farmer adoption of agroforestry: Patterns observed in Western Kenya. *International Food Policy Research Institute. WorldDevelopment* (23): 787-804.
- Seminario taller. La adopción de tecnologías. La perspectiva del productor y las implicaciones para la elaboración de políticas: La incorporación del conocimiento local del agricultor en los estudios de adopción de tecnologías. Bellon, M. Costa Rica. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. 350p

- Sirrine, D; Shennan, C. 2010. "Comparing agroforestry systems' ex ante adoption potential and ex post adoption: on-farm participatory research from southern Malawi." *Agroforestry Systems* 79(2): 253-266.
- Somarrriba 2009. Planificación agroforestal de Fincas. Materiales de enseñanza N° 49. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; de Haan, C. 2006. Livestock's long shadow. Environmental issues and options. Roma, FAO. 77p.
- Suarez, J. 2009. Análisis de rentabilidad en los sistemas tradicionales de producción y la incorporación de los sistemas silvopastoriles en fincas de doble propósito, Matagalpa – Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. p. 1-102.
- Szott, L; Ibrahim, M; Beer, J. 2000. The Hamburger connection hangover: cattle, pasture land degradation and alternative land use in Central America, CATIE, Costa Rica. 133p
- Taller Internacional «Los árboles en los sistemas de producción ganadera». 1996. Palma, J; Santiago, A. Efecto del diámetro de estaca sobre la sobrevivencia en *Gliricidia sepium*. Noviembre. 589p.
- Martin, T; Kuhnert; G. Petra, M; Mengersen, Kerrie L, Possingham, H. (2005) The power of expert opinion in ecological models using Bayesian methods: impact of grazing on birds. *Ecological Applications*, 15(1), pp. 266-280.
- Thangata, P. and Alavalapati, J. 2003. "Agroforestry adoption in southern Malawi: the case of mixed intercropping of *Gliricidia sepium* and maize." *Agricultural Systems* 78(1):57-71.
- Uusitalo, L. 2007. "Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling." *Ecological Modelling* 203(3–4): 312-318.
- Varis, O; Kuikka, S. 1997. "Joint use of multiple environmental assessment models by a Bayesian meta-model: the Baltic salmon case." *Ecological Modelling* 102(2–3): 341-351.
- Vilchez, S; Harvey, C; Sanchez, D; Medina, A; Hernandez, B. 2004. Diversidad de aves en un paisaje fragmentado de bosque seco en Rivas, Nicaragua. Encuentro Nro. 68. <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/nicargua/uca/encuen/encuen68/art4.rtf>
- Villacís J. 2003. Relaciones entre la cobertura arbórea y el nivel de intensificación de las fincas ganaderas en Rio Frio, Costa Rica. MSc thesis, CATIE, Turrialba, Costa Rica, CATIE. 129p.

- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Sinclair, F; Gómez, R; López, M; Esquivel, H. 2004. Tree resources on pasture land in cattle production systems in the dry pacific region of Costa Rica and Nicaragua. The importance of Silvopastoral Systems for Providing Ecosystems Services and Rural livelihoods. Mérida, MX. p. 183-188.
- \_\_\_\_\_; Muhammad, I; Harvey, C; Fergus, L; Sinclair; Muñoz, D. 2003. Decisiones claves que influyen sobre la cobertura arbórea en fincas ganaderas de Cañas, Costa Rica. Agroforestería en las Américas. p. 69-77.
- \_\_\_\_\_; Sanchez, D; Ibrahim, M. Establecimiento de parcelas demostrativas de sistemas silvopastoriles biodiversos en fincas ganaderas de Belén, Rivas, Nicaragua. Documento técnico FUNCiTree. 27p.
- Violla, C; Navas, M; Vile, D; Kazakou, E; Fortunel, C; Hummel, I; Garnier, E. 2007. Let the concept of trait be functional!. Oikos. p. 882–892.
- World IMACS / MODSIM Congress 18<sup>th</sup>. 2009. Caim. Bayesian Network approach to integrating economic and biophysical modeling. Kragt, M; Newham, L; Jakeman, K. Caim, Australia. p. 2377-2383
- Zamora, S; García, J; Bonilla, G; Aguilar, H; Harvey, C; Ibrahim, M. 2001. ¿Cómo utilizar los frutos de guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), genízaro (*Pithecellobium saman*) y jícaro (*Crescentia alata*) en alimentación animal?. Agroforestería en las Américas 8(31):45-49.
- \_\_\_\_\_; García, J; Bonilla, G; Aguilar, H; Harvey, C; Ibrahim, M. 2001b. Uso de frutos y follaje arbóreo en la alimentación de vacunos en la época seca en Boaco, Nicaragua. Agroforestería en las Américas 8(31):31-38.
- Zapata, A; Murgueitio, E; Mejía, C; Zuluaga, A; Ibrahim, M. 2007. Efecto del pago por servicios ambientales en la adopción de sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos de la cuenca media del río La Vieja, Colombia. Revista Agroforestería de las Américas (45): 86-92.
- Zapata, P. 2010. Efecto del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), carao (*Cassia grandis*) y roble (*Tabebuia rosea*) sobre la productividad primaria neta aérea y composición florística de pasturas naturales en Muy Muy y Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 116p.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Encuesta primera Fase

