



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
APLICADAS Y AMBIENTALES
U.D.C.A

Facultad de Ingeniería Agronómica



Escuela de Formación de Investigadores y
Capacitación en Agricultura Tropical - EFICAT

MAESTRIA EN AGROFORESTERIA TROPICAL

**EVALUACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL ACACIA *Acacia mangium Willd.*,
MELINA *Gmelina arborea Roxb* y YOPO *Anadenanthera peregrina (L.) Speg* BAJO
SISTEMAS SILVOPASTORILES EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN LA LIBERTAD
CORPOICA-VILLAVICENCIO-META**

POR

NIRIA PASTORA BONZA PEREZ

**BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2014**

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES
U.D.C.A**

Facultad de Ingeniería Agronómica

**CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA
CORPOICA**

**Escuela de Formación de Investigadores y Capacitación en Agricultura Tropical
EFICAT**

**EVALUACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL ACACIA *Acacia mangium Willd*, MELINA
Gmelina arborea Roxb y YOPO *Anadenanthera peregrina (L.) Speg* BAJO SISTEMAS
SILVOPASTORILES EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN LA LIBERTAD CORPOICA-
VILLAVICENCIO-META**

Trabajo de Investigación presentado
como requisito para optar por el grado de:

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Presentado Por

NIRIA PASTORA BONZA PEREZ

**BOGOTÁ D.C., COLOMBIA
2014**

CONSTANCIA APROBATORIA

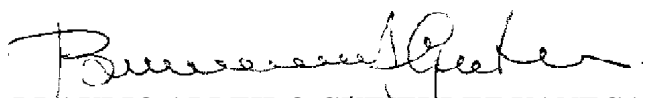
El presente documento ha sido, debidamente revisado y evaluado de acuerdo a las normas establecidas por la Universidad, para validar el rigor científico de los planteamientos y conclusiones en el reflejadas, de tal manera que el mismo es aprobado por el Comité de Maestrías, en calidad requisito parcial para optar al título de:

Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

FIRMANTES:



GERMAN ANZOLA MONTERO
Rector y Presidente del Comité de Maestrías U.D.C.A



BRAULIO ALBEIRO GUTIÉRREZ VANEGAS
Director del trabajo de investigación



SONIA DARYBY OSPINA HERNÁNDEZ
Jurado evaluador



HECTOR FABIO LIBREROS JARAMILLO
Jurado evaluador

DEDICATORIA

*A mis padres Edgar y María Niria, A mi hermano Edgar,
quienes son mi motivación para todo lo que he realizado en mi vida.*

*Y en especial a mi Abuelo Marcelino de quién admiro su
fortaleza y gran corazón. Un ejemplo para mí.*

AGRADECIMIENTOS

A la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA y la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA por la formación académica y el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

Quiero agradecerle a mi Director de trabajo de grado, el Doctor Braulio Gutiérrez Vanegas, por todos sus valiosos conocimientos, para llevar a cabo esta investigación, su gran dedicación y el entusiasmo para que este proyecto se llevara a buen término.

Al Doctor Luis Carlos Concha Bustos, Coordinador de la Maestría en Agroforestería Tropical, sus continuas voces de aliento para que este trabajo cumpliera todas sus metas.

Al Centro de Investigación Corpoica La Libertad por permitir la instalación y seguimiento de los ensayos en campo necesarios para este trabajo.

Al Doctor Oscar Pardo, por todo el apoyo para el desarrollo del trabajo de campo y sus aportes en los ensayos de disponibilidad y calidad de forrajes.

A Gilma Serrano Barrios, por la dedicación para el procesamiento en laboratorio de las muestras de calidad de de forraje.

Al Doctor Guillermo Bueno apoyo para el desarrollo de las entrevistas, para el análisis de la percepción de los productores ganaderos sobre la incorporación del componente forestal en sus fincas.

Al Doctor Oscar Cerinza, su interés y acompañamiento durante las visitas y entrevistas a los productores ganaderos.

A los productores ganaderos de los municipios de Villavicencio, Acacias y Castilla La Nueva por compartir sus experiencias con los árboles en las fincas.

Al Doctor Jesús Antonio Betancourt, por el soporte técnico dado para la instalación de los ensayos en campo.

Agradezco a los profesores Rosa Elsa Pérez, Guillermo Carvajal, Jorge Arguelles, del postgrado de Maestría en Agroforestería Tropical, su acompañamiento y apoyo en las diferentes temáticas de este trabajo.

A la profesora María Teresa Ríos y a la Doctora Juanita Benavides, su asesoría para el análisis estadístico de los datos de campo.

A mis compañeros Albert Gutiérrez, Aldemar Zúñiga y Juan Carlos Benavides todos los momentos que compartimos y por brindarme su apoyo durante todo el proceso de esta Maestría.

A Jenny Herrera, mi amiga, con quién compartimos tantos momentos de felicidad y tristeza; porque decidimos ir juntas por el camino más difícil, pero con orgullo hoy decimos que lo logramos. Gracias por todos los días de esfuerzo en desarrollo de este trabajo y por enseñarme tantas cosas de su profesión. Gracias por los días de Libertad.

A los auxiliares de campo, Alirio Torres, Alfonso Martínez, Manuel Ostos, por facilitar el desarrollo de las actividades de campo de este proyecto.

1 RESUMEN DEL PROYECTO

BONZA, N. 2013. *Evaluación del componente forestal Acacia mangium Willd, Gmelina arbórea Roxb y Anadenanthera peregrina (L.) Speg bajo sistemas silvopastoriles en el Centro de Investigación La Libertad Corpoica-Villavicencio-Meta*

Palabras claves: *Acacia mangium, Gmelina arbórea, Anadenanthera peregrina, Brachiaria decumbens, plantación forestal, sistema silvopastoril, umbral de sombra, crecimiento, manejo silvicultural.*

Este proyecto de investigación tiene como propósitos: (i) Determinar la productividad componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) bajo plantación y sistema silvopastoril, (ii) Evaluar el efecto ecológico de la incorporación de este componente forestal en la relación árbol-pastura y árbol-suelo en sistemas silvopastoriles, (iii) Conocer la percepción de los productores ganaderos locales, respecto a la incorporación del componente forestal en sus sistemas ganaderos y (iv) Establecer estrategias y opciones para el manejo silvicultural del componente forestal en arreglos silvopastoriles.

El trabajo se desarrolló en el Centro de Investigación La Libertad de Corpoica, kilómetro 21 vía Puerto López (Villavicencio, Meta, Colombia) localizado a 4°06' de latitud norte y 73°34' de longitud oeste, con una altitud de 336 msnm.

Se realizó un inventario forestal para determinar la productividad, calidad y potencial de productos maderables del componente forestal bajo plantación forestal y sistema silvopastoril. Para analizar las interacciones árbol-pastura y árbol-suelo, se hicieron muestreos de cantidad y calidad de forraje de (*B. decumbens*), análisis químicos de suelos y muestreos de macrofauna. Se entrevistaron productores de los municipios de Villavicencio, Acacias y Castilla la Nueva, para conocer la percepción sobre la incorporación del componente forestal en sus sistemas ganaderos, conformando una base de conocimiento mediante el sistema AKT5® (*Agroforestry Knowledge Tool*). Con el uso del simulador forestal SEI-FS® (*Spatially explicit individual-based forest simulator*), se proyectó la productividad forestal y del porcentaje de sombra con el fin de proponer opciones y estrategias para el manejo silvicultural del componente forestal en silvopastoreo.

El componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) bajo los sistemas plantación y silvopastoril tienen baja productividad, como resultado de la baja densidad y calidad forestal, además de algunas deficiencias de manejo silvicultural. La productividad es mayor en el sistema plantación que bajo silvopastoreo. Se destacan acacia (*A. mangium*) y melina (*G. arbórea*) en plantación con una productividad de 95.29 m³ha⁻¹ y 90.57 m³ha⁻¹ respectivamente. Sin embargo este rendimiento está por debajo de lo reportado como óptimo para estas especies forestales.

La incorporación del componente forestal, evidenció una mayor producción de forraje verde en el sistema silvopastoril 5603 kg ha⁻¹ comparado con la pastura tradicional 5138 kg ha⁻¹. Se puede indicar que la sombra tiene un efecto benéfico en la cantidad y calidad de pastura de (*B. decumbens*) y en las características químicas y biológicas de los suelos mejorando las condiciones del sistema.

Los productores ganaderos entrevistados, perciben con importancia la sombra generada al incorporar árboles en sus sistemas ganaderos e identifican el papel del sombrío en la producción de pasto y el bienestar animal. Un programa de fomento de sistemas silvopastoriles en la región debe considerar aspectos como la presencia institucional, la asistencia técnica, el valor ambiental de los árboles y considerar la experiencia de los productores.

Finalmente las estrategias de manejo del componente forestal bajo silvopastoreo, pueden tener en cuenta el manejo de la densidad y la edad en función de un umbral máximo de sombra, en un sistema silvicultural adaptativo y de sombra inducida. De esta manera, la edad de umbral máximo de sombra para acacia (*A. mangium*) es 50% de sombra 20 años de edad, melina (*G. arbórea*) 35% de sombra 20 años de edad y yopo (*A. peregrina*) 40% de sombra 10 años de edad.

2 ABSTRAC

BONZA, N. 2014. Evaluation of forestry component *Acacia mangium* Willd, *Gmelina arborea* Roxb and *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg under silvopastoral systems in the La Libertad research Center Corpoica-Villavicencio-Meta

Keywords: *Acacia mangium*, *Gmelina arborea*, *Anadenanthera peregrina*, *Brachiaria decumbens*, plantation forestry, silvopasture system, shadow effect, shadow threshold, growth, silvicultural management.

This research project has the following goals: (i) Determine the forest productivity of the component acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) and yopo (*A. peregrina*) on forest plantation and silvopasture system, (ii) evaluate the ecological effect the inclusion of this component in the relationship tree-pasture and tree-soil in silvopasture systems, (iii) to know the perception of local livestock producers regarding the incorporation of forestry component in their farming systems and (iv) Establish strategies and options for silvicultural management of forest component in to silvopasture arrangements.

The work was conducted in the Research Center Corpoica Liberty, mile 21 via Puerto López (Villavicencio, Meta, Colombia) located at 4° 06' north latitude and 73° 34' west longitude, at an altitude of 336 m .

Forest inventory was conducted to determine the productivity, quality and potential timber product under forest plantation and silvopasture system. To analyze interactions tree-pasture and tree-soil, were sampled quantity and quality of forage (*B. decumbens*), chemical analysis and sampling of soil macrofauna. Producers were interviewed in the municipalities of Villavicencio, Acacias and Castilla La Nueva, to study the perceptions about incorporating forestry component in their farming systems, forming a knowledge base by AKT5 ® system (Agroforestry Knowledge Tool). With the use of forest simulator *SExI-FS*® (Individual-based Spatially explicit forest simulator) were made projections forest productivity and the percentage of shade in order to propose options and silvicultural management strategies silvopasture forest component.

The forestry component acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) and yopo (*A. peregrina*) on forest plantation and silvopasture system has low productivity, as a result of the low density and forest quality and some silvicultural management deficiencies. Productivity is higher in the forest plantation than silvopasture system. It highlights acacia (*A. mangium*) and melina (*G. arborea*) under plantation with a productivity of 95.29 and 90.57 m³ha⁻¹ respectively. However, this performance is below those reported as optimal for forest species.

The incorporation of forestry component showed greater forage production in the silvopasture system 5603 kg ha⁻¹ compared to traditional pasture 5138 kg ha⁻¹. It may indicate that the shade has a beneficial effect on the quantity and quality of pasture (*B. decumbens*) and chemical and biological characteristics of soils by improving the conditions of the system.

Perceptions of livestock producers interviewed also considered important to incorporate shade trees in their farming systems and identify the role of gloomy grass production and animal welfare. A program to promote silvopasture systems in the region, should be consider issues such as the institutional presence, technical assistance, environmental value of trees and consider the experience of the producers.

Finally management strategies under silvopasture forestry component should consider handling and age density function of a maximum level of shade in a silvicultural system adaptive and induced shade. In this way the maximum threshold age for shade acacia (*A. mangium*) 50 % shade is 20 years old, melina (*G. arborea*) 35 % shade 20 years old and yopo (*A. peregrina*) 40 % shade 10 years old.

INDICE

1	RESUMEN DEL PROYECTO	6
2	ABSTRAC	8
3	INTRODUCCIÓN	17
4	PROPÓSITO DE LA INVESTIGACION.....	19
4.1	OBJETIVO GENERAL.....	19
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
5	ANTECEDENTES.....	20
6	PROBLEMA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	25
7	HIPÓTESIS.....	28
8	JUSTIFICACIÓN.....	29
9	ALCANCES DEL ESTUDIO	31
10	MARCO TEÓRICO.....	33
10.1	CONCEPTO DE AGROFORESTERÍA.....	33
10.2	EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGROFORESTAL.....	33
10.3	SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	34
10.4	COMPONENTES DEL SISTEMA SILVOPASTORIL.....	36
10.5	PRODUCTIVIDAD DEL COMPONENTE FORESTAL.....	36
10.5.1	Factores determinantes de la productividad forestal.....	37
10.6	INTERACCIONES ECOLÓGICAS EN LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES	38
10.6.1	Concepto de interacciones.....	38
10.6.2	Interacción árbol-pastura en arreglos silvopastoriles	39
10.6.3	Interacción árbol-suelo en arreglos silvopastoriles	43
10.7	PERCEPCIÓN Y CONOCIMIENTO LOCAL	45
10.7.1	PERCEPCIÓN	45
10.7.2	EL CONOCIMIENTO LOCAL.....	46
10.7.3	Bases de conocimiento.....	48
11	METODOLOGÍA	49

11.1	ÁREA DE ESTUDIO	49
11.2	ETAPAS DE INVESTIGACIÓN	52
11.2.1	Determinación de la productividad, calidad y potencial de productos del componente forestal bajo plantación forestal y sistema silvopastoril.	52
11.2.2	Evaluación del efecto ecológico de la incorporación del componente acacia (<i>A. mangium</i>), melina (<i>G. arbórea</i>) y yopo (<i>A. peregrina</i>) y en la relación árbol-pastura y árbol-suelo en sistemas silvopastoriles	60
11.2.3	Percepción sobre la incorporación del componente forestal en sistemas ganaderos	65
11.2.4	Estrategias y opciones de manejo silvicultural para optimizar la producción del componente forestal y pecuario en sistemas silvopastoriles.....	67
12	RESULTADOS	69
12.1	OBJETIVO 1. DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD EL COMPONENTE FORESTAL acacia (<i>A. mangium</i>), melina (<i>G. arbórea</i>) y yopo (<i>A. peregrina</i>) BAJO PLANTACIÓN FORESTAL Y SISTEMA SILVOPASTORIL DE ÁRBOLES DISPERSOS.	69
12.1.1	Caracterización dasométrica del componente forestal	69
12.1.2	Productividad, calidad y potencial de productos del componente forestal bajo plantación y sistema silvopastoril.....	73
12.1.3	Potencial de productos maderables del componente forestal bajo plantación y sistema silvopastoril.....	77
12.2	OBJETIVO 2. EVALUAR EL EFECTO ECOLÓGICO DE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (<i>A. mangium</i>), melina (<i>G. arbórea</i>) y yopo (<i>A. peregrina</i>) EN LA RELACION ÁRBOL-PASTURA Y ÁRBOL-SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.	78
12.2.1	Cantidad de pastura de (<i>B. decumbens</i>).....	78
12.2.2	Calidad de pastura de (<i>B. decumbens</i>).....	82
12.2.3	Sistemas silvopastoril y tradicional.....	82
12.2.4	Efecto de la incorporación del componente forestal en cada arreglo silvopastoril.....	87
12.2.5	Características químicas y biológicas del suelo.	96
12.3	OBJETIVO 3. CONOCER LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS DE LOS MUNICIPIOS DE VILLAVICENCIO, ACACIAS Y CASTILLA LA NUEVA, DEPARTAMENTO DEL META SOBRE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL EN SUS SISTEMAS GANADEROS.....	101
12.3.1	Base de conocimiento.....	101

12.3.2	Identificación de categorías básicas de conocimiento.....	103
12.4	OBJETIVO 4. ESTRATEGIAS Y OPCIONES DE MANEJO SILVICULTURAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL Y PECUARIO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	109
12.4.1	Arreglo silvopastoril acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>).....	110
12.4.2	Arreglo silvopastoril melina (<i>G. arbórea</i>) // (<i>B. decumbens</i>).....	116
12.4.3	Arreglo silvopastoril yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>).....	122
13	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	129
13.1	OBJETIVO 1. DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (<i>A. mangium</i>), melina (<i>G. arbórea</i>) y yopo (<i>A. peregrina</i>) BAJO PLANTACIÓN FORESTAL Y SISTEMA SILVOPASTORIL DE ÁRBOLES DISPERSOS.....	129
13.2	OBJETIVO 2. EVALUAR EL EFECTO ECOLÓGICO DE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (<i>A. mangium</i>), melina (<i>G. arbórea</i>) y yopo (<i>A. peregrina</i>) EN LA RELACIÓN ÁRBOL-PASTURA Y ÁRBOL-SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	132
13.2.1	Relación árbol-pastura.....	132
13.2.2	Relaciones árbol-suelo.....	137
13.3	OBJETIVO 3. CONOCER LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS DE LOS MUNICIPIOS DE VILLAVICENCIO, ACACIAS Y CASTILLA LA NUEVA, DEPARTAMENTO DEL META SOBRE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL EN SUS SISTEMAS GANADEROS.....	138
13.4	OBJETIVO 4. ESTRATEGIAS Y OPCIONES DE MANEJO SILVICULTURAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL Y PECUARIO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	142
14	CONCLUSIONES.....	146
14.1	OBJETIVO 1. DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD EL COMPONENTE FORESTAL acacia (<i>A. mangium</i>), melina (<i>G. arbórea</i>) y yopo (<i>A. peregrina</i>) BAJO PLANTACIÓN FORESTAL Y SISTEMA SILVOPASTORIL DE ÁRBOLES DISPERSOS.....	146
14.2	OBJETIVO 2. EVALUAR EL EFECTO ECOLÓGICO DE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (<i>A. mangium</i>), melina (<i>G. arbórea</i>) y yopo (<i>A. peregrina</i>) EN LA RELACIÓN ÁRBOL-PASTURA Y ÁRBOL-SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	147
14.3	OBJETIVO 3. CONOCER LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS DE LOS MUNICIPIOS DE VILLAVICENCIO, ACACIAS Y CASTILLA LA NUEVA, DEPARTAMENTO DEL	

META SOBRE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL EN SUS SISTEMAS GANADEROS.....	148
14.4 OBJETIVO 4. ESTRATEGIAS Y OPCIONES DE MANEJO SILVICULTURAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL Y PECUARIO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.....	149
15 RECOMENDACIONES	151
16 BIBLIOGRAFIA.....	153

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación de las interacciones a la Agroforestería.....	39
Tabla 2. Función de algunos organismos del suelo	44
Tabla 3. Clasificación de los organismos del suelo	44
Tabla 4. Variables estimadas en el inventario del componente forestal	55
Tabla 5. Variables estimadas para calidad de madera	56
Tabla 6. Variables estimadas para estructura de la copa	57
Tabla 7. Fincas seleccionadas para entrevista	66
Tabla 8. Caracterización dasométrica de los diferentes sistemas evaluados	69
Tabla 9. Productividad forestal para los sistemas plantación y silvopastoril.....	73
Tabla 10. Calidad forestal: Inclinación, bifurcación, daños y estado fitosanitario	75
Tabla 11. Potencial de productos maderables en plantación y sistema silvopastoril.....	77
Tabla 12. Producción de forraje de (<i>B. decumbens</i>) para el sistema y época	78
Tabla 13. Volúmenes discriminados y acumulados de forraje verde y seco por época y sistema	80
Tabla 14. Fracciones de nutrientes del forraje de (<i>B. decumbens</i>) en los sistemas.....	82
Tabla 15. Continuación tabla 14 fracciones de nutrientes del forraje de (<i>B. decumbens</i>) en los sistemas	82
Tabla 16. Fracciones de nutrientes del forraje de (<i>B. decumbens</i>) en los sistemas silvopastoril discriminado y tradicional.....	84
Tabla 17. Continuación tabla 16, fracciones de nutrientes del forraje de (<i>B. decumbens</i>) en los sistemas silvopastoril discriminado y tradicional.....	84
Tabla 18. Porcentaje de sombra, radiación y producción de forraje bajo la copa de acacia (<i>A. mangium</i>)	88
Tabla 19. Porcentaje de sombra, radiación y producción de forraje bajo la copa de melina (<i>G. arbórea</i>).....	91
Tabla 20. Porcentaje de sombra, radiación y producción de forraje bajo la copa de yopo (<i>A. peregrina</i>)	93
Tabla 21. Promedio de sombra, radiación y producción de forraje	95
Tabla 22. Calidad de pastura bajo y fuera del área de copa de cada componente forestal	96
Tabla 23. Características químicas del suelo en sistemas silvopastoril y tradicional	97

Tabla 24. Continuación tabla 23, características químicas del suelo en sistemas silvopastoril y tradicional	97
Tabla 25. Continuación tabla 23 características de fertilidad del suelo en sistemas silvopastoril y tradicional	97
Tabla 26. Grupos taxonómicos de macrofauna por sistema silvopastoril y tradicional.....	98
Tabla 27. Riqueza y diversidad de macrofauna.....	100
Tabla 28. Proyección del crecimiento de acacia (<i>A. mangium</i>) en arreglo silvopastoril	110
Tabla 29. Proyección del crecimiento de melina (<i>G. arbórea</i>) en arreglo silvopastoril.....	116
Tabla 30. Proyección del crecimiento de yopo (<i>A. peregrina</i>) en arreglo silvopastoril	122
Tabla 31. Calidad y cantidad de nutrientes de (<i>B. decumbens</i>) en los sistemas silvopastoril y tradicional.....	134
Tabla 32 Frecuencias de cantidad y calidad de nutrientes del forraje de (<i>B. decumbens</i>) en los arreglos silvopastoriles y pastura tradicional	135
Tabla 33 Cantidad y calidad de nutrientes de (<i>B. decumbens</i>) en los arreglos y pastura tradicional.....	136
Tabla 34 Frecuencias cantidad y calidad de nutrientes del forraje de (<i>B. decumbens</i>) en los arreglos silvopastoriles y pastura tradicional	137
Tabla 35 Rol funcional de los grupos de macrofauna encontrados	138
Tabla 36 Síntesis de los sistemas de producción	144

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un sistema silvopastoril.....	36
Figura 2. Toma de decisiones del productor transición entre la realidad operacional y el conocimiento local	47
Figura 3. Distribución de parcelas de inventario forestal en plantación.....	54
Figura 4. Distribución de parcelas de inventario forestal en sistema silvopastoril.....	55
Figura 5. Clasificación de productos Cesefor.....	59
Figura 6. Distribución arboles representativos para muestreo.....	61
Figura 7. DAP _{1.30} , Altura total y comercial en los sistemas plantación y silvopastoril	70
Figura 8. Altura a la base, al diámetro máximo de copa y diámetro promedio de copa.....	71
Figura 9. Productividad forestal para los sistemas plantación y silvopastoril	74
Figura 10. Calidad del componente forestal bajo plantación y sistema silvopastoril	76
Figura 11. Producción de forraje verde y seco por sistema y época.....	79
Figura 12. Producción de forraje verde y seco en arreglos silvopastoriles y pastura tradicional	81
Figura 13. Producción de forraje verde y seco en sistema silvopastoril y pastura tradicional.....	83
Figura 14. Fracciones de nutrientes del forraje de (<i>B. decumbens</i>) en los arreglos silvopastoriles y la pastura tradicional.....	85
Figura 15. Fotografía hemisférica a 1.0, 2.5 y 4.0 m bajo la copa de acacia (<i>A. mangium</i>)	88
Figura 16. Producción de forraje de (<i>B. decumbens</i>) bajo acacia (<i>A. mangium</i>)	89
Figura 17. Fotografía hemisférica a 1.0, 2.5 y 4.0 m bajo la copa de melina (<i>G. arbórea</i>).....	90
Figura 18. Producción de forraje de (<i>B. decumbens</i>) bajo melina (<i>G. arbórea</i>).....	92

Figura 19. Fotografía hemisférica a 1.0, 2.5 y 4.0 m bajo la copa de yopo (<i>A. peregrina</i>)	93
Figura 20. Producción de forraje de (<i>B. decumbens</i>) bajo la copa de yopo (<i>A. peregrina</i>)	94
Figura 21. Abundancia absoluta (N. individuos/m ²) macrofauna.....	99
Figura 22. Diversidad de macrofauna entre los sistemas silvopastoril y tradicional	101
Figura 23. Base de conocimiento forestal.kb.....	102
Figura 24. Mapa conceptual base de conocimiento forestal.kb	103
Figura 25. Categorías sobre la motivación a incorporar árboles	104
Figura 26. Dendrograma de agrupación para las motivaciones a incorporar árboles	105
Figura 27. Categorías sobre el beneficio de los árboles	106
Figura 28. Dendrograma de agrupación para los beneficios de los árboles.....	107
Figura 29. Categorías sobre los productos de los árboles.....	108
Figura 30. Dendrograma de agrupación para los productos esperados de los árboles.....	109
Figura 31. Proyección del volumen total (m ³ ha ⁻¹) de acacia (<i>A. mangium</i>).....	111
Figura 32. Proyección del incremento medio anual IMA (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹) de acacia (<i>A. mangium</i>).....	111
Figura 33. Proyección de sombra para el arreglo silvopastoril acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	112
Figura 34. Optimo de manejo del arreglo silvopastoril acacia (<i>A. mangium</i>).....	116
Figura 35. Proyección del volumen total en pie (m ³ ha ⁻¹) de melina (<i>G. arbórea</i>).....	117
Figura 36. Proyección del incremento medio anual IMA (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹) de melina (<i>G. arbórea</i>)	118
Figura 37. Proyección de sombra para el arreglo silvopastoril (<i>G. arbórea</i>) // (<i>B. decumbens</i>).....	119
Figura 38. Optimo de manejo de sombra en el sistema melina (<i>G. arbórea</i>).....	122
Figura 39. Proyección del volumen total en pie (m ³ ha ⁻¹) de yopo (<i>A. peregrina</i>) bajo arreglo silvopastoril	123
Figura 40. Incremento medio anual IMA (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹) de yopo (<i>A. peregrina</i>)	124
Figura 41. Proyección de sombra para el arreglo silvopastoril yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>).....	124
Figura 42. Optimo de manejo de sombra de yopo (<i>A. peregrina</i>) bajo arreglo silvopastoril	128
Figura 43. Mapa conceptual de la base forestal.kb sobre la motivación a incorporar árboles.....	140
Figura 44. Mapa conceptual de la base forestal.kb sobre el beneficio de los árboles.....	141
Figura 45. Mapa conceptual de la base forestal.kb sobre el sombra.....	142
Figura 46. Incremento medio anual de los arreglos silvopastoriles a las edades de proyección.....	143

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Plantación Forestal Lote Tolimas.CI La Libertad. Mayo 2011	50
Fotografía 2. Arreglo silvopastoril yopo (<i>A. peregrina</i>) Lote La Pista CI. La Libertad.....	51
Fotografía 3. Pastura tradicional (<i>B. decumbens</i>) Lote La Pista CI. La Libertad	51
Fotografía 4. Identificación de cada árbol en el inventario forestal.....	54
Fotografía 5. Fotografía hemisférica de la copa de acacia (<i>A. mangium</i>).....	62
Fotografía 6. Muestra de forraje verde. Arreglos silvopastoriles (izquierda)	63

Fotografía 7. Determinación de peso del forraje verde. Laboratorio de nutrición C.I La Libertad (derecha)	63
Fotografía 8. Muestra de suelo. Pastura (<i>B. decumbes</i>).....	64
Fotografía 9. Muestreo de macrofauna arreglo silvopastoril yopo (<i>A. peregrina</i>)	64
Fotografía 10. Individuo del grupo taxonómico diplópoda (milpiés).....	100

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Formulario de evaluación de componente forestal

ANEXO B. Matriz de análisis cualitativo de la percepción de los productores. Base AKT5 forestal.kb

3 INTRODUCCIÓN

En Colombia la ganadería tradicional, ha definido algunos retos que buscan su transformación hacia una actividad más eficiente, competitiva y sustentable de los recursos naturales y del ambiente; el Plan estratégico de la Ganadería Colombiana PEGA 2019, considerado como el rumbo de la ganadería Colombiana, define en sus grandes retos: “*devolverle a la naturaleza 10 millones de hectáreas dedicadas a la ganadería, sin que sean aptas para ello... inclusive devolverle a la naturaleza puede representar continuar dedicándolas a la ganadería pero en condiciones más amigables con la naturaleza: los sistemas silvopastoriles es una de tales opciones*” (Fedegan, 2006)

Es claro que la sostenibilidad de la producción ganadera en el país, depende de las decisiones que garanticen el adecuado manejo de los recursos naturales y el entendimiento de modelos de producción más acordes con las características, diversidad y potencialidades del trópico.

Este mismo documento, en el componente de investigación y transferencia tecnológica, plantea la necesidad de conducir a los sistemas productivos tradicionales, a una forma de producción más adecuada a las condiciones de los ecosistemas tropicales del país. La opción serán los *agroecosistemas ganaderos*, como una alternativa para lograr el establecimiento de *núcleos regionales de sistemas silvopastoriles* en diferentes arreglos y acordes a las potencialidades regionales.

Son muchos los esfuerzos por integrar y diversificar la producción tradicional, a partir de la incorporación de árboles en diferentes arreglos. Sin embargo, aún son pocas las investigaciones que profundicen sobre cuáles son los efectos productivos, ecológicos y biológicos que resultan de esta interacción árbol-pastura-animal. (Mahecha, 2002).

El silvopastoreo, es una opción disponible para remediar la degradación de las áreas ganaderas, puesto que integra los árboles y arbustos con la producción animal y da pauta para el desarrollo de sistemas de producción sustentables que no afecten el equilibrio ecológico, y que incluso, mejoran la productividad y calidad de los productos animales, generando de paso beneficios ambientales.

La investigación sobre los sistemas silvopastoriles, es una necesidad para la ganadería Colombiana y una oportunidad para que la agroforestería pueda contribuir al desarrollo rural del país, por lo que este proyecto de investigación busca aportar con sus resultados a la evaluación del componente forestal en sistemas silvopastoriles en los siguientes tópicos:

¿Pueden estos árboles garantizar la diversificación de bienes y servicios para los productores que acojan estos sistemas silvopastoriles?

¿Cuál es la dinámica de las interacciones que se dan entre los componentes de estos sistemas y que se traducen en ganancias finales para el productor?

¿Cuáles son las percepciones que tienen los productores ganaderos, que durante largo tiempo han estado en modelos que muchos denominan insostenibles ambientalmente, y que ahora son llamados a transformarse a modos de producción silvopastoril, más ecológicos y amigables con el ambiente?

Las respuestas permitirán contribuir además a la investigación de tres especies forestales que actualmente son catalogadas como potenciales para la reforestación en el país, la acacia (*A. mangium*), la melina (*G. arborea*) y el yopo (*A. peregrina*) y con las cuales Corpoica ha desarrollado proyectos con productores de la región del Piedemonte Llanero.

4 PROPÓSITO DE LA INVESTIGACION

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la productividad, algunos efectos ecológicos sobre el suelo y la pastura, la percepción de los ganaderos y las estrategias de manejo silvicultural del componente forestal *Acacia mangium Willd*, *Gmelina arbórea Roxb* y *Anadenanthera peregrina (L.) Speg* bajo sistemas silvopastoriles establecidos en el Centro de Investigación La Libertad Corpoica.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la productividad del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) bajo plantación forestal y sistema silvopastoril de árboles dispersos.

Evaluar el efecto ecológico de la incorporación del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) en la relación árbol-pastura y árbol-suelo en sistemas silvopastoriles.

Conocer la percepción de los productores ganaderos de los municipios de Villavicencio, Acacias y Castilla la Nueva, departamento del Meta, sobre la incorporación del componente forestal en sus sistemas ganaderos.

Establecer estrategias y opciones de manejo silvicultural para optimizar la producción del componente forestal y pecuario en sistemas silvopastoriles.

5 ANTECEDENTES

De acuerdo con Pulido (2003), el Plan de Modernización Tecnológica de la ganadería bovina colombiana, concreta sus acciones en las siguientes actividades: (i) desarrollo de estrategias de ordenamiento, focalización y priorización de nichos con mayor aptitud para la producción de carne y leche en forma competitiva, (ii) la identificación de algunas prioridades tecnológicas, para ser abordadas en proyectos de investigación, entre las que se podrían mencionar recuperación de praderas e incorporación de especies mejoradas y (iii) la aplicación de estrategias de manejo rentable y sostenible, establecimiento de sistemas silvopastoriles con base en especies arbóreas nativas multipropósito y el fortalecimiento de la capacidad gerencial de los ganaderos con base en el uso de herramientas que apoyen la gestión técnica y financiera.

Los sistemas silvopastoriles tienen ventajas en las dimensiones: económica, ambiental y social, dado que propician el desarrollo rural, protegen el entorno y contribuyen a la biodiversidad. (Rois *et al.*, 2006). Varios estudios se han realizado, como aproximación a la caracterización de unidades productivas y conocimiento de las interacciones, beneficios y efectos de los sistemas silvopastoriles como opción para la ganadería, todos ellos han efectuado aportes importantes.

En relación a la evaluación de los sistemas silvopastoriles, se ha examinado la potencialidad y efectos de la incorporación de los árboles en las actividades de ganadería tradicional y cómo éstos se traducen en la mayor o menor productividad económica, social y ambiental del sistema.

En lo ambiental, un estudio de caso en la zona atlántica de Costa Rica, determinó el potencial de los sistemas silvopastoriles como sumideros de carbono, encontrando que en sistemas silvopastoriles de laurel (*Cordia alliodora*) y pastizales de mombaza (*P. maximun*), el carbono acumulado varió entre 180-200 Mg ha⁻¹ (Lopez *et al.*, 1999). En un nuevo trabajo Russo (2007) destaca este sistema silvopastoril junto al aliso (*Alnus acuminata*) asociado a pastizales, para pastoreo directo con kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) o para corte con pasto elefante (*P. purpureum*); en las zonas de altura son los sistemas que más han perdurado a través del tiempo y logrado una mejor aceptación por parte de los productores.

Los resultados de un proyecto destinado a promover la adopción de sistemas silvopastoriles por medio de pago de los servicios ambientales generados por los mismos, mostró que esta inversión es rentable, con un valor presente neto incremental de US\$ 1613 y una tasa interna de retorno del 20%,

considerando sólo los ingresos pecuarios. Los ingresos no descontados estimados por servicios ambientales durante cuatro años son de US\$ 3369. La factibilidad de la inversión está directamente relacionada a mejoras en los parámetros productivos y reproductivos del hato debidas a la incorporación de sistemas silvopastoriles. (Gobbi y Casasola, 2003)

En lo productivo, los sistemas más estudiados y en los que existen mayor número de reportes han sido los sistemas asociados con árboles y/o arbustos leguminosos, en donde se da un mayor número de interacciones entre los componentes. (Mahecha, 2002)

Entre las especies arbustivas investigadas en Colombia, consideradas como potenciales por su alto valor nutritivo o servicios multipropósito dentro de los sistemas silvopastoriles, se encuentran acacias (*Acacia sp.*), nacedero (*Trichantera gigantea*), poró (*Erythrina poeppigiana*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), algarrobo (*Prosopis juliflora*), chachafruto (*Eythrina edulis*), pizamo (*Erythrina fusca*), guácimo (*Guazuma ulmifolia*), matarratón (*Gliricidia sepium*), orejero (*Enterolobium cyclocarpum*), flor amarillo (*Cassia spectabilis*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*) (Mahecha, 2002).

Un documento resumen de las experiencias del CATIE, preparado por Ibrahim y otros (1999), destaca algunos aspectos importantes respecto al manejo del pastoreo, tecnologías y especies forestales empleadas. Menciona a las cortinas rompevientos como sistemas silvopastoriles muy frecuentes en fincas ganaderas con producción intensiva. En los últimos años el sistema de cercas vivas ha tomado mayor relevancia económica y ecológica, no sólo porque su establecimiento significa un ahorro del 54% con respecto al costo de las cercas convencionales (Holmann *et al.*, 1992), sino porque constituye una forma de reducir la presión sobre el bosque para la obtención de postes y leña, además de representar una forma de introducir árboles en los potreros.

Otra tecnología silvopastoril común, es la de árboles dispersos en potreros, para proveer sombra y alimentos para los animales y generar ingresos a través de la venta de madera y frutales. Buena parte de las fincas ganaderas presentan árboles dispersos en potreros para proveer sombra y alimentos para los animales y generar ingresos (madera y frutales). En la zona del Pacífico de América Central las especies genízaro o samán (*Pithecellobium saman*), guanacaste (*Enterlobium cyclocarpum*), guácimo (*Guzuma ulmifolia*) y roble de sabana (*Tabebuia rosea*) son las más frecuentes en los potreros, mientras que en el trópico húmedo bajo son comunes laurel (*Cordia alliodora*), pilón (*Hyeronima alchornoides*), caobilla (*Carapa guianensis*) y varias especies del género citrus. En las zonas altas es

común el jaúl o aliso (*Alnus acuminata*) en las fincas lecheras (Pezo e Ibrahim, 1996 citado por Murgueitio y Ibrahim, 2001)

Un estudio elaborado por Giraldo (2005), sobre el potencial arbóreo del guácimo (*Guazuma ulmifolia*), señala la importancia de desarrollar tecnologías aplicables a los sistemas ganaderos que sean capaces de prevenir los efectos negativos ambientales y se constituyan en opciones competitivas y atractivas para el productor, especialmente aquellos con sistemas de ganadería de ladera. Otro trabajo evalúa la disponibilidad, la calidad y el efecto de *Leucaena leucocephala* en la ganancia de peso en terneros en lactancia y destetados, así como la rentabilidad de los sistemas silvopastoriles (Jiménez, 2007).

Por otro lado, se ha identificado a la leguminosa arbórea *Acacia decurrens*, como una especie promisoriosa para el uso en sistemas de producción ganadera de leche, dada su buena adaptación a climas fríos, su rápido crecimiento, buena producción de forraje comestible y aceptable composición química (Fernández *et al.*, 2006).

Un tema adicional frente a estos aspectos y que se considera actualmente muy interesante, es el relacionado con la ganadería sostenible. En este sentido Murgueitio (2003), hace algunas consideraciones, en lo que se refiere a la reconversión ambiental de la ganadería a través de cambios importantes en los sistemas de manejo ganadero que implican entre otras cosas su intensificación, mayor productividad y generación de bienes sociales y servicios ambientales (regulación hídrica, captura de carbono, conservación de la biodiversidad), en forma simultánea al incremento de la cobertura vegetal, liberación de áreas críticas por su deterioro o estratégicas por su valor como fuente de servicios ambientales, en especial todo lo relacionado con la regulación del ciclo hidrológico a escala de predios y microcuencas.

La sostenibilidad se refiere a la durabilidad de los sistemas de producción, a su capacidad para mantenerse en el tiempo. A su vez, se refiere al mantenimiento de la productividad de los recursos empleados, frente a situaciones de choque o tensión. En este caso, nos referimos a los recursos naturales renovables, utilizados para la producción agropecuaria y a otros insumos necesarios para la producción (Conway y Barbier, 1990).