Saludo y presentación personal: Quién Soy  
HORA \_\_\_\_/

FECHA \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ /

Número de productor \_\_\_\_\_

**IDENTIFICACION Y UBICACIÓN PARA MUESTREO Y LIGAR DATOS ANTERIORES**

1. Ubicación GPS de entrevista del hogar: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_

**FASE (A). CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTOR Y LA FINCA.**

**CARACTERISTICAS DEL PRODUCTOR:**

2. Edad del productor \_\_\_\_/

3. Nivel educativo

A. No sabe leer ni escribir	B. Posgrado	C. Secundaria	D. Universidad	E. Posgrado
-----------------------------	-------------	---------------	----------------	-------------

4. Recibe o ha recibido asistencia técnica o talleres: Número aproximado \_\_\_\_/

Tipo de capacitación	Taller	Asistencia técnica
A- Reforestación ____/		
B- Alimentación animal ____/		
C- Economía de patio ____/		
D- Administrativos ____/		
E- Manejo de insecticidas y abonos ____		
F- Temas agrícolas ____ /		

5. Cuantas personas viven en la finca \_\_\_\_/

A- 0-12 años \_\_\_\_/

B- 13 a 18 años \_\_\_\_/

C- 19 a 25 años \_\_\_\_/

D- 26 a 40 años \_\_\_\_/

E- > de 40 años \_\_\_\_/

6. Contrata mano de obra: Si \_\_/ No \_\_/

A- Familiar época seca \_\_\_\_/

B- Familiar época lluvia \_\_\_\_/

C- Permanente época seca \_\_\_\_/

D- Permanente época lluvia \_\_\_\_/

E- Ocasional época seca \_\_\_\_/

F- Ocasional época lluvia \_\_\_\_/

7. Fuentes de ingreso principal
- (A) Ganadería \_\_\_ /
  - (B) Agricultura \_\_\_ /
  - (C) Remesas \_\_\_ /
  - (D) Frutales \_\_\_ /
  - (E) Venta de leña madera \_\_\_ /
  - (F) Negocio \_\_\_ /
  - (G) Ingresos por venta de mano de obra o temporal \_\_\_ /
  - (H) Ingresos por trabajar con carreta, arado o alquiler de tierras \_\_\_ /

8. Actualmente tiene crédito: Si \_\_\_ /  
No \_\_\_ /
- (A) 0-250 Córdobas \_\_\_ /
  - (B) 250 – 500 Córdobas \_\_\_ /
  - (C) 500 – 1000 Córdobas \_\_\_ /
  - (D) 1000- 3000 Córdobas \_\_\_ /
  - (E) 3000 – 5000 Córdobas \_\_\_ /
  - (F) 5000 o más Córdobas \_\_\_ /
- Tasa de Interés \_\_\_ / Vencimiento \_\_\_\_\_ /

**CARACTERISTICAS DE LA FINCA:**

9. Fuentes de agua en la finca y persistencia durante el año::

Fuente de agua	lluvias	Seca
A) Río		
B) Pozo		
C) Nacederos		
D) Criquet		
E) Quebrada		

Observación: Si es solo una temporada es fuente de agua (temporal), si son dos temporadas (Permanente)

10. Superficie total de la finca \_\_\_ /

Uso de la tierra	Área (manzanas)
A) Agricultura (granos básicos)	
B) Agricultura (comercial)	
C) Potreros	
D) Bosques manejados (ganadería)	
E) Bosques riparios	
F) Charrales	
G) Huerto casero	

11. Sistema de producción ganadera
- a. Carne – cría \_\_\_\_\_ /
  - b. Carne – engorde \_\_\_\_\_ /
  - c. Carne cría + engorde \_\_\_\_\_ /
  - d. Doble propósito \_\_\_\_\_ /

- e. Mixta (ganadería + agricultura) \_\_\_\_\_ /

12. Sistemas agrícolas
- a. Arroz \_\_\_\_\_ /

- b. Frijoles \_\_\_\_\_ /  
 c. Sorgo \_\_\_\_\_ /  
 d. Yuca \_\_\_\_\_ /  
 e. Guineo \_\_\_\_\_ /

- f. Sorgo \_\_\_\_\_ /  
 g. Otros? \_\_\_\_\_

**DESTINO DE LA PRODUCCIÓN:** AUTOCONSUMO (AT), VENTA (VTA), VENTA Y AUTOCONSUMO (VYA), AUTOCONSUMO Y VENTA EN CASO DE NECESIDAD (AYVCN).

13. Hato total \_\_\_\_ /

Categoría	Cantidad	Categoría	Cantidad	Categoría	Cantidad
Vaca parida		Novilla 1-2		Terneros	
Vaca seca		Novillo > 3 años		Terneras	
Novilla > 3 años		Novillo 2-3 años		Toros	
Novilla 2-3 años		Novillo 1-2 años		Bueyes	
				Caballos	

**POTRERO ACTUAL**

14. Estado del potrero

	Pastos	Malezas	Suelos	Pendiente
Bueno	Alta disponibilidad y buen tipo de pastura	Poca existencia	Los árboles pegan bien	Plana
Regular	Mediana disponibilidad, pastura natural	Regular presencia de malezas	Solo algunas especies pegan	Moderada
Malo	Bajos niveles de pasto	Alta presencia de malezas	Difícil que peguen los árboles	Fuerte

15. ¿Especie de pasto dominante? \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_.



16. ¿Usted considera que a este potrero le falta algún tipo de arreglo? Si \_\_\_ / No \_\_\_ /Cuál?

Acción	Detalle	Cantidad aproximada/ contar después del ejercicio (Excel)
A- Dividir potreros	Metros	
B- Sembrar cercas vivas ( distancia entre cada árbol aprox. ___/)	Unidades	
C- Cortinas rompeviento:	Unidades	
(Distancia entre cada árbol vertical ___/)		
(Distancia entre cada árbol horizontal ___/)		
D- Eliminar árboles	Unidades	
E- Árboles dispersos o agrupados en el potrero:	Unidades	
(Distancia entre cada árbol recomendable ___/)		
F- Cambiar pasturas	Manzanas	
G- Clausura temporal	Metros	

17. ¿Usted tiene el potrero ideal (en términos de eficiencia) en este o en alguno de sus potreros? Si \_\_\_ / No \_\_\_ / Cuantas (Mza)? \_\_\_/

18. Tipo de arreglo espacial (Observación maqueta)

A- Pocos árboles distribuidos en el potrero con baja cobertura.	B- Árboles distribuidos en el potrero con alta cobertura.	C- Cercas vivas multiestrato.
D- Cercas vivas mono estrato.	E- En callejones.	F- Banco forrajero

19. ¿Cuál es la tasa esperada de éxito (de 10 sembradas) dependiendo de la técnica de plantación por usted sugerida?

Vivero \_\_\_/ Siembra directa de estacas \_\_\_/ Regeneración natural \_\_\_/ Trasplante \_\_\_/

### PERCEPCIÓN DEL PRODUCTOR

20. ¿Usted cree que este sistema se puede replicar en otros potreros en su finca?

SI \_\_\_/ ¿En cuántas manzanas más? \_\_\_/

No \_\_\_/ ¿En las demás porque no? Cambian las condiciones del suelo \_\_\_/ Me gustaría diversificar árboles \_\_\_/ Planeamos cambiar a cultivos \_\_\_/

¿Otro? \_\_\_\_\_

21. ¿Está usted planeando o ya ha empezado a realizar estos cambios actualmente? Sí, ¿hace cuantos meses? \_\_\_/ No \_\_\_/

### LIMITANTES DE LA ADOPCIÓN

22. ¿Qué inconvenientes usted ha tenido o tiene para hacer todos estos cambios?

Limitantes	Opciones de respuesta (Soluciones, percepciones)
A- Falta de mano de obra disponible ___/	Pidiendo la colaboración de vecinos, familiares o amigos ___/ Contratando mano de obra ___/ Usando la mano de obra disponible en el hogar ___/
B- No tengo las suficientes estacas que necesito ___/	La compraría a mis vecinos ___/ Sembraría las que tengo y replicaría el sistema por pocos ___/
C- El ganado no permite que crezcan los árboles. ___/	Cercar con alambre de púas ___/ Rodear el arbolito con ramas de aromo ___/ Sembrar estacas de otros árboles ___/

D- Existen otras alternativas más importantes en que ocupar el dinero. ___/	¿Cuáles? Agricultura ___/ Negocio ___/ Educación ___/ Hogar ___/ Deudas ___/ Comercio ___ / Compra y venta de ganado ___/ Otro _____
E- El tipo de suelo dificulta que los árboles crezcan con fuerza. ___/	Características:
F- Las leyes prohíben el aprovechamiento de los árboles para venta de madera. ___/	Muchos trámites ___/ Pocos permisos aprueban ___/ Dejan aprovechar pocos árboles ___/ Poco tiempo para aprovecharlos ___/
G- Los ingresos por venta de leche y carne son muy bajos y eso desestimula al productor ___/	Bajos precios del mercado (leche) ___/ Bajos precios del mercado (Carne) ___/ La raza animal es de baja calidad ___/ Los novillos están escasos y costosos ___/ La competencia internacional ___/ Otro _____/
H- Derechos de propiedad	Sin título ___/ Alquilada ___/
I- ¿Otro?	
J- ¿Otro?	

### MOTIVANTES DE LA ADOPCIÓN

23. ¿Qué ventajas usted observa al visualizar el potrero ideal para su familia, para la finca, para la comunidad?

ECONÓMICA	AMBIENTAL	SOCIAL
A- El ganado estaría sombreado ___/	A- Purifica el aire ___/	A- Mejora el paisaje ___/
B- Tendría productos de los árboles ___/	B- Protege los animales silvestres ___/	B- Los vecinos se beneficiarían ___/
C- Tendría estacas para replicar el sistema en otros potreros ___/	C- El agua fluiría ___/	C- La sombra sirve para descansar y para trabajar ___/
D- Podría manejar el ganado de forma eficiente ___/	D- Protege el suelo ___/	¿Otro?
E- El valor de la tierra incrementaría ___/	¿Otro?	¿Otro?
¿Otro?	¿Otro?	¿Otro?
¿Otro?	¿Otro?	¿Otro?

24. ¿Qué incentivo le parece el adecuado que a usted lo motivaría a lograr los cambios en su potrero?