La sostenibilidad depende de las características intrínsecas del sistema de producción, de la naturaleza e intensidad de las tensiones o choques a los que está sujeto el sistema y de los insumos humanos que

pueden aportarse (Conway y Barbier, 1990). Un ejemplo de este tipo de estudios se realizó en el municipio de Circasia, departamento de Quindío, Colombia, en cinco unidades productivas ganaderas.

El análisis de sostenibilidad permitió establecer algunos indicadores para caracterizarlos, realizar comparaciones entre los indicadores, las fincas y las dimensiones de evaluación, e identificar aspectos críticos y potencialidades de los sistemas de producción estudiados. (Arias y Camargo, 2007)

En la zona Atlántica de Costa Rica (Botero, 1999), se realizó un ejercicio de modelación de una finca ganadera de 70 Ha mediante programación lineal y el uso del programa PASTOR incluyendo opcionalmente: 1) pasturas naturales con y sin cercas vivas; 2) mezclas de *Brachiaria brizantha*, *Arachis pintoi*; 3) pasturas en callejones (*B. brizantha*/*Erythrina berteroana*) y 4) pastoreo en plantaciones de teca (*T. grandis*). En todos estos sistemas modelados se consideró la posibilidad de plantar *T. grandis* en linderos, excepto en suelos infértiles y mal drenados. El modelo predijo máximos ingresos netos cuando se plantan linderos de teca (*T. grandis*) en pasturas naturales o mezclas de *B. brizantha* y *A. pintoi*. El pastoreo en plantaciones de teca (*T. grandis*) no parece ser una alternativa atractiva en fincas ganaderas, a menos que los precios de la madera se incrementen en un 10%. El uso de estas herramientas que posibilitan la evaluación de alternativas silvopastoriles, se han desarrollado con el propósito de facilitar la toma de decisiones de adopción por los productores (Botero *et al.*, 1999).

Betancourt (2003), estudió el efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Nicaragua, encontrando que una cobertura arbórea de entre 20 y 32% no sólo incrementa el período en que los animales dedican al consumo (pastoreo y ramoneo) sino también la producción de leche en la época seca.

Angulo y otros (2005), realizaron la evaluación de la ganancia de peso y condición corporal de vacas cebú gestantes en sistemas silvopastoriles de acacia (*A. mangium*) como arbusto forrajero y *Brachiaria humidicola*. Los resultados muestran una ganancia en peso inicial de 12 gramos por animal por día con diferencias estadísticas significativas ($P < 0.05$). Con lo que se concluye que los sistemas silvopastoriles de acacia (*A. mangium*) y *B. humidicola*, son una alternativa viable en la región, para el manejo de vacas cebú gestantes.

En Chiapas, México, Pérez y otros (2006) en un estudio sobre el comportamiento etológico de bovinos en sistemas silvopastoriles encontraron que en el sistema monocultivo la influencia directa de los

factores climáticos determina que los animales realicen actividades, tales como el descanso, el consumo de agua y la rumia, especialmente en los intervalos entre las 12:00 m y las 2:00 p.m. y se disminuya el consumo de forraje. El efecto negativo del incremento de las temperaturas, según Faure, Fernández-Limia y Morales (2004), produce un desequilibrio endocrino en los animales, que muestran una respuesta corticosuprarrenal frente al estrés calórico, con un marcado incremento en los niveles de cortisol, aumento de la temperatura rectal y de la frecuencia respiratoria, reduciéndose su respuesta de adaptación y de conversión alimentaria.

La temperatura ambiental promedio tanto durante las horas de la mañana como en la tarde, fue menor en el sistema silvopastoril (23,9 y 26,6°C, respectivamente), en comparación con el sitio donde existió únicamente pasto (26,4 y 28,1°C); esta relación beneficiosa que se establece entre las ganancias de peso y el bienestar animal en los sistemas silvopastoriles, está muy relacionada con el tiempo dedicado al consumo de forraje durante el día.

Este fenómeno, según Quincosa (2006), en muchas ocasiones está influenciado por el tamaño del bocado, la velocidad de ingestión y el número de bolos de ingestión por hora que se logra en los sistemas silvopastoriles, lo que les permite a los animales aprovechar eficientemente el horario diurno, en general, y el inicio de la segunda gran comida de la tarde, en particular.

Así mismo, (Ibrahim *et al.*, 2005) aseguran que los árboles, a través de su sombra, contrarrestan la intensidad de los factores climáticos adversos, pues interfieren parcialmente el paso de las radiaciones solares hacia la superficie corporal del animal, disminuyendo el estrés térmico y creando condiciones de confort.

6 PROBLEMA Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

La ganadería colombiana se caracteriza por ser una actividad extensiva-extractiva, con bajos niveles de inversión y un deficiente desarrollo de acciones administrativas que la promuevan empresarialmente, en un mercado globalizado y altamente competitivo (Mahecha *et al.*, 2000). Sin embargo, es una actividad creciente y en expansión; esto se explica en gran medida, porque la tierra y los bosques húmedos de las zonas andinas y secas, han sido percibidos como recursos relativamente abundantes.

Se afirma que, existe una conexión directa entre la expansión de la ganadería y la pérdida de bosques. La magnitud con que este proceso de deforestación condujo en las décadas pasadas al señalamiento internacional de la ganadería, como una gran amenaza ecológica del bosque tropical (Kaimowitz, 1996).

Esta amenaza, se traduce en el impacto ambiental manifiesto en el desgaste absoluto e irreversible de los suelos, la uniformidad genética al privilegiarse el monocultivo de gramíneas mediante quemadas estacionales y eliminación de la sucesión vegetal por medios químicos (herbicidas) o físicos; la desecación de humedales; la construcción de vías de comunicación; el creciente uso de madera para cercos, corrales entre otros. (González *et al.*, 2007)

Las explotaciones pecuarias tradicionales de muchas regiones tropicales, se caracterizan por la degradación del ambiente y su baja productividad, como consecuencia de la utilización de especies no adaptadas a las condiciones edafoclimáticas, bióticas y de sistemas de producción de las diferentes zonas agroecológicas prevalentes en sistemas ganaderos tropicales (Serraô, 1987; Salinas, 1987 citado por Giraldo, 2003).

La degradación de pasturas, se evidencia como una disminución de oferta en forraje, siendo la principal amenaza a largo plazo para la sostenibilidad del sistema (Szott *et al.*, 2000). Este declive en la productividad de las pasturas provocando la baja eficiencia económica (Jansen *et al.*, 1997). Sumado a esto el uso de insumos agrícolas de síntesis química (herbicidas, fungicidas y fertilizantes), la carga animal inadecuada (sobrepastoreo) lo que provoca la pérdida de la cobertura vegetal, reducción de la fertilidad del suelo, incremento de la erosión, compactación del suelo y desertización (Szott *et al.*, 2000). Además, que se destruyen hábitats y se aumentan las emisiones de gases efecto invernadero (Harvey *et al.*, 2005).

En Colombia los sistemas ganaderos de pastoreo tradicional se caracterizan por un retraso tecnológico generalizado, cuando se analizan sus potencialidades y los patrones internacionales de competitividad y en algunos casos sigue siendo un símbolo de poder económico, político y de apropiación legal del territorio. También para algunos es un negocio de largo plazo caracterizado por un menor riesgo que la agricultura y otras actividades rurales (Murgueitio y Calle, 1999).

Los sistemas de pastoreo que ocupan la mayor parte de la frontera agropecuaria, son desarrollados por una diversidad de actores sociales y tienden a expandirse en todos los biomas de las cinco regiones biogeográficas del país (Murgueitio, 1999)

Las regiones de Colombia donde la actividad ganadera tradicional tiene mayor impacto se ubican en la Orinoquía. En este sentido FEDEGAN (2006), promueve el uso de la tierra de manera eficiente desde el punto de vista ecológico y económico; que contribuya a la conservación y restauración de los ecosistemas. Sin embargo, en la Orinoquía la intención de modernizar la ganadería riñe con las tendencias de uso del suelo generadas por el crecimiento de los grandes agroindustriales. Ante los altos precios de la tierra, muchos de los dueños tradicionales de los hatos ganaderos han vendido sus tierras, están en proceso de venderlas, o están esperando una oportunidad para hacerlo. Existe en algunos la percepción de que la rentabilidad de la ganadería no compite con la de las nuevas opciones disponibles en la región (Vargas, 2009). Otros perciben que el tradicional hato ganadero está sucumbiendo por el afianzamiento de la agroindustria (Franco, 2009).

En otros casos se realizan esfuerzos por integrar y diversificar la producción tradicional a partir de la incorporación de árboles en diferentes arreglos. Sin embargo aún son pocas las investigaciones que profundicen sobre cuáles son los efectos productivos, ecológicos y biológicos que resultan de esta interacción árbol-pastura-animal. El éxito en el funcionamiento de estos sistemas depende del conocimiento que se tenga de las interacciones que generan, las cuales darán pautas a seguir en el correcto manejo de los mismos (Mahecha, 2002).

De acuerdo con el estudio de los conflictos de uso del territorio Colombiano, IGAC 2012, del total de 20.220.66 ha de vocación agroforestal, 9.101.192 ha son para uso silvopastoril.

Las tierras de vocación agroforestal son aquellas que por sus características biofísicas (clima, relieve, material parental, suelos y erosión) no permiten la utilización exclusiva de usos agrícolas o ganaderos. Estas tierras deben ser utilizadas bajo sistemas combinados, donde, deliberadamente, se mezclen

actividades agrícolas, ganaderas y forestales, en arreglos tanto espaciales como temporales. Por lo que las tierras de vocación silvopastoril son aptas para el establecimiento integrado de bosques y pastos. (IGAC, 2012)

El silvopastoreo, es una opción disponible para remediar la degradación de las áreas ganaderas, puesto que integra los árboles y arbustos con la producción animal y da pauta para el desarrollo de sistemas de producción sustentables que no afecten el equilibrio ecológico, y que incluso mejoran la productividad y calidad de los productos animales, generando de paso beneficios ambientales y rentabilidad.

7 HIPÓTESIS

Hipótesis 1

Ho No existen diferencias en la productividad del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) bajo plantación forestal y sistema silvopastoril de árboles dispersos.

Ha Existen diferencias en la productividad del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) bajo plantación forestal y sistema silvopastoril de árboles dispersos.

Hipótesis 2

Ho No existen diferencias en la cantidad y calidad de forraje, las características químicas y biológicas de suelos por la incorporación del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) en sistemas silvopastoriles.

Ha Existen diferencias en la cantidad y calidad de forraje, las características químicas y biológicas de suelos por la incorporación del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) en sistemas silvopastoriles.

Hipótesis 3

Ho Los productores ganaderos no perciben que el componente forestal en sistemas silvopastoriles puede mejorar la productividad de sus fincas.

Ha Los productores ganaderos perciben que el componente forestal en sistemas silvopastoriles puede mejorar la productividad de sus fincas.

8 JUSTIFICACIÓN

Los sistemas silvopastoriles son una opción para lograr mitigar los impactos de la ganadería tradicional y una estrategia de reconversión de tierras a usos más compatibles con su vocación.

Por eso, la reconversión social y ambiental de la ganadería es una urgencia y una prioridad en la región de la Orinoquía. Se considera que esto es posible, con la incorporación de árboles multipropósito como eje funcional del sistema de producción agroforestal, el cual además de permitir beneficios económicos, puede mejorar la condición ambiental actual de la ganadería extensiva tradicional y constituirse en un ejemplo para la ganadería nacional.

Se reconoce ampliamente que los sistemas ganaderos tradicionales se caracterizan por tener baja rentabilidad y efectos ambientales negativos, sobre todo cuando las tierras que ocupan no poseen vocación ganadera. Por lo tanto, es deseable promover sistemas ganaderos que sean financieramente rentables y amigables con el ambiente.

Tal como lo menciona Murgueitio (2000), las soluciones para la ganadería no están, como se ha insistido por mucho años, en el suelo sino en una mirada hacia arriba, en los árboles; es necesario regresar a modelos más cercanos a la vegetación original, pero específicamente diseñados para aumentar la productividad animal de los mismos. Según la FAO (2009) la elevada tasa de deforestación en los países tropicales (17 millones de ha año⁻¹) además de tener efectos locales como la degradación de los suelos y la pérdida de su productividad, también contribuye con una cuarta parte en las emisiones de CO₂ y otros gases hacia la atmósfera.

En Colombia muchas especies forestales han sido consideradas de importancia en los sistemas agroforestales, sin embargo los estudios alrededor de las interacciones que éstas propician dentro del sistema productivo agroforestal son poco reconocidas.

Este proyecto acoge el Plan Estratégico de la Ganadería Colombiana – PEGA 2019 y la visión de la Federación de Ganaderos (FEDEGAN), la cual menciona que “Para el 2019, la ganadería colombiana será una actividad moderna, rentable, solidaria, ambientalmente sostenible y socialmente rentable, para el bienestar del ganadero y del País...” (PEGA 2019, página 2)

De igual manera esta acorde, con el proyecto de Ganadería Colombiana sostenible, desarrollado por FEDEGAN y otras instituciones, para mejorar la producción del negocio ganadero a través del trabajo amigable con el medio ambiente; con el uso de diferentes tipos de árboles integrados a la producción ganadera (sistemas silvopastoriles), y la conservación de bosques nativos en su finca. (FEDEGAN, 2013)

9 ALCANCES DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en el Centro de Investigación La Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria CORPOICA, Villavicencio, Meta. El ecosistema representativo de esta área corresponde al Piedemonte Llanero.

El componente forestal evaluado corresponde a las especies acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) de seis años de edad, establecidas en plantación forestal y en arreglo silvopastoril de árboles dispersos con pastura de *Brachiaria decumbens*.

Para la evaluación del componente forestal, se realizó un inventario de reconocimiento y muestreo de la productividad, calidad y potencial de productos maderables en plantación y los arreglos silvopastoriles.

Los resultados reportados corresponden a una primera evaluación del componente forestal, será necesario establecer parcelas permanentes de monitoreo con el fin de reconocer la dinámica de crecimiento y silvicultura de las especies estudiadas.

Con el fin de determinar el efecto por la incorporación del componente forestal, se analizó la interacción árbol-pastura y árbol suelo, con la comparación de tres arreglos silvopastoriles de árboles dispersos de acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) y la pastura tradicional de (*B. decumbens*).

Se realizaron muestreos de cantidad y calidad de pastura de (*B. decumbens*), análisis de fertilidad química de los suelos y macrofauna, cada quince días durante un año del proyecto, reportados para las época seca y de lluviosa.

Para conocer la percepción sobre la incorporación de los árboles en sistemas de ganadería tradicional, fueron seleccionados e entrevistados informantes clave de los productores de los municipios de Villavicencio, Acacias y Castilla La Nueva, vinculados al Convenio Corpoica-Ecopetrol: “*Alternativas de reforestación y recuperación de áreas degradadas mediante sistemas silvopastoriles con el uso de tecnologías integrales que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de los productores en el área de influencia de Ecopetrol*”.

A partir de las entrevistas, se consolidó una base de conocimiento en el sistema *AKT5® (Agroforestry Knowledge Tool)*, sobre la incorporación de los árboles en los sistemas de ganadería, con productores de los municipios de Villavicencio, Acacias y Castilla La Nueva, y proponer algunas estrategias para los programas de silvopastoreo en la región.

10 MARCO TEÓRICO

10.1 CONCEPTO DE AGROFORESTERÍA.

La agroforestería es un sistema de uso de la tierra que implica una integración aceptable en términos sociales y ecológicos, de árboles con cultivos y/o animales, simultánea o secuencialmente, de tal manera que se incrementa la productividad total de las plantas y animales de una forma sustancial por unidad de producción o finca, especialmente, bajo condiciones de bajos niveles de insumos tecnológicos y en tierras marginales. (P.K.R. Nair citado por Krishnamurthy, 1999)

De acuerdo con Somarriba 1990, una definición estrictamente científica de esta disciplina debería enfatizar dos características comunes a todas las formas de agroforestería, que la diferencian de otras formas de uso de la tierra, a saber:

1. Existen al menos dos especies de plantas que interactúan biológicamente.
2. Al menos uno de los componentes es una leñosa perenne.
3. Al menos uno de los componentes es una planta manejada con fines agrícolas (incluyendo pastos)

10.2 EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN AGROFORESTAL.

Se entiende por sistema de producción a un arreglo de componentes relacionados, de tal manera que forman y/o actúan como una unidad o un todo. En esta definición las palabras arreglo y actúan, condicionan dos características de cualquier sistema estructura y función; todo sistema presenta una estructura relacionada con el arreglo de los componentes que lo forman y tiene una función, relacionada con el cómo actúa el sistema. (CATIE, 1983)

Todo sistema presenta elementos que son: componentes, entradas, interacciones, salidas, límites; los componentes son los elementos básicos del sistema y su interacción está relacionado a la estructura de ella. Las entradas y salidas de un sistema son los flujos que entran y salen de la unidad; este proceso es lo que da función al sistema (León, 1983)

Un sistema agroforestal puede entenderse como una forma de uso de la tierra donde se establecen relaciones ecológicas y productivas entre sus componentes cultivos, animales y forestales, con el

propósito de garantizar la sostenibilidad en el uso de los recursos naturales y el bienestar de la comunidad que lo implementa.

De acuerdo a la naturaleza de sus componentes los sistemas agroforestales se pueden clasificar en agroforestales, silvopastoriles o agrosilvopastoriles.

10.3 SISTEMAS SILVOPASTORILES

Con base en el concepto de Russo (1994). Con el nombre de sistemas silvopastoriles, se agrupa a un conjunto de técnicas de uso de la tierra que implican la combinación o asociación deliberada de un componente leñoso con ganadería en el mismo terreno. Estos sistemas se estructuran con interacciones significativas ecológicas y/o económicas, o sólo necesariamente biológicas entre los componentes. Las combinaciones pueden ser simultáneas o secuenciales en el tiempo y en el espacio y su objetivo es optimizar la producción del sistema y procurar un rendimiento sostenido.

Un sistema silvopastoril es una opción de producción ganadera, donde los árboles y/o arbustos (maderables o frutales) se combinan, interactúan y se relacionan con los pastos y los animales, todos ellos bajo un sistema de manejo integral las combinaciones de árboles y/o arbustos con pastos y animales se presentan en formas muy diversas, lo que ha generado diferentes opciones de arreglos silvopastoriles, (Ojeda *et al.*, 2003), entre los cuales se encuentran:

Bancos de proteína.

Los bancos de proteína son áreas en las cuales los árboles y/o arbustos se cultivan en bloque y en alta densidad (mayores a 5000 plantas/ha). Generalmente se encuentran asociados con pastos o alguna otra especie forrajera de tipo herbáceo. El propósito es aumentar la producción de forraje para la alimentación animal, el cual debe ser de alta calidad nutritiva (Ojeda *et al.*, 2003).

Pastura en callejones.

Pastura en callejones es un sistema en el cual se establecen surcos o hileras de árboles y/o arbustos forrajeros de rápido crecimiento, en asocio con plantas herbáceas (pastos o leguminosas) entre las hileras. Su objetivo es proveer mayor producción de forraje para los animales, mejorar la calidad del suelo y reducir los procesos de erosión (Ojeda *et al.*, 2003).

Árboles dispersos en potreros.

Es un sistema en el cual los árboles y/o arbustos se encuentran distribuidos al azar dentro de las áreas de pastoreo generalmente, la función de los árboles y/o arbustos en este sistema es la de proveer sombra al animal en días calurosos, o refugio en días lluviosos. Además; pueden generar otros productos (forraje, leña, frutos y semillas) y servicios (fijación de nitrógeno, aporte de materia orgánica y protección) (Ojeda *et al.*, 2003).

Pastoreo en plantaciones.

En este tipo de sistema, herbáceas forrajeras (pastos y/o leguminosas) se encuentran asociadas con leñosas de alto valor económico; debido a que son árboles y/o arbustos destinados para la producción de leña, madera, frutas o semillas (Ojeda *et al.*, 2003).

Cercas vivas.

Es una sola hilera de árboles y/o arbustos que delimitan una propiedad; pero también, pueden localizarse en diferentes partes como por ejemplo en la división de potreros en fincas ganaderas (Ojeda *et al.*, 2003).

Barreras rompevientos.

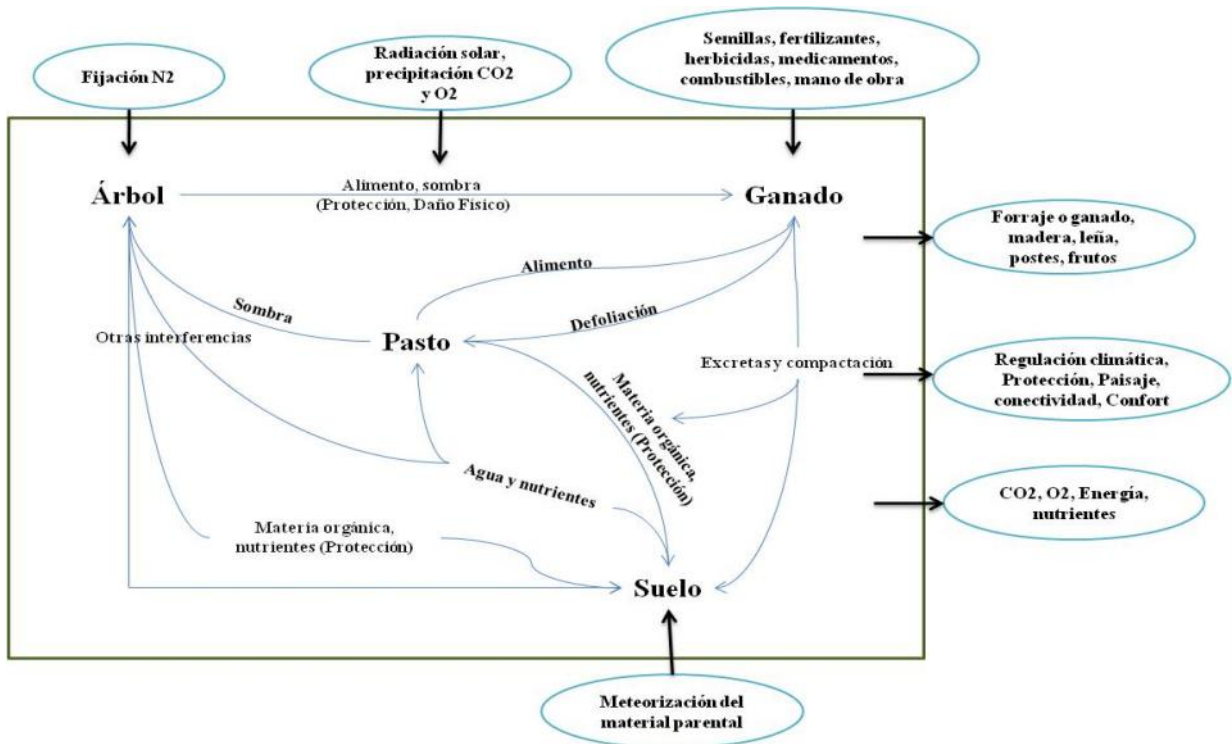
Son hileras (1 a 10) de árboles, arbustos, o ambos de diferentes alturas y establecidos en sentido opuesto a la dirección principal del viento. Su función: reducir la velocidad del viento en la zona cercana al suelo, reducir la acción mecánica del viento sobre los cultivos (pastos) y animales, evitar la pérdida de fertilidad del suelo por causa de erosión eólica y contribuir a regular las condiciones de microclima a nivel de finca. (Ojeda *et al.*, 2003)

La adopción de cualquiera de las tecnologías mencionadas está relacionada con la decisión por parte de los productores al incorporar o no el componente forestal en sistemas de ganadería tradicional. Estas decisiones pueden ser múltiples y muy diversas. Por ejemplo, incrementar la productividad del recurso suelo sin degradarlo a largo plazo, reducir el riesgo a través de la diversificación de la producción (frutas, madera, leña, semillas); o atenuar los efectos perjudiciales del clima sobre las pasturas y los animales.

10.4 COMPONENTES DEL SISTEMA SILVOPASTORIL

La Figura 1, muestra los principales componentes del sistema silvopastoril y las interacciones presentes.

Figura 1. Esquema de un sistema silvopastoril



Fuente: Bronstein 1984. Diagrama simplificado de un sistema silvopastoril.

10.5 PRODUCTIVIDAD DEL COMPONENTE FORESTAL

De acuerdo con CATIE 1989, la productividad se refiere a los incrementos en biomasa (vegetal y/o animal) por unidad de área y tiempo. En sistemas agroforestales el término productividad se utiliza indistintamente para los componentes arbóreos, animales o agrícolas, o la suma de estos componentes, referido a fincas y terrenos en general. La productividad específica de los cultivos también se expresa como “rendimiento por hectárea y año” y se asocia con los beneficios económicos derivados de éste.

En el caso de los árboles, la productividad se puede expresar en términos de volumen de madera y/o leña ($m^3/ha/año$). También puede expresarse en términos de biomasa (toneladas de materia seca ($ton/ha/año$ o $kg/ha/año$), ya sea en biomasa total, biomasa aérea total, de follaje o de combinaciones de las anteriores. Dada la dificultad de hacer determinaciones exactas del volumen de madera

aprovechable en pie, sin cortar los árboles, es posible utilizar el área basal (G , expresada en $m^2/ha/año$), ya que este parámetro está muy relacionado con el volumen, como medida de rendimiento y productividad. La productividad de forraje y leña en cortas periódicas será medida en términos de biomasa y se podrá estimar mediante relaciones matemáticas, las cuales es preciso determinar para cada lugar y especie.

10.5.1 Factores determinantes de la productividad forestal.

10.5.1.1 Sitio forestal.

Según (Daniel *et al.*, 1982) La productividad de los terrenos forestales se define por la calidad del sitio forestal, que se estima mediante la máxima cosecha de madera que el bosque produzca en un tiempo determinado. La calidad de sitio es la suma de muchos factores ambientales: la profundidad del suelo, su textura, las características de sus perfiles, su composición mineral, lo pronunciado de las pendientes, el microclima y especies. Dado que la calidad del sitio se mide en términos de la máxima cantidad de madera producida (en volumen) dentro de cierto periodo, el valor que se le asigne puede variar según la especie forestal y el tiempo de cosecha asignado.

10.5.1.2 Densidad del rodal.

La densidad del rodal es el segundo factor de importancia, después de la calidad del sitio, para la determinación de la productividad de un sitio forestal, además la densidad del rodal es el principal factor que el silvicultor puede manejar durante su desarrollo; a través del manejo de la densidad, se puede influir sobre el crecimiento de las especies, modificar la calidad de la madera, la tasa de crecimiento en diámetro e incluso la producción en volumen durante el periodo de establecimiento. Antes de establecer los principios de la cuantificación de la densidad de los rodales es necesario aclarar dos términos muy utilizados: población y densidad.

Se define densidad como “la medida cuantitativa de la población de árboles expresada, sea relativamente como un coeficiente que toma números normales, área basal o volumen por como unidad, o absolutamente, en términos del número de árboles, del área basal total o del volumen por unidad de área (Ford-Robinson, 1971 citado por Daniel *et al.*, 1982)

La población se expresa en términos como subpoblado, totalmente poblado o superpoblado e indica así la capacidad de la cantidad de árboles de acoplarse a los objetivos de manejo del rodal. Es posible que un rodal con determinada densidad sea subpoblado o superpoblado, según los objetivos que se persiguen. (Daniel *et al.*, 1982)

10.6 INTERACCIONES ECOLÓGICAS EN LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES

10.6.1 Concepto de interacciones

El incremento de la productividad y sostenibilidad ambiental del sistema de ganadería, se puede lograr por la incorporación del componente leñoso de la investigación sobre los efectos de la incorporación del componente leñoso en estos sistemas y de las interacciones ecológicas y/o económicas entre los componentes árbol-pastura-animal.

En los sistemas silvopastoriles, se generan interacciones ecológicas de competencia y facilitación, que tienen un efecto neto diferente de acuerdo característica del componente leñoso, además de las características ambientales, la distribución espacial de los distintos componentes y la evolución temporal del sistema (Fernández, 2003).

Los principios ecológicos que definen la particularidad de las interacciones entre componentes en sistemas silvopastoriles han recibido una atención considerable de investigación durante los últimos años y son la garantía de sostenibilidad del sistema.

Las interacciones que ocurren entre los organismos individuales se pueden agrupar en cuatro grandes categorías: (a) comer o ser comido, (b) la competencia por los recursos, (c) la cooperación, y (d) no hay interacción directa (Perry, 1994). Terminologías tales como la depredación, parasitismo, la competencia, amensalismo, mutualismo, comensalismo, neutralismo y también se han utilizado ampliamente para definir la interacción entre dos especies.

La tabla 1, muestra la aplicación de las interacciones ecológicas a la agroforestería. Cuando la interacción es positiva o sinérgica, se espera que exista una complementariedad entre los componentes del sistema, cuando la interacción es negativa o antagonista, se convierte en la competencia. Las interacciones también se pueden clasificar según su ocurrencia arriba y bajo el suelo. (Singh *et al.*, 1989; Ong *et al.*, 1991).

Tabla 1. Aplicación de las interacciones a la Agroforestería

TIPO DE INTERACCIÓN	Efecto de la interacción		Naturaleza de la interacción	Ejemplo para Agroforestería
	Especie 1	Especie 2		
<i>Amensalismo</i>	-	0	Una especie se inhibe sin afectar a la otra	Alelopatía, El Nogal Negro inhibe el crecimiento del tomate
<i>Comensalismo</i>	+	0	Una especie se beneficia sin afectar a la otra	Barbecho mejorado
<i>Competencia</i>	-	-	Ambas especies se ven afectadas negativamente como resultado de cada otro uso de los recursos de crecimiento	Mal manejo de cultivos en callejones o arboles en pasturas
<i>Mutualismo o sinergismo</i>	+	+	Ambas especies son afectadas positivamente	Micorrizas; Rhizobium en Leguminosas
<i>Neutralismo</i>	0	0	Ninguna de las especies afecta a la otra	Especies forestales de hoja caduca en cultivos
<i>Predación parasitismo</i>	+	-	Una especie se beneficia a expensas de la otra	Plagas y enfermedades
<i>0 no efecto; += positivo; -= negativo</i>				

Fuente: Perry 1994 citado por Pulido 2004

La productividad del sistema agroforestal es en últimas, el resultado o balance neto entre las interacciones positivas y negativas de sus componentes. En este sentido las mayores pérdidas para el sistema serán en un escenario de competencia entre sus componentes.

Según Petit (2002), existen relaciones ecológicas entendidas en el campo de las interacciones sobre las cuales podría hablarse de la sostenibilidad del agroecosistema. Estas relaciones pueden ser competencia, protectivas contra el clima, sinérgicas con la biodiversidad, sinérgicas con el ambiente y de facilitación de procesos.

10.6.2 Interacción árbol-pastura en arreglos silvopastoriles

De acuerdo con Vitta (2004), en general, las interacciones de competencia en un arreglo silvopastoril, son principalmente por luz, por agua y nutrientes.

10.6.2.1 Efecto sombra

La sombra de los árboles, no sólo modifica la cantidad de radiación disponible para la pastura, sino también su calidad (Yirdaw *et al.*, 2003), por efecto de los diferentes niveles de intercepción de luz de cada uno de los componentes del sistema.

Los distintos niveles de radiación interceptada por la copa se describen como función exponencial de extinción la luz y del índice de área foliar, mediante la siguiente formula (Monsi y SaeKi, 1953):

$$I = I_0 e^{-(k \cdot LAI)}$$

Donde

I_0 es la radiación incidente en el extremo superior de la copa

k es el coeficiente de extinción de la luz

LAI es el índice de área foliar.

La interceptación de la radiación solar por la copa de los árboles causa efectos directos e indirectos sobre la pastura. En forma directa provoca la alteración simultánea de dos importantes recursos para el pasto: la iluminación y el calor. Además, en forma indirecta produce la alteración de la humedad en la capa superior del suelo, la cual es valiosa para el cultivo y para la descomposición de las partes muertas de las plantas y la absorción de nutrimentos, por esto la respuesta de la interacción árbol-pastura puede determinarse a partir de análisis de la cantidad y calidad de pasto. (Córdoba y Hernández, 2003)

Por lo tanto, la determinación de la radiación disponible para las plantas o los niveles de sombra generada por los árboles, es de vital importancia para manejar niveles óptimos y anticipar umbrales críticos que puedan afectar la pastura y en los momentos de definir manejos silvícolas o de la pastura para los sistemas silvopastoriles (Bellow *et al.*, 2002).

A la sombra se le atribuyen varios efectos benéficos en la salud y en el comportamiento animal, entre los que se encuentran: un mayor tiempo dedicado al pastoreo y la rumia, lo que les permite hacer un mayor consumo de alimentos y seleccionar los de mejor valor nutritivo; una disminución en sus requerimientos de agua; un incremento en la eficiencia de conversión alimentaria y una mejora en las ganancias de peso. Además, reduce la tasa de mortalidad en los animales jóvenes y alarga la vida útil,

dado que proporciona un crecimiento y desarrollo corporal adecuado y una mejor respuesta inmunológica ante las enfermedades (Soca, 2005).

Disponibilidad de forraje. Es la cantidad de pasto por hectárea que se le ofrece al animal en un momento dado. Esta varía de acuerdo a la estación del año, condiciones climáticas, fertilidad del suelo, el manejo, carga animal. Esta disponibilidad puede determinarse a partir de métodos destructivos que contemplan la corta del pasto o métodos visuales de estimación. (Bendersky, 2011)

Calidad de forraje. En cuanto a la calidad de forraje, existen muchos términos asociados: valor nutritivo, calidad nutritiva, composición nutritiva, o simplemente "calidad". Algunos autores consideran que la calidad es una propiedad del forraje, otros que es el resultado de la respuesta del forraje al ambiente y/o manejo, y otros que debe incluir la respuesta animal o el consumo. (Di Marco, 2011)

La calidad es una característica que puede ser definida de diversas maneras. Pero un buen método para considerar la misma es estimar la digestibilidad de la materia seca, la energía que aporte el alimento y la proteína que brindará el mismo. (Bassi, 2007). Los análisis que se utilizan en la actualidad son los propuestos por (Van Soest, 1966), en los siguientes términos:

Materia Seca (MS). Es el porcentaje de alimento sin agua, todos los alimentos tienen algo de agua en su composición, la humedad es la medición del contenido de agua en el alimento como, es el porcentaje de forraje sin agua. Todos los alimentos tienen algo de agua en su composición. (Ronnenkomp y Hay, 2013)

Proteína Cruda (PC). Proteínas son un componente químico de organismos vivos, están constituidas por cadenas de aminoácidos, los cuales contienen el elemento nitrógeno. La medición de nitrógeno de la ración, se utiliza para determinar el contenido de proteína cruda. Esta medición también nos da el contenido de nitrógeno no-proteico, el cual es usualmente bajo en la mayoría de los alimentos. La proteína cruda es un pobre indicador de energía productiva y valor alimenticio. (Ronnenkomp y Hay, 2013)

Fibra. Es parte de la estructura de la planta. La cantidad y calidad de fibra, afecta habilidad del ganado a utilizar esa planta como fuente alimenticia. Fibra es medida por pruebas químicas:

Fibra Detergente Neutro (NDF) mide la parte estructural de la planta, la pared celular de la planta. NDF da volumen a la dieta y establece el límite de consumo. (Ronnenkomp y Hay, 2013)

Fibra Detergente Acido (ADF) Consiste de celulosa, lignina, sálica, proteína cruda insoluble y cenizas que son las partes menos digestibles de la planta. Y como los % de ADF se relacionan negativamente con digestibilidad, se usa para calcular valores energéticos. ADF es uno de los análisis más comunes en los forrajes. Baja ADF es lo deseado porque significa más energía neta, a medida que la planta madura la ADF aumenta. (Ronnenkomp y Hay, 2013).

Se sabe que las gramíneas inician su crecimiento con un valor de proteína cruda (PC) alto, un rendimiento de materia seca (MS) bajo, y un contenido de lignina bajo, coincidiendo la mayor producción de MS con el valor más bajo de PC, siendo el punto donde se cruzan las dos tendencias presumiblemente el óptimo para su eficaz utilización. (Correa *et al.*,2011).

Se sostiene que la fibra detergente neutra (FDN) restringe el consumo de materia seca (MS), debido a la capacidad limitada que tiene el animal para almacenar los volúmenes que representa en la dieta esta fracción de nutrientes y se señala que la cantidad de fibra detergente neutra (FDN) que un bovino puede consumir por día, está en un rango de entre 1.4% a 2.2 % de su peso vivo. En esta dirección el contenido de FDN está correlacionado positivamente con la densidad del forraje y el llenado del rumen, de tal manera que un mayor contenido de FDN significa un menor consumo de materia seca (CMS), lo que implica que podría existir un límite para el CMS en función de la concentración de FDN del forraje. (Correa *et al.*,2011).

Por su lado la fracción detergente acida (FDA), se ha correlacionado tanto negativa como positivamente con los niveles de digestibilidad de la materia seca (MS), por ello se ha utilizado con más frecuencia para estimar el contenido de energía de los forrajes, con criterios y hallazgos igualmente aun discutidos (Belyea *et al.*, 1996; Weiss, 1998), (Van Soest *et al.*,1978), (Laredo y Mendoza, 1982).

La fracción de extracto etéreo (EE) hace referencia a un grupo de compuestos lipídicos que actúan como fuentes de energía principalmente. (Correa *et al.*, 2011).

La fracción de cenizas, reporta en bruto la presencia de minerales. El nivel óptimo de mineral en los forrajes está relacionado con los requerimientos del animal. En este sentido, los niveles óptimos son

variables debido a que los requerimientos del animal varían de acuerdo a su estado fisiológico y a los niveles de producción. (Correa *et al.*, 2011).

Ha sido estimado que entre el 25 y el 50% de la variación en la respuesta productiva de los animales a los forrajes que consumen se debe a su digestibilidad y en la práctica y debido a la acelerada dinámica de los cambios que se suceden en las pasturas e independientemente del método que se hayan utilizado en su cuantificación, su real manifestación se da en atención al estado cronológico, fisiológico y productivo del animal que pastorea. (Arreaza *et al.*, 2004).

10.6.3 Interacción árbol-suelo en arreglos silvopastoriles

Los árboles pueden mejorar el ciclo de los nutrientes no disponibles a las raíces superficiales de los pastos, a través de su sistema de raíces profundas y su aporte de hojarasca, mantener la fertilidad del suelo y aumentar el aporte de materia orgánica. (Espinoza y Obispo, 2005).

La interacción árbol y el suelo, puede estimarse a partir características físicas, químicas y biológicas de los suelos. En cuanto a las características físicas se encuentran la textura, estructura, densidad y porosidad, fundamental para el sostenimiento y productividad del suelo; las características químicas se refieren los contenidos de macro y micronutrientes, la cantidad de materia orgánica y la condición de acidez y alcalinidad. (Torres, 2008).

Finalmente las características biológicas, están determinadas por la actividad de los organismos del suelo, que comprenden una amplia variedad y que en conjunto conforman la biodiversidad del suelo, muy importante, pero poco conocida de los ecosistemas terrestres. (Ruiz y Lavalle, 2008).

La importancia de esta biodiversidad se traduce en las funciones que estos organismos cumplen para la calidad de los suelos. (Ruiz y Lavalle, 2008). En la tabla 2 se muestran algunas de estas funciones y los organismos involucrados.