INCENTIVO	OPCIONES DE RESPUESTA (SOLUCIONES, PERCEPCIONES)
A- Asistencia técnica	Una vez al mes ___/ Una vez cada dos meses ___/ Una vez cada tres meses ___/ Una vez cada 6 meses ___/ Una vez al año ___/
B- Capacitaciones	Alimentación animal ___/ Mejoramiento de pasturas ___/ Control de malezas ___/ Agricultura ___/ ¿Otros? _____/
C- Pagos por servicios ambientales	¿Qué monto por árbol adicional al año?
D- Alambre	¿Cuántos metros de alambre?
E- Semillas árboles	De especies por usted escogidas ___/ De especies recomendadas por técnicos ___/
F- Paguen las estacas sembradas	¿Qué monto es el correcto?
G- Acceso a créditos bajas tasas de interés	¿En que lo invertiría? Compra de toros ___/ Compra de novillos ___/ Alambre ___/ Comprar vacas paridas ___/ contratar mano de obra ___/ Arreglar el patio ___/
H- Reconocimiento de la mano de obra contratada	¿Monto aproximado?
¿Otro?	

(Productores claves) En construcción

**PRODUCTORES CLAVES**

**MANO DE OBRA**

25. ¿Cuánto está costando regularmente un jornal en Rivas? \_\_\_\_\_ /  
 26. ¿Cuánto cuesta un viaje en carreta por una hora de recorrido? \_\_\_\_\_ /  
 27. ¿Cuánto cuesta un paquete de bolsas para depositar la semilla? \_\_\_\_\_ /  
 28. ¿Cuánto cuesta contratar una persona para que aproveche/elimine un árbol?  
 \_\_\_\_\_ /  
 29. ¿Cuánto tiempo se gasta podando un árbol en promedio? \_\_\_\_\_ /  
 30. ¿Costos estimados unitarios de implementar árboles en potrero?

ACTIVIDAD	DETALLE	ESTABLECIMIENTO PLANTA	ESTACA	TRANSPLANTE
<b>Año 1</b>				
Buscar de la semilla/estaca/arbolito y transporte al hogar	Horas	X	X	X
Comprar bolsas para el vivero	Horas	X		
Plantar la semilla y poner tierra en la bolsa	Horas	X		
Llevar el arbolito al lugar indicado	Horas	X	X	X
Hacer hoyo	Horas	X	X	X
Limpiar a 2 metros (diámetro) alrededor de árbol	Horas	X	X	X
Plantar el árbol	Horas			
Fertilizante químico	Córdobas	X		
Fertilizante orgánico	Córdobas	X		
Replantar estaca	Horas		X	
Control manual del árbol (tres meses)	Horas	X		X
Control manual del árbol (Seis meses)	Horas	X		X
Control manual del árbol (nueve meses)	Horas	X		X
Poda de formación	Horas	X		X

<b>Año 2</b>				
Control manual de maleza (1 trimestre)	Horas	X		
<b>Año 4 y 5</b>				
Poda de formación	Horas	X	X	X
<b>Año 6 y 7</b>				
Poda de formación	Horas	X	X	X
<b>Año 8</b>				
Poda de formación	Horas	X	X	X
Primer raleo	Horas	X	X	X
<b>Año 9</b>				
Poda de formación	Horas	X	X	X
<b>Año 10</b>				
Segunda raleo		X	X	X
<b>Año 12</b>				
Tercer raleo		X	X	X
<b>Año 14</b>				
Cuarto raleo	Horas			

### COSTOS DE APROVECHAMIENTO DE ARBOLES

31. Cantidades aproximadas de extracción de un árbol durante su vida útil?

ESPECIE	Edad del árbol	HOGAR					CONSTRUCCIÓN					AGRICULTURA Y GANADERIA							
		LÑ	FH	MBS	MDC	CB	PPLRS	SSLRA	AFLA	RGL	TBL	CCTA	ADO	YGO	PPTS	CV	FJE	FA	RAM

Especie arbórea \_\_\_\_\_ / Edad de aprovechamiento optima \_\_\_\_ /

Función	Tiempo	Volumen	PPrecio M/do	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	110	111	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Forraje	Mes/libras																							
Ramoneo	Mes/libras																							
Frutas animal	Mes/frutas																							
Frutas humano	Mes/frutas																							
Postes	Año/unidades																							
Leña	Año/unidades																							
Pilares	Año/unidades																							
Alfajilla	Año/unidades																							
Soleras	Año/unidades																							

Características especiales y comentarios \_\_\_\_\_ /

Anexo 3. Cantidades aproximadas de los derivados de la madera por especie arbórea.

CANTIDADES PRODUCIDAS													
Especie	Tamaño	Años	Leña	Alfajilla	Tablas	Cadenillo	Muebles	Solera	Artesanias	Frutas	Postes	Pilares	Ganchos
Guasimo	Grande	20	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Madroño	Grande	20	4.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gallinazo blanco	Grande	20	6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Espino de playa	Grande	20	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Guachipilin	Grande	20	1.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Roble	Grande	20	1.0	20.0	12.0	30.0	-	-	-	-	-	-	-
Laurel	Grande	20	1.0	20.0	-	-	5.0	6.0	-	-	-	-	-
Caoba	Grande	20	-	-	-	-	4.0	-	-	-	-	-	-
Genizaro	Grande	20	2.0	20.0	18.0	40.0	-	-	-	-	-	-	-
Acetuno	Grande	20	-	-	12.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Jicaro	Grande	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mango	Grande	14	-	-	-	-	-	-	-	81.5	-	-	-
Guachipilin	Mediano	8	0.5	-	8.0	-	-	-	-	-	10.0	-	-
Jocote	Mediano	8	-	-	-	-	-	-	-	18.3	-	-	-
Madero negro	Grande	25	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	15.0
Cornizuelo	Grande	10	3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cedro	Grande	20	-	18.0	12.0	25.0	-	-	-	-	-	-	-
Caoba	Grande	20	1.0	-	-	-	-	-	4.0	-	-	-	-
Guanacaste	Grande	25	1.0	20.0	-	25.0	-	-	-	-	-	-	-
Tiguilote	Pequeño	4	-	-	-	-	-	-	-	-	20.0	-	-