Tabla 2. Función de algunos organismos del suelo

Funciones	Organismos involucrados
Mantenimiento de la estructura del suelo	Invertebrados y raíces de plantas, micorrizas y algunos otros microorganismos
Regulación hídrica del suelo	Mayoría de los invertebrados y raíces de las plantas
Intercambio gaseoso (secuestro y acumulación de carbono)	Mayoría de microorganismos y raíces de las plantas, algunas moléculas de carbono se encuentran protegidas en agregados biogénicos de invertebrados
Desintoxicación del suelo	Mayoría de microorganismos
Ciclo de nutrientes	Microorganismos y las raíces de las plantas, algunos invertebrados se alimentan de suelo y del litter.
Descomposición de materia	Varios invertebrados saprofitos y descomponedores, detritívoros, hongos, bacterias, actinomicetes y otros microorganismos.
Control de plagas, parásitos y enfermedades	Plantas, micorrizas y otros hongos, nematodos, bacterias y diversos microorganismos, colémbolos, lombrices de tierra, y varios depredadores
Fuentes de alimentación y medicinas	Raíces de plantas, diversos insectos (grillos, larvas de escarabajos, hormigas, termitas),
Relaciones simbióticas y asimbióticas con plantas y otras raíces	Rhizobia, micorrizas, actinomicetos, bacterias diazotróficas, varios otros microorganismos de las raíces y hormigas
Control de crecimiento de las plantas (positivos y negativo)	Efectos directos: raíces de las plantas, rhizobia, micorrizas, actinomicetes, patógenos, nematodos fitoparásitos, insectos rizófagos, agentes de control biológico.

Fuente: Ruiz y Lavallo, 2008

El sistema más fácil y más ampliamente utilizado para la clasificación de los organismos del suelo es agruparlos por tamaño en tres grupos principales: macrobiota, mesobiota y microbiota (Wallwork, 1970; Swift *et al.*, 1979). La tabla 3 muestra esta clasificación.

Tabla 3. Clasificación de los organismos del suelo

GRUPO	ORGANISMOS DEL SUELO		
	<i>Denominación</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Ejemplo</i>
<i>Microbiota</i>	<i>Micro flora</i>	$< 5\mu m$	<i>Bacterias y hongos</i>
	<i>Micro fauna</i>	$< 100\mu m$	<i>Protozoarios</i> <i>Nematodos</i>
<i>Macrobiota</i>	<i>Meso fauna</i>	$< 100\mu m - 2mm$	<i>Ácaros</i>
	<i>Macro fauna</i>	$2-20mm$	<i>Lombrices</i>
<i>Plantas</i>	<i>Algas y raíces</i>	$10\mu m > 10 \mu m$	

Fuente: FAO 2012 (Adaptado de Swift *et al.*, 1979)

La macro flora es el grupo más pequeño, son muy abundantes y diversos. Ellos incluyen: algas, bacterias, cianobacterias, hongos, levaduras y actinomicetos. Son capaces de descomponer casi cualquier material natural existente en nutrientes que son asimilables por las plantas. (Ruiz y Lavallo, 2008)

La micro fauna incluye colémbolos, los ácaros, nemátodos y protozoos, entre otros, que por lo general viven en la película de agua del suelo y se alimentan de micro flora, planta raíces, otras veces micro fauna. (Ruiz y Lavalle, 2008)

La meso fauna, por lo general viven dentro de cavidades o los poros del suelo y se alimentan de materia orgánica, micro flora, micro fauna y otros invertebrados.

La macro fauna se compone de un gran número de diferentes organismos que viven en la superficie del suelo, en los espacios del suelo (poros), en el área de suelo cerca de las raíces y son observables a simple vista, incluyen organismos como las lombrices, ciempiés, hormigas, coleópteros (adultos y larvas), isópodos, arañas, babosas, caracoles, termitas, larvas de lepidópteros, dermáptera y larvas de dípteros entre otros. (Ruiz y Lavalle, 2008)

Su forma de vida, sus hábitos de alimentación, sus movimientos en el suelo, sus excreciones y su muerte tienen impactos directos e indirectos en su hábitat, las actividades biológicas de la macro fauna regulan los procesos del suelo y la fertilidad del suelo para un grado significativo.

Los efectos de la macrofauna en el suelo se pueden dividir en tres categorías: físicos, químicos y biológicos, los cuales son fundamentales para la vitalidad de los ecosistemas. (Ruiz y Lavalle, 2008)

- a. Degradar materia orgánica y los nutrientes para la posterior mineralización
- b. Controlar las poblaciones de patógenos
- c. Mejora y mantenimiento de la estructura del suelo
- d. Mezcla de la materia orgánica a través del suelo

10.7 PERCEPCIÓN Y CONOCIMIENTO LOCAL

10.7.1 PERCEPCIÓN

Según Guardiola (2010), la percepción puede definirse como el conjunto de procesos y actividades relacionadas con la estimulación que alcanzan los sentidos, mediante los cuales se obtiene información respecto al hábitat, las acciones que se efectúan en él y los propios estados internos de los individuos.

Una de las acepciones más relevantes del concepto de percepción es la que hace referencia a la valoración que un individuo hace de una determinada situación social y de su papel o posibilidades en ella. (Rocca, 1991).

De acuerdo (Green, 1990 citado por Rojas, 2011), la percepción es un proceso cognitivo que comprende las siguientes etapas:

- a. Selección y codificación de los datos que se reciben del exterior, para reducir la complejidad que presentan y facilitar un posterior almacenamiento y recuperación
- b. Predicción de acontecimientos futuros, en este proceso el individuo intenta ir más allá de la información obtenida con el propósito de preservarse para los imprevistos, es un mecanismo de protección.
- c. Organización en categorías básicas del conocimiento, las percepciones son una actividad estructurada, que involucra la recopilación de datos en un proceso ordenado, que no inicia de cero, sino que va creando categorías (formas básicas de conocimiento).
- d. Interpretación, que es la última fase del proceso perceptual y que depende de la experiencia previa del individuo, así como de sus motivaciones, intereses personales y su interacción con otras personas. (Guardiola, 2010)

10.7.2 EL CONOCIMIENTO LOCAL

Una definición básica del conocimiento indica que es un conjunto de información almacenada mediante la experiencia o el aprendizaje. En sentido más amplio del término, se trata de la posesión de múltiples datos interrelacionados. (Anónimo, 2012)

De esta manera puede entenderse el conocimiento local como el conjunto de conocimientos, creencias y costumbres que son consistentes entre sí, lógicas y útiles que son adquiridos por un grupo de personas o localidad, que procede de la experiencia propia de la zona o se deriva de capacitaciones, educación o interacciones con otras personas (Sinclair *et al.*, 1998; Bellon, 1997).

Sin embargo el estudio y análisis del conocimiento local, tiene utilidad, en la medida en que se muestran evidencias de integración con el conocimiento científico y la toma de decisiones por parte del productor dentro de un proceso de adopción de tecnologías. (Nazarea, 1994)

Nazarea (1994), propone un modelo donde se pueden explicar las maneras en cuales se dan las decisiones de los productores, que no es más sino la consideración de que los productores se encuentran influenciados por su entorno, las limitaciones que poseen y sus propósitos.

Figura 2. Toma de decisiones del productor transición entre la realidad operacional y el conocimiento local



Fuente: Adaptado de Nazarea, 1994 citado por Colon, 2005

Como lo muestra la figura 2 y conforme a Nazarea (1994), el productor se encuentra inmerso en una realidad operacional conformada por el entorno compuesto por factores bióticos (especies animales y vegetales) y abióticos (suelo, temperatura, viento) y por las relaciones que establece con esos recurso conforme a sus oportunidades y limitantes. Los productores exploran el ambiente y lo incorporan a sus conocimientos y en base a ello y a su situación particular se establece el marco y los criterios para la toma de decisiones.

Estas decisiones son fundamentales para los propósitos de los distintos programas de desarrollo agroforestal. Según Sinclair (1998), la efectividad de un programa agroforestal será mayor, si este se diseña, ejecuta y evalúa teniendo en cuenta el conocimiento con el que ya cuentan los productores.

Existe considerable evidencia de que, si bien los productores pueden estar interesados en elementos de los paquetes de tecnología (una especie de árbol, por ejemplo), rara vez adoptan los paquetes enteros en la forma en que se difunden (Buck, 1990; Kerkhof, 1990 citado por Sinclair, 1998).

10.7.3 Bases de conocimiento

Según Rouse (2007), una base de conocimientos es un repositorio centralizado de información relacionada con un tema en particular bajo y que se conforma bajo el enfoque de sistemas basados en el conocimiento. Se constituye en un componente integral de la gestión del conocimiento y se utiliza para optimizar la recopilación, organización y recuperación de la información de forma dinámica.

10.7.3.1 Representación formal del conocimiento cualitativo

La representación formal conocimiento cualitativo, se basa en la premisa de que, la mayor parte del conocimiento puede ser dividido en breves declaraciones y taxonomías asociadas de los términos que se utilizan en ellos. Estos pueden ser representados como una base de conocimientos mediante una gramática formal y una serie de jerarquías de términos.

Las conexiones entre las declaraciones se pueden explorar mediante la visualización de conjuntos de enunciados relacionados como diagramas. El registro formal de los conocimientos de esta manera también hace que sea posible el uso de procedimientos de razonamiento automatizado para ayudar a evaluar y explorar áreas de conocimiento complejas.

10.7.3.2 Sistema de base de conocimiento AKT5® (Agroforestry Knowledge Tool)

El software AKT5® (*Agroforestry Knowledge Tool*), fue desarrollado por la Universidad de Gales, Bangor, en conjunto con el Departamento de Inteligencia Artificial de la Universidad de Edimburgo (Sinclair y Walker, 1998), con el fin de proporcionar una herramienta para la recopilación, representación, y evaluación de conocimientos de varias fuentes sobre las diferentes prácticas agroecológicas. (Bangor University, 2013).

Para esta base AKT5® (*Agroforestry Knowledge Tool*), el conocimiento se desencadena a través de un proceso de entrevistas semiestructuradas con informantes clave. Este conocimiento se desglosa en frases unitarias y se representan usando una gramática formal, ya sea en una declaración o formato de diagrama. Los resultados y análisis dependerán del enfoque y objetivos de quien haga uso de la información, pues se concibe como una herramienta de trabajo para la investigación desde distintas ópticas. (Bangor University, 2013).

11 METODOLOGÍA

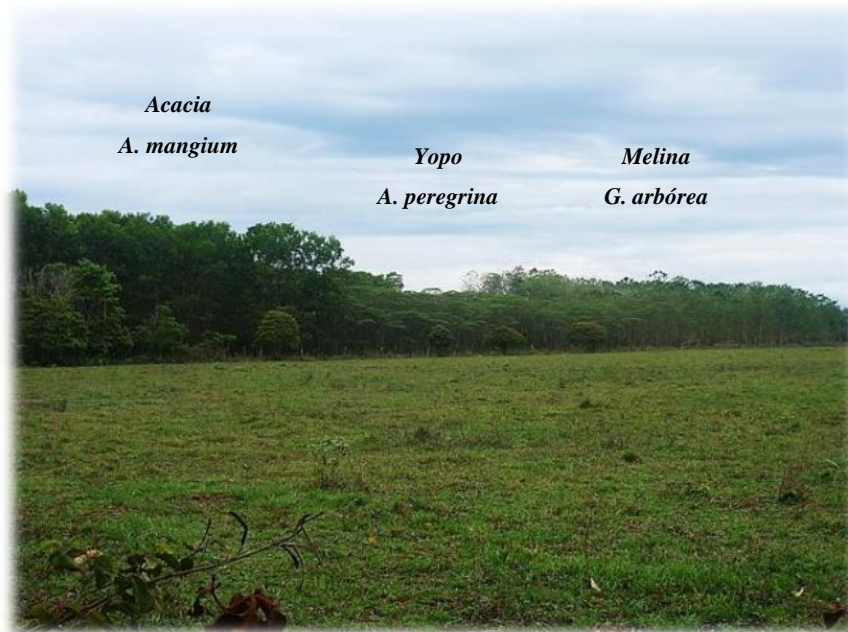
11.1 ÁREA DE ESTUDIO

La investigación se desarrolló en el Centro de Investigación La Libertad de Corpoica, Kilómetro 21 vía Puerto López (Villavicencio, Meta, Colombia). Localizado a 4°06' de latitud norte y 73°34' de longitud oeste, con una altura 336 msnm, la precipitación anual promedio de 2987 mm, el promedio de temperatura es de 26° C y la humedad relativa de 85% en época lluviosa (abril a noviembre) y de 65% en época seca (diciembre a marzo), con 1.335 hectáreas, se ubica en la región Bosque Húmedo Tropical de la Orinoquia Colombiana. Los suelos son representativos del Piedemonte llanero por ser fuertemente ácidos (pH= 4,5), con alto contenido de aluminio intercambiable, de baja fertilidad y principalmente deficientes en Ca, P, N, Zn y Cu.

El trabajo se desarrolló en dos zonas del Centro de Investigación, el denominado Lote Tolimas y el Lote La Pista.

a. Lote Tolimas. Localizado a 4°05' 1.29" de latitud norte y 73°26' 34.50" de longitud oeste y donde se encuentra el Proyecto Bosque experimental con tres especies forestales promisorias acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) para la obtención de leña y carbón.

Este proyecto se desarrolló en el año 2006 en el marco del convenio Corpoica-CORMACARENA y se establecieron 6 Ha de plantación forestal bajo un ensayo de distancias de siembra 2x3 m y 3x4 m y dosis de fertilización, dosis 1: Fosfato Diamónico DAP 4 Bultos/50Kg, Sulpomag 4 bultos, Boro cinco 13Kg y dosis 2: Fosfato Diamónico DAP 2 Bultos/50Kg, Sulpomag 2 bultos, Boro cinco 6,5 Kg



Fotografía 1. Plantación Forestal Lote Tolimas.CI La Libertad. Mayo 2011

b. Lote la Pista. Donde en el año 2006 se establecieron dos áreas, una correspondiente a un sistema silvopastoril y otra de pastura tradicional de (*B. decumbens*)

El sistema silvopastoril localizado a 4°03'28.4" de latitud norte y 73°28'31.7" de longitud oeste, compuesto por tres arreglos silvopastoriles de árboles dispersos de acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) en distancias de siembra de 10 x 10 m y en asocio con la pastura de (*B. decumbens*). En la fotografía 2, se puede observar el arreglo silvopastoril de yopo (*A. peregrina*). Las áreas de cada uno de los arreglos silvopastoriles son las siguientes:

1. acacia (*A. mangium*)/(*B. decumbens*) 0.18 hectáreas
2. melina (*G. arbórea*)/(*B. decumbens*) 0.30 hectáreas
3. yopo (*A. peregrina*)/(*B. decumbens*) 0.30 hectáreas

La zona de pastura tradicional de (*B. decumbens*), se encuentra localizada a 4°03'31.10" de latitud norte y 73°28'39.68" de longitud oeste. En la fotografía 3 se muestra el lote de pastura tradicional.



Fotografía 2. Arreglo silvopastoril yopo (A. peregrina) Lote La Pista CI. La Libertad



Fotografía 3. Pastura tradicional (B. decumbens) Lote La Pista CI. La Libertad

11.2 ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

La metodología del proyecto se enmarca en el enfoque de sistemas agropecuarios para el desarrollo y generación de tecnología apropiada; propuesta que se basa en los principios del desarrollo de aumentar la productividad, incrementar la rentabilidad, asegurar la sostenibilidad y garantizar la distribución equitativa de los resultados de la producción. (Norman *et al.*, 1996).

Esta investigación y la desarrollada por Herrera, 2014: *Fluctuación poblacional de nemátodos gastrointestinales y pulmonares en bovinos jóvenes e indicadores productivos bajo dos sistemas de pastoreo (tradicional y silvopastoril), en el Centro de investigación La Libertad de Corpoica – Villavicencio – Meta*; Se llevó a cabo en el lote silvopastoril experimental denominado La Pista, con muestreos de campo conjuntos para las variables cantidad y calidad de forraje de *B. decumbens* y dasométricas del componente forestal.

11.2.1 Determinación de la productividad, calidad y potencial de productos del componente forestal bajo plantación forestal y sistema silvopastoril.

11.2.1.1 Inventario del componente forestal en plantación y sistema silvopastoril.

Conforme a la metodología CATIE 2001, la evaluación productiva del componente forestal se realizó mediante un inventario, que permite determinar de manera cualitativa y cuantitativa el potencial del recurso forestal.

La planificación del inventario se realizó, con el uso de fotografías aéreas, imágenes de satélite y cartografía, para la localización de los sitios de inventario. Posteriormente se verificó en campo y se definieron las unidades e intensidad del muestreo como se indica:

Intensidad del muestreo f (%) = $(n/N) 100$

Donde:

f = Intensidad de muestreo en porcentaje

n = Número de unidades de la muestra

N = Número de unidades de toda la población

En inventarios forestales se utilizan intensidades de muestreo entre el 0.1% a 10 %, y la intensidad usada está en función de: superficie a inventariar, recursos financieros, precisión requerida, tiempo disponible para realizar el inventario. Considerando lo anterior, para el proyecto, se optó por la recomendación hecha por Carrera (1996) que establece una intensidad de muestreo mínima expresada en número de parcelas de 0.1 ha a muestrear según el tamaño del área a inventariar.

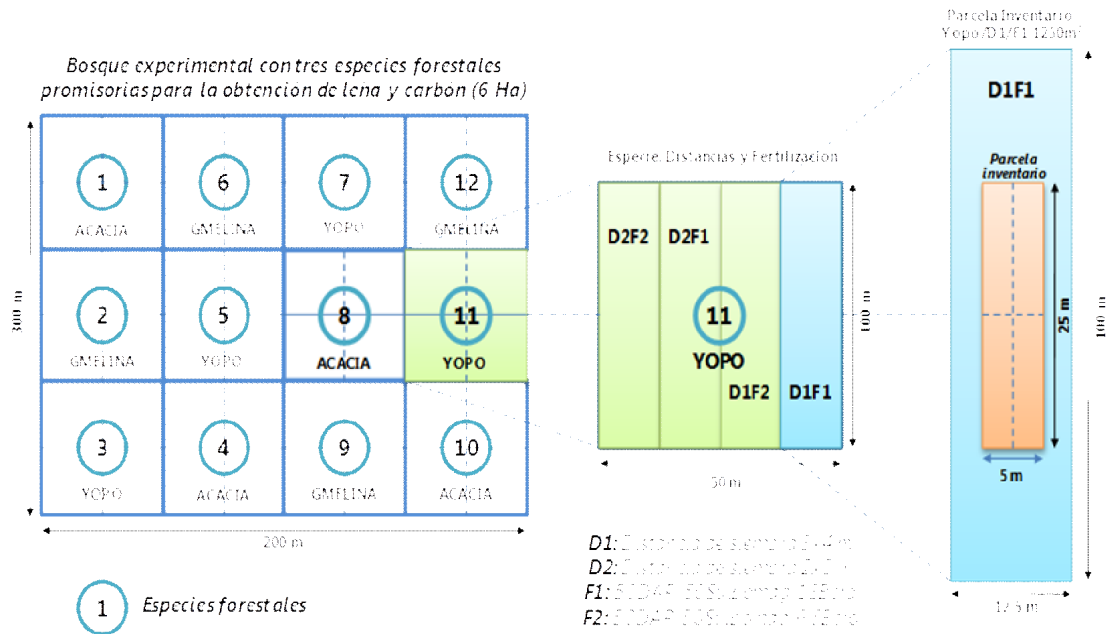
11.2.1.2 *Inventario del componente forestal en plantación*

De acuerdo con el diseño del Proyecto bosque experimental con tres especies forestales promisorias acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) para la obtención de leña y carbón, se realizó la distribución de parcelas de inventario forestal, el muestreo fue sistemático considerando los factores especies, distancias de siembra y dosis de fertilización.

Las parcelas de inventario fueron de 125 m², se determinó el número de árboles por hectárea y las variables dasométricas como diámetro a la altura del pecho o diámetro normal (DAP), altura comercial y altura total, altura a la base de copa, altura al diámetro máximo de la copa, diámetros de copa.

Igualmente se realizó la evaluación de variables cualitativas para la calidad de madera, estado fitosanitario, daños y estructura de la copa. Los datos fueron registrados en el formulario de campo del anexo 1. Cada uno de los árboles fue numerado y marcado siguiendo una nomenclatura establecida para cada lote de ensayo.

Figura 3. Distribución de parcelas de inventario forestal en plantación



11.2.1.3 Inventario del componente forestal en sistemas silvopastories.

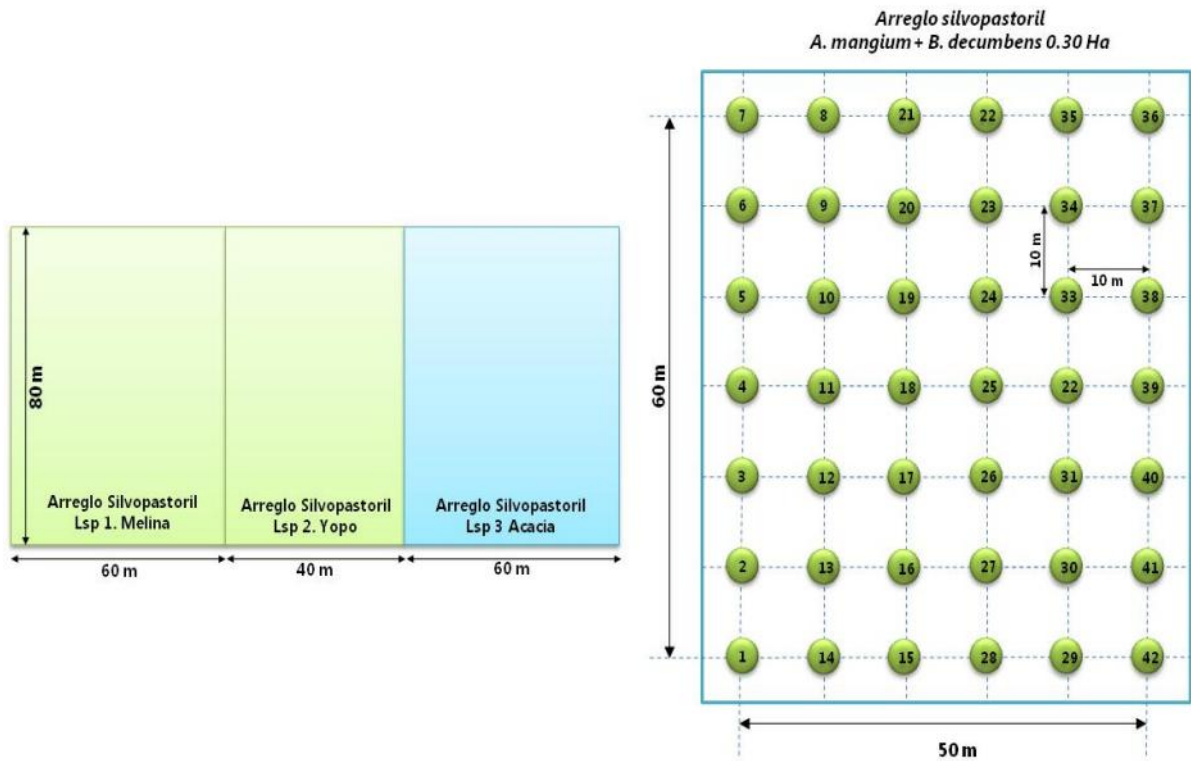
Se realizó la medición de cada una de las variables, el número de árboles por hectárea y las variables dasométricas como diámetro a la altura del pecho o diámetro normal (DAP), altura comercial y altura total, altura a la base de copa, altura al diámetro máximo de la copa, diámetros de copa.

Igualmente se realizó la evaluación de variables cualitativas para la calidad de madera, estado fitosanitario, daños y estructura de la copa. Los datos fueron registrados en el formulario de campo del anexo 1. Fueron marcados con placa, cada uno de los árboles siguiendo la nomenclatura **Lsp I A30**: **Lsp**: Lote silvopastoril **I**: melina (*G. arborea*), **A30**: Árbol número consecutivo.



inventario forestal

Figura 4. Distribución de parcelas de inventario forestal en sistema silvopastoril

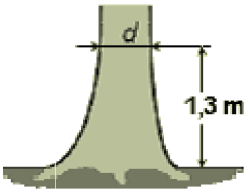
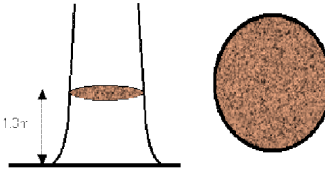


11.2.1.4 Variables medidas

El inventario del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) bajo plantación y arreglos silvopastoriles, considero las variables que se describen en las tablas 4, 5 y 6:



Tabla 4. Variables estimadas en el inventario del componente forestal

Nombre	Descripción	Esquema
Altura total y comercial.	La altura de los árboles se midió con Clinómetro Suunto Tandem.	

Diámetro normal	El diámetro de los árboles se midió a 1.30 m de altura. El instrumento utilizado para medir fue la cinta diamétrica	
Área Basal	El Área basal es la superficie de la sección transversal del árbol. Se mide a 1.30 m de altura y se calculó por la siguiente fórmula: $AB = 0.7854 \times DAP^2$ Donde: AB = Área basal en m ² d = diámetro normal en m ²	
Volumen	El volumen de un árbol en pie se calculó de la siguiente manera: $V = AB \times H \times Ff$ Donde: V = Volumen del árbol en m ³ AB = Área basal en m ² H = Altura o longitud del árbol en m F = Factor o coeficiente de forma F (A. mangium): (0.47 Carvalho, 2000) F melina (G. arbórea): (0.47 Cuadrado, 1985) F yopo (A. peregrina): (0.65 Heinsdijk et al., 1965 citado por Dauber, 1995)	

Fuente: BOLFOR 1998; Rosa 2012

Tabla 5. Variables estimadas para calidad de madera

Nombre	Descripción	Esquema
Inclinación	Es el ángulo con respecto a un eje vertical imaginario y no debe superar los 30° Recto (1). Con ángulo de inclinación igual o inferior a 30° Inclinado (2). Con ángulo de inclinación vertical superior a los 30°	
Bifurcación	En los primeros 2,5 metros de fuste. No bifurcado (1) Bifurcado (2)	
Daño mecánico	Sin daños visibles (1) Con algún daño visible (2)	
Estado fitosanitario	Sano. Sin evidencia de problemas (1) Aceptablemente sano. Con alguna evidencia de problemas fitosanitarios, siempre y cuando no se presenten en más de un 50%, que no haya provocado heridas severas o se encuentre bajo una alta probabilidad de muerte (2) Enfermo. Con características de sanidad que afectan el desarrollo normal del mismo. Por ejemplo pérdida del eje dominante; pérdida del follaje u otros daños visibles en más del 50%; caída de ramas, chancros, pudriciones en el tallo.(3)	
Mortalidad o ausencia	Presente y viva (1) Ausente o muerta en pie (2)	



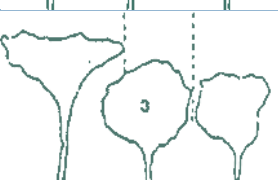

Fuente: Camacho y Murillo 1997


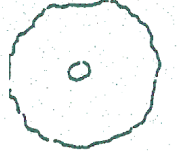
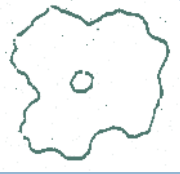


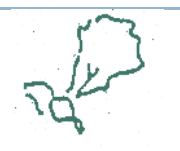
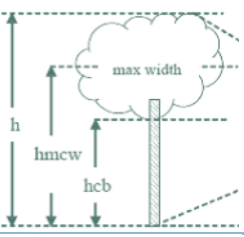

Variables de estructura de la copa.

Posición de la copa. La posición de la copa se establece con respecto a su exposición a la luz solar; su clasificación fue dada por Dawkins, (1963).

Forma de la copa. Para la evaluación de la forma de la copa, dentro de la población de cualquier especie, el aspecto o calidad de la copa en relación con el tamaño y estado de desarrollo del árbol está correlacionado con el incremento y el incremento potencial. Las definiciones de forma de copa que se dan a continuación, de acuerdo a Synnott (1990), utiliza las definiciones de Dawkins, (1963), para calificar la forma de copa, basados en cinco puntos deben interpretarse y aplicarse de acuerdo con las características de cada especie y del estado de desarrollo de cada árbol.

Tabla 6. Variables estimadas para estructura de la copa

Variable	Descripción	Esquema
Posición de la Copa	Emergente (5): La parte superior de la copa totalmente expuesta a la luz vertical y libre de competencia lateral, al menos en un cono invertido de 90° con el vértice en el punto de la base de la copa	
	Plena iluminación superior (4): La parte superior de la copa está plenamente expuesta a la luz vertical, pero está adyacente a otras copas de igual o mayor tamaño dentro del cono de 90°.	
	Alguna iluminación superior (3): La parte superior de la copa está expuesta a la luz vertical, o parcialmente sombreada por otras copas	
	Alguna luz lateral (2): La parte superior de la copa enteramente sombreada de luz vertical, pero expuesta a alguna luz directa lateral debido a un claro o borde del dosel superior.	

	Ausencia de luz directa (1). - La parte superior de la copa enteramente sombreada tanto de luz vertical como lateral.	
Forma de copa	Perfecta (5). - Corresponde a las copas que presentan el mejor tamaño y forma que se observa generalmente, amplia, plana, circular y simétrica.	
	Buena (4). - Copas que se acercan mucho al ideal, silviculturalmente satisfactorias, pero con algún defecto leve de simetría o algún extremo de rama muerta.	
	Tolerable (3). - Apenas satisfactorias silviculturalmente, evidentemente asimétricas o ralas, pero aparentemente capaces de mejorar si se les da espacio.	
	Pobre (2). - Evidentemente insatisfactorias, presentan muerte regresiva en forma extensa fuertemente asimétricas y pocas ramas, pero probablemente capaces de sobrevivir.	
	Muy pobre (1). - Definitivamente degradadas o suprimidas, o muy dañadas y posiblemente sin capacidad de incrementar su tasa de crecimiento o de responder a la liberación.	
Altura de la base de la copa (hcb).	Corresponde a la altura desde el suelo hasta la altura donde inicia la copa	
Altura al diámetro máximo de la copa (hmcw).	Corresponde a la altura desde el suelo hasta donde se da la máxima amplitud de la copa	
Diámetros de copa	Diámetro de la copa se mide en dos direcciones perpendiculares, la primera corresponde al diámetro mayor y la segunda perpendicular a esta primera dirección.	

Fuente: Dawkins 1963, citado por BOLFOR 1998

11.2.1.5 Potencial de los productos forestales

Se determinó el potencial de los productos forestales tanto en plantación como en sistema silvopastoril, conforme a los resultados de la etapa de evaluación productiva del componente forestal. Para esto se empleó el programa *CubiFor*®, este programa fue desarrollado por el departamento de I+D+i del Centro de Servicios y Promoción Forestal y de su Industria de Castilla y León, España CESEFOR.

Los cálculos realizados por esta aplicación consideran el perfil de un árbol y los posibles productos de acuerdo a los datos de diámetro normal ($DAP_{1.30}$), altura total y número de árboles. La figura 5, muestra los distintos productos de madera de un árbol, los cuales se encuentran clasificados de la siguiente manera:

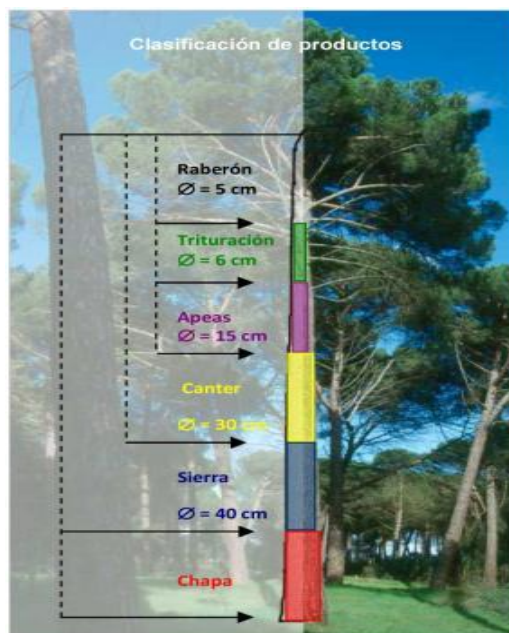


Figura 5. Clasificación de productos Ceseфор

Trituración: de 5 a 15 cm de diámetro en punta delgada. Requiere madera sana, que se pueda descortezar y no sea aprovechada como otro producto de mayor valor.

Postes: de entre 10 y 14 cm de diámetro en punta delgada dependiendo de la longitud del poste, el cual oscila entre 6,25 y 14 m de longitud. Es esencial la calidad, con escasa conicidad (entre 1 y 1,5 cm/m en diámetro), muy recto, muy baja curvatura, baja elipticidad, y preferiblemente con poca nudosidad y fibra recta.

Canter: de 15 cm hasta 25 cm de diámetro en punta delgada y 28 - 30 en punta gruesa. Longitud mínima 2 m, se acepta algo de curvatura. Preferiblemente nudos de tamaño pequeño vivos o muertos.

Sierra: trozas con diámetro en punta delgada superior a 15 cm, pero lo habitual son diámetros en punta de 25 cm hasta diámetros en punta gruesa de 40 cm. Longitud de al menos 2 m, se acepta algo de curvatura. Es preferible que haya pocos nudos y que sean vivos, aunque se aceptan nudos muertos.

Sierra gruesa: mínimo de 40 cm diámetro de en punta delgada. Trozas rectas de 2 m o más. Baja curvatura, elipticidad y conicidad. Poca nudosidad y preferiblemente de nudos vivos.

Chapa: mínimo de 40 cm de diámetro en punta delgada, trozas de 3 metros muy rectas. No debe tener indicios de nudos. Muy baja curvatura, elipticidad y conicidad.

11.2.1.6 Procesamiento de datos

Los datos se registraron en hojas de cálculos de EXCEL, el procesamiento y análisis estadístico se realizó con el programa SPSS®.

11.2.2 Evaluación del efecto ecológico de la incorporación del componente acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) y en la relación árbol-pastura y árbol-suelo en sistemas silvopastoriles

11.2.2.1 Relación árbol-pastura.

Se realizó la evaluación de la cantidad y calidad de pastura (*B. decumbens*), en el Lote la pista, conformado por los siguientes arreglos:

Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*)

Arreglo silvopastoril melina (*G. arborea*) // (*B. decumbens*)

Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*)

Pastura tradicional (*B. decumbens*)

a. Determinación de árboles representativos del sistema silvopastoril.

Conforme a la metodología de evaluación de rodales (Corvalan y Hernández 2006), la selección de árboles representativos, considera que los árboles debe representar muy directamente el nivel de

ocupación de espacio, es decir el área basal. Los árboles representativos son aquellos cuyo **diámetro medio cuadrático (dq)**, es diámetro equivalente área basal media.

De esta manera fueron seleccionados cinco árboles representativos de las características del conjunto de árboles del sistema silvopastoril. Teniendo en cuenta lo siguiente:

- Diámetro cuadrático (dq), equivalente al área basal media: Se midió el diámetro normal (DAP_{1.3}) a todos los árboles y con esta información, se calculó el área basal (G) por hectárea, a partir de la cual se obtuvo el diámetro del árbol de área basal promedio (dq).
- Características morfológicas representativas de la especie.

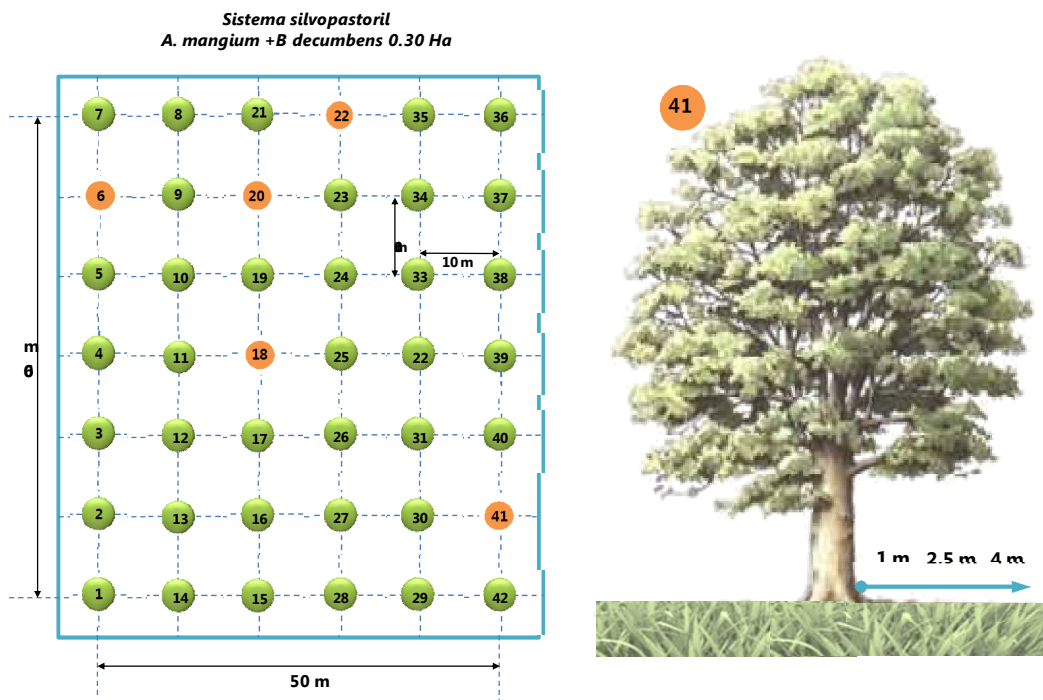
Los árboles representativos seleccionados:

Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*) Árboles 6, 18, 20, 22 y 41

Arreglo silvopastoril melina (*G. arborea*) // (*B. decumbens*) Árboles 11, 17, 19, 36 y 38

Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) Árboles 1, 9, 18, 24 y 26

Figura 6. Distribución árboles representativos para muestreo



Para cada uno de los árboles representativos de los arreglos silvopastoriles, fueron establecidas tres distancias de muestreo desde el eje del árbol 1, 2.5 y 4 m (Figura 6), en el sistema de pastura tradicional se establecieron puntos al azar conforme a la metodología definida por Estrada (2002). Los datos de forraje se tomaron cada 14 días. Las pasturas tenían un periodo de recuperación de 28 días con 14 días de ocupación y una rotación cada 42 días, los aforos se realizaron durante un año para las épocas seca y lluviosa (mayo de 2011 a mayo de 2012).

VARIABLES MEDIDAS

Radiación fotosintéticamente activa- RAFA. Para la determinación de la radiación fueron tomadas fotografías hemisféricas a las copas de cada uno de los árboles representativos en las distancias de muestreo 1, 2,5 y 4,0 m. Las fotografías fueron procesadas mediante el programa *Gap Light Analyzer (GLA)*®, desarrollado por el Instituto de Estudios de Ecosistemas (IES), N.Y. (Canham, 1995).



Fotografía 5. Fotografía hemisférica de la copa de acacia (A. mangium)

Mediante este programa se realizaron estimaciones de la sombra, el índice de área foliar IAF, y la radiación total. Datos se relacionan con la producción de forraje.

Producción forraje. Cada quince días, se realizaron aforos de la pastura (*B. decumbens*) con un marco metálico de 0.50 cm de lado, en los puntos de muestreo bajo la copa (1, 2.5 y 4 m) de árboles en el sistema silvopastoril y al azar en el sistema tradicional.



Fotografía 6. Muestra de forraje verde. Arreglos silvopastoriles (izquierda)

Fotografía 7. Determinación de peso del forraje verde. Laboratorio de nutrición C.I La Libertad (derecha)

Para cada uno de los cortes se peso la biomasa verde total, de la cual se obtuvo una submuestra y se llevó a un horno a 65°C durante 48 horas, al cabo de este tiempo se pesaron nuevamente para estimar la producción de materia seca en cada corte. Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro experimental La Libertad Corpoica.

Calidad de forraje. Se realizó el procesamiento laboratorio para cada una de las muestras obtenidas de acuerdo al protocolo definido por Van Soest (1982). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal del Centro experimental La Libertad Corpoica.