Anexo 4. Precios unitarios por venta de madera en US\$ por unidad de uso de acuerdo a los productores

PRECIOS UNITARIOS DE VENTA															
Especie	Tamaño	Años	Leña	Alfajilla	Tablas	Cadenillo	Muebles	Solera	Artesanias	Forraje/kgs	Semillas/libras	Frutas	Postes	Pilares	Ganchos
Guasimo	Grande	20	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Madroño	Grande	20	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gallinazo blanco	Grande	20	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Espino de playa	Grande	20	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Guachipilin	Grande	20	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roble	Grande	20	13	7	9	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laurel	Grande	20	13	5	0	0	9	9	0	0	0	0	0	0	0
Caoba	Grande	20	9	4	4	4	22	0	0	0	0	0	0	0	0
Genizaro	Grande	20	13	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acetuno	Grande	20	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jicaro	Grande	20	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
Mango	Grande	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Guachipilin	Mediano	8	22	0	4	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Jocote	Mediano	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Madero negro	Grande	25	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	1
Cornizuelo	Grande	10	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cedro	Grande	20	0	11	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Caoba	Grande	20	18	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0
Guanacaste	Grande	25	18	7	4	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiguilote	Pequeño	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0

*Anexo 5. Algunas razones por las cuáles retienen o eliminan árboles.*

ESPECIES ARBOREA	ELIMINACIÓN	RETENCIÓN
Acetuno		Atrae a las ardillas, congos, pajaros.
Aromo	Mucha espina, hormigas, malo para el pasto	Semilla alimento animales.
Ceibo	Poco útil	Atrae el algarrobo, mono, ardilla, pajaros, chocoyo.
Cornizuelo	Malo para el pasto, hormigas	
Genizaro		Perennifolio
Guanacaste	Mucha sombra uno o dos suficiente	En el rio frescura, bueno en el bosque y rios. En las esquinas en los potreros, buena sombra.
Guachipilin		Regeneración natural
Jicaro		Proteina, minerales, cereal, deja crecer el pasto, artesanias
Jiñote	Poco útil	Medicinal, se adapta al suelo.
Jobo	Poco útil, mala madera, mucha sombra	Se lo comen los animales silvestres.
Jocote		Buen comercio, atrae chocoyos, urracas, ardillas, rebrota, cerdos comen
Madero Negro	Sombra caliente	Proteina, humedad, atrae al congo y algarrobo por la flor.
Madroño		Protege fuentes de agua, arreglos florales, árbol nacional.
Malaguiste	Espinoso, caliente para el pasto.	
Mango	Las vacas se engolosinan.	Sus frutos atrae a los congos
Muñeco	Poco útil, mucha sombra	
Nancite		Los frutos atrae a las ardillas y el congo vienen.
Ñanbaro	Mal olor en la cocina.	
Papaturro		La sombra es benefica para el pasto, el ganado busca su sombra y pastorean bajo ella.
Pochote		Fresco, ideal en las orillas de quebradas
Poro poro	Poco útil	
Tiguilote	Sombra caliente, pega,	En verano el ganado se pelea por comer debajo del árbol por la flor.
Guasimo		Murcielagos, ardillas vienen, medicinal.
Chiquirin		Las flores atrae abejas melíferas.

Anexo 6. Costos de recolección de semillas

Costos de recolección de semillas				
Especie	Semillas	Minutos	Semillas/Minuto	Costo/Semilla/US\$
Madero	500	120	4.2	0.050710992
Guanacaste	400	180	2.2	0.027045863
Caoba	300	180	1.7	0.020284397
Cedro	100	150	0.7	0.008113759
Pochote	100	60	1.7	0.020284397
Roble	500	120	4.2	0.050710992
Mango	300	18	16.7	0.20284397
Guasimo	150	60	2.5	0.030426595
Genizaro	300	120	2.5	0.030426595
Tiguilote	290	120	2.4	0.029412376
Jicaro	50	120	0.4	0.005071099
Laurel	290	120	2.4	0.029412376
Papaturro	50	60	0.8	0.010142198
Gallinazo	290	120	2.4	0.029412376
Acetuno	500	120	4.2	0.050710992
Guachipilin	290	120	2.4	0.029412376
Limón	600	120	5.0	0.060853191
Madroño	290	120	2.4	0.029412376
Espino de playa	300	120	2.5	0.030426595
Acetuno	250	120	2.1	0.025355496
Cornizuelo	320	120	2.7	0.032455035

Anexo 7. Formato entrevista a conocimiento especializado.