11.2.2.2 Procesamiento de datos

Los datos se registraron en hojas de cálculos de EXCEL, El procesamiento y análisis estadístico se realizó con el programa SPSS®.

11.2.2.3 Relación árbol-suelo

Para la estimación del efecto de los árboles las características químicas y biológicas del suelo se realizó un análisis contrastante entre los arreglos silvopastoriles y pastura tradicional.

VARIABLES A MEDIR.

Características químicas de los suelos.

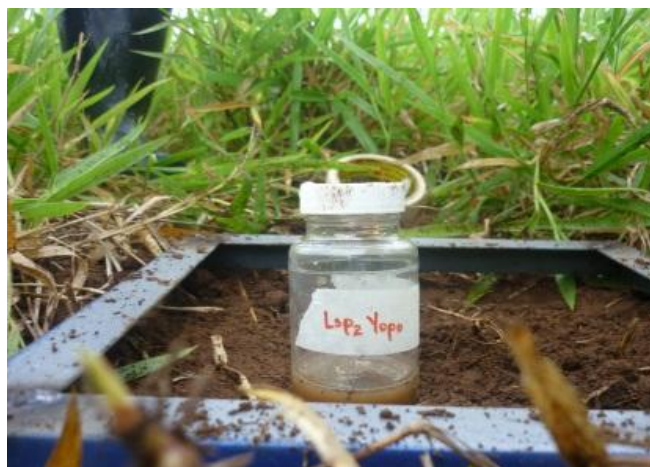
Se realizó un muestreo de suelos para cada uno de los arreglos silvopastoriles y la pastura tradicional, de acuerdo con la metodología propuesta por Corpoica en el Manual Técnico Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y valles interandinos. Las muestras fueron recolectadas con barreno a una profundidad de 20 cm y analizadas en el Laboratorio de suelos del Centro experimental Tibaitatá de Corpoica.



Fotografía 8. Muestra de suelo. Pastura (*B. decumbens*)

Características biológicas de los suelos.

Para esto se empleó la metodología de Anderson e Ingram, (1993), utilizada por Tropical Soil Biology and Fertility Programme (TSBF). En cada uno de los arreglos del sistema silvopastoril y la pastura tradicional, se realizaron monolitos de 25cmx25cmx30cm, para dos épocas lluviosa y seca.



Fotografía 9. Muestreo de macrofauna Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*)

Para cada punto se retiró la porción vegetal (hojarasca, hierba), la cual se introdujo en una bolsa plástica que será revisada para sacar los macro invertebrados que en ella se encuentren; estos se depositaron en frascos de muestras clínicas con alcohol al 70%.

Para la macrofauna, excavó a (30 cm de profundidad), con una pala de jardinería se retiraron las porciones del horizonte A y se colocaron en una bandeja; se colectó a mano la macro fauna y se depositó en alcohol al 70%. Se hace lo mismo con el horizonte B.

Se comparó la abundancia, dominancia, abundancia relativa, riqueza y diversidad mediante el índice de Simpson (D) según lo descrito por (Ñique, 2010); para cada uno de los arreglos silvopastoriles y la pastura tradicional.

11.2.2.4 Procesamiento de datos

Los datos se registraron en hojas de cálculos de EXCEL, El procesamiento y análisis estadístico se realizó con el programa SPSS®.

11.2.3 Percepción sobre la incorporación del componente forestal en sistemas ganaderos

Con el propósito de conocer la percepción de los productores ganaderos de los municipios de Villavicencio, Acacias y Castilla La Nueva, del departamento del Meta, vinculados al proyecto “*Alternativas de reforestación y recuperación de áreas degradadas mediante sistemas silvopastoriles con el uso de tecnologías integrales que contribuyan al mejoramiento de las condiciones de vida de los productores en el área de influencia de Ecopetrol*”(Corpoica, 2010), sobre la incorporación de árboles en los sistemas tradicionales de ganadería, se desarrolló una base de conocimiento conforme a la metodología The Agroecological Knowledge Toolkit. AKT5®

El programa AKT5® (*Agroforestry Knowledge Tool*), es un (sistema experto) desarrollado por la Universidad de Wales en el Reino Unido y forma parte del Knowledge Base System (KBS, por sus siglas en inglés) utilizado para estudios de conocimiento local, con el cual se almacenó, procesó e interpretó el conocimiento recopilado por medio de entrevistas a los productores del proyecto.

De acuerdo con lo descrito con (Walker *et al.*, 1995), la conformación de la base de conocimiento desarrolló conforme al siguiente procedimiento:

a. Selección y entrevista a informantes claves. Para la selección de los productores como informantes claves, se consideraron los siguientes atributos:

Geográficos, biofísicos y de aptitud del suelo

- Fincas localizadas en áreas de aptitud agroforestal y/o ganadería
- Uso actual del predio ganadería
- En predios según su tamaño en grande, mediano y pequeño

Del productor

- Se encuentre preferiblemente vinculado al proyecto Corpoica-Ecopetrol
- Actitud favorable a participar en la entrega de información
- Responsabilidad, reconocimiento y relación con proyectos sobre esta temática
- Conocimiento del tema
- Distancia entre productores

De acuerdo a los criterios de selección de informantes claves, fueron elegidas las siguientes fincas objeto de entrevista:

Tabla 7. Fincas seleccionadas para entrevista

Municipio	Nombre de la Finca
Villavicencio	1. Acapulco, 2. Las Mercedes, 3. El Paraíso, 4. Buenavista, 5. La Maravilla, 6. Canaima I, 7. El Rubí, 8. Gran Valle, 9. San Miguel, 10. Tanané
Acacias	1. La Bramadora, 2. Bonanza, 3. Santa Ana, 4. El Topacio, 5. Villa Raquel, 6. Buenavista, 7. El Rubí, 8. Santa Lucía de Linderos, 9. La Esperanza, 10. Villa Sol
Castilla La Nueva	1. El Recreo, 2. Cuatro esquinas, 3. Saman de la Ribera, 4. El Recuerdo, 5. El Edén, 6. Banderas, 7. San Francisco, 8. Arrayán, 9. La Palestina, 10. Guajira

Se realizaron las entrevistas semiestructuradas a los productores, en cada una se informaba sobre la intención, el tema a tratar y la grabación que se iba a realizar de la misma. Las preguntas se refirieron a los siguientes tópicos:

- ¿Qué lo motivó a incorporar árboles en su finca?
- ¿Qué beneficios o perjuicios observa de la incorporación de los árboles en su finca?
- ¿Qué productos espera obtener de esos árboles?

Además de la guía de preguntas, se indagó por aspectos relacionados por las especies forestales en la finca, la adaptación de las mismas y otros temas que surgen de manera espontánea durante la charla. De cada una de las entrevistas se cuenta con archivo de audio.

b. Identificación de frases unitarias. Las entrevistas fueron transcritas y de cada uno de los textos, se identificaron frases unitarias.

c. Registrar de las frases unitarias en el lenguaje de programación AKT5. Fue creada la base *forestal.kb*; se registraron las frases unitarias en las categorías de atributo valor, acción, causa efecto y links en el lenguaje de programación AKT5.

d. Generalización del conocimiento. Una vez incluidas las frases unitarias en la base AKT5, se realizaron los análisis que permitieron identificar las categorías de conocimiento y la percepción de los productores.

d. Identificación de grupos de similitud. Con el uso del programa SPSS, se realizó un análisis estadístico para la conformación de grupos de similitud para las categorías de conocimiento para las variables motivación, beneficios y productos de los árboles.

Estos grupos permiten señalar algunas estrategias y temas para los programas de incorporación de árboles en sistemas de ganadería.

11.2.4 Estrategias y opciones de manejo silvicultural para optimizar la producción del componente forestal y pecuario en sistemas silvopastoriles.

Mediante el simulador forestal (*SExI-FS*)®, desarrollado en el marco de diversos proyectos en colaboración entre el Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF) y el Institut de Recherche pour le Développement (IRD).

11.2.4.1 Modelo de simulación SExI-FS 2.1.0

El simulador forestal *SExI-FS 2.1.0* utiliza un enfoque orientado a objetos, donde se representa cada árbol por una instancia de una clase genérica de árbol. Los árboles de objetos simulados, imitando árboles reales, que interactúan modificando el medio ambiente de sus vecinos. Estas modificaciones son mediadas a través de dos recursos principales: espacio y luz. (Harja y Vincént, 2008).

Los datos trabajados en el simulador forestal *SEXI-FS 2.1.0*®, corresponden a los obtenidos en el inventario forestal realizado en los arreglos silvopastoriles acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) en asocio con la pastura (*B. decumbens*).

11.2.4.2 Modelo de crecimiento y proyección de sombra del componente forestal en los arreglos silvopastoriles

El modelo de crecimiento y sombra corresponde a las proyecciones de volumen total en pie (m^3ha^{-1}), incremento medio anual IMA ($\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) y porcentaje de sombra para las edades de 6, 15, 25 y 30 de cada uno de los arreglos silvopastoriles. Para cada una de proyecciones de crecimiento y sombra se realizó un análisis de regresión y se determinó el valor (r^2) de la línea de tendencia.

11.2.4.3 Opciones y estrategias de manejo silvicultural

Para cada uno de los arreglos silvopastoriles se propone una estrategia de manejo silvicultural que contempla la productividad forestal en volumen (m^3ha^{-1}) y el umbral máximo de sombra (porcentaje de sombra) que garantiza la producción de pastura (*B. decumbens*).

12 RESULTADOS

12.1 OBJETIVO 1. DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD EL COMPONENTE FORESTAL acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) BAJO PLANTACIÓN FORESTAL Y SISTEMA SILVOPASTORIL DE ÁRBOLES DISPERSOS.

Los resultados de la determinación de la productividad del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) corresponden al inventario realizado en un sistema de plantación con densidad de 833 árb ha⁻¹ y 1667 árb ha⁻¹ y un sistema silvopastoril de árboles dispersos en asocio con (*B. decumbens*) a una densidad de 100 árb ha⁻¹, considerando las características dasométricas, la productividad, calidad forestal y el potencial de productos.

12.1.1 Caracterización dasométrica del componente forestal

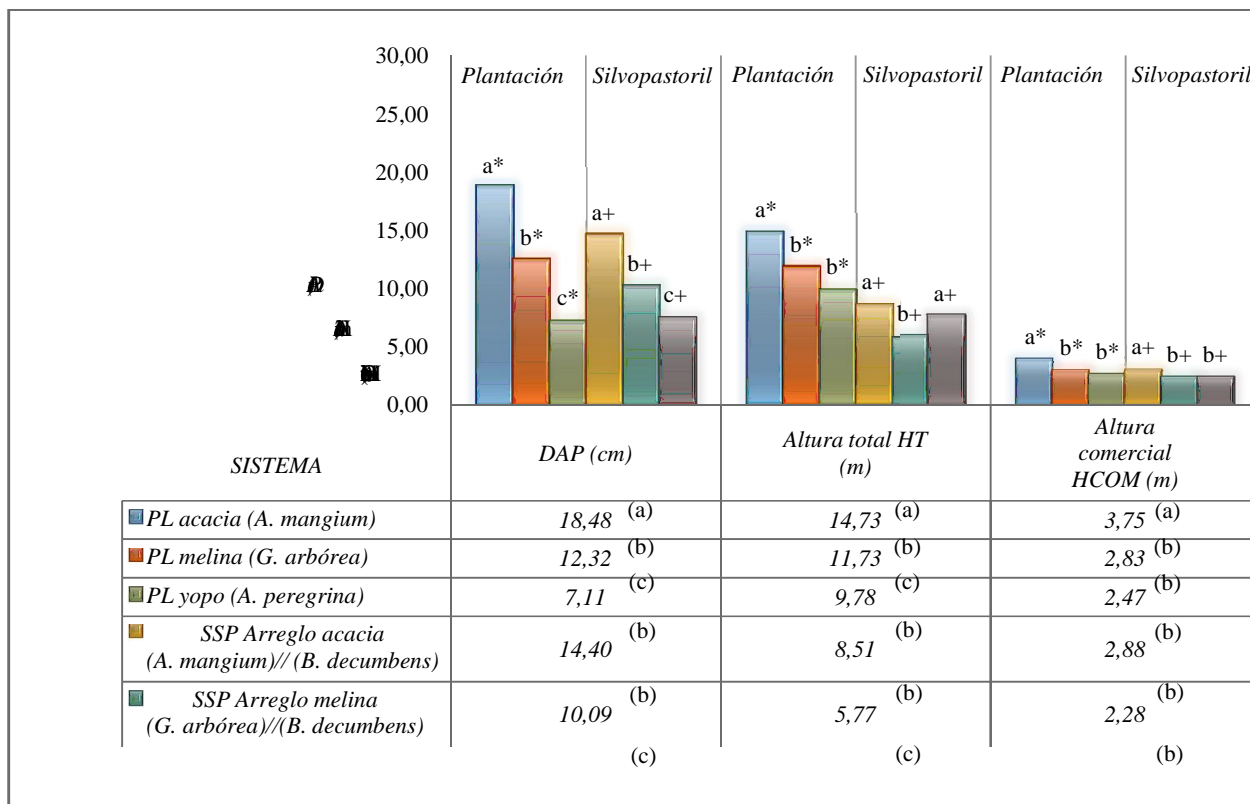
En la tabla 8 y figura 7, se reportan los promedios de las variables dasométricas diámetro a la altura del pecho (DAP_{1.30} cm), Altura total (HT m), Altura comercial (HCOM m), Altura a la base de la copa (HBC m), Altura al diámetro máximo de la copa (HDC m) Diámetro promedio de copa (DPC m). Igualmente se presenta el porcentaje de mortalidad (M%), la densidad expresada en el número de árboles por hectárea (N. árb ha⁻¹) y el porcentaje de sombra (Sombra %).

Tabla 8. Caracterización dasométrica de los diferentes sistemas evaluados

SISTEMA		VARIABLES DASOMETRICAS (Promedio)								
		DAP (cm)	HT (m)	HCOM (m)	HBC (m)	HDC (m)	DPC (m)	M (%)	Densidad (N. árb ha ⁻¹)	Sombra (%)
Plantación forestal	acacia (<i>A. mangium</i>)	18,48 a	14,73a	3,75a	5,46b	10,54a	5,81b	67	550	79,08 a
	melina (<i>G. arborea</i>)	12,32b	11,73b	2,83b	6,26ab	8,92b	4,85c	68	1070	75,93 ab
	yopo (<i>A. peregrina</i>)	7,11c	9,78c	2,47b	6,53a	8,37b	4,49bc	15	1420	44,93 c
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	14,40b	8,51b	2,88b	3,52c	4,95c	6,83b	57	43	66,11 b
	Arreglo melina (<i>G. arborea</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	10,09b	5,77b	2,28b	2,63c	3,79c	5,59b	42	43	37,22 c
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	7,35c	7,47c	2,27b	3,56c	5,35c	8,07a	21	52	51,36 c

(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Figura 7. DAP_{1.30}, Altura total y comercial en los sistemas plantación y silvopastoril



(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a*) Diferencias significativas para plantación ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a+) Diferencias significativas para sistema silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

El análisis estadístico, muestra diferencias significativas entre los sistemas plantación y silvopastoril. La plantación forestal de acacia (*A. mangium*), tiene los mejores resultados de DAP 18.48 cm. Altura total (HT) 14.73 m y comercial (HCOM) 3.75 m y es estadísticamente superior a los demás sistemas evaluados.

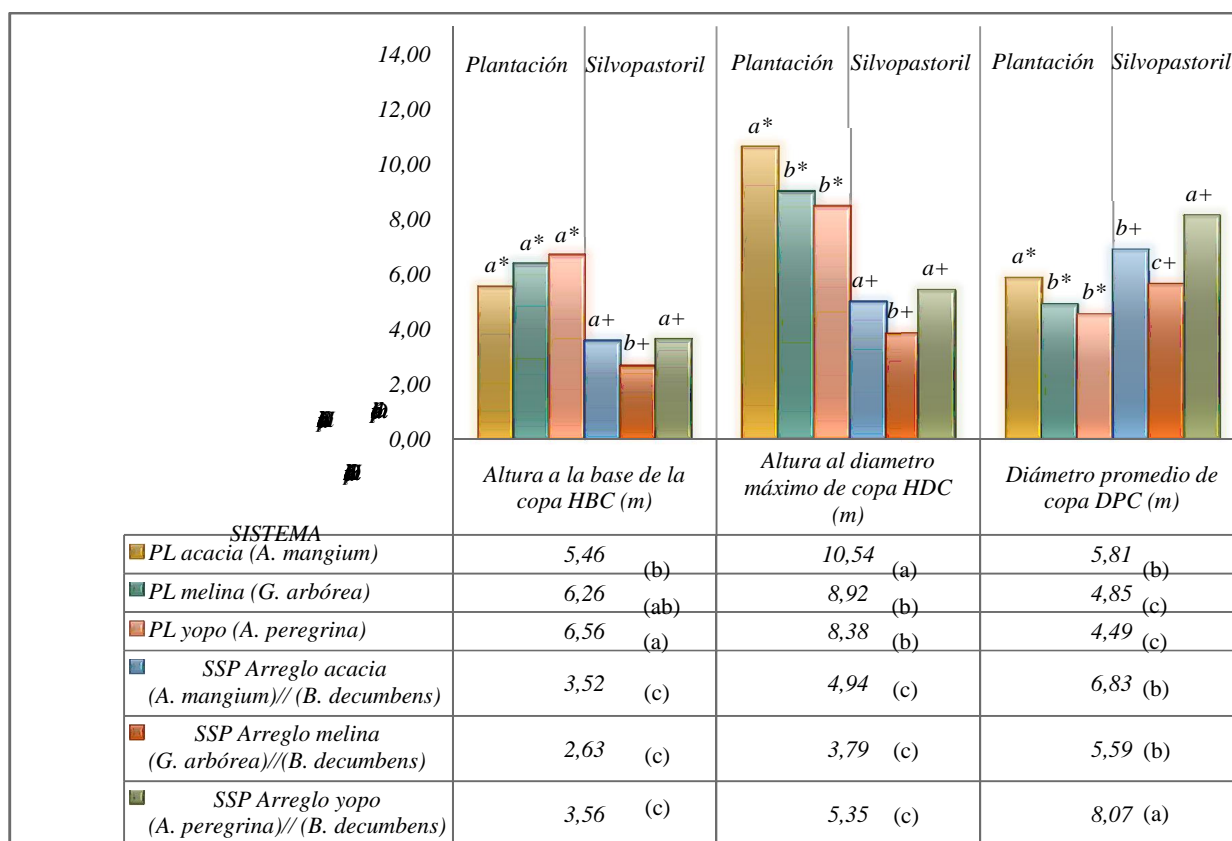
No existen diferencias significativas entre la plantación forestal de melina (*G. arborea*) y los arreglos silvopastoriles acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*) y melina (*G. arborea*) // (*B. decumbens*), respecto al DAP, la altura total (HT) y comercial (HCOM). Pero es importante resaltar que el arreglo silvopastoril de acacia (*A. mangium*) obtiene los mejores resultados 14.4 cm de DAP y 2.88 m de altura comercial (HCOM).

Para la especie yopo (*A. peregrina*) bajo plantación forestal y arreglo silvopastoril, no existen diferencias significativas respecto al DAP, a la Altura total (HT) y comercial (HCOM). Sin embargo es

importante tener en cuenta el resultado de DAP bajo arreglo silvopastoril 7.35 cm, el cual es mayor que en plantación forestal con 7.11 cm.

Otras características evaluadas y que corresponden a la estructura de la copa, como son la altura a la base de la copa (HBC m), la altura al diámetro máximo de la copa (HDC m) y el diámetro promedio de copa (DPC m) muestran diferencias significativas entre los sistemas plantación forestal y silvopastoril.

Figura 8. Altura a la base, al diámetro máximo de copa y diámetro promedio de copa



(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a*) Diferencias significativas para plantación ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a+) Diferencias significativas para sistema silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

En los sistemas de plantación forestal se obtienen los mayores resultados para la altura a la base de la copa (HBC) y se destaca la plantación forestal de yopo (*A. peregrina*) con 6.53 m de altura a la base de la copa (HBC), le sigue 5.46 m para la plantación de acacia (*A. mangium*) y finalmente 6.26 m para melina (*G. arbórea*).

Igualmente, la altura al diámetro máximo de la copa (HDC) es mayor para los sistemas de plantación forestal comparada con los silvopastoriles. La plantación forestal de acacia (*A. mangium*) tiene una mayor altura al diámetro máximo de copa 10.54 m con diferencias significativas con cinco sistemas restantes.

La menor altura al diámetro máximo de la copa (HDC), es para el sistema silvopastoril de melina (*G. arbórea*) y (*B. decumbens*) con 3.79 m, y no existen diferencias significativas entre los tres sistemas silvopastoriles.

En lo referente a la característica diámetro promedio de copa (DPC), este es mayor en sistema silvopastoril, donde se destaca el arreglo yopo (*A. peregrina*), con 8.07 m de diámetro promedio copa.

Las especies acacia (*A. mangium*) y melina (*G. arbórea*) en arreglos silvopastoriles tienen 6.83 m y 5.59 m de diámetro de copa (DPC) respectivamente, estos resultados no presentan diferencias significativas con lo encontrado para sistema de plantación acacia (*A. mangium*) con 5.81 m y yopo (*A. peregrina*) con 4.49 m de DPC.

En relación al porcentaje de mortalidad, las más altas mortalidades fueron para el sistema de plantación forestal, existió un 68% de mortalidad en la plantación de melina (*G. arbórea*).

En el sistema silvopastoril acacia (*A. mangium*) tiene la más alta mortalidad (57%). Es importante mencionar que los menores porcentajes de mortalidad fueron para yopo (*A. peregrina*) bajo los dos sistemas plantación (15%) y silvopastoril (21%).

En plantación forestal, el porcentaje de sombra de acacia (*A. mangium*) y melina (*G. arbórea*) es estadísticamente similar 79.08% y 75.93% respectivamente. Pero son significativamente mayores que el porcentaje de sombra generado por yopo (*A. peregrina*) 44.93%

Entre especies bajo sistema silvopastoril, acacia (*A. mangium*) tiene el mayor porcentaje 66.11 % de sombra, seguido de Yopo *A. peregrina* con 51,36 % y el menor porcentaje es para melina (*G. arbórea*) con 37.22%

12.1.2 Productividad, calidad y potencial de productos del componente forestal bajo plantación y sistema silvopastoril

12.1.2.1 Productividad del componente forestal

Los resultados de productividad del componente forestal son expresados en volumen de madera en pie (m^3ha^{-1}) y en el incremento medio anual IMA ($m^3ha^{-1}año^{-1}$), encontrándose diferencias significativas entre los sistemas plantación y silvopastoril.

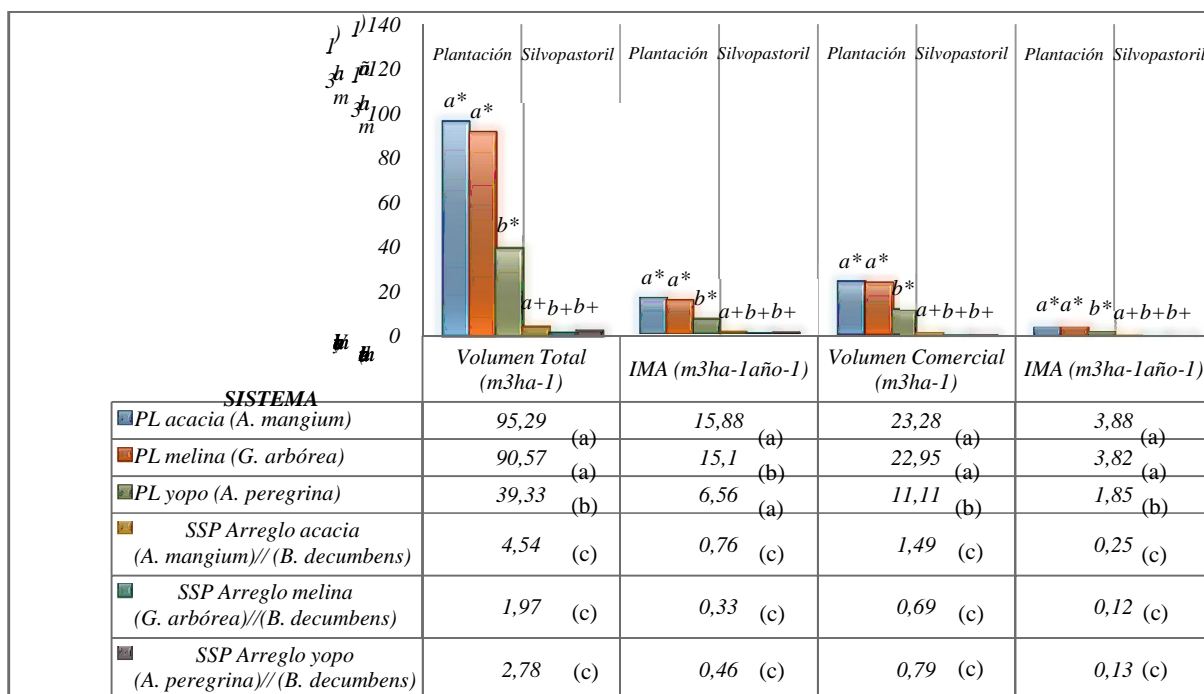
En la tabla 9 y figura 9, se muestran los resultados para los sistemas evaluados.

Tabla 9. Productividad forestal para los sistemas plantación y silvopastoril

SISTEMA		PRODUCTIVIDAD COMPONENTE FORESTAL				Relación Volumen total y Comercial
		Volumen Total (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}año^{-1}$)	Volumen Comercial (m^3ha^{-1})	IMA ($m^3ha^{-1}año^{-1}$)	
Plantación forestal	acacia (A. mangium)	95,29 a	15,88 a	23,28 a	3,88 a	24%
	melina (G. arbórea)	90,57 a	15,1 a	22,95 a	3,82 a	25%
	yopo (A. peregrina)	39,33 b	6,56 b	11,11 b	1,85 b	28%
Silvopastoril	Arreglo acacia (A. mangium) // (B. decumbens)	4,54 c	0,76 c	1,49 c	0,25 c	33%
	Arreglo melina (G. arbórea) // (B. decumbens)	1,97 c	0,33 c	0,69 c	0,12 c	35%
	Arreglo yopo (A. peregrina) // (B. decumbens)	2,78 c	0,46 c	0,79 c	0,13 c	28%

(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Figura 9. Productividad forestal para los sistemas plantación y silvopastoril



(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a*) Diferencias significativas para plantación ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a+) Diferencias significativas para sistema silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

En plantación forestal se obtienen los mayores resultados de volumen en pie total y comercial (m^3ha^{-1}) y de incremento medio anual ($m^3ha^{-1}año^{-1}$). Se destacan acacia (*A. mangium*) y melina (*G. arbórea*) con una productividad de $95.29 m^3ha^{-1}$ y $90.57 m^3ha^{-1}$, respectivamente.

En tanto que la plantación de yopo (*A. peregrina*) presenta la segunda mejor productividad $39.33 m^3ha^{-1}$ y es superior a los demás arreglos silvopastoriles.

En los tres arreglos silvopastoriles, no hay diferencias significativas entre ellos, pero se destaca el arreglo de acacia (*A. mangium*) con $4.54 m^3ha^{-1}$ y un IMA de $0.76 m^3ha^{-1}año^{-1}$.

En la tabla 9, se consigna el porcentaje volumen comercial respecto al volumen total, esto como un indicador del porcentaje de aprovechamiento para cada sistema. En plantación forestal el porcentaje de volumen comercial es menor que para el sistema silvopastoril.

El componente forestal melina (*G. arbórea*) en plantación tiene un 35% de volumen comercial. Un menor porcentaje corresponde a acacia (*A. mangium*) con un 24%.

En arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) tiene el mayor porcentaje de volumen comercial 25% y el menor porcentaje es para yopo (*A. peregrina*) 12%.

12.1.2.2 Calidad forestal

La calidad del componente forestal considerada como Inclinación (IN), Bifurcación (BI), Daños (DA) y Estado fitosanitario (EF), se muestran en la tabla 10 y en la figura 10.

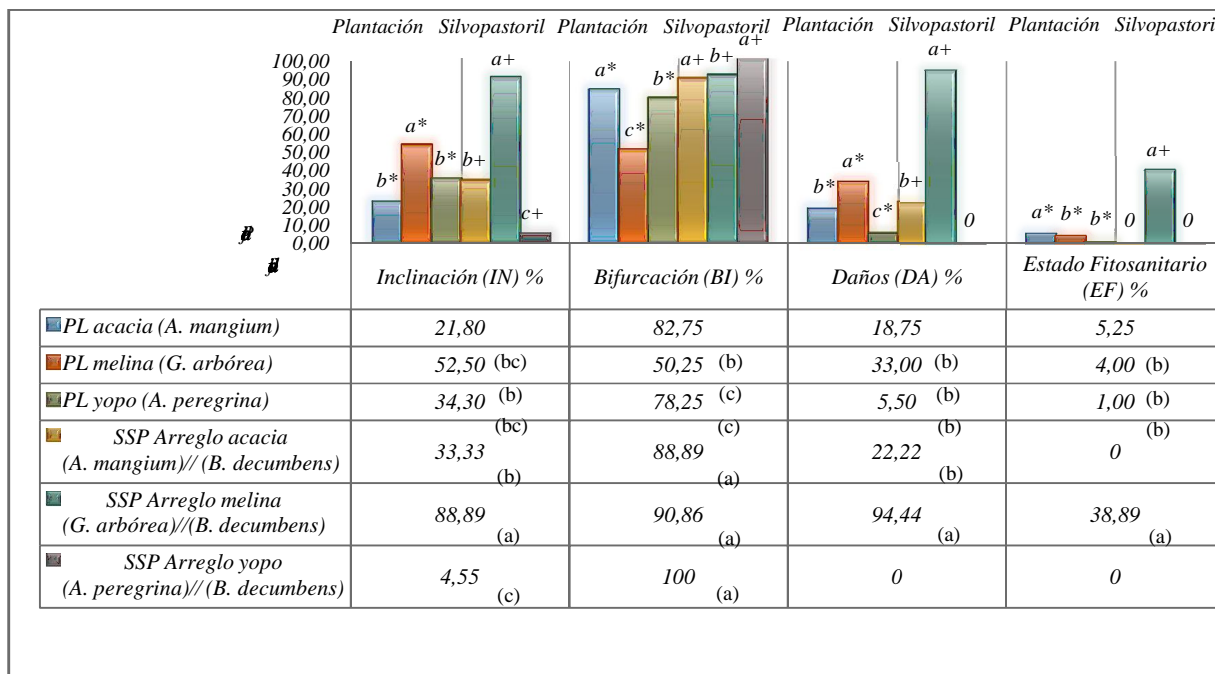
Tabla 10. Calidad forestal: Inclinación, bifurcación, daños y estado fitosanitario

SISTEMA		Inclinación (IN) %	Bifurcación (BI) %	Daños (DA) %	Estado Fitosanitario (EF) %
Plantación forestal	acacia (<i>A. mangium</i>)	11,82 bc	71,82 b	10,00 b	1,82 b
	melina (<i>G. arbórea</i>)	35,51 b	33,64 c	14,95 b	0,93 b
	yopo (<i>A. peregrina</i>)	21,13 bc	36,27 c	1,41 b	1,76 b
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	33,33 b	88,89 a	22,22 b	0,00
	Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	88,89 a	90,86 a	94,44 a	38,89 a
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	4,55 c	100,00 a	0,00	0,00

(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

En términos generales los sistemas plantación y silvopastoril presentan problemas de calidad forestal. Es de resaltar que melina (*G. arbórea*) en arreglo silvopastoril tiene menor calidad forestal, en tanto que yopo (*A. peregrina*) en sistema plantación y silvopastoril tiene la mayor calidad con excepción de su condición de bifurcación.

Figura 10. Calidad del componente forestal bajo plantación y sistema silvopastoril



(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a*) Diferencias significativas para plantación ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

(a+) Diferencias significativas para sistema silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Para la inclinación del fuste, el 88.89 % de los árboles del arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*), presenta una inclinación superior al 30° del eje principal; la menor afectación por inclinación es para el sistema silvopastoril de yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) con 4.55% de árboles afectados.

Igualmente, se encontraron diferencias significativas para bifurcación entre los sistemas plantación y silvopastoril, siendo mayor esta afectación para los sistemas silvopastoriles y en especial para el arreglo yopo (*A. peregrina* // (*B. decumbens*) donde la totalidad de los árboles presentan bifurcación en los primeros 2.5 m de altura, sin embargo es importante aclarar que esta es una condición fenotípica de la especie.

Respecto a los daños, los menores porcentajes de afectación, son para el sistema de plantación forestal en comparación con el sistema silvopastoril; melina (*G. arbórea*) bajo arreglo silvopastoril, tiene el mayor porcentaje (94.44%) de daños en los árboles, los cuales han sido realizados por los animales, causando pérdida o afectación en más de un 50% del eje dominante del fuste, daños mecánicos en la corteza.

De la misma manera el arreglo silvopastoril de melina (*G. arborea*) // (*B. decumbens*) presenta el mayor porcentaje de afectación fitosanitaria, un 38.39% de los árboles presenta síntomas de defoliación y pudrición de la corteza. Este porcentaje significativamente mayor respecto a los demás sistemas de plantación y silvopastoril.

Esta situación es completamente diferente para el caso de yopo (*A. peregrina*) bajo arreglo silvopastoril, pues no presenta daños y problemas fitosanitarios.

12.1.3 Potencial de productos maderables del componente forestal bajo plantación y sistema silvopastoril

Con el uso del programa *CubiFor*®, se proyectó el potencial de los productos de madera para los sistemas plantación y sistema silvopastoril. Los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 11. Potencial de productos maderables en plantación y sistema silvopastoril

SISTEMA		POTENCIAL DE PRODUCTOS MADERABLES							
		Trituración (5 -15 cm DAP)		Postes (10-14 cm DAP 6.25 a 14 m de longitud).		Canter (15-25 cm DAP Longitud mínima de 2 m).		Volumen total productos	Total trozas
		Volumen (m ³ /ha-1)	Total trozas	Volumen (m ³ /ha-1)	Total trozas	Volumen (m ³ /ha-1)	Total trozas		
Plantación	acacia (<i>A. mangium</i>)			57,33	1650	38,05	550	95.39	2220
	melina (<i>G. arborea</i>)	10,80	1070	53,33	2140			64.14	3210
	yopo (<i>A. peregrina</i>)	15.36	1420					15.36	1420
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)// (<i>B. decumbens</i>)			2.53	86			2.53	86
	Arreglo melina (<i>G. arborea</i>)// (<i>B. decumbens</i>)			0.88	43			0.88	43
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	0,60	52					0.60	52

acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) en plantación tienen un mayor potencial de productos maderables que los sistemas silvopastoriles. Tanto para el sistema plantación forestal como para el arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) tiene las mayores posibilidades de obtención de productos. El arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) apenas logra un potencial para productos de madera para trituración.

12.2 OBJETIVO 2. EVALUAR EL EFECTO ECOLÓGICO DE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) EN LA RELACION ÁRBOL-PASTURA Y ÁRBOL-SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.

Se presentan a continuación los resultados del análisis comparado entre los sistemas silvopastoril y la pastura tradicional de (*B. decumbens*), en relación a la cantidad y calidad de pastura y a las características químicas y biológicas de suelos.

De igual manera se reportan los resultados del procesamiento de las fotografías hemisféricas para tres distancias bajo la copa y fuera de esta, con el software *Gap Light Analyzer (GLA)*[®], en los tres arreglos del sistema silvopastoril acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) en asocio con (*B. decumbens*).

12.2.1 Cantidad de pastura de (*B. decumbens*)

12.2.1.1 Sistemas silvopastoril y tradicional

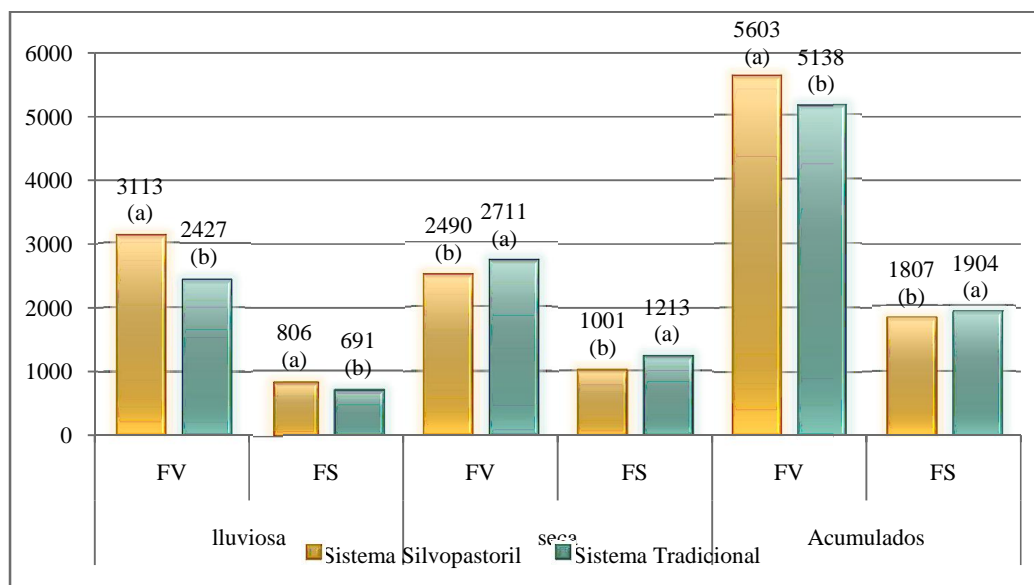
Las observaciones de cantidades de pastura disponible (kg ha^{-1}), a través de las épocas de lluviosa y seca para los sistemas: silvopastoril (conformado por tres arreglos de árboles dispersos, de acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*), yopo (*A. peregrina*) en asocio con (*B. decumbens*) y pastura tradicional de (*B. decumbens*), se resumen en la tabla 12 y figura 11.

Tabla 12. Producción de forraje de (*B. decumbens*) para el sistema y época

SISTEMA DE PRODUCCION	EPOCA				Total forraje verde	Total forraje seco	Relación Forraje verde / Forraje seco
	lluviosa		seca				
	Forraje verde	Forraje seco	Forraje verde	Forraje seco			
	Kg ha^{-1}						
<i>Sistema silvopastoril</i>	3.113 a	806 a	2490 b	1001 b	5603 a	1807 b	3,10/1
<i>Sistema tradicional</i>	2.427 b	691 b	2.711 a	1.213 a	5138 b	1904 a	2,69/1

(a) Diferencias significativas entre sistemas silvopastoril y tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Figura 11. Producción de forraje verde y seco por sistema y época



(a) Diferencias significativas entre sistemas plantación y silvopastoril ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Las producciones de forraje por sistema y época de lluvia o seca estadísticamente presentan diferencias significativas, siendo para la época lluviosa y en forraje verde mayor en el sistema silvopastoril, con una relación forraje verde/forraje seco de 3.86 a 1, mientras que dicha relación en el sistema tradicional fue de 3.5 a 1. Para la época de seca, la mayor cantidad de forraje verde, se registro en el sistema tradicional, siendo la relación de forraje verde-forraje seco de 2.23 a 1, mientras que el sistema silvopastoril la relación fue de 2.49 a 1.

Las cantidades de forraje acumulado por sistema y época de lluvias o seca se reportan a favor del sistema silvopastoril (5603 kg ha^{-1}) y una relación de forraje verde/forraje seco de 3.1 a 1, en tanto que la relación en el sistema tradicional fue de 2.6 a 1.