RASGOS FUNCIONALES	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS																
	Sombra para el ganado	Sombra para el pasto	Forraje	Frutos al animal	Rompeviento	Protección fuentes de agua	control de erosión	Mejoramiento de suelos	protección Biodiversidad	Resistencia a sequia	Cerca viva	Leña	Medicinal	Madera construcción	Frutos al. Humana	Paisajístico	Mejoramiento de suelos
Tamaño de la planta																	
Altura de la copa																	
Profundidad de raíz																	
Copa amplia																	
Alta densidad de la copa																	
Densidad de copa baja																	
Aporte de hojarasca al suelo (Alto)																	
Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo																	
Contenido de proteína de la hoja (forrajera)																	
Hojas pequeñas.																	
Tasa de degradación baja (hoja)																	
Palatabilidad																	
Valor nutritivo de la hoja (forrajera)																	
Contenido de nutritivo (Alto)																	
Alta cantidad de azúcar (fruto)																	
Sombra fresca																	
Producción de espinas																	
Interacción positiva con pasturas																	
Flamabilidad de la leña																	
Raíces abundantes.																	
Raíces superficiales																	
Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la madera)																	
Tasa de producción de biomasa																	
Baja densidad de madera																	

Anexo 8. Resultados y beneficios adicionales de inclusión de árboles para un productor tipo subsistencia

Adicionales en ADP

Especies arbóreas (adicionales)	Razgos Funcionales (Conocimiento Experto)
0.00 Simarouba g.	4.27 Altura de la copa
0.00 Swietenia h.	5.18 Profundidad de raíz
0.00 Cassia g.	8.26 Amplitud de la copa
0.00 Cedrela o.	3.68 Alta densidad de la copa (copa cerrada)
0.00 Myrospermam f.	5.32 Densidad de copa baja
0.00 Pithecellobium d.	4.26 Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
0.00 Pithecellobium s.	6.09 Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
0.85 Diphyssa r.	3.16 Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
3.39 Guazuma u.	2.66 Hojas pequeñas
3.39 Enterolobium c.	2.27 Tasa de degradación baja (hoja)
0.00 Crescentia a.	2.27 Palatabilidad
0.00 Bursera s.	7.25 Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
0.00 Spondias p.	0.70 Contenido de nutritivo (Alto)
3.39 Cordia a.	2.67 Alta cantidad de azúcar (Fruto)
0.00 Leucaena s.	0.70 Sombra fresca
11.02 Gliricidia s.	2.27 Producción de espinas
7.63 Calycophyllum c.	5.64 Interacción positiva con pasturas
0.00 Birsominia c.	16.41 Flammabilidad de la leña
0.00 Pachira q.	10.60 Raíces abundantes
1.69 Tabebuia r.	0.70 Raíces superficiales
68.64 Cordia d.	0.70 Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la madera)
	2.28 Tasa de producción de biomasa
	2.69 Baja densidad de madera

Número árboles	Servicios ecosistémicos (Conocimiento Exp.)
$\mu=11.47$ , $\sigma^2=289.66$	6.41 Sombra para el ganado
33.69 -0.089 - 1.5	4.54 Sombra humanos
	7.56 Sombra para el pasto
	9.52 Nutrición animal
	9.33 control de erosión
	9.05 protección Biodiversidad
	5.95 Cerca viva
	7.68 Leña
	1.89 Medicinal
	3.60 Madera construcción
	3.05 Madera muebles
	3.70 Frutos al. Humana
	6.44 Paisajístico
	8.04 Protección fuentes de agua
	13.22 Mejoramiento de suelos

Costos totales implementa.
$\mu=17.81$ , $\sigma^2=455.89$
1.35 -inf - 0

Ingresos netos
$\mu=814.4$ , $\sigma^2=1.566$
11.10 -inf - 0

Adicionales en CV

Especies arbóreas (adicionales)	Razgos Funcionales (Conocimiento Experto)
0.00 Simarouba g.	4.83 Altura de la copa
0.00 Swietenia h.	5.30 Profundidad de raíz
0.00 Cassia g.	8.36 Amplitud de la copa
0.00 Cedrela o.	3.75 Alta densidad de la copa (copa cerrada)
0.00 Myrospermam f.	5.67 Densidad de copa baja
0.00 Pithecellobium d.	4.17 Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
1.00 Pithecellobium s.	5.88 Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
0.00 Diphyssa r.	3.23 Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
0.00 Guazuma u.	2.69 Hojas pequeñas
0.00 Enterolobium c.	2.60 Tasa de degradación baja (hoja)
0.00 Crescentia a.	2.60 Palatabilidad
0.00 Bursera s.	7.07 Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
6.50 Spondias p.	0.69 Contenido de nutritivo (Alto)
0.00 Cordia a.	2.66 Alta cantidad de azúcar (Fruto)
0.00 Leucaena s.	0.69 Sombra fresca
11.00 Gliricidia s.	2.60 Producción de espinas
0.00 Calycophyllum c.	4.96 Interacción positiva con pasturas
2.00 Birsominia c.	15.75 Flammabilidad de la leña
23.50 Pachira q.	9.30 Raíces abundantes
0.00 Tabebuia r.	0.69 Raíces superficiales
56.00 Cordia d.	0.69 Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la madera)
	2.61 Tasa de producción de biomasa
	3.00 Baja densidad de madera