12.2.1.2 Arreglos silvopastoriles y pastura tradicional

En atención a los reportes bibliográficos, una menor cantidad de forraje acumulado cosechado, es lo que normalmente se espera de los sistemas silvopastoriles, y en este estudio, se obtuvo mayor cantidad en dicho sistema.

Los datos del sistema silvopastoril provienen de la media de las producciones obtenidas en cada uno de los arreglos silvopastoriles con las especies acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A.*

peregrina); y ya que es un objetivo del presente trabajo aportar mayores detalles del comportamiento de los sistemas silvopastoriles, se presentan los datos de las cantidades de forraje obtenidos en el sistema silvopastoril integrado e individualizados por especie arbórea, con el propósito de contrastar los volúmenes y posteriormente las calidades de los forrajes cosechados en cada uno de ellos.

En la tabla 13 se observa la cantidad de forraje verde y seco en cada proceso por época y sistema.

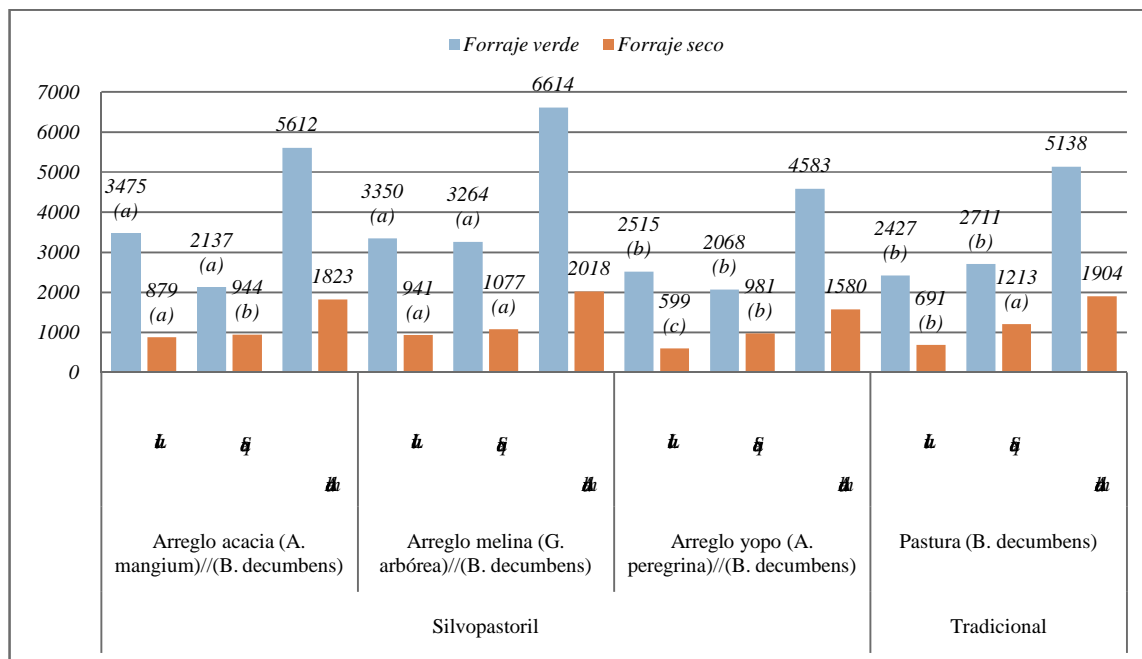
Tabla 13. Volúmenes discriminados y acumulados de forraje verde y seco por época y sistema

SISTEMA DE PRODUCCION	Arreglo	EPOCA						Total forraje verde kg ha ⁻¹	Total forraje seco kg ha ⁻¹	R FV/FS
		Lluviosa (a)			Seca (b)					
		Forraje verde kg ha ⁻¹	Forraje seco kg ha ⁻¹	R FV/FS	Forraje verde kg ha ⁻¹	Forraje seco kg ha ⁻¹	Relación FV/FS			
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	3.475 a	879 a	3.9/1	2.137 a	944 b	2.3/1	5.612	1.823	2,8/1
	Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	3.350 a	941a	3.6/1	3.264 a	1.077 a	3/1	6.614	2.018	3,2/1
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	2.515 b	599 c	4.2/1	2.068 b	981 b	2.1/1	4.583	1.580	2,9/1
Tradicional	Pastura (<i>B. decumbens</i>)	2.427 b	691 b	3.5/1	2.711b	1.213 a	2.4/1	5.138	1.904	2,7/1

(a) Diferencias significativas entre arreglos silvopastoriles y pastura tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

El tratamiento estadístico de los datos obtenidos para la producción bruta en kilogramos por hectárea de forraje en materia verde y seca, indica que existen diferencias significativas por sistema y por época de cosecha en lluviosa y seca respectivamente.

Figura 12. Producción de forraje verde y seco en arreglos silvopastoriles y pastura tradicional



(a) Diferencias significativas entre arreglos silvopastoriles y pastura tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

En la tabla 13 y en la figura 12 se observa que, para la época lluviosa la mayor cantidad de forraje verde estuvo en el arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) con una relación de forraje verde/forraje seco de 3.9 a 1, seguido del arreglo melina (*G. arbórea*) con una relación de 3.6 a 1; el arreglo yopo (*A. peregrina*) fue el tercero en producción con una relación de 4.2 a 1 y el último lugar lo ocupa la pastura tradicional con una relación de 3.5 a 1.

Para la época seca, la mayor cantidad de forraje verde se registró en el arreglo melina (*G. arbórea*), con una relación de forraje verde/forraje seco de 3 a 1, seguido de la pastura tradicional con una relación de 2.4 a 1; el siguiente registro fue para el arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) con una relación de 2.3 a 1 y el último lugar fue para el arreglo yopo (*A. peregrina*) con una relación de 2.1 a 1.

La cantidad de forraje verde acumulado durante la fase experimental, fue en primer lugar, para el arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) con una relación de forraje verde-forraje seco de 3.2 a 1, el segundo mejor registro fue para el arreglo acacia (*A. mangium*) con un relación de 2.8 a 1, tercero fue la pastura tradicional con una relación de 2.7 a 1 y en último lugar el arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) con una relación de 2.9 a 1.

La relación de forraje verde/forraje seco total, durante la fase experimental (acumulados), se registraron con índices de rendimiento más altos a favor de forraje seco en la pastura tradicional (*B. decumbens*) (relación de 2.7/1), seguido del arreglo silvopastoril de acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*)(relación 28/1), el arreglo yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumben*) (relación 2.9/1) y por último el arreglo melina (*G. arbórea*)// (*B. decumbens*)(relación 3.2/1).

12.2.2 Calidad de pastura de (*B. decumbens*)

12.2.3 Sistemas silvopastoril y tradicional

Respecto a la calidad del forraje de (*B. decumbens*) en las tablas 14 y 15, se reportan los resultados obtenidos para materia seca (MS%), proteína cruda (PC%), fibra detergente neutra (FDN%), fibra detergente acida (FDA%), Extracto Etéreo (EE%), Cenizas (CEN%) y Digestibilidad (DIG%). Estadísticamente, se encontraron diferencias significativas entre el sistema silvopastoril y tradicional, la época de lluviosa o seca y las fracciones de nutrientes.

Tabla 14. Fracciones de nutrientes del forraje de (*B. decumbens*) en los sistemas

SISTEMA DE PRODUCCION	MS%		PC%		FDN%		FDA%	
	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca
<i>Sistema Silvopastoril</i>	25,2b	43b	9.3a	7.2a	70 a	69.5a	35a	38a
<i>Sistema Tradicional</i>	29,5 a	46 a	7.4b	5.7b	71b	70a	36a	38a

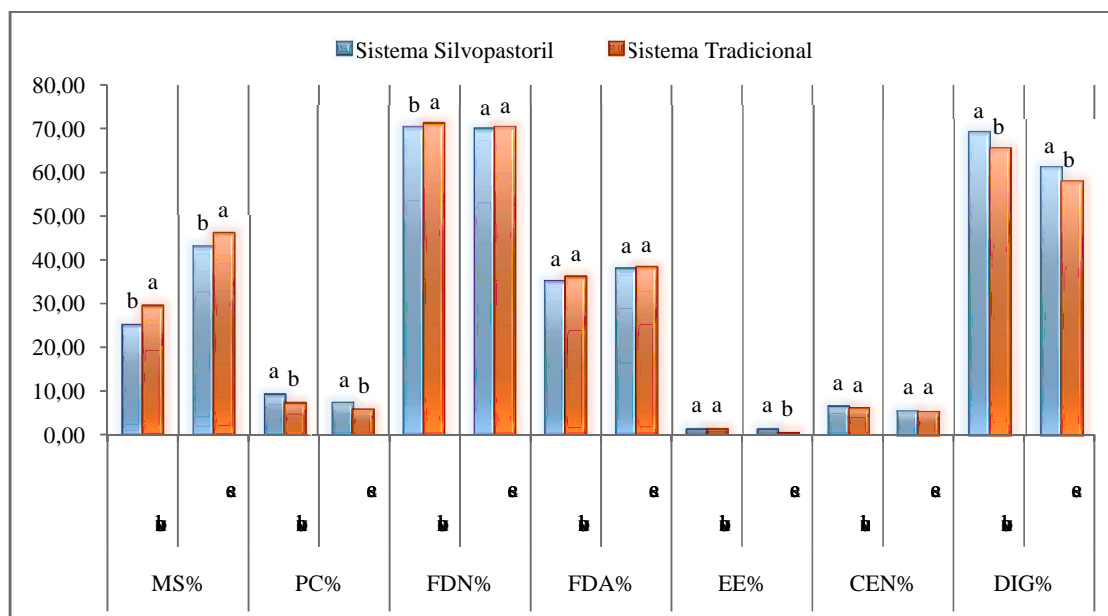
(a) Diferencias significativas entre sistema silvopastoril y tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Tabla 15. Continuación tabla 14 fracciones de nutrientes del forraje de (*B. decumbens*) en los sistemas

SISTEMA DE PRODUCCION	EE%		CEN%		DIG%	
	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca
<i>Sistema Silvopastoril</i>	1,3a	1,3a	6,4a	5,6a	69a	61a
<i>Sistema Tradicional</i>	1,3a	0,5b	6a	5.5a	65b	58b

(a) Diferencias significativas entre sistema silvopastoril y tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Figura 13. Producción de forraje verde y seco en sistema silvopastoril y pastura tradicional



(a) Diferencias significativas entre sistemas silvopastoril y tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

En las tablas 14 y 15 y en la figura 13, se observan los promedios de los índices de fracciones de nutrientes reportados por el laboratorio para las épocas lluviosa y seca en los sistemas silvopastoril y tradicional, índices en los cuales se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

Para la época lluviosa, el porcentaje de materia seca MS% con 25.9 y de FDA% con 36, son mayores en el sistema tradicional. En el sistema silvopastoril se reporta mayor PC% 9.3 y 7.2 en las dos épocas lluviosa y seca. En la época seca, el sistema de pastura tradicional registra el mayor porcentaje de materia seca MS% y se destaca el resultado del sistema silvopastoril para el EE% con 1.3.

12.2.3.1 Arreglos silvopastoriles y pastura tradicional

En las tablas 16, 17 y la figura 14, se observan los resultados de las fracciones de calidad de forraje, para cada arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) y la pastura tradicional.

Tabla 16. Fracciones de nutrientes del forraje de (*B. decumbens*) en los sistemas silvopastoril discriminado y tradicional

SISTEMA DE PRODUCCION	MS%		PC%		FDN%		FDA%	
	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca
Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	24,96 c	45,35 b	8,94 b	7,44 a	69,60a	67,00c	35,77a	35,60b
Arreglo melina (<i>G. arborea</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	27,04 b	37,50 c	8,47 b	6,13 a	69,43 a	73,80a	35,97a	38,30a
Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	23,42 c	46,05 a	10,38 a	8,09 a	70,80 a	67,50c	32,94b	39,30a
Pastura tradicional (<i>B. decumbens</i>)	29,44 a	45,97 a	7,34 c	5,69 a	70,75 a	69,92b	35,97a	38,12a

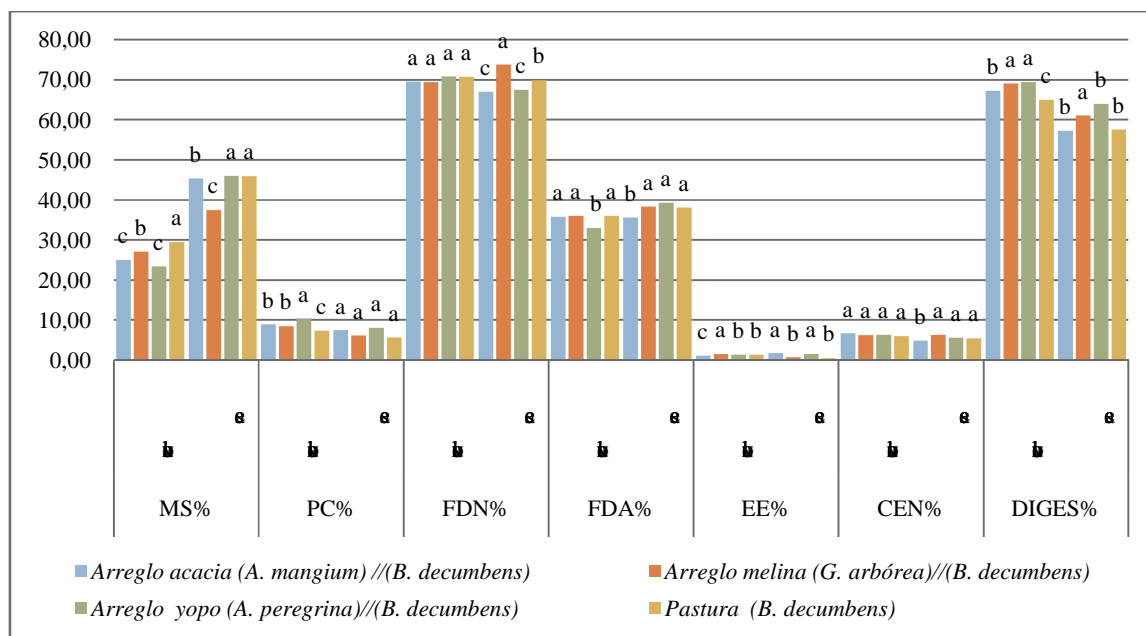
(a) Diferencias significativas entre sistemas silvopastoril y tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Tabla 17. Continuación tabla 16, fracciones de nutrientes del forraje de (*B. decumbens*) en los sistemas silvopastoril discriminado y tradicional

SISTEMA DE PRODUCCION	EE%		CEN%		DIG%	
	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca
Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	1,08c	1,70a	6,70a	4,80b	67,23b	57,20b
Arreglo melina (<i>G. arborea</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	1,50a	0,70b	6,24a	6,30a	69,06a	61,10a
Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	1,35b	1,50a	6,32a	5,60a	69,42a	64,00a
Pastura tradicional (<i>B. decumbens</i>)	1,34b	0,50b	5,99a	5,47a	64,99c	57,53b

(a) Diferencias significativas entre sistemas silvopastoril y tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Figura 14. Fracciones de nutrientes del forraje de (*B. decumbens*) en los arreglos silvopastoriles y la pastura tradicional



(a) Diferencias significativas entre sistemas silvopastoril y tradicional ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Los índices de fracciones nutricionales discriminados por arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) y la pastura tradicional (*B. decumbens*), muestran diferencias cuantitativas y estadísticamente significativas, siendo lo relevante:

En el porcentaje de materia seca (MS%), existen diferencias significativas en la época lluviosa, estando los índices en orden decreciente en, la pastura tradicional (*B. decumbens*) 29.44%, el arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) 27.04%, acacia (*A. mangium*) 24.96% y yopo (*A. peregrina*) 23.42%.

En la época seca, el arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) y la pastura tradicional, reportan los índices más altos 46.05% y 45.97% respectivamente, sin embargo no presentaron diferencias significativas entre sí. Los arreglos silvopastoriles de acacia (*A. mangium*) y melina (*G. arbórea*) ocupan el tercero y cuarto lugar en cantidades 45.35% y 37.50% respectivamente. La figura 14 muestra estos resultados.

Los resultados del índice de proteína cruda (PC%), se muestran en la figura 14, señalando diferencias significativas en la época lluviosa estando los índices en orden decreciente en los arreglos

silvopastoriles yopo (*A. peregrina*) con el mayor valor 10.38%, acacia (*A. mangium*) 8.94% y melina (*G. arborea*) 8.47%, que no presentan diferencia significativa entre sí, y la pastura tradicional con los índices más bajos 7.34%. En la época seca no se registraron diferencias significativas y los niveles en orden decreciente fueron los arreglos con yopo (*A. peregrina*), acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y en el último lugar la pastura tradicional de (*B. decumbens*).

En el caso de la fibra detergente neutro (FDN%), existen diferencias significativas en la época lluviosa estando los índices en orden decreciente el arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) y pastura (*B. decumbens*) que no presentan diferencias significativas entre sí, seguidos de los arreglo silvopastoriles acacia (*A. mangium*) y melina (*G. arborea*), que tampoco presentan diferencias significativas entre sí.

Para la época seca, con diferencias significativas los niveles de mayor a menor fueron en melina (*G. arborea*), Pastura tradicional, yopo (*A. peregrina*) y acacia (*A. mangium*) que no presentan diferencias significativas entre sí.

Respecto a la fibra detergente ácido (FDA%), los sistemas pastura tradicional con 35.97%, melina (*G. arborea*) 35.97% y acacia (*A. mangium*) 35.77%, con valores orden decreciente respectivamente, no presentaron diferencias entre sí, más si se reflejan frente al sistema yopo (*A. peregrina*) con 32.94% que ocupó el nivel más bajo.

En la época seca los sistemas yopo (*A. peregrina*) con 39.30%, melina (*G. arborea*) 38.30% y pastura tradicional 38.12%, no presentan diferencias significativas entre sí, pero si la reflejan frente al sistema acacia (*A. mangium*) que a su vez cuantitativamente ocupó el último lugar con 35.60 % de FDA. En la figura 17, se pueden observar estos resultados.

Los resultados muestran diferencias significativas para el EE% en la época lluviosa, estando los índices en orden decreciente en los sistemas melina (*G. arborea*), yopo (*A. peregrina*) y pastura tradicional, que no registran diferencias significativas entre sí, y con diferencia significativa frente a los anteriores el sistema de pastura tradicional con el índice más bajo.

En la época seca los arreglos silvopastoriles acacia (*A. mangium*) y yopo (*A. peregrina*) no presentan diferencias significativas entre sí, igual situación que se presenta entre los melina (*G. arborea*) y pastura tradicional (*B. decumbens*).

Para el índice de cenizas (CEN%), no se registraron diferencias significativas durante la época lluviosa, estando los índices en orden decreciente en los sistemas acacia (*A. mangium*) 6.70%, yopo (*A. peregrina*) 6.32%, melina (*G. arbórea*) 6.24% y pastura tradicional 5.99%. En la época seca con valores decrecientes los sistemas melina (*G. arbórea*), yopo (*A. peregrina*) y pastura tradicional no registraron diferencias significativas entre sí, pero si en conjunto frente al arreglo de acacia (*A. mangium*), la que mostró el menor índice 4.80%.

Con relación al índice de digestibilidad (DIG %), en la época lluviosa, con los mayores valores encontrados están los sistemas yopo (*A. peregrina*) 64% y melina (*G. arbórea*) 61.10%, los mismos no registraron diferencias significativas entre sí, pero frente a los sistemas acacia (*A. mangium*) con 57.20% y pastura tradicional 57.53%, en su orden, si se encontró diferencias significativas.

En la época seca el comportamiento de significancia estuvo en los sistemas yopo (*A. peregrina*) y melina (*G. arbórea*) quienes no registran significancia entre si y los sistemas pastura tradicional (*B. decumbens*) y acacia (*A. mangium*) quienes igualmente no presentan diferencias entre sí.

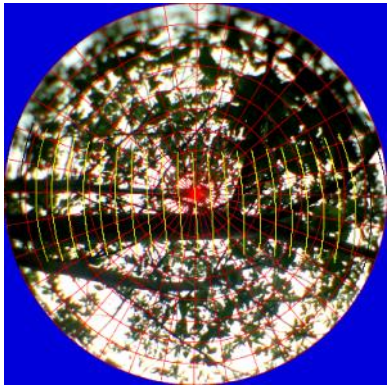
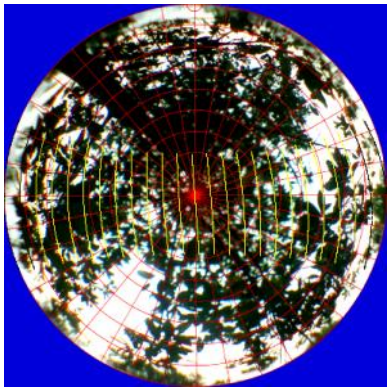
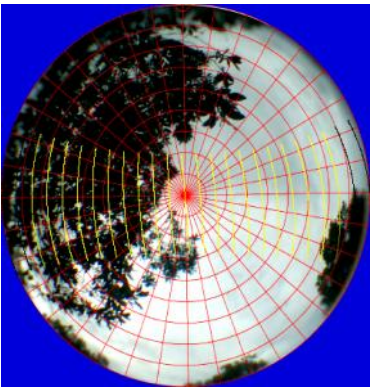
12.2.4 Efecto de la incorporación del componente forestal en cada arreglo silvopastoril

Se reporta en esta parte, el porcentaje de sombra (sombra %), el índice de área foliar (IAF), Radiación total transmitida ($\text{mol/m}^2/\text{d}^{-1}$), la cantidad (kg/m^2) y calidad de forraje, para tres distancias bajo la copa (1.0, 2.5 y 4.0 m) de componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) en los arreglos silvopastoriles de árboles dispersos con (*B. decumbens*).

12.2.4.1 Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*)

En la figura 15, se muestran las fotografías hemisféricas tomadas en cada una de las distancias bajo copa D (1.0, 2.5 y 4.0 m) de acacia (*A. mangium*), en ellas se puede observar el punto central de la fotografía, las líneas amarillas muestran la trayectoria diaria de la luz solar y se señala también el porcentaje de sombra.

Figura 15. Fotografía hemisférica a 1.0, 2.5 y 4.0 m bajo la copa de acacia (*A. mangium*)

		
Distancia 1.0 m	Distancia 2.5 m	Distancia 4.0 m
Porcentaje de sombra: 63.62%	Porcentaje de sombra: 61.54%	Porcentaje de sombra: 49.78%
Índice de área foliar IAF: 1.86	Índice de área foliar IAF: 1.79	Índice de área foliar IAF: 1.05

En la tabla 18, se presentan los resultados para el componente forestal acacia (*A. mangium*), se destaca que las mayores producciones de forraje verde y seco se dan en las distancias 4.0 y 2.5 m bajo la copa con un porcentaje de sombra de 49.78% y 61.54%, respectivamente.

Tabla 18. Porcentaje de sombra, radiación y producción de forraje bajo la copa de acacia (*A. mangium*)

DISTANCIA BAJO LA COPA D (m)	SOMBRA (%)	IAF	Radiación mol/m ² /d ¹	Cantidad Forraje kg/m-2		Calidad Forraje (%)						
				Verde	Seco	MS	PC	FDN	FDA	EE	CEN	DIG
1	63,62 a	1,86a	10,29c	0,27 b	0,07 b	29.27	9.77	66.00	33.93	1.15	5.93	64.50
2,5	61,54 a	1,79a	10,97c	0,37 a	0,10 a	31.71	10.35	66.20	33.33	1.65	6.06	64.60
4	49,78 b	1,05b	18,27b	0,38 a	0,11 a	32.10	9.18	66.56	35.40	1.75	6.23	64.85
Fuera	0.00 c	0,00c	41,35a	0,30 ab	0,09 ab	34.93	6.42	68.26	37.46	0.90	5.46	61.05

(a) Diferencias significativas entre distancias bajo la copa y fuera ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

Se encontraron diferencias significativas para cada una de las distancias bajo la copa de acacia (*A. mangium*) en el porcentaje de sombra y el índice de área foliar. A la distancia de 1.0 m, el porcentaje de sombra y el índice de área foliar son mayores 63.61% de sombra y 1.86 IAF, estos valores son estadísticamente similares para la distancia 2.5 m en donde el porcentaje de sombra es de 64.54% y el índice de área foliar es de 1.78.

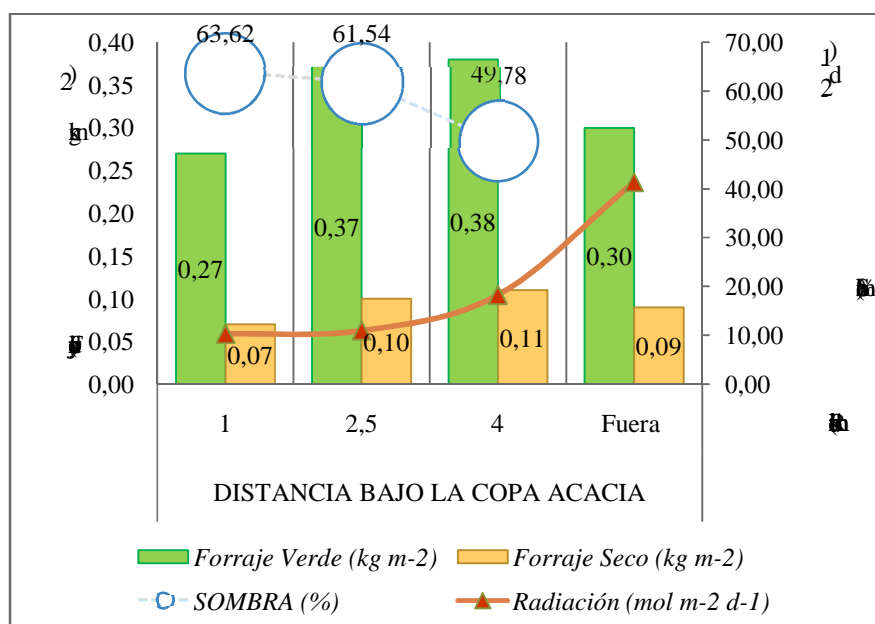
Los resultados muestran que el porcentaje de sombra y el índice de área foliar IAF, disminuyen al aumentar la distancia bajo la copa del árbol, de tal manera que a la distancia 4.0 m, el porcentaje de sombra es de 49.78% y el IAF de 1.05.

La mayor producción de forraje de (*B. decumbens*) bajo la copa de acacia (*A. mangium*), es de 0.38 kg/m² de forraje verde y 0.11 kg/m² de forraje seco a 4.0 m, porcentaje de sombra de 49.78% y una radiación transmitida de 18.27 mol m² d⁻¹.

La menor producción de forraje verde, se da para la distancia 1.0 m, por fuera de la copa, con 0.27 y 0.30 kg m⁻², donde el porcentaje de sombra es de 63.69%.

En la figura 16, se relaciona el porcentaje de sombra y la radiación total transmitida. Al disminuir el porcentaje de sombra hay un aumento en la radiación, lo que se traduce también en la producción de forraje. Con lo que se resalta que, fuera del área de cobertura de copa, la producción de forraje es menor. Estos resultados señalan que, bajo un determinado porcentaje de sombra en este caso 50-60% de acacia (*A. mangium*), se da la mayor producción de forraje para (*B. decumbens*), con lo que se puede considerar el beneficio del efecto sombra en la cantidad de pastura.

Figura 16. Producción de forraje de (*B. decumbens*) bajo acacia (*A. mangium*)



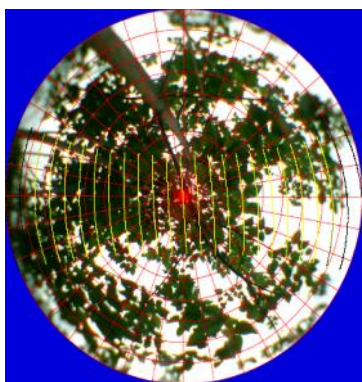
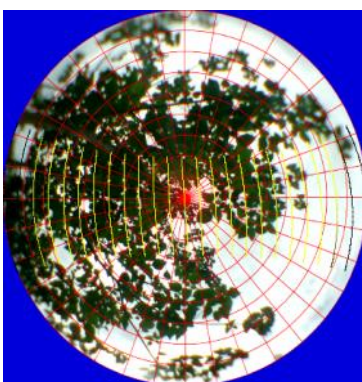
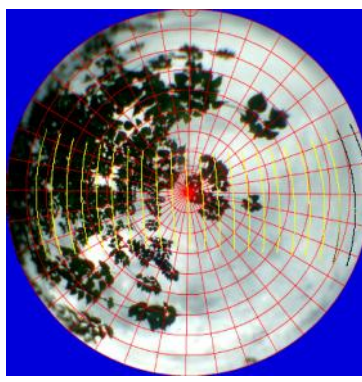
Para la calidad de pastura en el arreglo acacia (*A. mangium*), (ver la tabla 18), los valores mayores para los índices de materia seca (MS%), fibra detergente neutro (FDN%) y acida (FDA%), se presentan fuera de la copa. Sin embargo no existen diferencias significativas con los resultados obtenidos bajo la copa de los árboles. Para el porcentaje de materia seca (MS%), en orden decreciente esta el área fuera de la copa con 34.93 MS%, la distancias 4.0 2.5 y 1.0 m bajo la copa con 32.10 MS%, 31.71 MS% y 29.27 MS% respectivamente.

Es importante considerar que, a pesar de la no significancia estadística, los resultados para el porcentaje de proteína cruda (PC%), en la distancia D 2.5 bajo la copa, presenta el mayor valor de proteína cruda 10.35 (PC%), de otra parte los datos obtenidos para (EE%), (CEN%) y (DIG%), en todos los casos mayores bajo la copa.

12.2.4.2 Arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*)

La figura 17, muestra las imágenes correspondientes a la copa de melina (*G. arbórea*), en tres distancias bajo la copa 1.0, 2.5 y 4.0 m; en estas se señala con líneas amarillas la trayectoria diaria del sol y puede observarse también la apertura del dosel y el índice de área foliar.

Figura 17. Fotografía hemisférica a 1.0, 2.5 y 4.0 m bajo la copa de melina (*G. arbórea*)

		
Distancia 1.0 m	Distancia 2.5 m	Distancia 4.0 m
Porcentaje de sombra: 56.19	Porcentaje de sombra: 53.57	Porcentaje de sombra: 34.55
Índice de área foliar IAF: 1.66	Índice de área foliar IAF: 1.45	Índice de área foliar IAF: 0.69

Los resultados pueden verse en la tabla 19. La mayor cantidad de pastura 0.42 y 0.41 kg m⁻² se dan en las distancias 4.0 y 2.5 m bajo la copa, con un porcentaje de sombra entre el 35 y 50%.

Tabla 19. Porcentaje de sombra, radiación y producción de forraje bajo la copa de melina (*G. arbórea*)

COPA (m)	SOMBRA (%)	IAF	Radiación mol/m ² /d ¹	Forraje kg/m-2				Calidad (%)				
				Verde	Seco	MS	PC	FDN	FDA	EE	CEN	DIG
1	56,19 a	1,66 a	13,18 c	0,31 b	0,09 ab	31.63	7.87	72.65	38.25	1.07	5.90	53.20
2,5	53,51 a	1,45 a	15,28 c	0,41a	0,12 a	30.47	8.42	70.10	34.40	1.24	5.84	61.95
4	34,55 b	0,69ab	27,82 b	0,42 a	0,09 ab	30.73	7.23	70.60	36.10	1.70	5.76	57.95
Fuera		-	41,35 a	0,20 c	0,06 b	35.27	6.89	68.10	25.40	0.65	5.56	56.55

(a) Diferencias significativas para distancias bajo la copa y fuera ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

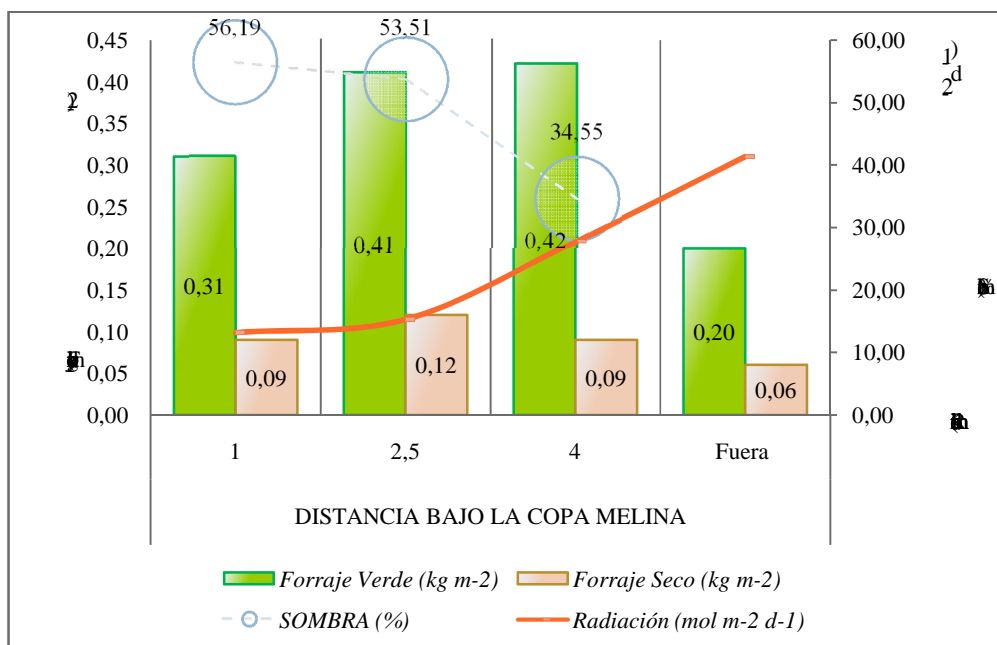
Los porcentajes de sombra a la distancia 1.0 y 2.5 de 56.19% y 53.51% son estadísticamente iguales. Es importante considerar que en la distancia 4.0 m se da la mayor producción de forraje verde 0.42 kg m⁻².

Siguiendo la tendencia de los resultados reportados hasta ahora, la sombra y la radiación total transmitida tienen una relación inversa, al aumentar la distancia desde el eje principal del árbol y a la distancia 4.0 m, la sombra es menor 35% y la cantidad de radiación mayor 27.82 mol m⁻² d⁻¹.

Fuera de la copa y a pesar del aumento en casi el doble en la radiación 41.35 mol m⁻² d⁻¹, es menor la cantidad de forrajes seco, comparado con los resultados bajo la copa.

En la figura 18, se muestran los resultados de la relación entre la producción de forraje, sombra y radiación total transmitida en las tres secciones de copa (D 1.0, 2.5 y 4.0 m) y fuera del área de copa.

Figura 18. Producción de forraje de (*B. decumbens*) bajo melina (*G. arbórea*)

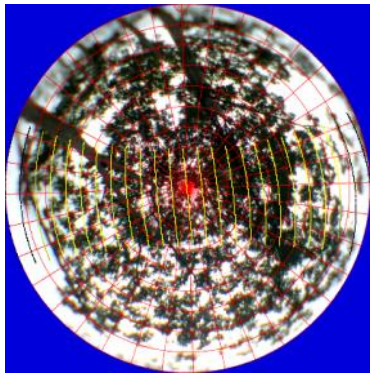
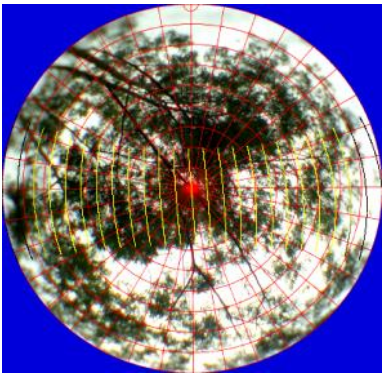
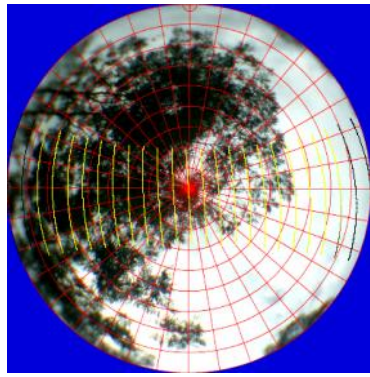


En términos generales la calidad de forraje bajo la copa de melina (*G. arbórea*), reporta mejores índices que fuera de esta. Aunque no se encontraron diferencias estadísticas, es importante señalar, que para la distancia bajo la copa 2.5 m, se encuentran los mayores valores para los índices de proteína cruda 8.42 (PC%), cenizas 5.84 (CEN%) y digestibilidad 61.95 (DIG%). Respecto al índice de fibra detergente neutro (FDN%) y ácido (FDA%), los mayores resultados se dan en la distancia 1.0 m bajo la copa.

12.2.4.3 Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*)

La figura 19, muestra las fotografías hemisféricas de la copa de yopo (*A. peregrina*) en las tres secciones (D 1.0, 2.5 y 4.0 m), las líneas amarillas corresponden a la trayectoria del sol, se indica además el porcentaje de apertura del dosel y el índice de área foliar IAF.

Figura 19. Fotografía hemisférica a 1.0, 2.5 y 4.0 m bajo la copa de yopo (*A. peregrina*)

		
Distancia 1.0 m	Distancia 2.5 m	Distancia 4.0 m
Apertura del dosel AD: 47.88	Apertura del dosel AD: 51.31	Apertura del dosel AD: 61.10
Indice de área foliar IAF: 1.42	Indice de área foliar IAF: 1.35	Indice de área foliar IAF: 0.98

En la tabla 20, se presentan los resultados para porcentaje de sombra, índice de área foliar IAF, radiación y producción de forraje de (*B. decumbens*), bajo la copa de yopo (*A. peregrina*). Se destaca un mayor producción de forraje verde 0.26 kg m⁻² en porcentaje de sombra del 40 al 50% correspondiente a las distancias 4.0 y 2.5 m.

Tabla 20. Porcentaje de sombra, radiación y producción de forraje bajo la copa de yopo (*A. peregrina*)

Copa D (m)	Sombra (%)	IAF	Radiación mol/m ² /d ¹	Forraje kg/m-2				Calidad (%)				
				Verde	Seco	MS	PC	FDN	FDA	EE	CEN	DIG
1	52,12 a	1,42 a	14,37 c	0,22 ab	0,06 a	37.40	9.77	65.26	33.00	0.80	6.33	60.27
2,5	48,69 a	1,35 a	14,32 c	0,25 a	0,07 a	38.52	10.50	64.73	35.67	0.90	6.16	60.10
4	38,9 b	0,98 b	19,98 b	0,26 a	0,08 a	39.68	9.04	68.26	31.80	1.40	5.53	63.20
Fuera	-	-	41,35 a	0,19 b	0,06 a	39.14	8.75	66.67	33.40	1.20	5.83	58.90

(a) Diferencias significativas entre distancias bajo la copa y fuera ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

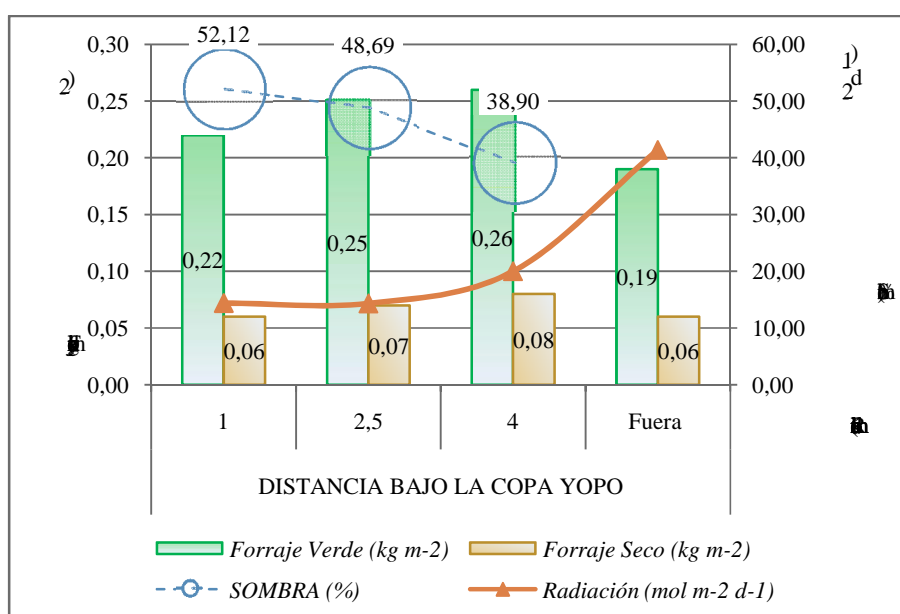
Se encontraron diferencias significativas para el porcentaje de sombra, a la distancia 4.0 m tiene el menor porcentaje 38.9%. Este mismo comportamiento se da para el índice de área foliar 0.98 IAF, el menor índice.

Bajo la copa de los árboles de yopo (*A. peregrina*), la radiación es mayor a la distancia 4.0 m 19.98 mol m⁻² d⁻¹ para las secciones de copa 1.0 y 2.5 no existen diferencias significativas en la cantidad de radiación transmitida 14.3 mol m⁻² d⁻¹. Sin el efecto sombra, fuera de la copa de los árboles, la

radiación es casi tres veces más $41.35 \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ que bajo la copa de los árboles, Sin embargo la producción de forraje verde es significativamente menor.

La copa de yopo (*A. peregrina*), presenta una condición homogénea en porcentajes de sombra, esto se pone en manifiesto también en la similitud estadística de los resultados de producción de forraje verde. Sin embargo es importante considerar que el porcentaje de sombra en el cual existe mayor producción está entre el 40 y 50%. Esto se puede observar en la figura 20.

Figura 20. Producción de forraje de (*B. decumbens*) bajo la copa de yopo (*A. peregrina*)



Para esta especie la mantiene la relación inversa entre porcentaje de sombra y radiación transmitida y esto también puede observarse esta tendencia en la producción de forraje.

Respecto a los índices de calidad, para todas las distancias bajo la copa de los árboles se observan los mayores resultados comparados con el área sin influencia de sombra, a pesar de no encontrarse diferencia estadística en los resultados, es importante considerar que el mayor porcentaje de materia seca (MS%), fibra detergente neutro (FDN%), extracto etéreo (EE%) y digestibilidad (DIG%), se reporta a la distancia 4.0 m, Además que para esta especie, así como para melina (*G. arbórea*) y acacia (*A. mangium*) en la distancia 2.5m se da el mayor porcentaje de proteína cruda 10.50.

Considerando los promedios de cada arreglo silvopastoril bajo la copa y fuera de esta, existe diferencia significativa entre los arreglos con acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*). (ver tabla 21). El mayor porcentaje de sombra y el índice de área foliar es para Acacia (*A. mangium*) con 58.31% de sombra en promedio, luego se encuentra la melina (*G. arbórea*) con un 48,08% y en con el menor porcentaje de sombra yopo (*A. peregrina*) 46,57%. El porcentaje de sombra de melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) es estadísticamente iguales.

Tabla 21. Promedio de sombra, radiación y producción de forraje

Arreglo silvopastoril	Cobertura	Sombra (%)	IAF	Radiación mol m ⁻² d ⁻¹	Forraje kg m ⁻²	
					Forraje Verde (FV)	Forraje Seco (FS)
acacia (<i>A. mangium</i>)	Bajo la copa	58,31 a	1,57 a	13,18 b	0,33 ab	0,09 ab
	Fuera de la copa			41,35 a	0,30 bc	0,09 ab
melina (<i>G. arbórea</i>)	Bajo la copa	48,08 b	1,27 b	18,76 b	0,36 a	0,10 a
	Fuera de la copa			41,35 a	0,20 d	0,06 c
yopo (<i>A. peregrina</i>)	Bajo la copa	46,57 b	1,25 b	16,22 b	0,24 cd	0,07 bc
	Fuera de la copa			41,35 a	0,19 d	0,06 c

(a) Diferencias significativas entre arreglos silvopastoriles ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

En cuanto a la producción de forraje verde bajo la copa, las mayores producciones son para melina (*G. arbórea*) y acacia (*A. mangium*) con 0.36 kg/m² (FV) y 0.33 kg/m² (FV), respectivamente. La menor producción bajo la copa es para yopo (*A. peregrina*) 0.24 kg/m² (FV). Por fuera de la copa las producciones en cada arreglo son menores.

Los resultados promedios bajo la copa y fuera de esta para las fracciones de nutrientes de (*B. decumbens*), se muestra en la tabla 22. Existen diferencias significativas para entre componente y tipo de cobertura para el porcentaje de proteína cruda (PC%), la fibra detergente neutro (FDN%) y el extracto etéreo (EE%).

Aunque no se cuenta con diferencias estadísticas, el porcentaje de materia seca (MS%), fuera del área de la copa fue mayor para todos los arreglos. Para el caso de la proteína cruda (PC%), los mayores resultados se obtienen bajo sombra y es importante considerar el resultado que se obtiene para acacia (*A. mangium*) y yopo (*A. peregrina*) de 9.77 (PC%), significativamente mayor que para los demás casos.

Por otro lado bajo la sombra de melina (*G. arbórea*) se da el mayor porcentaje de fibra detergente neutro 71.12 (FDN%), este resultado no muestra diferencias significativas con los otros arreglos y su condición de sombra. Solamente existen diferencias el resultado bajo sombra de yopo (*A. peregrina*). Respecto al extracto etéreo (EE%), existen diferencias en la calidad de forraje para la sombra y componente forestal. Se destaca el resultado obtenido por melina (*G. arbórea*) donde existen diferencias entre la calidad fuera y bajo la copa.

Tabla 22. Calidad de pastura bajo y fuera del área de copa de cada componente forestal

Componente forestal	TIPO DE COBERTURA	Calidad Forraje (%)						
		MS	PC	FDN	FDA	EE	CEN	DIG
acacia (<i>A. mangium</i>)	Bajo la copa	31,03 a	9,77 a	66,35 ab	34,22 a	1,52 a	6,07 a	64,65 a
	Fuera de la copa	34,93 a	6,42 b	68,26 ab	37,46 a	0,90 a	5,46 a	61,05 a
melina (<i>G. arbórea</i>)	Bajo la copa	30,94 a	7,84 ab	71,12 a	36,25 a	1,34 a	5,83 a	57,70 a
	Fuera de la copa	35,27 a	6,89 b	68,10 ab	25,40 a	0,65 b	5,56 a	56,55 a
yopo (<i>A. peregrina</i>)	Bajo la copa	38,53 a	9,77 a	66,08 b	33,49 a	1,03 a	6,01 a	61,19 a
	Fuera de la copa	39,14 a	8,75 ab	66,67 ab	33,40 a	1,20 a	5,83 a	58,90 a

(a) Diferencias significativas entre arreglos silvopastoriles ($P < 0.05$) Prueba de Duncan

12.2.5 Características químicas y biológicas del suelo.

Se presentan los resultados de las características químicas y biológicas de los suelos bajo los sistemas silvopastoril y pastura tradicional.

12.2.5.1 Características químicas

En las tablas 23, 24 y 25 se resumen los datos del analisis de suelos realizado. Se puede observar que los arreglos silvopastoriles tienen mejor calidad química de suelos que la pastura tradicional.

Tabla 23. Características químicas del suelo en sistemas silvopastoril y tradicional

SISTEMA DE PRODUCCION	Arreglo	Textura	pH	C.E.	Acidez			M.O.
					Al+H	Al	Sat Al	
					dS/m	Cmol ₍₊₎ * kg ⁻¹	%	%
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	A	5,00	0,10	0,56	0,39	15,00	2,70
	Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	A	5,10	0,09	1,02	0,46	14,00	3,20
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	A	5,00	0,09	0,59	0,52	22,00	2,40
Tradicional	Pastura (<i>B. decumbens</i>)	A	4,87	0,09	1,09	0,94	45,33	2,87

Tabla 24. Continuación tabla 23, características químicas del suelo en sistemas silvopastoril y tradicional

SISTEMA DE PRODUCCION	Arreglo	P	S	Cationes de cambio				CICE
				Ca	Mg	K	Na	
				mg kg ⁻¹		Cmol ₍₊₎ * kg ⁻¹		
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	9,60	0,70	1,42	0,58	0,08	0,08	2,71
	Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	17,00	1,40	1,49	0,58	0,07	0,05	3,21
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	14,60	1,90	1,31	0,31	0,05	0,09	2,35
Tradicional	Pastura (<i>B. decumbens</i>)	7,33	0,73	0,64	0,20	0,08	0,07	2,08

Tabla 25. Continuación tabla 23 características de fertilidad del suelo en sistemas silvopastoril y tradicional

SISTEMA DE PRODUCCION	Arreglo	Elementos menores				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
		mg kg ⁻¹				
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	0,17	0,90	101,00	1,40	0,50
	Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	0,12	0,90	100,00	1,40	0,70
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)//(<i>B. decumbens</i>)	0,07	0,90	112,00	1,90	0,60
Tradicional	Pastura (<i>B. decumbens</i>)	0,06	1,69	121,67	1,60	1,30

Los resultados muestran que los arreglos silvopastoriles tienen una mejor condición de fertilidad químicas en el suelo. La CICE es mayor para todos los arreglos silvopastoriles en relación con la pastura tradicional y se destaca el arreglo melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*) con 3.21 Cmol₍₊₎*kg⁻¹ lo que hace que el porcentaje de saturación de aluminio sea menor 14.00 %.

La pastura tradicional tiene un alto porcentaje de saturación de aluminio 45.33%, bajo contenidos de Ca 0,64 Cmol (+)*kg⁻¹ y Mg 0.20 Cmol (+)*kg⁻¹, lo cual se refleja en el P disponible 7.33 mg kg⁻¹

12.2.5.2 Características biológicas del suelo

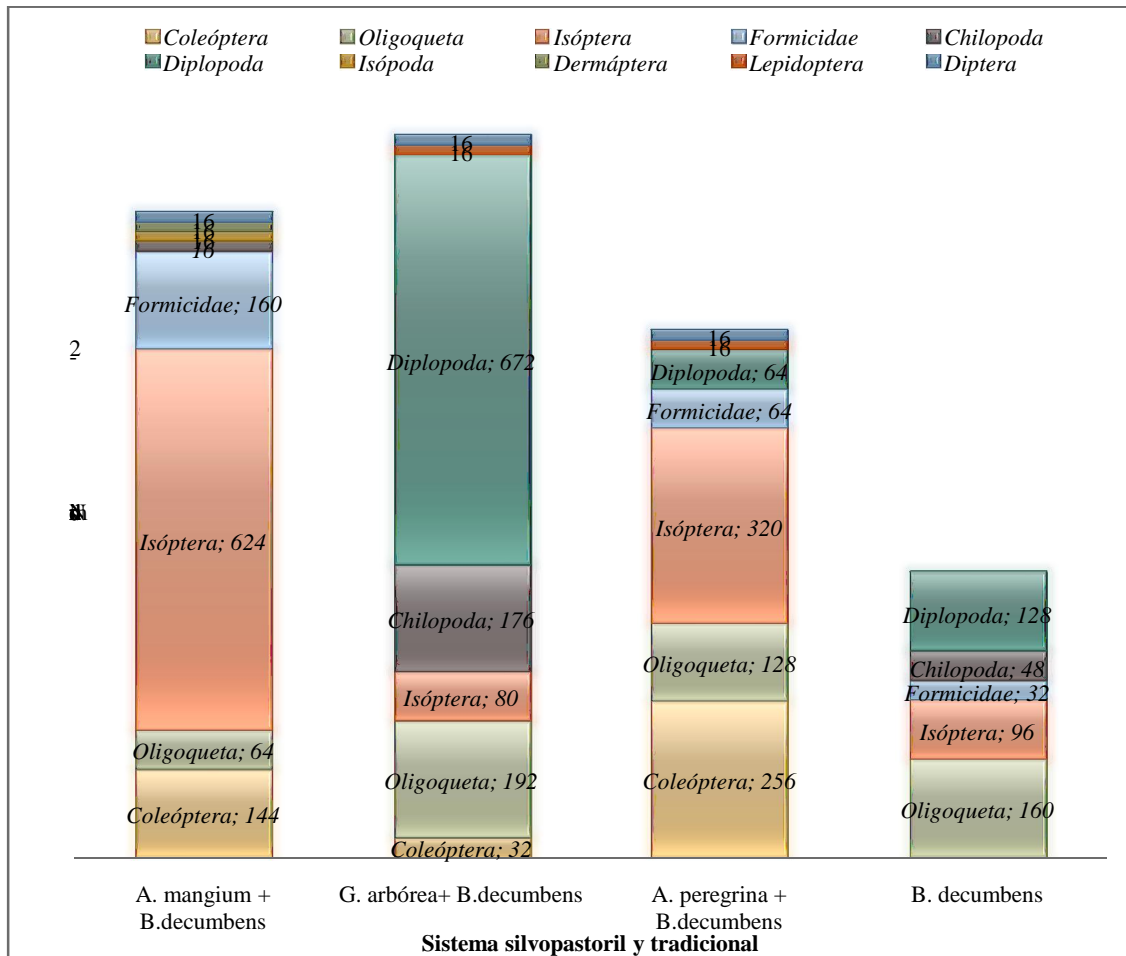
a. Composición taxonómica

Los resultados de las características biológicas de los suelos bajo los dos sistemas de estudio se pueden observar en las tablas 26 y en la figura 21. La macrofauna identificada en el ensayo comprende 10 grupos taxonómicos: Coleóptera con 432 ind/m², Oligoqueta con 544 ind/m², Isóptera con 1120 ind/m², Formicidae con 256 ind/m², Chilopoda 240 ind/m², Diplopoda 864 ind/m², Isópoda 16 ind/m², Dermáptera 16 ind/m², Lepidóptera 32 ind/m² y Díptera 48 ind/m²

Tabla 26. Grupos taxonómicos de macrofauna por sistema silvopastoril y tradicional

SISTEMA DE PRODUCCION Arreglo	Grupo taxonómico									
	Coleóptera	Oligoqueta	Isóptera	Formicidae	Chilopoda	Diplopoda	Isópoda	Dermáptera	Lepidóptera	Díptera
Número de individuos m ²										
Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	144	64	624	160	16		16	16		16
Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	32	192	80		176	672			16	16
Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	256	128	320	64		64			16	16
Pastura (<i>B. decumbens</i>)		160	96	32	48	128				
Total individuos	432	544	1120	256	240	864	16	16	32	48

Figura 21. Abundancia absoluta (N. individuos/m²) macrofauna



La mayor abundancia de individuos (número/m²) de macrofauna es para los arreglos silvopastoriles, en comparación con la pastura tradicional. El arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*) mostró la mayor cantidad de individuos siendo más representativo el grupo taxonómico diplopoda (milpiés) con 675 individuos/m²

La fotografía muestra un ejemplo de un individuo del grupo taxonómico diplopoda, el más representativo con 864 individuos encontrados en el estudio.



Fotografía 10. Individuo del grupo taxonómico diplopoda (milpiés)

b. Riqueza y diversidad

La tabla 27, muestra la riqueza valorada en el número de grupos taxonómicos y la diversidad expresada en el índice de Simpson, para la macrofauna de los arreglos silvopastoriles y la pastura tradicional.

Tabla 27. Riqueza y diversidad de macrofauna

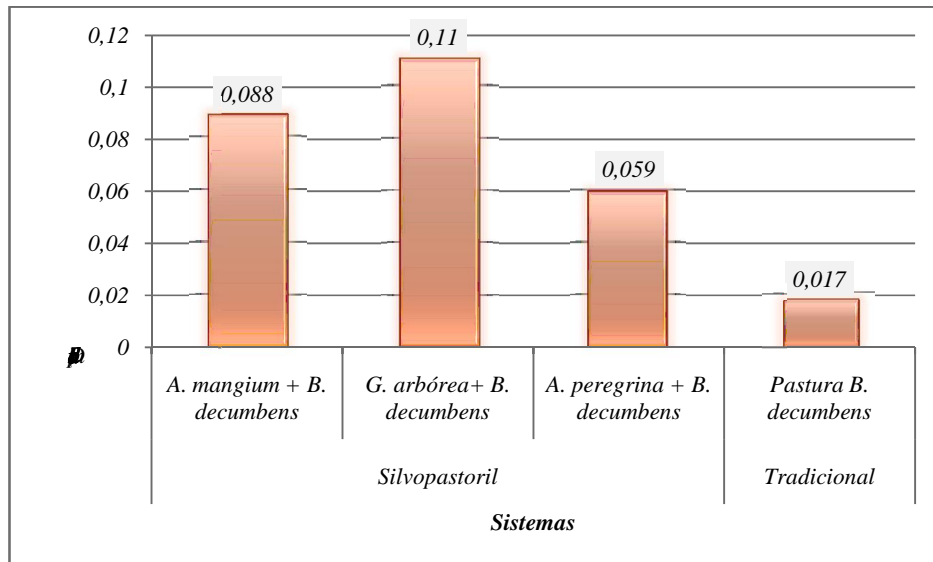
SISTEMA DE PRODUCCION	Arreglo	Riqueza	Diversidad Índice de Simpson (D)
Silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	8	0,088
	Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	7	0,110
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>)// (<i>B. decumbens</i>)	7	0,059
Tradicional	Pastura (<i>B. decumbens</i>)	5	0,017

Se puede observar que los arreglos silvopastoriles registraron la mayor riqueza y diversidad de macrofauna. En cuanto a la riqueza, se destaca el arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*) con 8 grupos taxonómicos y le siguen los arreglos melina (*G. arbórea*)// (*B. decumbens*)y yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) con 7 grupos. La menor riqueza en macrofauna, fue para la pastura tradicional con 5 grupos taxonómicos.

Respecto a la diversidad, los arreglos silvopastoriles mostraron los mayores índices de diversidad, siendo el arreglo melina (*G. arbórea*)// (*B. decumbens*), el que obtuvo el mayor Índice de Simpson (D) 0.11, los arreglos acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*)y yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*)

mostraron 0.08 (D) y 0.05 (D), como índices respectivamente, la pastura tradicional tuvo el menor índice 0.01 (D). (Ver figura 22)

Figura 22. Diversidad de macrofauna entre los sistemas silvopastoril y tradicional



12.3 OBJETIVO 3. CONOCER LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS DE LOS MUNICIPIOS DE VILLAVICENCIO, ACACIAS Y CASTILLA LA NUEVA, DEPARTAMENTO DEL META SOBRE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL EN SUS SISTEMAS GANADEROS.

12.3.1 Base de conocimiento

Con las respuestas dadas por los 30 productores ganaderos de los municipios de Villavicencio, Acacias y Castilla La Nueva, a las preguntas: ¿Qué lo motivó a incorporar árboles en su finca?, ¿Qué beneficios o perjuicios observa de la incorporación de los árboles en su finca? y ¿Qué productos espera obtener de esos árboles?. Se creó una base de conocimiento denominada forestal.kb, compuesta por 468 frases unitarias de atributo, acción y causa efecto; la matriz general de esta base se puede consultar en el anexo B, igualmente en las figuras 23 y 24 se puede observar la estructura y el mapa conceptual de la base de conocimiento.

Figura 23. Base de conocimiento forestal.kb

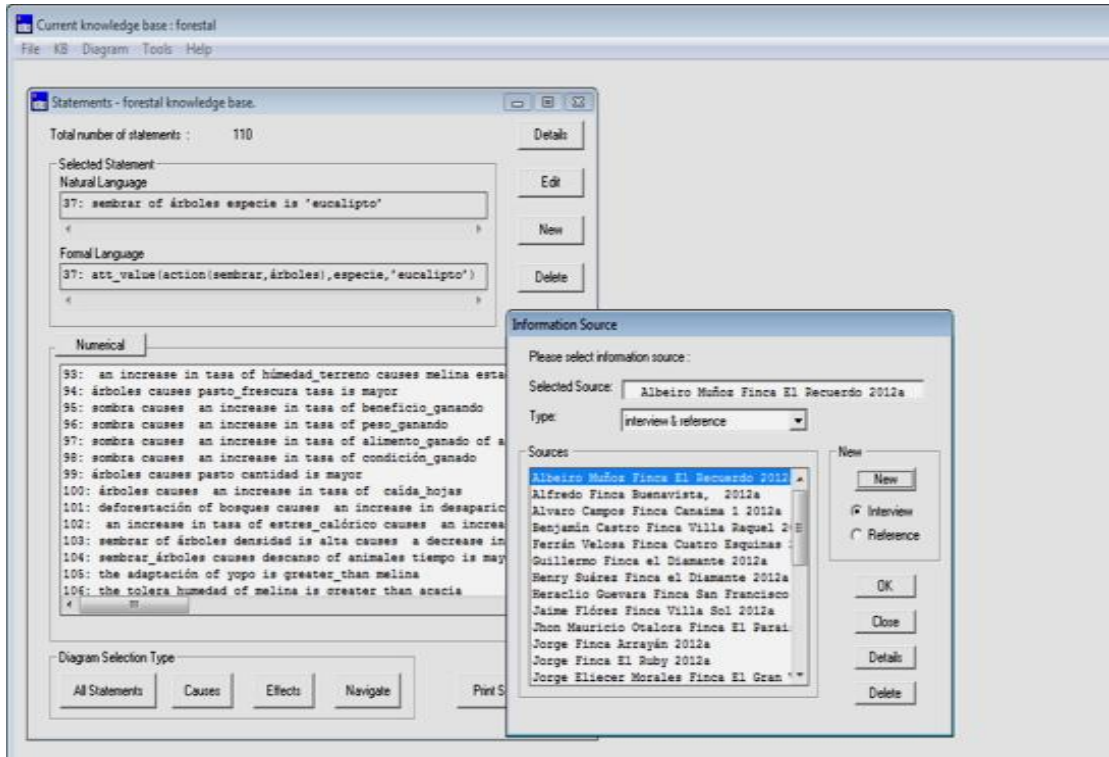
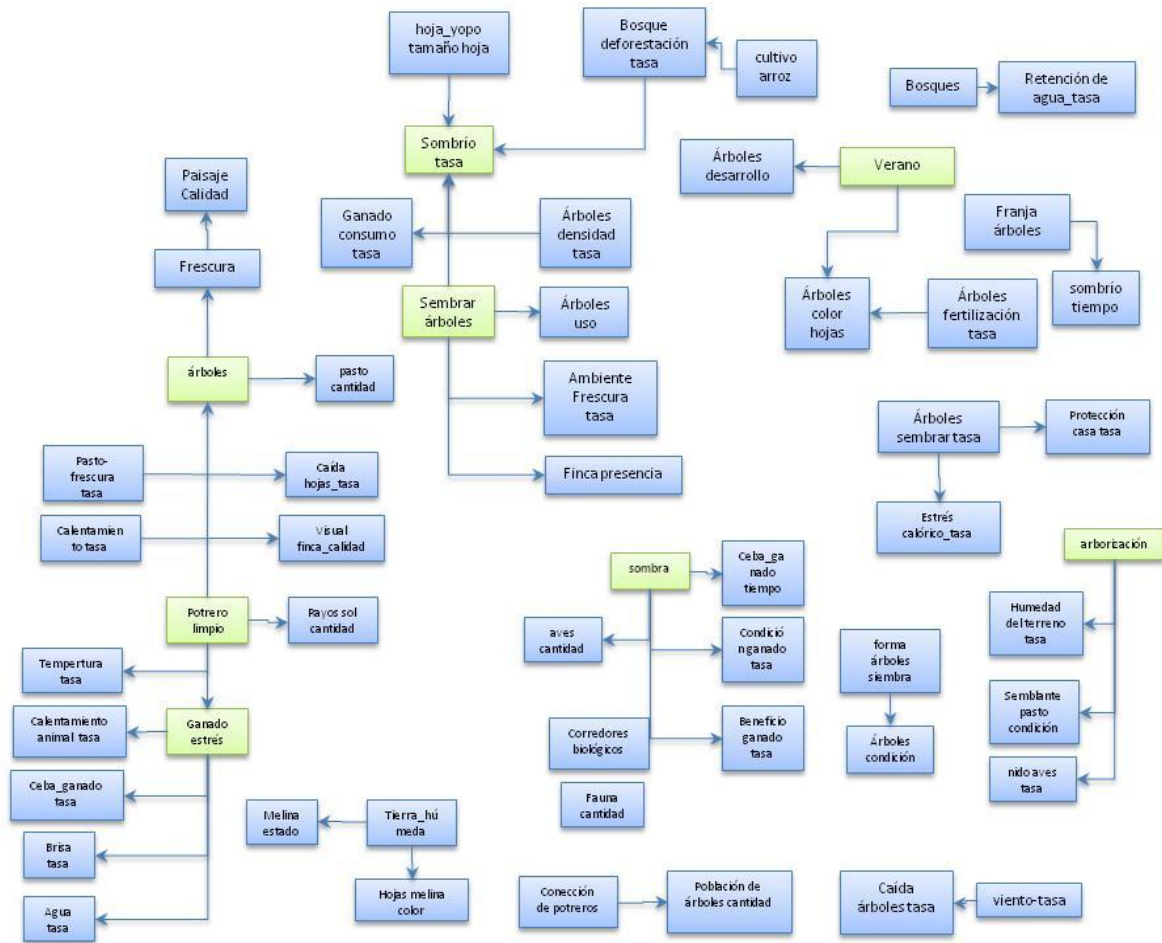


Figura 24. Mapa conceptual base de conocimiento forestal.kb



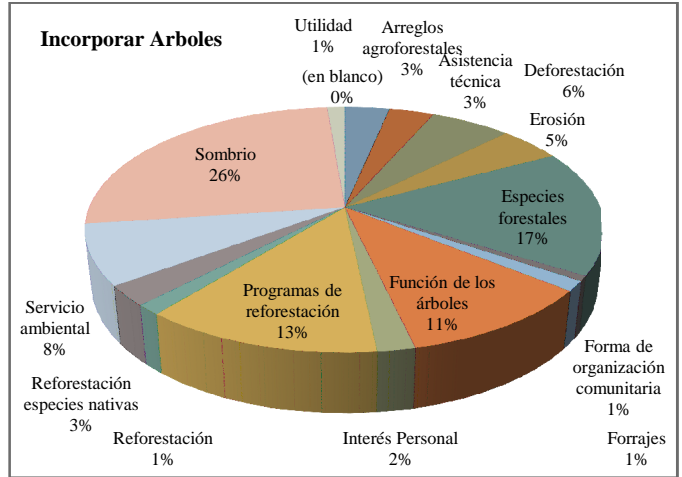
12.3.2 Identificación de categorías básicas de conocimiento.

De acuerdo a la matriz de análisis cualitativo de la base de conocimiento forestal.kb, fueron identificadas la categoría básicas del conocimiento formal de los productores.

12.3.2.1 Percepción sobre las motivaciones a incorporar árboles.

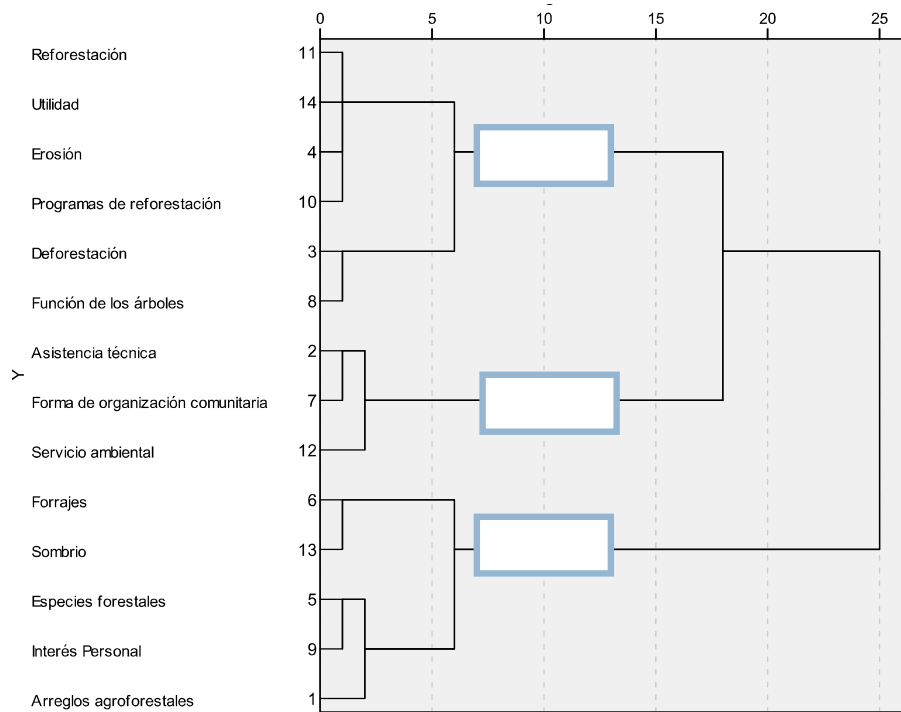
A la pregunta *¿Qué lo motivo a incorporar árboles en su finca?*, los productores se refieren con mayor frecuencia al sombrío 26%, a las características distintivas de las especies forestales 17% y a los programas de reforestación 13%. La figura 25 muestra los resultados.

Figura 25. Categorías sobre la motivación a incorporar árboles



La figura 26, muestra los resultados de la clasificación por conglomerados de las motivaciones de los productores ganaderos para incorporar árboles en sus fincas; se logran diferenciar tres grupos de motivaciones: Grupo 1 a la que corresponden las categorías: (reforestación, utilidad, erosión, programas de reforestación, deforestación y función de los árboles), el Grupo 2: (asistencia técnica, forma de organización comunitaria y servicio ambiental) y finalmente el Grupo 3: (forrajes, sombrio, especies forestales, interés personal y arreglos agroforestales).

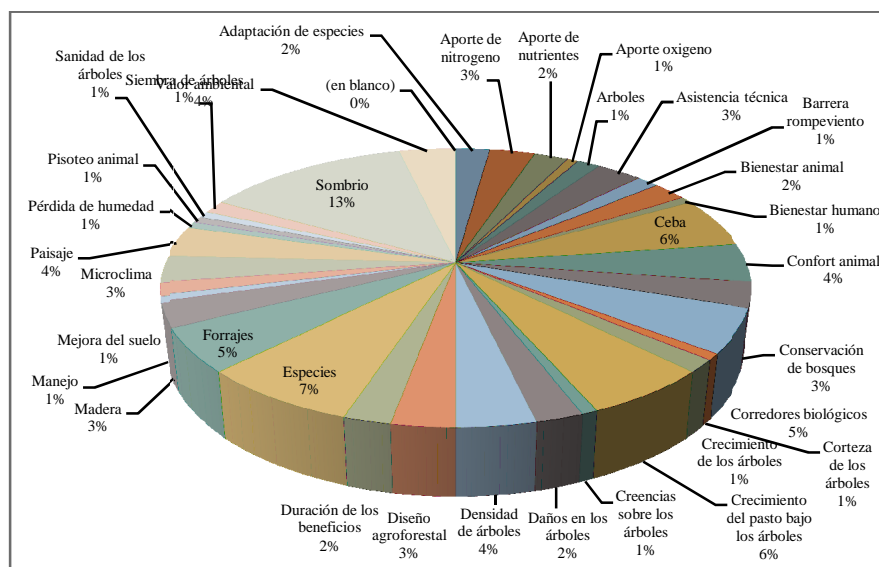
Figura 26. Dendrograma de agrupación para las motivaciones a incorporar árboles



12.3.2.2 Percepción sobre los beneficios de los árboles.

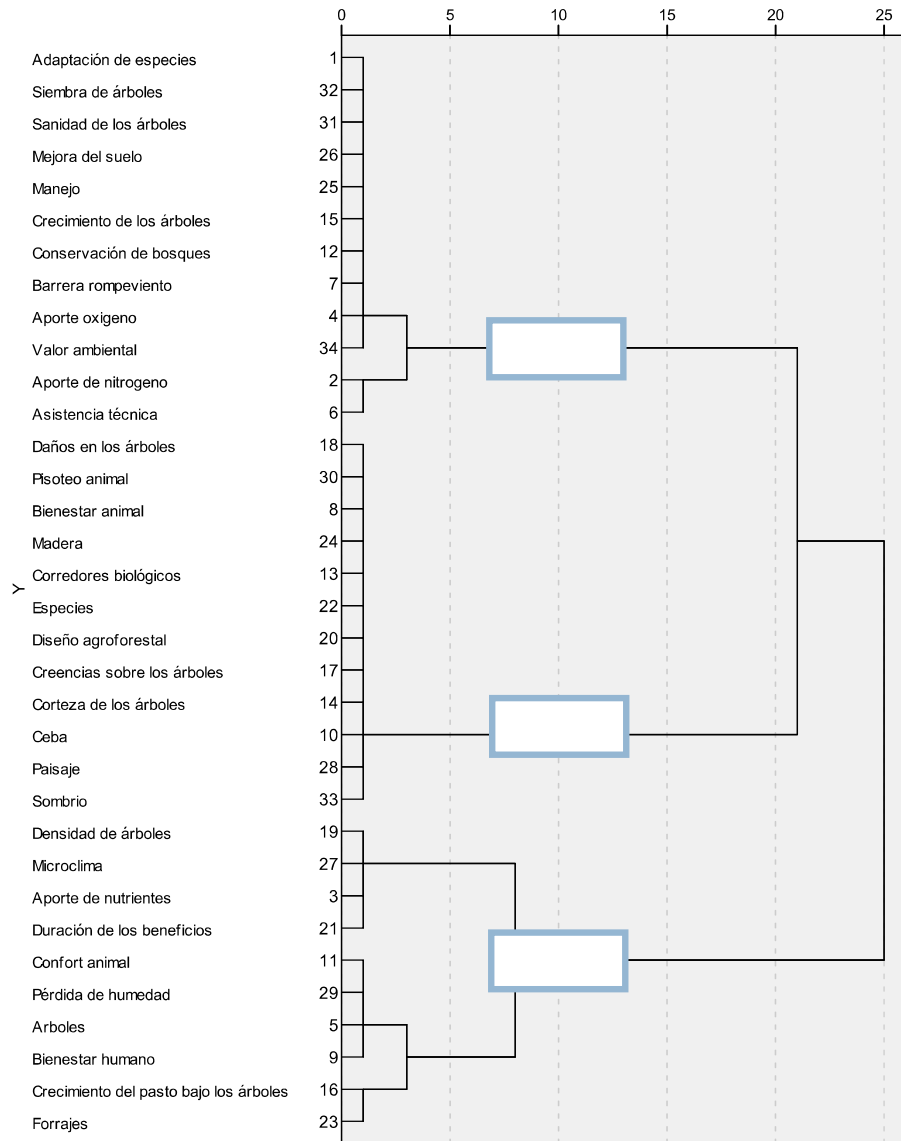
Por otro lado a la pregunta: *¿Qué beneficios o perjuicios observa de la incorporación de los árboles en su finca?*, Los productores identifican varios beneficios de los árboles, entre los que se encuentran principalmente el sombrío 13%, los productos de las especies forestales 7%, y el crecimiento del pasto bajo los árboles 6%. En la figura 27, se muestran estos resultados.

Figura 27. Categorías sobre el beneficio de los árboles



Existen muchos conceptos que los productores perciben como beneficios de los árboles (Ver figura 28). Sin embargo mediante la clasificación por conglomerados, pueden identificarse tres grupos, el grupo 1: (adaptación de especies, siembra de árboles, sanidad de los árboles, mejora del suelo, manejo, crecimiento de los árboles, conservación de bosques, barrera rompeviento, aporte de oxígeno, valor ambiental, aporte de nitrógeno, asistencia técnica); el grupo 2: (daños en los árboles, pisoteo animal, bienestar animal, madera, corredores biológicos, especies, diseño agroforestal, creencia sobre los árboles, corteza de los árboles, ceba, paisaje y sombrio) y el grupo 3 donde se muestran conceptos más asociados al efecto sombra: (densidad de los árboles, microclima, aporte de nutrientes, duración de los beneficios, confort animal, crecimiento del pasto bajo los árboles, forrajes, bienestar humano, pérdida de humedad del suelo).

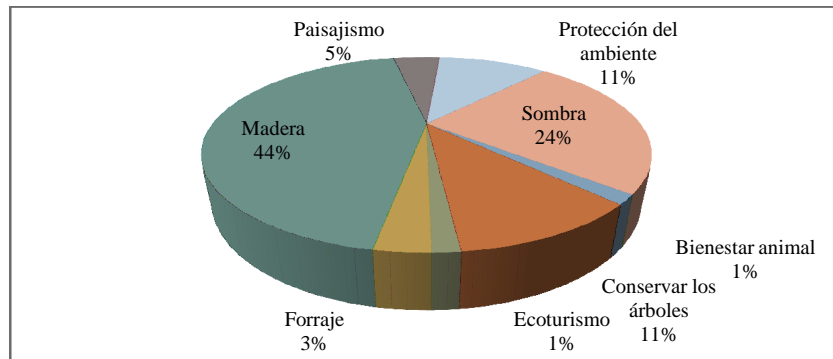
Figura 28. Dendrograma de agrupación para los beneficios de los árboles



12.3.2.3 Percepción sobre los productos de los árboles.

Finalmente, a la pregunta *¿Qué productos espera obtener de esos árboles?*, los productores ganaderos identifican como principales productos de los árboles el sombrío 23% y la madera como una opción a futuro tanto para consumo doméstico como para comercialización 44%. Esto se puede observar en la figura 29.

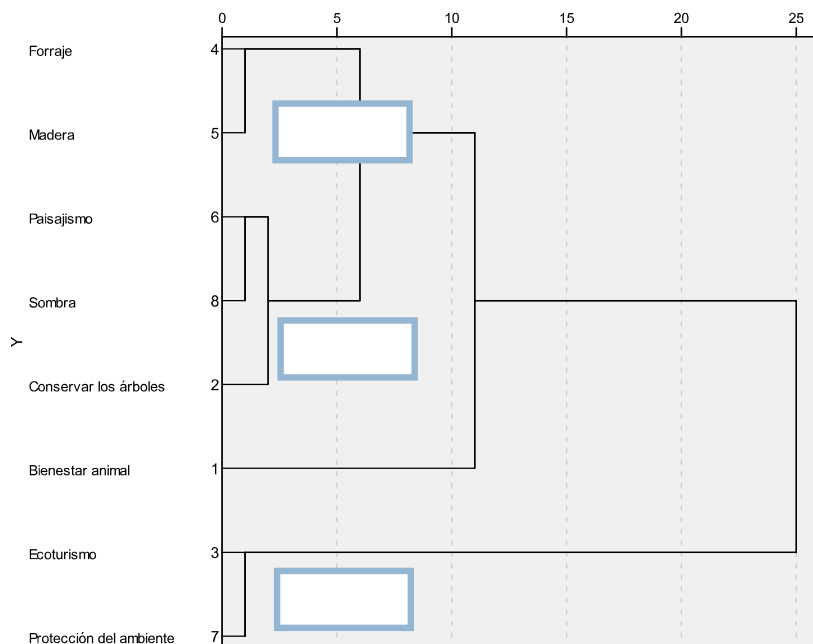
Figura 29. Categorías sobre los productos de los árboles



Uno de los principales productos de los árboles en los sistemas silvopastoriles y sobre el cual se refieren con mayor frecuencia los productores es el sombrío 24%, a este concepto se le relacionan otros muy acordes con el bienestar del ganado, como son la mejora general de la condición del ganado, una mejor asimilación del alimento y por tanto un aumento en el peso y la reducción del tiempos de ceba.