Número árboles	Servicios ecosistémicos (Conocimiento Exp.)
$\mu=35.71$ , $\sigma^2=1217.03$	6.46 Sombra para el ganado
20.17 -0.1 - 2	4.70 Sombra humanos
	7.65 Sombra para el pasto
	9.69 Nutrición animal
	9.09 control de erosión
	9.13 protección Biodiversidad
	5.96 Cerca viva
	7.61 Leña
	1.90 Medicinal
	3.65 Madera construcción
	3.08 Madera muebles
	3.71 Frutos al. Humana
	6.51 Paisajístico
	7.83 Protección fuentes de agua
	13.01 Mejoramiento de suelos

Costos totales implementa.
$\mu=31.23$ , $\sigma^2=811.94$
0.81 -inf - 0

Ingresos netos
$\mu=1996.51$ , $\sigma^2=5.72E6$
13.88 -inf - 0

## Anexo 9. Resultados y beneficios adicionales de inclusión de árboles para un productor tipo intensivo

### Adicionales en ADP

Especies arbóreas (adicionales)	Rasgos Funcionales (Conocimiento Experto)
0.68 Simarouba g.	4.71 Altura de la copa
0.68 Swietenia h.	5.12 Profundidad de raíz
0.00 Cassia g.	7.23 Amplitud de la copa
1.37 Cedrela o.	2.58 Alta densidad de la copa (copa cerrada)
0.00 Myrospermam f.	4.68 Densidad de copa baja
0.00 Pithecellobium d.	3.04 Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
0.00 Pithecellobium s.	6.75 Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
0.68 Diphysa r.	5.09 Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
0.00 Guazuma u.	2.57 Hojas pequeñas.
1.37 Enterolobium c.	2.58 Tasa de degradación baja (hoja)
0.00 Crescentia a.	2.58 Palatabilidad
0.00 Bursera s.	5.61 Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
0.00 Spondias p.	0.47 Contenido de nutritivo (Alto)
0.00 Cordia a.	2.62 Alta cantidad de azúcar (fruto)
0.00 Leucaena s.	0.47 Sombra fresca
46.58 Gliricida s.	2.58 Producción de espinas
1.03 Calycophyllum c.	2.65 Interacción positiva con pasturas
0.34 Birsorima c.	28.76 Flanabilidad de la leña
46.58 Pachira q.	3.77 Raíces abundantes.
0.68 Tabebuia r.	0.47 Raíces superficiales
0.00 Cordia d.	0.47 Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la madera)
	2.58 Tasa de producción de biomasa
	2.61 Baja densidad de madera

Número árboles	Costos totales implementa	Ingresos netos
$\mu=8.95, \sigma^2=233.43$	$\mu=15.76, \sigma^2=352.11$	$\mu=590.64, \sigma^2=1.51E6$
37.03 -0.089 - 1.5	1.48 -inf - 0	36.86 -inf - 0

Servicios ecosistémicos (Conocimiento Exp)
5.42 Sombra para el ganado
4.13 Sombra humanos
7.21 Sombra para el pasto
9.36 Nutrición animal
8.58 control de erosión
8.50 protección Biodiversidad
6.48 Cerca viva
10.45 Leña
1.77 Medicinal
3.65 Madera construcción
3.14 Madera muebles
3.15 Frutos al. Humana
6.15 Paisajístico
8.12 Protección fuentes de agua
13.89 Mejoramiento de suelos

### Adicionales en CV

Especies arbóreas (adicionales)	Rasgos Funcionales (Conocimiento Experto)
0.78 Simarouba g.	4.75 Altura de la copa
5.17 Swietenia h.	5.08 Profundidad de raíz
0.00 Cassia g.	7.60 Amplitud de la copa
0.19 Cedrela o.	3.01 Alta densidad de la copa (copa cerrada)
0.00 Myrospermam f.	5.13 Densidad de copa baja
0.00 Pithecellobium d.	3.43 Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
0.06 Pithecellobium s.	6.18 Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
0.00 Diphysa r.	5.24 Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
2.84 Guazuma u.	2.75 Hojas pequeñas.
0.00 Enterolobium c.	2.61 Tasa de degradación baja (hoja)
0.00 Crescentia a.	2.61 Palatabilidad
8.86 Bursera s.	6.25 Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
2.78 Spondias p.	0.56 Contenido de nutritivo (Alto)
2.13 Cordia a.	2.85 Alta cantidad de azúcar (fruto)
9.11 Leucaena s.	0.56 Sombra fresca
30.96 Gliricida s.	2.61 Producción de espinas
0.19 Calycophyllum c.	3.74 Interacción positiva con pasturas
0.00 Birsorima c.	22.98 Flanabilidad de la leña
9.95 Pachira q.	5.53 Raíces abundantes.
7.24 Tabebuia r.	0.56 Raíces superficiales
19.72 Cordia d.	0.56 Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la madera)
	2.61 Tasa de producción de biomasa
	2.79 Baja densidad de madera

Número árboles	Costos totales implementa	Ingresos netos
$\mu=34.8, \sigma^2=1310.85$	$\mu=30.56, \sigma^2=871.94$	$\mu=1334.98, \sigma^2=4.47E6$
18.25 -0.1 - 2	0.73 -inf - 0	35.95 -inf - 0

Servicios ecosistémicos (Conocimiento Exp)
5.88 Sombra para el ganado
4.43 Sombra humanos
7.49 Sombra para el pasto
9.64 Nutrición animal
8.75 control de erosión
8.79 protección Biodiversidad
6.26 Cerca viva
9.18 Leña
1.85 Medicinal
3.63 Madera construcción
3.09 Madera muebles
3.40 Frutos al. Humana
6.28 Paisajístico
7.88 Protección fuentes de agua
13.45 Mejoramiento de suelos