En la figura 30, se muestra la clasificación por conglomerados respecto a los productos esperados de los árboles, fueron identificados tres grupos, el grupo 1: (forraje y madera); el grupo 2: (conservar los árboles, forraje, sombra, paisajismo, bienestar animal) y el grupo 3: (Ecoturismo, protección del ambiente).

Figura 30. Dendrograma de agrupación para los productos esperados de los árboles



12.4 OBJETIVO 4. ESTRATEGIAS Y OPCIONES DE MANEJO SILVICULTURAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL Y PECUARIO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.

Las opciones y estrategias de manejo de la productividad forestal en arreglos silvopastoriles se basa en el principio de garantizar el máximo aprovechamiento del potencial de las especies incorporadas para el beneficio del productor, siendo en lo fundamental el crecimiento expresado en volumen ($m^3 ha^{-1}$) de las especies forestales, la cantidad y calidad de pastura por manejo de un umbral máximo de sombra.

Con el programa SEXI-FS 2.1.0, se simulo el crecimiento en volumen ($m^3 ha^{-1}$) y sombra en porcentaje del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) bajo arreglos silvopastoriles, considerando la edad actual 6 años y las proyecciones a 15, 25 y 30 años de edad.

Los árboles de cada arreglo silvopastoril son posicionados por el simulador utilizando coordenadas x, y, z, de tal manera que cada individuo queda referenciado al lugar que ocupa en el lote de terreno con sus características de altitud, generando así, una vista horizontal, la proyección de sombra para cada edad y un perfil 3D.

Para la proyección de sombra, el tamaño de la parcela de simulación corresponde al área de cada arreglo silvopastoril en campo, sin embargo los datos de proyección en DAP, Altura total, Volumen total en pie, incremento medio anual y producción de forraje, son reportados por hectárea.

12.4.1 Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*)

Los resultados de la proyección del crecimiento de acacia (*A. mangium*) en DAP_{1,30} (cm) y Altura total HT (m), su productividad en volumen (m³ ha⁻¹), incremento medio anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹), sombra en porcentaje y producción de forraje (kg ha⁻¹), en el arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*), se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Proyección del crecimiento de acacia (*A. mangium*) en arreglo silvopastoril

Variable	Edad (años)				Ecuación	R ²
	6 (actual)	15	25	30		
DAP (cm)	14.44	26.76	37.56	43.20	y = 17,686ln(x) - 19,64	0,9771
Altura total (m)	8.51	11.23	13.10	13.97	y = 3,2916ln(x) + 2,4704	0,9936
Volumen total en pie (m ³ ha ⁻¹)	4.57	19.04	43.39	61.00	y = 0,0413x ² + 1,1502x + 3,6313	0,9998
IMA (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	0.76	1.27	1.74	1.93	y = 0,712ln(x) - 0,5825	0,9656
Rangos de sombra (%)	10-30	10-40	20-60	20-60		

12.4.1.1 Proyección del crecimiento

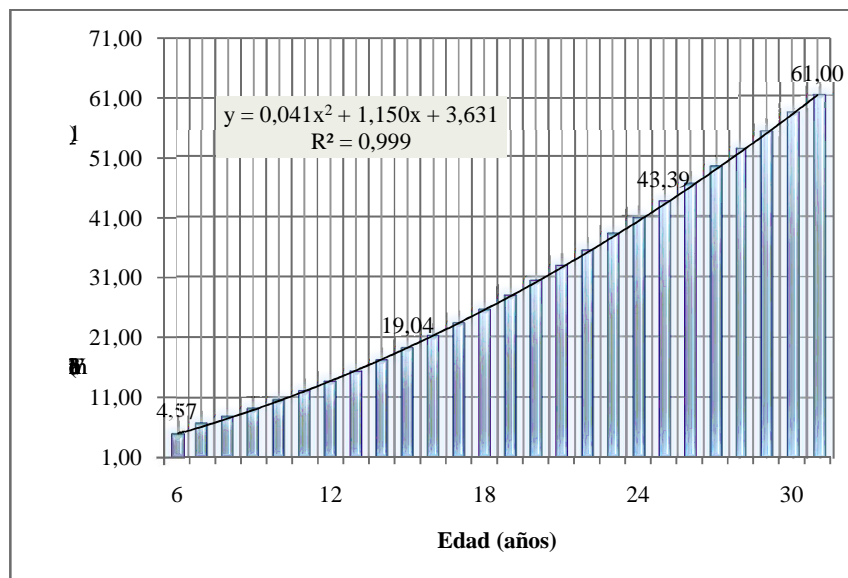
Se presenta la proyección del crecimiento en volumen total en pie (m³ha⁻¹) y en el incremento medio anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹) del componente forestal acacia (*A. mangium*) en arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*).

a. Volumen total en pie (m³ ha⁻¹)

La proyección en volumen total en pie (m³ha⁻¹) para acacia (*A. mangium*) en arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*)se presenta en la figura 31, donde se puede observar que a la edad de 30 años esta especie alcanzará un volumen de 61 m³ ha⁻¹, a 25 años 43.39 m³ ha⁻¹, a 15 años 19.04 m³ ha⁻¹ y en la edad actual 6 años 4.57 m³ ha⁻¹.

El incremento total en volumen es de 56.43 m³. La ecuación es Y = 0,0413x² + 1,1502x + 3,6313 con un ajuste R²= 0,9998.

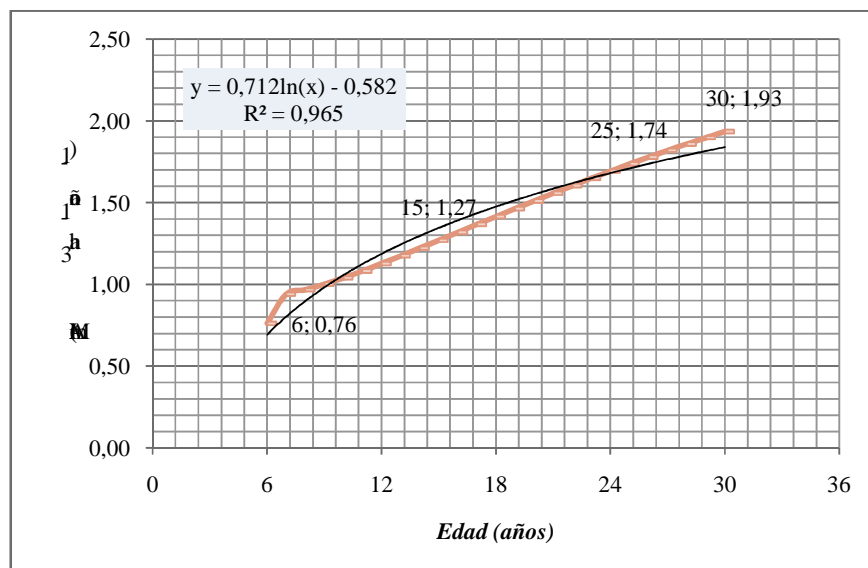
Figura 31. Proyección del volumen total ($m^3 ha^{-1}$) de acacia (*A. mangium*)



b. Incremento medio anual. (IMA $m^3 ha^{-1} año^{-1}$)

El incremento medio anual para cada una de las edades de proyección se muestra en la figura 32, a la edad actual 6 es de $0.76 m^3 ha^{-1} año^{-1}$, a los 15 años $1.27 m^3 ha^{-1} año^{-1}$, a los 25 años $1.74 m^3 ha^{-1} año^{-1}$ y a los 30 años $1.93 m^3 ha^{-1} año^{-1}$. La ecuación que explica la proyección es de tipo logarítmica $Y = 0,712\ln(x) - 0,5825$ y su ajuste R^2 es 0.9656.

Figura 32. Proyección del incremento medio anual IMA ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) de acacia (*A. mangium*)



12.4.1.2 Proyección de la sombra

Para el arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*) las edades de 6, 15, 25 y 30 años, en la figura 33 se puede observar la vista en el plano de localización de los árboles, la proyección de sombra y la vista en perfil 3D.

La situación actual (6 años), la sombra se distribuye en tres sectores, en el sector I: 10% de sombra, el sector II 20% y el sector III con 30%. (Ver figura 33 a)

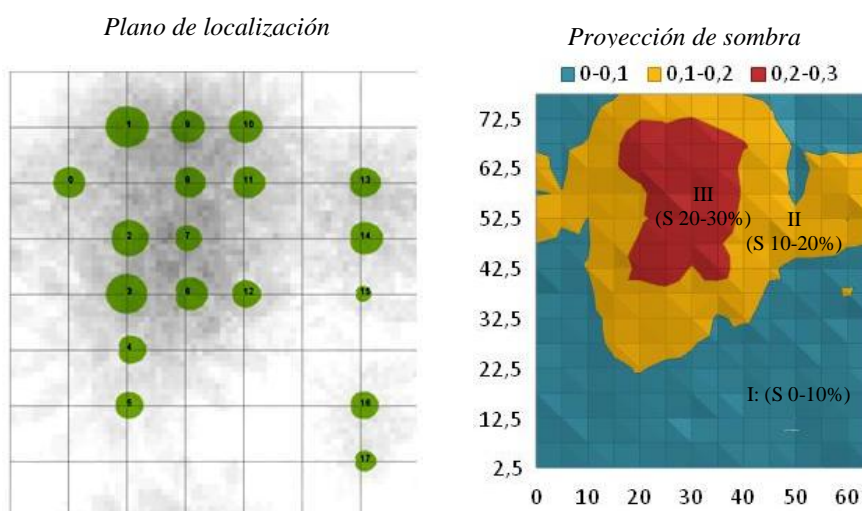
A la edad de 15 años pueden identificarse cuatro sectores de sombra (Ver figura 33 b). El sector I: con un 10% de sombra, el sector II y III con 20% y 30% de sombra respectivamente, siendo los de mayor proporción en el terreno y el sector IV donde la sombra ya se encuentra en un 40%.

La sombra continuará aumentando en el arreglo y en la edad 25 años (Ver figura 33 c), se encuentran tres sectores de sombra, el sector I: 20%, el sector II: 20 - 40% siendo el predominante en el terreno y el sector III con sombra entre el 40 y 60%.

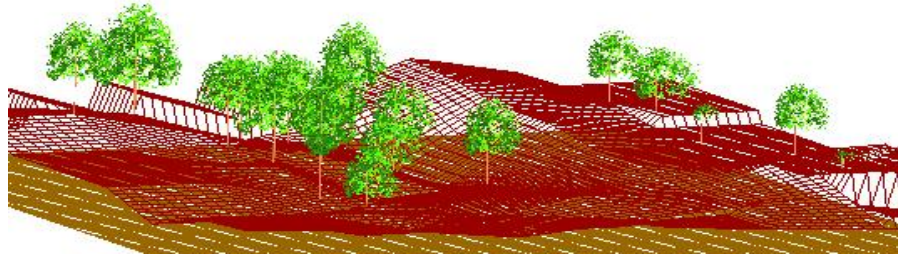
A la edad de 30 años, predominará la sombra entre el 20 y 40% y en el centro del arreglo existirá un sector de sombra hasta el 60%. (Ver figura 33 d).

Figura 33. Proyección de sombra para el arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*)
(a. Actual 6 años, b. 15 años, c. 25 años y d. 30 años)

a. Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*) // (*B. decumbens*) Edad= 6 años

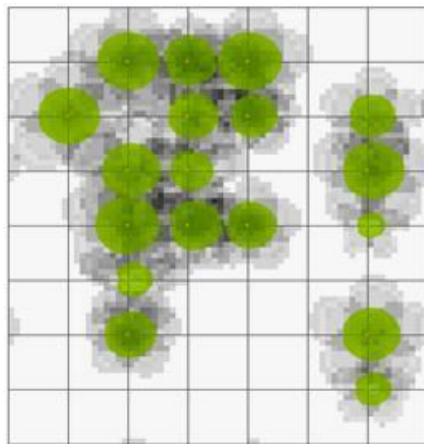


Perfil 3D

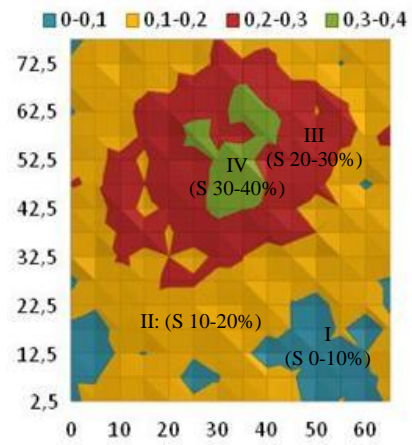


b. Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*)/(*B. decumbens*) Edad= 15 años

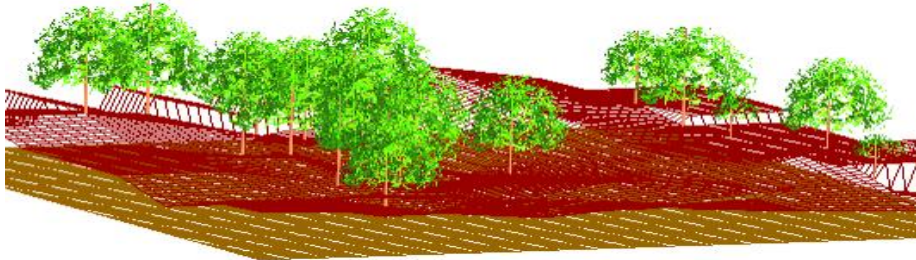
Plano de localización



Proyección de sombra

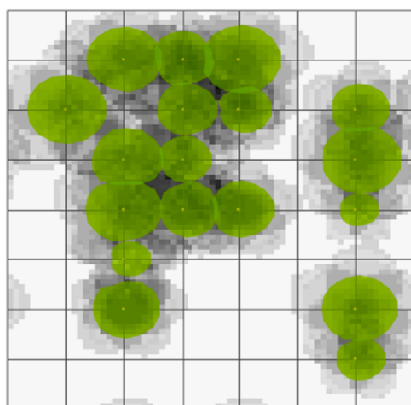


Perfil 3D

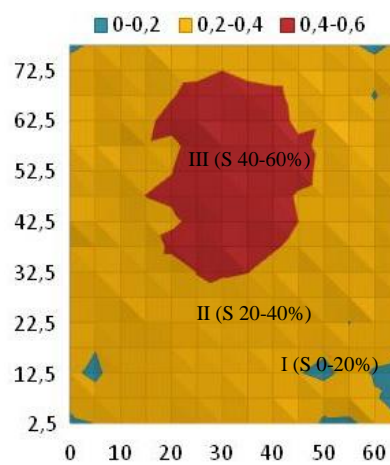


c. Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*)/(*B. decumbens*) Edad= 25 años

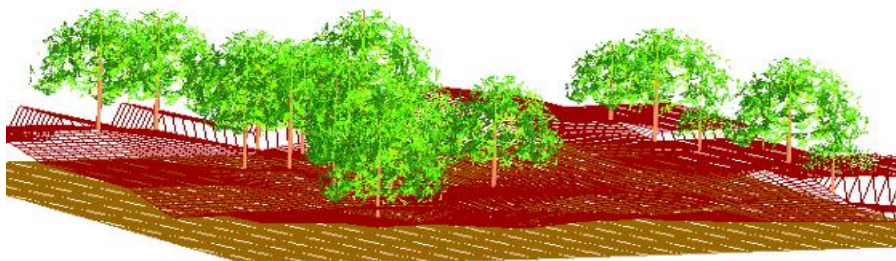
Plano de localización



Proyección de sombra

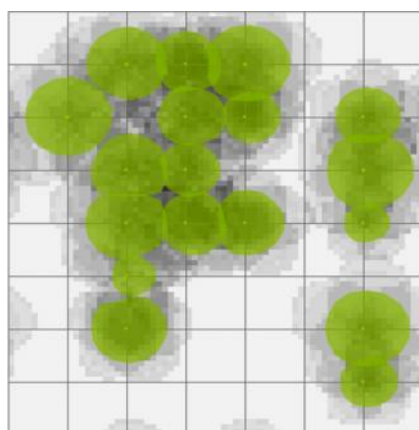


Perfil 3D

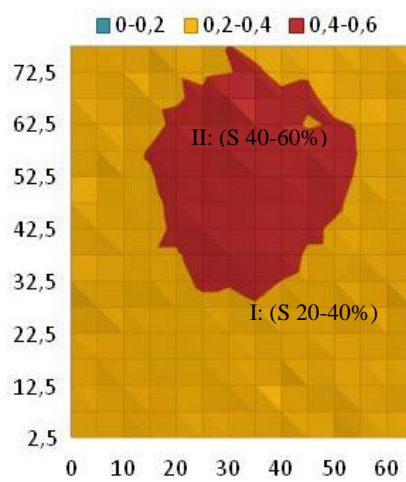


d. Arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*)/(*B. decumbens*)Edad= 30 años

Plano de localización



Proyección de sombra



Perfil 3D

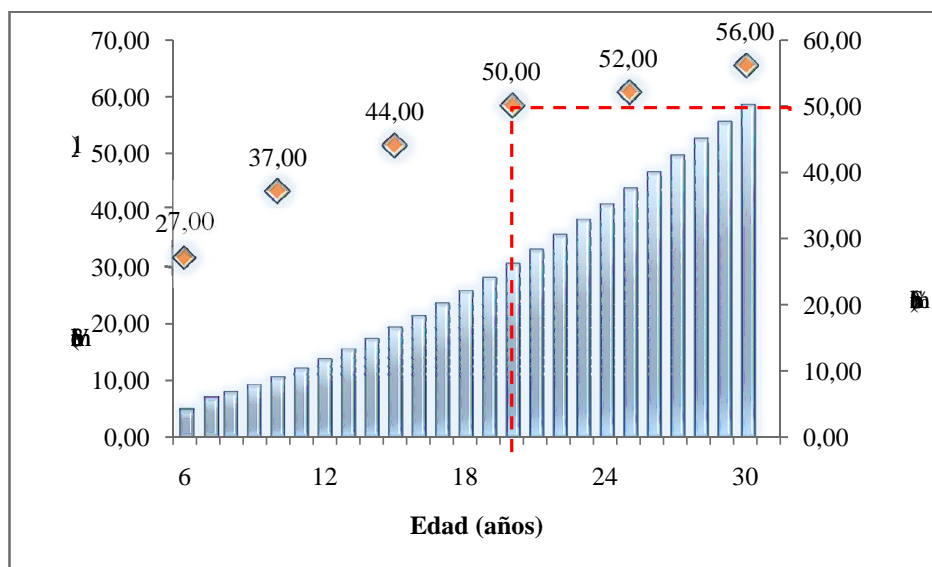


12.4.1.3 Estrategias de manejo del componente forestal acacia (*A. mangium*) bajo arreglo silvopastoril

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis del efecto sombra de acacia (*A. mangium*) en la cantidad y calidad de forraje de (*B. decumbens*), los mejores resultados fueron para un porcentaje de sombra del 50%. De esta manera la productividad del arreglo silvopastoril estaría determinada por garantizar este umbral máximo de sombra y la edad de manejo del componente forestal.

La figura 34 muestra los porcentajes de sombra y productividad en volumen ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) para el arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*). En la que se señala con una línea roja, el valor de 50% de sombra como el umbral máximo en el que se debería manejar el sistema, el cual corresponde a la edad de 20 años, en esta edad el componente forestal a alcanzado un DAP de 32.38 cm, una altura total HT (cm) de 12.24 m, un volumen total en pie de $30.20 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, incremento medio anual de volumen de $1.51 (\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{año}^{-1})$ y una producción de forraje verde de 3800 kg ha^{-1} , equivalente a 1100 kg ha^{-1} de forraje seco.

Figura 34. Optimo de manejo del arreglo silvopastoril acacia (*A. mangium*)



Para las demás edades hasta el año 20, es necesario considerar los planos de proyección de sombra (Ver figuras 33 a y 33 b), para realizar el manejo individual de los árboles mediante tratamientos de poda y garantizar mantener el umbral de sombra en un 50%. De la misma manera, es importante considerar aumentar el número de árboles en los primeros años, pues la proyección de sombra indica que está densidad es muy baja para el umbral estimado, ya que en el estado actual el arreglo silvopastoril tan solo alcanza un 30% de sombra.

12.4.2 Arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*)

Los resultados de la proyección del crecimiento de melina (*G. arbórea*) en DAP_{1.30} (cm) y Altura total HT (m), su productividad en volumen total en pie ($m^3 ha^{-1}$), incremento medio anual ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$), sombra en porcentaje y producción de forraje ($kg ha^{-1}$) en arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*), se muestran en la tabla 29.

Tabla 29. Proyección del crecimiento de melina (*G. arbórea*) en arreglo silvopastoril

Variable	Edad				Ecuación	R ²
	6 (actual)	15	25	30		
DAP (cm)	10.06	25.15	39.00	44.70	$y = 21,965\ln(x) - 32,344$	0,9774
Altura total (m)	5.77	9.15	11.48	12.27	$y = 3,9983\ln(x) - 1,4412$	0,9946
Volumen total en pie ($m^3 ha^{-1}$)	1.93	15.99	45.53	62.27	$y = 0,063x^2 // 0,9035x + 0,9383$	0,9998
IMA ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$)	0.32	1.07	1.78	2.08	$y = 1,1069\ln(x) - 1,8226$	0,9706
Rango de sombra (%)	5-20	10-50	20-60	20-60		

12.4.2.1 Proyección del crecimiento

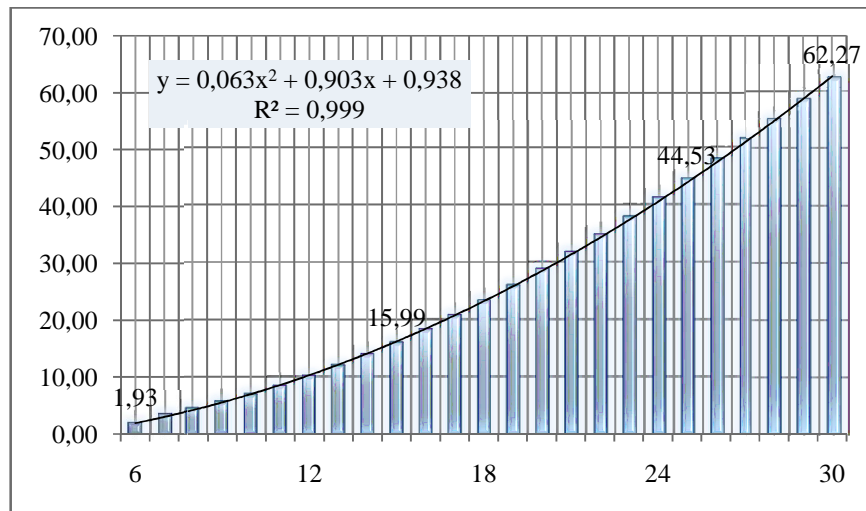
Se presenta la proyección del crecimiento en volumen total en pie (m^3ha^{-1}) y en el incremento medio anual ($\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) del componente forestal melina (*G. arbórea*) en arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*) para las edades de 6 (actual), 15, 25 y 30 años.

a. Volumen total en pie (m^3ha^{-1})

La proyección del volumen total en pie (m^3ha^{-1}) del componente forestal melina (*G. arbórea*) en arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*), se muestra en la figura 35, donde se señala la productividad para cada una de las edades y la ecuación de volumen. De esta manera en la edad de 30 años puede esperarse una producción de $62.27\text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, a los 25 años $44.53\text{ m}^3\text{ha}^{-1}$, para los 15 años $15.99\text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ y en la edad actual 6 años $1.93\text{ m}^3\text{ha}^{-1}$.

El incremento total en volumen es de 60.34 m^3 que corresponde a $2.41\text{ m}^3\text{año}^{-1}$. La ecuación polinómica para el crecimiento en volumen total es $Y=0,063x^2+0,9035x+0,9383$ con un ajuste R^2 0,9998.

Figura 35. Proyección del volumen total en pie (m^3ha^{-1}) de melina (*G. arbórea*)

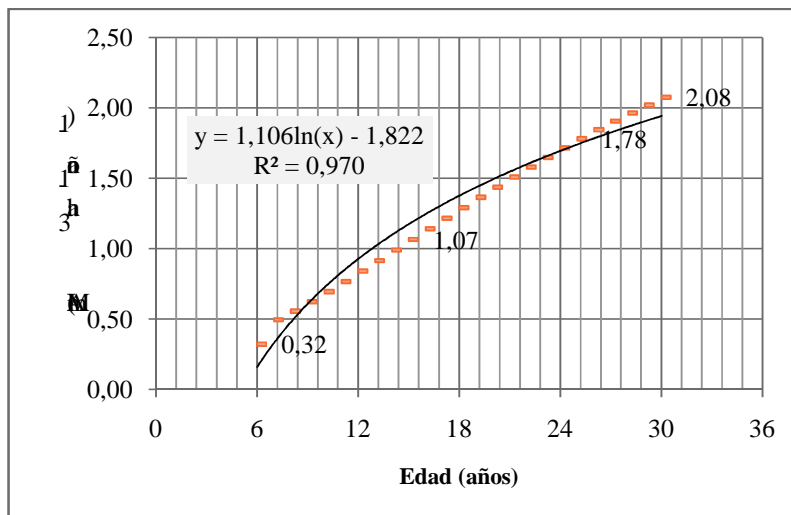


b. Incremento medio anual ($\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$)

El incremento medio anual ($\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) para el arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) corresponde a la edad de 6 años a $0.32\text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ llegando a la edad de 30 años a $2.08\text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. La figura 36

muestra estos resultados y la ecuación de tipo logarítmica $Y = 1,1069\ln(x) - 1,8226$ con un $R^2 = 0,9706$.

Figura 36. Proyección del incremento medio anual IMA ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$) de melina (*G. arbórea*)



12.4.2.2 Proyección de la sombra

La proyección de sombra para el arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*) para las edades de 6 (actual), 15, 25 y 30 años se puede observar en la figura 37.

La sombra en la situación actual (6 años de edad), se distribuye en 4 sectores (Ver figura 37 a), el sector I con un porcentaje de sombra hasta el 5%, el sector II entre el 5 y el 10%, el cual ocupa la mayor área dentro del arreglo, el sector III con 10 y 15% en la región central del terreno junto al sector IV: con 20% de sombra.

En la proyección 15 años, se observa como el porcentaje de sombra aumenta (Ver figura 37 b) y se encuentran 5 sectores de sombra, el sector I: 10% es ahora el de menor proporción en el arreglo, el sector II: 10-20% se encuentra en la zona límite, el sector III: 20-30% es el de mayor extensión, los sectores IV: 30-40% y V: 40-50% se encuentra en la región central del arreglo.

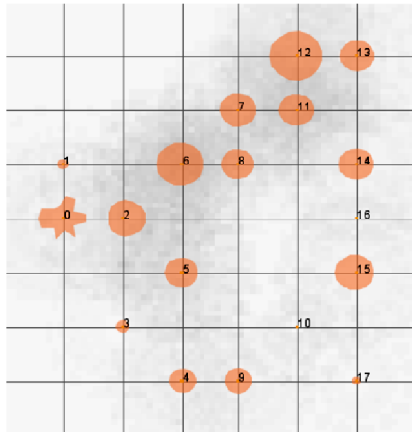
En las edades 25 (Ver figura 37 c) existen tres sectores de sombra el sector I hasta un 20%, el sector II: 20-40% que es el de mayor extensión en el arreglo y el sector II: 40-60% de sombra en la zona central.

A los 30 años el sector III: 40-60% de sombra aumenta en la región central y la mayor parte del área estaría bajo una sombra entre el 20-40%.

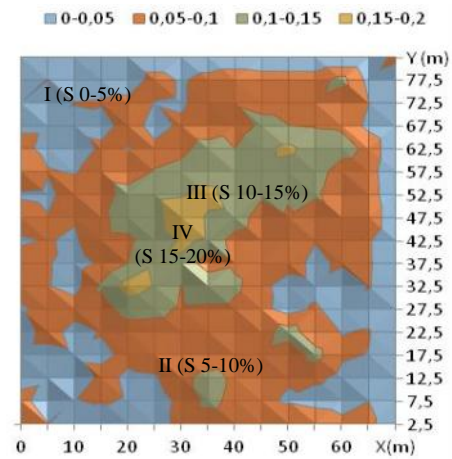
Figura 37. Proyección de sombra para el arreglo silvopastoril *G. arbórea* // (*B. decumbens*)
(a. Actual 6 años, b. 15 años, c. 25 años y d. 30 años)

a. Arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*) Edad= 6 años

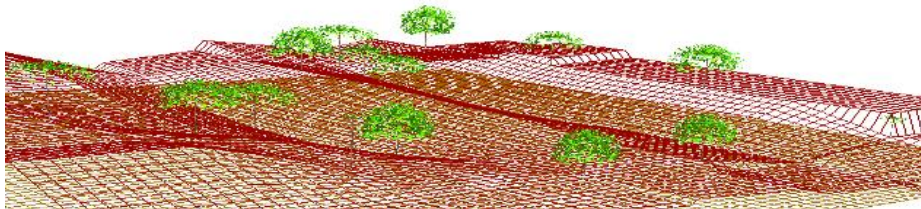
Plano de localización



Proyección de sombra

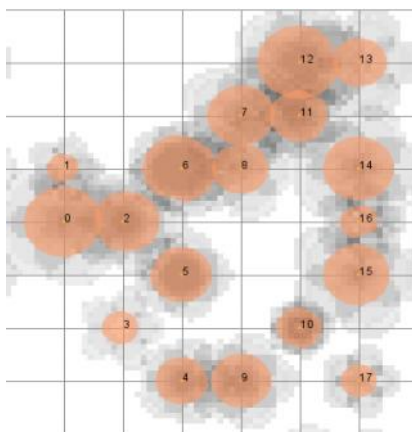


Perfil 3 D

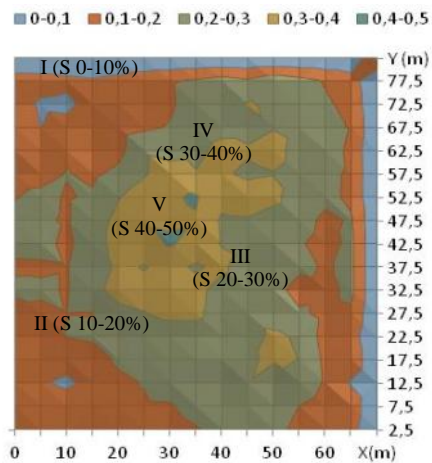


b. Arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*) Edad= 15 años

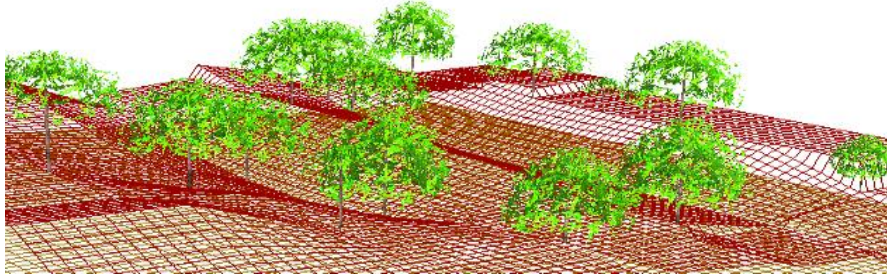
Plano de localización



Proyección de sombra

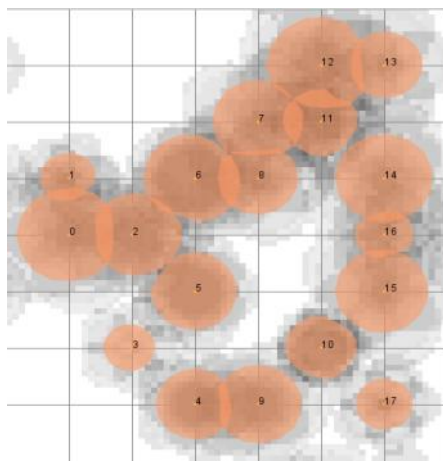


Perfil 3D

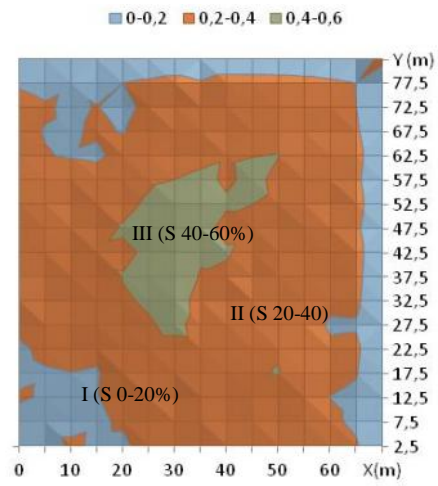


c. Arreglo silvopastoril *melina* (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*) Edad= 25 años

Plano de localización



Proyección de sombra

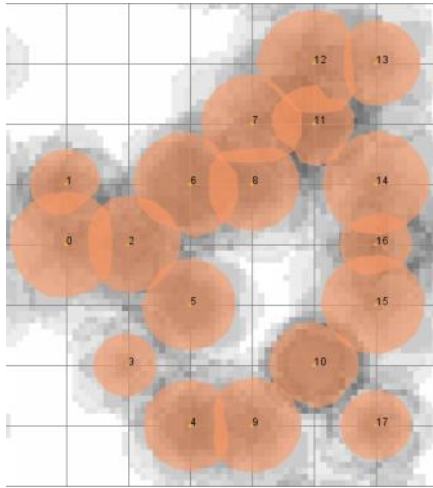


Perfil 3D

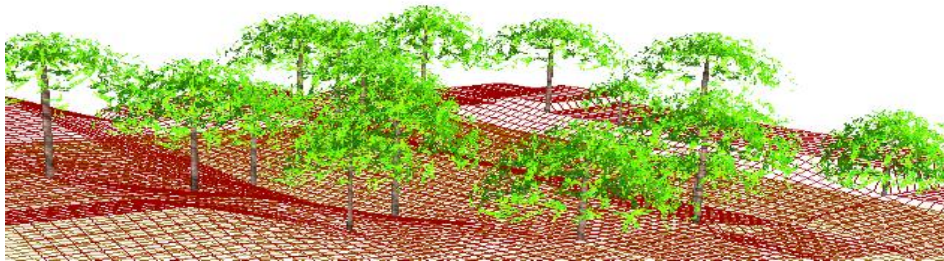


d. Arreglo silvopastoril *melina* (*G. arbórea*) // (*B. decumbens*) Edad= 30 años

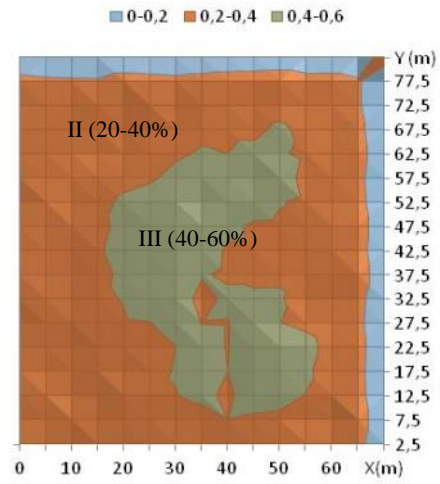
Plano de localización



Perfil 3D



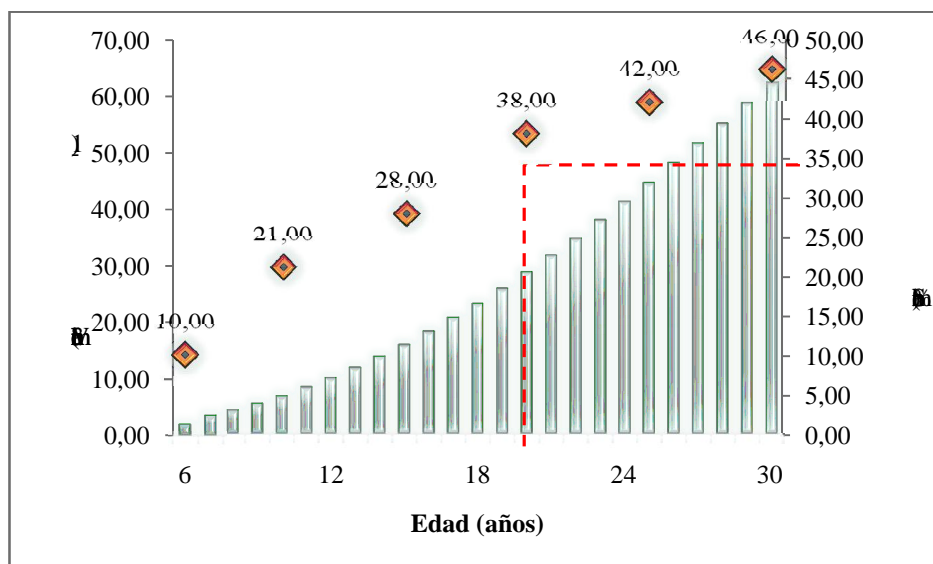
Proyección de sombra



12.4.2.3 Estrategias de manejo del componente forestal melina (*G. arbórea*) bajo arreglo silvopastoril

Según los resultados obtenidos en la evaluación del efecto sombra en la cantidad y calidad de pastura de (*B. decumbens*), se encontró que los mejores resultados corresponden a un porcentaje de sombra de 35 %. Es así como en la figura 38 se señala con línea roja, el umbral máximo sombra para el sistema y se considera el incremento en volumen del componente forestal.

Figura 38. Optimo de manejo de sombra en el sistema melina (*G. arbórea*)



En el escenario de manejo de sombra corresponde a la edad de 20 años, el componente forestal melina (*G. arbórea*) tiene un DAP promedio de 32.64 cm, una altura total de 10.56 m y un volumen total de 28.75 m³ha⁻¹, el incremento medio anual de 1.44 m³ha⁻¹ año⁻¹ y el promedio de producción de forraje verde 4200 kg ha⁻¹ equivalente a 900 kg ha⁻¹ de forraje seco.

En el estado actual el arreglo silvopastoril no alcanza sino un 20% de sombra promedio tal como se puede apreciar en el plano de proyección de sombra para cada edad. (Figura 37). Igualmente después de la edad de 20 años la sombra está por encima del 40%.

12.4.3 Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) //(*B. decumbens*)

Los resultados de la proyección del crecimiento de yopo (*A. peregrina*) en DAP_{1,30} (cm) y Altura total HT (m), su productividad en volumen total en pie (m³ ha⁻¹) e incremento medio anual (m³ ha⁻¹ año⁻¹), sombra en porcentaje, en arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*), se muestran en la tabla 30.