## Anexo 10 Resultados y beneficios adicionales de inclusión de árboles para un productor tipo extensivo

### Adicionales en ADP

Especies arbóreas (adicionales)	Rasgos Funcionales (Conocimiento Experto)
0.00 Simarouba g.	4.62 Altura de la copa
1.25 Swietenia h.	6.18 Profundidad de raíz
0.00 Cassia g.	9.28 Amplitud de la copa
0.00 Cedrela o.	3.58 Alta densidad de la copa (copa cerrada)
0.00 Myrospermam f.	5.53 Densidad de copa baja
0.00 Pithecellobium d.	4.18 Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
2.50 Pithecellobium s.	4.97 Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
0.00 Diphysa r.	3.47 Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
8.75 Guazuma u.	2.63 Hojas pequeñas.
6.25 Enterolobium c.	2.41 Tasa de degradación baja (hoja)
2.50 Crescentia a.	2.41 Palatabilidad
0.00 Bursera s.	7.62 Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
3.12 Spondias p.	0.73 Contenido de nutritivo (Alto)
0.00 Cordia a.	3.65 Alta cantidad de azúcar (fruto)
0.00 Leucaena s.	0.73 Sombra fresca
1.88 Gliricida s.	2.41 Producción de espinas
2.50 Calycophyllum c.	6.54 Interacción positiva con pasturas
0.62 Birsorima c.	12.22 Flanabilidad de la leña
3.12 Pachira q.	9.80 Raíces abundantes.
8.12 Tabebuia r.	0.73 Raíces superficiales
56.25 Cordia d.	0.73 Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la madera)
	2.44 Tasa de producción de biomasa
	2.93 Baja densidad de madera

Número árboles	Costos totales implementa	Ingresos netos
$\mu=11.13, \sigma^2=281.31$	$\mu=17.5, \sigma^2=440.29$	$\mu=844.54, \sigma^2=1.68E6$
32.88 -0.089 - 1.5	1.32 -inf - 0	9.45 -inf - 0

Servicios ecosistémicos (Conocimiento Exp)
6.82 Sombra para el ganado
4.96 Sombra humanos
7.84 Sombra para el pasto
9.83 Nutrición animal
9.28 control de erosión
9.32 protección Biodiversidad
5.81 Cerca viva
6.81 Leña
1.91 Medicinal
3.65 Madera construcción
3.04 Madera muebles
3.95 Frutos al. Humana
6.57 Paisajístico
7.74 Protección fuentes de agua
12.46 Mejoramiento de suelos

### Adicionales en CV

Especies arbóreas (adicionales)	Rasgos Funcionales (Conocimiento Experto)
0.00 Simarouba g.	4.14 Altura de la copa
10.45 Swietenia h.	4.92 Profundidad de raíz
0.00 Cassia g.	6.87 Amplitud de la copa
0.60 Cedrela o.	2.40 Alta densidad de la copa (copa cerrada)
0.00 Myrospermam f.	4.19 Densidad de copa baja
0.00 Pithecellobium d.	3.02 Aporte de hojarasca al suelo (Alto)
1.79 Pithecellobium s.	7.03 Aporte de hojarasca de rápida degradación al suelo
0.00 Diphysa r.	4.99 Contenido de proteína de la hoja (forrajera)
11.04 Guazuma u.	2.27 Hojas pequeñas.
1.79 Enterolobium c.	2.23 Tasa de degradación baja (hoja)
0.00 Crescentia a.	2.23 Palatabilidad
0.00 Bursera s.	5.47 Valor nutritivo de la hoja (forrajera)
0.00 Spondias p.	0.45 contenido de nutritivo (Alto)
2.09 Cordia a.	2.40 Alta cantidad de azúcar (fruto)
0.00 Leucaena s.	0.45 Sombra fresca
49.85 Gliricida s.	2.23 Producción de espinas
5.97 Calycophyllum c.	2.76 Interacción positiva con pasturas
0.00 Birsorima c.	31.89 Flanabilidad de la leña
8.06 Pachira q.	3.64 Raíces abundantes.
0.60 Tabebuia r.	0.45 Raíces superficiales
7.76 Cordia d.	0.45 Tasa de combustión (relacionado a la densidad de la madera)
	2.24 Tasa de producción de biomasa
	2.32 Baja densidad de madera

Número árboles	Costos totales implementa	Ingresos netos
$\mu=36.88, \sigma^2=1504.69$	$\mu=32.48, \sigma^2=993.89$	$\mu=1171.58, \sigma^2=4.43E6$
21.12 -0.1 - 2	0.84 -inf - 0	41.18 -inf - 0

Servicios ecosistémicos (Conocimiento Exp)
5.17 Sombra para el ganado
3.83 Sombra humanos
6.88 Sombra para el pasto
9.05 Nutrición animal
8.79 control de erosión
8.28 protección Biodiversidad
6.56 Cerca viva
11.05 Leña
1.71 Medicinal
3.63 Madera construcción
3.15 Madera muebles
3.00 Frutos al. Humana
6.01 Paisajístico
8.49 Protección fuentes de agua
14.31 Mejoramiento de suelos