Tabla 30. Proyección del crecimiento de yopo (*A. peregrina*) en arreglo silvopastoril

Variable	Edad				Ecuación	R ²
	6	15	25	30		
DAP (cm)	7.32	24.12	37.45	42.62	y = 22,25ln(x) - 34,692	0,9875
Altura total (m)	7.47	11.81	14.32	15.23	y = 4,764ln(x) - 1,0435	0,9961
Volumen total en pie (m ³ ha ⁻¹)	2.77	43.18	125.84	173.48	y = 0,1642x ² + 3,0458x - 2,2575	0,9992
IMA (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	0.46	2.88	5.03	5.78	y = 4,764ln(x) - 1,0435	0,9961
Sombra (%)	10-30	20-60	20-80	20-80		

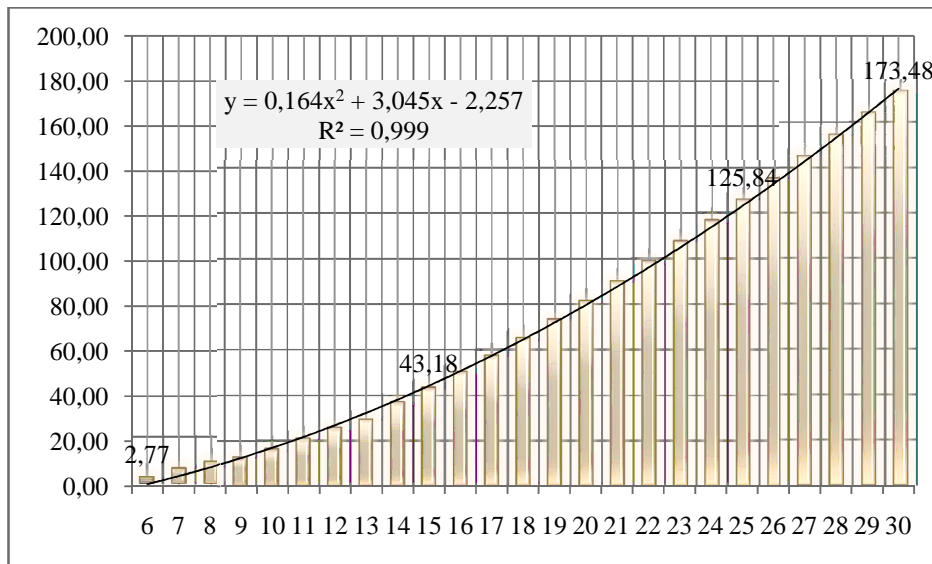
12.4.3.1 Proyección de crecimiento

a. Volumen total en pie ($m^3 ha^{-1}$)

La productividad en volumen total en pie para el componente yopo (*A. peregrina*) en arreglo silvopastoril con (*B. decumbens*) se muestra en la figura 39. En la edad de 30 años se obtiene un volumen de $173.48 m^3 ha^{-1}$, a la edad de 25 años $125.84 m^3 ha^{-1}$, a los 15 años $43.18 m^3 ha^{-1}$ y a la edad actual 6 años $2.77 m^3 ha^{-1}$

La ecuación de proyección de volumen es de tipo polinómica de segundo grado en función de la edad $Y = 0,1642x^2 + 3,0458x - 2,2575$ con $R^2 = 0,9992$. La producción total de volumen para los de proyección sera de $170.71 m^3 ha^{-1}$

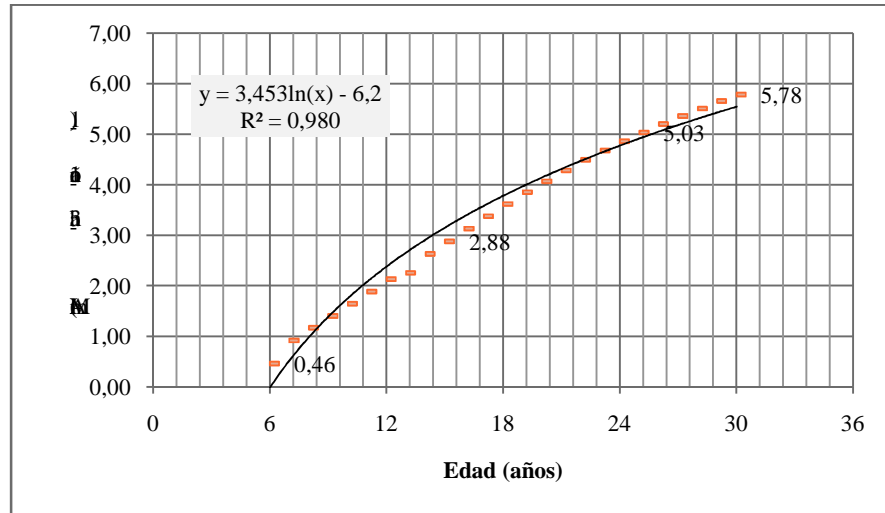
Figura 39. Proyección del volumen total en pie ($m^3 ha^{-1}$) de yopo (*A. peregrina*) bajo arreglo silvopastoril



b. Incremento medio anual ($m^3 ha^{-1} año^{-1}$)

El arreglo silvopastoril de yopo (*A. peregrina*) tiene a la edad de 6 años un incremento medio anual de $0.46 m^3 ha^{-1} año^{-1}$ que aumenta en cada una de las edades de proyección hasta llegar al año 30 con $5.78 m^3 ha^{-1} año^{-1}$. Ver figura 40

Figura 40. Incremento medio anual IMA (m3 ha-1 año-1) de yopo (*A. peregrina*)



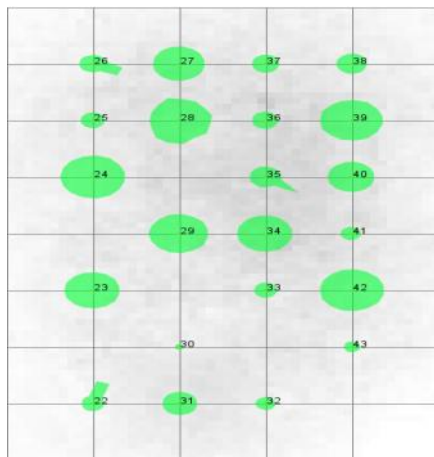
12.4.3.2 Proyección de sombra

Las proyecciones de sombra del sistema silvopastoril yopo (*A. peregrina*) se muestran en la figura 41, donde puede observarse que en este sistema el número de árboles es mayor y por lo tanto la distribución de la sombra es mas uniforme, los árboles tienen copas regulares y rápidamente comienza la competencia por espacio entre ellos.

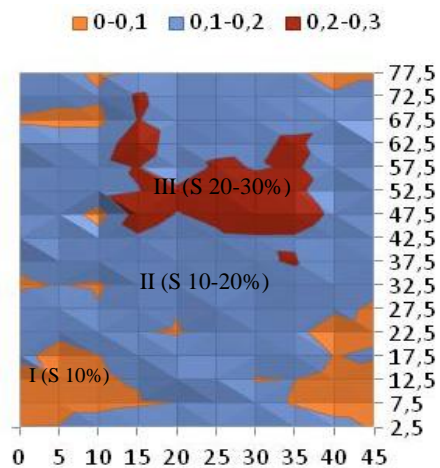
Figura 41. Proyección de sombra para el arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*)
(a. Actual 6 años, b. 15 años, c. 25 años y d. 30 años)

a. Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) Edad= Actual 6 años

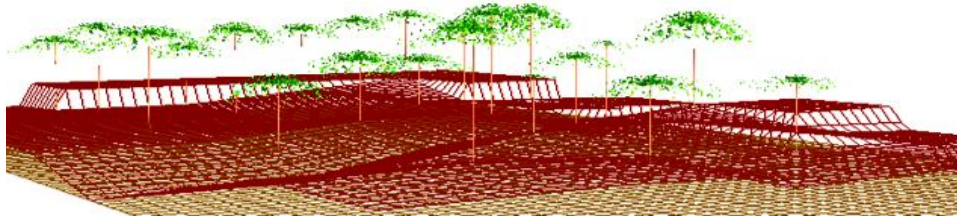
Plano de localización



Proyección de sombra



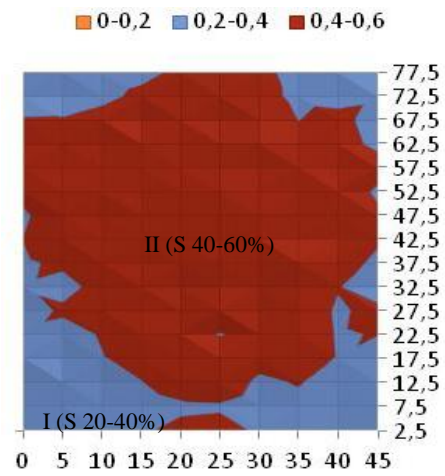
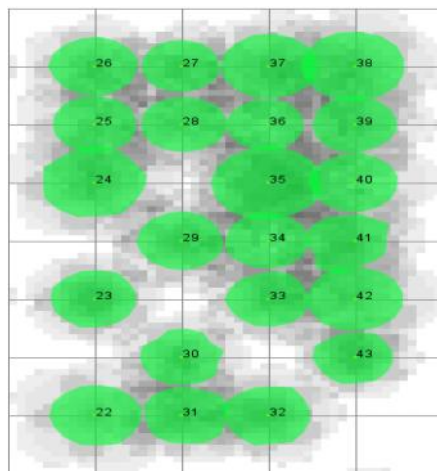
Perfil 3D



b. Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) Edad= 15 años

Plano de localización

Proyección de sombra

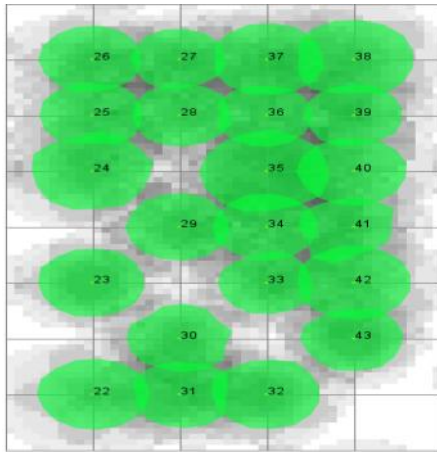


Perfil 3D

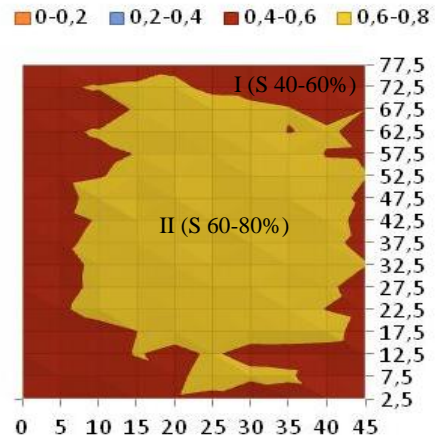


c. Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) Edad= 25 años

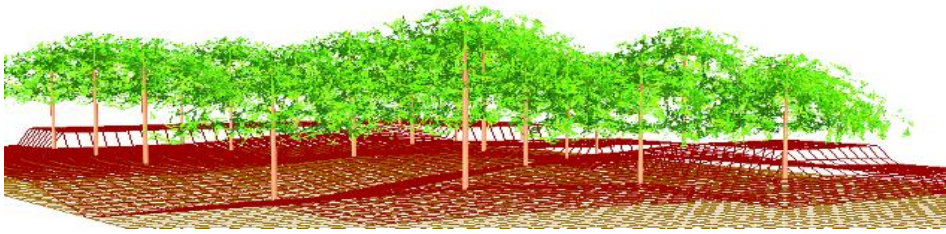
Plano de localización



Proyección de sombra

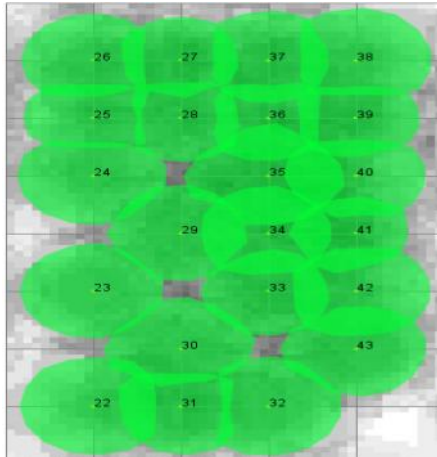


Perfil 3D

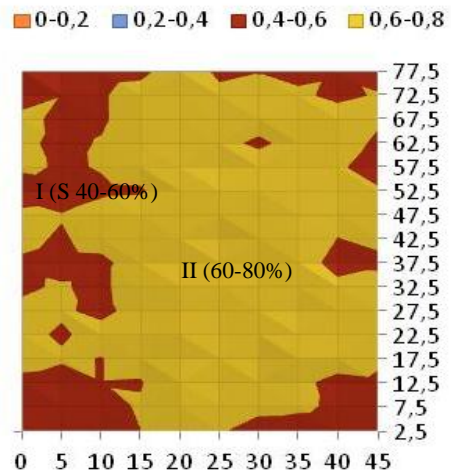


d. Arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) Edad= 30 años

Plano de localización



Proyección de sombra



Perfil 3D



En la edad actual 6 años, se pueden observar 3 sectores de sombra (Ver figura 41 a), el sector I: 10% de sombra, el sector II: 10-20% de sombra, siendo el de mayor extensión en el arreglo y el sector III: 20-30% localizada en la parte superior del terreno.

Luego en la edad 15 años se ha duplicado la sombra (Ver figura 41 b) encontrándose 2 sectores el sector I con sombra entre el 20 y 40% y el sector II: con 40-60% de sombra siendo este último el de mayor extensión en el arreglo silvopastoril.

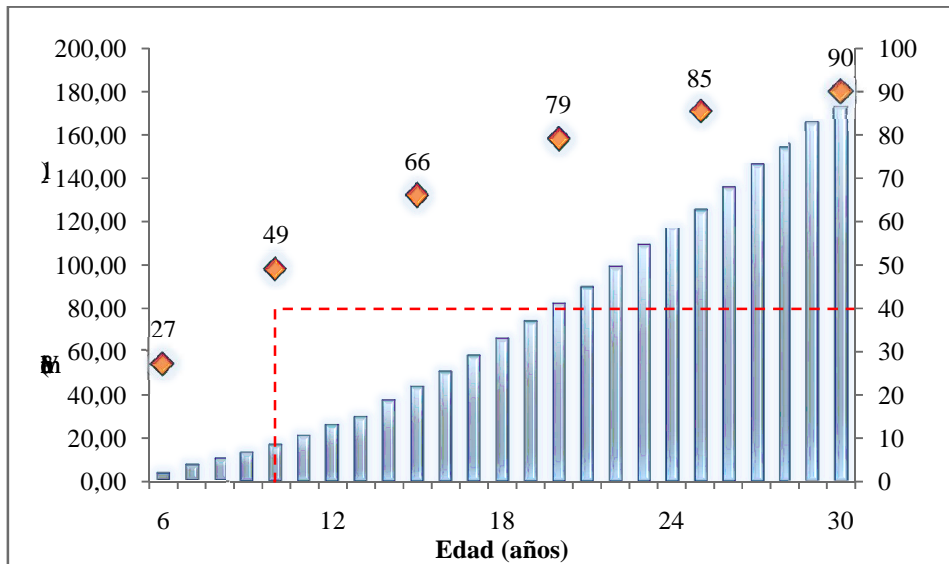
Para las edad de 25 y 30 años (Ver figura 41 c y 41 d) se encuentran 2 sectores de sombra el primer sector con 40 y 60% y el sector II de mayor extensión en el arreglo correspondiente a 60 y 80% de sombra.

12.4.3.3 Estrategias de manejo del componente forestal yopo (*A. peregrina*) bajo arreglo silvopastoril

Como se ha visto hasta ahora, el componente yopo (*A. peregrina*) bajo sistema silvopastoril genera en poco tiempo un alto porcentaje de sombra, esto también se analizó en la relación árbol-pastura en la cantidad y calidad de (*B. decumbens*), apartado donde se logró identificar que el umbral máximo de sombra para este arreglo corresponde a 40%.

De esta manera es importante considerar la edad de manejo de esta condición y las características que tendrían los árboles en este escenario, en la figura 42 se indica con la línea roja, el porcentaje de sombra, su referencia a la edad y a la productividad en volumen del sistema.

Figura 42. Optimo de manejo de sombra de yopo (*A. peregrina*) bajo arreglo silvopastoril



Tal como se observa en la figura 42, la edad en que el arreglo silvopastoril llega a su umbral sombra es a los 10 años, a esta edad yopo (*A. peregrina*) cuenta con un DAP de 16.04 cm, una altura total de 10.02 m, volumen total en pie de 16.42 m³ ha⁻¹, el incremento medio anual será de 4.07 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y la producción de forraje verde y seco de *B. decumben* será 2600 kg ha⁻¹ y 800 kg ha⁻¹ respectivamente.

En el escenario actual, correspondiente a la edad de 6 años la sombra está por debajo del umbral máximo de sombra, solamente alcanzando en algunos sectores del plano de sombra el 30%.

13 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

13.1 OBJETIVO 1. DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) BAJO PLANTACIÓN FORESTAL Y SISTEMA SILVOPASTORIL DE ÁRBOLES DISPERSOS.

La productividad del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) es mayor en el sistema plantación que bajo los distintos arreglos silvopastoriles. Los resultados de evaluación del componente forestal en relación a las características dasométricas plantación y sistema silvopastoril, muestran la posible respuesta de los árboles al espaciamiento o densidad según lo señalado por (Gadow y otros, 2007).

Los mayores resultados para DAP, Altura total (HT), Altura comercial (HCOM) a la edad de seis años, se dan para el sistema de plantación forestal destacándose la especie acacia (*A. mangium*), resultados similares sobre el crecimiento de esta especie, son reportados por (CATIE, 1992) y los cuales corresponden a los rendimientos para calidad de sitio medio.

Los resultados de DAP encontrados para los sistemas plantación y silvopastoril, para la especie acacia (*A. mangium*) concuerdan con su característica de alto crecimiento diametral en la etapa juvenil tal como lo señala (Darus y Amad. 1991 Citado por CATIE, 1992), lo que puede explicar su comportamiento sobresaliente en relación con las especies melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*).

Estas observaciones encontradas pueden ser indicio sobre la necesidad de adoptar como norma fundamental de manejo silvicultural a edades tempranas, para garantizar una mayor productividad forestal.

Los resultados de DAP 12.32 y Altura total (HT) 11.73 m de melina (*G. arbórea*) en plantación forestal, muestran un rendimiento correspondiente para calidades de sitio bajo (Rojas *et. al*, 2011). Este mismo comportamiento se da para yopo (*A. peregrina*) especie que en plantación alcanzó 7.11 cm de DAP y 9.78 m de altura total (HT). Las citadas especies en sus respectivos arreglos silvopastoriles mostraron rendimientos menores aún.

En sistemas silvopastoriles el diámetro promedio de copa (DPC) es mayor, con lo que puede indicar que en estos sistemas, aumenta la longitud de copa verde (LCV) y existe una reducción de la longitud del fuste, esto coincide con lo descrito por (Giraldo, 1996) y (Fassola y otros, 2001). Puede explicarse este comportamiento, posiblemente a la mayor cantidad de espacio vital de los árboles, lo que genera una menor exclusión competitiva por espacio.

Los resultados obtenidos destacan al arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*)/(*B. decumbens*), con el mayor diámetro promedio de copas (DPC) 8.07 m, lo cual acorde a (Colombet *et. al*, 2009), quién indica que las bajas densidades en estos sistemas, generan una mayor proporción de copa para los árboles, con lo que se hace necesario considerar labores manejo silvicultural para garantizar un óptimo efecto sombra sobre el pasto.

De igual manera los resultados obtenidos respecto a la menor altura total en los sistemas silvopastoriles, concuerda con lo descrito por Fassola y otros (2004); quienes señalan la existencia de menor altura en los individuos cuando son plantados en densidades bajas.

La calidad forestal de manera general para los sistemas de plantación y silvopastoril es baja, encontrándose afectaciones por la inclinación del fuste, bifurcación, daños y problemas fitosanitarios; el arreglo silvopastoril de melina (*G. arbórea*) en sistema silvopastoril tiene la más baja calidad forestal, con un porcentaje de 88.89% de individuos con inclinación, 90.86% de árboles con bifurcación, daños presentes en el 94.44% de los árboles y problemas fitosanitarios en el 38.89% de los individuos.

Uno de las causas de la baja calidad forestal del arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) se debe a los posibles daños por ramoneo de corte en bisel, en el cual, los animales se alimentan del brote apical causando deformaciones en el tallo y como respuesta, los árboles generan numerosos brotes de tallo. Según Dodds (1997), citado por Martínez y otros (1999) este tipo de daño afecta el crecimiento en altura de los árboles, lo que puede explicar que el componente melina (*G. arbórea*) alcanzara tan solo 5.77 m, la menor altura entre todos los sistemas evaluados.

Lo anterior puede indicar que en el arreglo silvopastoril de melina (*G. arbórea*), exista una posible pérdida de su capacidad de crecimiento por los daños debidos al ramoneo. Según Martínez y otros (1999), es muy difícil que los árboles superen las pérdidas en crecimiento si los daños por ramoneo, se

efectúan en los primeros 10 años de edad, pues la pérdida de la copa pone en riesgo la sobrevivencia de los mismos, la producción de biomasa a través del tiempo.

Otro signo de daño por ramoneo en el componente melina (*G. arbórea*) en el arreglo silvopastoril, fueron las heridas del fuste, los animales se alimentan de la corteza dejando heridas, que posteriormente se infectan conformando canchales en el fuste, según lo define (Arguedas, 2006) este es una de las principales afectaciones sanitarias para la especie bajo silvopastoreo.

(CATIE, 1997) reporta para acacia (*A. mangium*) bifurcaciones del fuste entre el 14% al 63%, esto como respuesta a las condiciones limitantes de los sitios forestales o al excesivo distanciamiento. En los sistemas analizados, el porcentaje de bifurcación fue de 71.82% en plantación y 90,86% en silvopastoril.

Un hallazgo importante para resaltar con la especie yopo (*A. peregrina*) radica en que es la que presentó la mejor calidad forestal en los sistemas plantación y silvopastoril, y los menores porcentajes de mortalidad, 15% en plantación forestal y 21% en sistema silvopastoril. Sin embargo estos porcentajes están por encima del 10% considerado como mínimo de sobrevivencia y de seguridad del establecimiento forestal (Álvarez y Varona, 1988).

La baja calidad forestal señala una deficiencia en las labores de mantenimiento y manejo forestal en la plantación y en el sistema silvopastoril, lo que conlleva a una baja productividad, esto puede verse en la relación entre el volumen total y comercial en pie, puesto que solamente serían aprovechables en promedio el 25% del volumen total en cada uno de los sistemas. Existe la equivocada y generalizada idea, que la plantación de árboles puede ser de calidad sin prácticas de manejo algunas y el abandono total de los árboles. Esto trae como resultado una pérdida del potencial productivo.

La productividad en volumen $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, en sistema silvopastoril es muy bajo, acacia (*A. mangium*) $4.54 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$, melina (*G. arbórea*) $1.97 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ y yopo (*A. peregrina*) $2.78 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. Una revisión hecha por Ibrahim *et al.* (2013), sobre los beneficios del aprovechamiento maderable en sistemas silvopastoriles, reportan que el rendimiento potencial para estos sistemas puede llegar en promedio de $19,23 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$

El potencial de productos forestales en este estudio destaca a la especie acacia (*A. mangium*), tanto en plantación forestal como en sistema silvopastoril, debido a que los individuos, han alcanzado diámetros superiores en comparación con las otras especies forestales observadas.

La densidad es entonces un elemento esencial en cualquier decisión de establecimiento de sistemas silvopastoriles y específicamente en el control de la competencia. Los bajos resultados de productividad para los sistemas silvopastoriles, pueden explicarse desde la determinación de una densidad óptima acorde a los propósitos del sistema; claramente puede afirmarse que los sistemas silvopastoriles estudiados, se encuentran en condición de subplamiento. (Ivanich *et al.*, 2004) y (Chauchard, 2012).

De esta manera y como lo manifiesta (Carranza y Ledesma, 2009) es necesario considerar una silvicultura intensiva con el manejo de la densidad y de la sombra para la pastura, esta última como una de las interacciones que más interesan en los sistemas silvopastoriles (Shelton *et al.*, 1988 citado por Ibrahim y Pezo (1998).

13.2 OBJETIVO 2. EVALUAR EL EFECTO ECOLÓGICO DE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) EN LA RELACIÓN ÁRBOL-PASTURA Y ÁRBOL-SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.

13.2.1 Relación árbol-pastura

Los resultados del efecto de la incorporación del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*), señalan una mayor producción de forraje verde en el sistema silvopastoril 5603 kg ha⁻¹FV comparado con la pastura tradicional 5138 kg ha⁻¹, con lo que se puede indicar que la sombra tiene un efecto benéfico en la cantidad y calidad de pastura de (*B. decumbens*), esto concuerda con lo descrito por Esquivel y otros 2004, quienes manifiestan que una sombra moderada de los árboles, puede reducir el estrés climático que sufren los pastos y con esto aumentar su producción.

Esta misma tendencia la argumenta (Carvalho *et al.*, 1995) quien concluye que el crecimiento de la pastura de (*B. decumbens*), fue mejor en áreas sombreadas que en áreas sin árboles.

Igualmente, (Carrilho *et al.*, 2011) y (Shelton *et al.*, 1987 citado por Daniel y Couto, 1999) encontraron que (*B. decumbens*) responde favorablemente a una sombra intermedia entre el 30 y 50%. Condición

en la cual se estimula la densidad foliar medida por medio del IAF, la biomasa de raíces, altura de la planta y producción de semillas. (Neto y otros, 2010).

En este caso, los resultados respecto a la cantidad y calidad de pastura de (*B. decumbens*) en cada uno de los arreglos silvopastoriles con acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*), muestran que las mayores producciones de forraje de (*B. decumbens*) resultan en un umbral de sombra entre el 35 y 50%. Este umbral de sombra corresponde claramente a las características de la estructura de la copa (altura a la base de la copa (HBC), altura al diámetro máximo de copa (HDC) y diámetro promedio de copa (DPC)), de la especie forestal que se asocia en el arreglo silvopastoril. Resultados similares fueron hallados por (Noguera *et al.*, 2011), quienes encontraron que la producción de pasto en un sistema silvopastoril de árboles dispersos tuvo una alta correlación con la variable área de la copa de las especies estudiadas.

Si bien los resultados respecto al efecto sombra, influyen en la calidad de la pastura, es importante considerar que determinar la real calidad de las pasturas, es un ejercicio en el que están implicadas otras asociaciones como son: manejo de la pradera, estado fenológico del pasto, tipo y estado fisiológico del animal que pastorea, consumo voluntario de alimento y variables climáticas principalmente; junto al hecho de que los análisis bromatológico de forrajes reportados por los laboratorios, son cifras indicativas del contenido de nutrientes, mas no de su real digestibilidad, absorción y aprovechamiento por parte del animal, y que igualmente la digestibilidad reportada a pesar de que se determinó en vivo, es un indicativo aparente de esta situación. Adicionalmente, la disponibilidad de forraje verde y su contenido de materia seca son niveles que están correlacionados directamente con los contenidos de fracciones nutricionales y el potencial consumo por parte del animal.

En la tabla 31, se reportan los hallazgos de las distintas fracciones de nutrientes de la pastura (*B. decumbens*) en el sistema silvopastoril y tradicional, encontrándose ventajas nutricionales para el sistema silvopastoril, tanto para las épocas lluviosa como seca. Estos resultados fueron valorados con la siguiente fórmula de razón:

$$CALIDAD = >Disponibilidad\ FV/FS, <\%MS, >\%PC, <\%FDN, <\%FDA, >\%EE, >\%CEN, >\%DIG.$$

Dónde:

>Disponibilidad FV/FS = Mayor volumen de forraje verde deshidratado.

>%DIG = Mayor porcentaje de digestibilidad

< %MS = Menor porcentaje de materia seca

> %PB = Mayor porcentaje de proteína cruda

<%FDN = Menor porcentaje de fibra detergente neutra
 < %FDA = Menor porcentaje de fibra detergente acida
 >%EE= Mayor porcentaje de estrato etéreo
 >%CEN = Mayor porcentaje de cenizas

Tabla 31. Calidad y cantidad de nutrientes de (*B. decumbens*) en los sistemas silvopastoril y tradicional

Sistema	REL FV/ FS		MS%		PC%		FDN%	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
Silvopastoril	3.9/1	2.6/1	25,14	42,97	9,26	7,22	69,94	69,43
Tradicional	3.5/1	2.3/1	29,44	45,97	7,34	5,69	70,75	69,92

Sistema	FDA%		EE%		CEN%		DIG%	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
Silvopastoril	34,90	37,73	1,31	1,30	6,42	5,57	68,57	60,77
Tradicional	35,97	38,12	1,34	0,50	5,99	5,47	64,99	57,53

El porcentaje de materia seca de (*B. decumbens*) es mayor para el sistema de pastura tradicional en las dos épocas 29.44% lluviosa y 45.97% seca. Estos mismos resultados fueron obtenidos por Andrade (1999), quien encuentra una reducción del porcentaje de materia seca (MS%) de (*B. decumbens*) bajo sombra. Este comportamiento puede explicarse debido a la maduración más tardía del pasto bajo sombra (Carvalho et al., (2001)

Para el sistema silvopastoril el porcentaje de proteína PC% es mejor en las dos épocas 9.26% en lluviosa y 7.22% en época seca. Resultados similares han sido encontrados para diversos modelos silvopastoriles donde la cobertura gramínea se ve favorecida por la presencia de los árboles Alonso *et al.*, (2008) señalan que esta mejora en la proteína se debe fundamentalmente a la función de fijación de nitrógeno por parte de los árboles y por el aporte de hojarasca dentro del ciclo de nutrientes del sistema. Según (Peri, 2009 citado Carranza y Ledesma, 2009), este aumento en la proteína, es una de las características más relevantes de modificación de la calidad de las pasturas bajo el efecto sombra. En la tabla 32, se muestran las frecuencias de calidad para forraje cosechado en los sistemas tradicional y silvopastoril, con las cuales se puede establecer la mejor opción con garantías nutricionales para el animal que pastorea, pero considerando el estado fisiológico del animal, los requerimientos nutricionales claves del animal y la cantidad de forraje a cosechar. En este sentido se puede observar que tanto para las dos épocas lluviosa y seca el sistema silvopastoril se constituye en la primera opción de calidad forrajera. Debe considerarse que los resultados encontrados para la calidad de pastura en los sistemas silvopastoriles son correspondientes con lo descrito por Alonso *et al.*, (2006) quienes atribuyen las mejoras en la calidad del forraje al rol funcional del componente forestal en la interacción árbol-pastura-animal.

Tabla 32 Frecuencias de cantidad y calidad de nutrientes del forraje de (*B. decumbens*) en los arreglos silvopastoriles y pastura tradicional

Fracción	Nivel Esperado	Época Lluviosa		Época de Seca	
		Opción de Nivel Encontrado		Opción de Nivel Encontrado	
		1ª	2ª	1ª	2ª
DISPON	Alta	SIL.	TRAD	SIL.	TRAD
DIG	Alta	SIL.	TRAD	SIL.	TRAD
MS	Mínima	SIL.	TRAD	SIL.	TRAD
PC	Alta	SIL.	TRAD	SIL.	SIL.
FDN	Mínima	SIL.	TRAD	SIL.	TRAD
FDA	Mínima	SIL.	TRAD	SIL.	TRAD
EE	Alta	SIL.TRAD	SIL.TRAD	SIL.	TRAD
CEN	Alta	SIL.	TRAD	SIL.	TRAD
Frecuencias		SIL 100%		SIL 100%	

Los análisis respecto a la calidad para cada uno de los arreglos silvopastoriles se muestran en la tabla 33. El porcentaje de MS es mayor en la pastura tradicional, lo que puede explicarse conforme a Penton (2000), quien además cita a (Páez, et al., 1994) y (Giraldo et al., 1995) indicando que el aumento de sombra en los pastizales, reduce la materia seca, como resultado de menores concentraciones de carbohidratos solubles (Alberda 1965) y un mayor contenido de humedad del pasto (Capote y Shishchenko, 1974).

En términos generales los arreglos silvopastoriles tienen una mejor calidad que la pastura tradicional y destaca el arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*).

Es importante considerar que el arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) obtiene 10.38% de proteína cruda PC. Este resultado es superior a los reportados por (Rincón 1999), en un estudio sobre rehabilitación de praderas de (*B. decumbens*), con el uso de fertilización nitrogenada, labranza y mezcla con leguminosas donde se obtiene un 6% de proteína cruda.

Tabla 33 Cantidad y calidad de nutrientes de (*B. decumbens*) en los arreglos y pastura tradicional

Sistema	Arreglo silvopastoril o tradicional	REL FV/ FS		MS%		PC%		FDN%	
		lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca
Silvopastoril	acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	3.9/1	2.3/1	24,96	45,35	8,94	7,44	69,6	67
	melina (<i>G. arbórea</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	3.6/1	3/1	27,04	37,5	8,47	6,13	69,43	73,8
	yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	4.2/1	3/1	23,42	46,05	10,38	8,09	70,8	67,5
Pastura tradicional	(<i>B. decumbens</i>)	3.5/1	2.3/1	29,44	45,97	7,34	5,69	70,75	69,92

Sistema	Arreglo silvopastoril o tradicional	FDA%		EE%		CEN%		DIG%	
		lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca	lluviosa	seca
Silvopastoril	acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	35,77	35,6	1,08	1,7	6,7	4,8	67,23	57,2
	melina (<i>G. arbórea</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	35,97	38,3	1,5	0,7	6,24	6,3	69,06	61,1
	yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	32,94	39,3	1,35	1,5	6,3	5,6	69,42	64,0
Pastura tradicional	(<i>B. decumbens</i>)	35,97	38,12	1,34	0,5	5,99	5,47	64,99	57,53

En la tabla 34, se puede observar el análisis de opción respecto a la calidad de (*B. decumbens*) en los arreglos silvopastoriles y la pastura tradicional, donde se destaca nuevamente el arreglo yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) como la mejor opción. Es importante considerar que esta especie forestal leguminosa, puede favorecer el ciclaje de nutrientes en el arreglo silvopastoril, ya que según los describe (Fassbender y Bornemisza, 1994 citado por Muñoz, 2010), las cantidades de nitrógeno presentes en el suelo no se encuentran en forma estática, sino que su dinámica puede iniciar bajo condiciones climáticas específicas y un tipo vegetación facilitadora, por lo tanto puede ser que yopo (*A. peregrina*) sea una especie que contribuya a esta dinámica del nitrógeno, favoreciendo los contenidos de proteína presentes en la pastura de (*B. decumbens*).

Tabla 34 Frecuencias cantidad y calidad de nutrientes del forraje de (*B. decumbens*) en los arreglos silvopastoriles y pastura tradicional

Fracción	Nivel Esperado	Época Lluviosa				Época de Seca			
		Opción de Nivel Encontrada				Opción de Nivel Encontrada			
		1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a
<i>DISP</i>	Alta	T	M	A	Y	Y	A	T	M
<i>DIG</i>	Alta	Y	M	A	T	Y	M	T	A
<i>MS</i>	Mínima	Y	A	M	T	M	A	T	Y
<i>PC</i>	Alta	Y	A	M	T	Y	A	M	Y
<i>FDN</i>	Mínima	M	A	Y	T	A	Y	T	M
<i>FDA</i>	Mínima	Y	A	M	T	Y	M	T	A
<i>EE</i>	Alta	M	Y	T	A	A	Y	M	T
<i>CEN</i>	Alta	A	Y	M	T	M	Y	T	A
Frecuencias		Yopo 50%	Acacia 50%	Melina 50%	Tradicional 75%	Yopo 50%	Acacia o Yopo Con 37.5c/u	Tradicional 75%	Acacia 35%

13.2.2 Relaciones árbol-suelo

Los resultados obtenidos muestran mejores características químicas y biológicas en el sistema silvopastoril comparados con la pastura tradicional, lo que concuerda con lo reportado por Barrios y otros (2012), quienes sostienen que la incorporación de los árboles en los sistemas Silvopastoril, conlleva a una mejora en la calidad del suelo y una mayor diversidad de macrofauna, lo que se traduce en el mantenimiento de sus características estructurales y la disponibilidad de nutrientes.

En los arreglos silvopastoriles evaluados se destacó melina (*G. arbórea*) con una mejor condición de fertilidad química de suelos, las pruebas de laboratorio arrojaron un 3.20% para materia orgánica (M.O), este resultado muestra una tendencia similar a Hernández *et al.*, (2008) citado por Bugarín *et al.*, (2010) donde la materia orgánica es mayor en los sistemas silvopastoriles y esto puede deberse fundamentalmente a la penetración de raíces en el suelo y la producción de horajasca, dentro del sistema complejo de ciclaje de nutrientes.

Igualmente el pH 5.10 y el resultado del comportamiento de los cationes de cambio (Ca: 1.49, Mg: 0.58 y K: 0.07) fueron mayores para este arreglo con melina (*G. arbórea*); resultados similares son reportados por Kellman (1979) citado por Hernández (2002), sobre algunos indicios de que los árboles enriquecen el suelo y mejoran la capacidad de intercambio catiónico en suelos ácidos, característica que acompaña a los suelos del área de estudio.

En la tabla 35 se presenta un análisis sobre el rol funcional de los grupos taxonómicos de macrofauna encontrados en cada uno de los arreglos silvopastoriles y la pastura tradicional. En términos generales

se encontró una mayor riqueza y diversidad para los arreglos silvopastoriles, atribuido al efecto sombra, ya que esta favorece la actividad de la biota, debido a un mayor porcentaje de humedad y una mayor cantidad de hojarasca y materia orgánica acumulada. (Sánchez *et al.*, 2012)

Tabla 35 Rol funcional de los grupos de macrofauna encontrados

Grupo taxonómico	Rol funcional
<i>Coleóptera</i>	<i>Rizófagos, depredadores, detritívoros y fitófagos</i>
<i>Oligoqueta</i>	<i>Detritívoros, Rizófagos, Omnívoros</i>
<i>Isóptera</i>	<i>Detritívoros, Rizófagos, fitófagos y cultivadores de hongos</i>
<i>Formicidae</i>	<i>Fitófagos, depredadores, detritívoros, nectarívoros y cultivadores de hongos</i>
<i>Chilopoda</i>	<i>Depredadores</i>
<i>Diplopoda</i>	<i>Detritívoros</i>
<i>Isópoda</i>	<i>Detritívoros</i>
<i>Dermáptera</i>	<i>Detritívoros</i>
<i>Lepidóptera</i>	<i>Fitófagos</i>
<i>Díptera</i>	<i>Detritívoros, depredadores y parásitos</i>

Fuente: Autor, adaptado de Brown *et al.*, 2001

En la tabla 35 se observa que el grupo taxonómico de mayor abundancia en los arreglos silvopastoriles, es el diplopoda (conocido comúnmente como milpiés). Según lo descrito por Bueno y Villegas (2012) estos organismos tienen la capacidad de excavar y por lo tanto su gran influencia en la mejora química y física del suelo, ya que mejorar la porosidad, la infiltración y por lo tanto la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Estos son organismos fragmentadores y descomponedores de material vegetal en procesos de descomposición.

13.3 OBJETIVO 3. CONOCER LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS DE LOS MUNICIPIOS DE VILLAVICENCIO, ACACIAS Y CASTILLA LA NUEVA, DEPARTAMENTO DEL META SOBRE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL EN SUS SISTEMAS GANADEROS

Desde la perspectiva de los productores ganaderos, la función más importante dada a los árboles es la condición protectora para el ganado y en general la creación de áreas de microclima dentro de la finca. Los productores ganaderos entrevistados tienen como principal motivación proveer de sombrero y confort térmico a los animales, en la búsqueda de un adecuado desarrollo y han identificado algunas bondades respecto a la reducción de los tiempos de ceba y aumento en la producción de leche, atribuidos a la existencia de sombrero. Estas mismas percepciones, fueron encontradas por Coral y otros (2011), en un estudio sobre caracterización del conocimiento local del componente arbóreo en fincas ganaderas.

En la figura 43, se muestra el mapa conceptual referido a la motivación a incorporar árboles, donde se pueden ver algunos de las categorías de conocimiento identificadas como son: el sombrío, los productores asocian al sombrío con el aumento en el consumo de alimento del ganado y perciben que el yopo (*A. peregrina*) puede ser una especie adecuada para el sombrío por el tamaño de sus hojas.

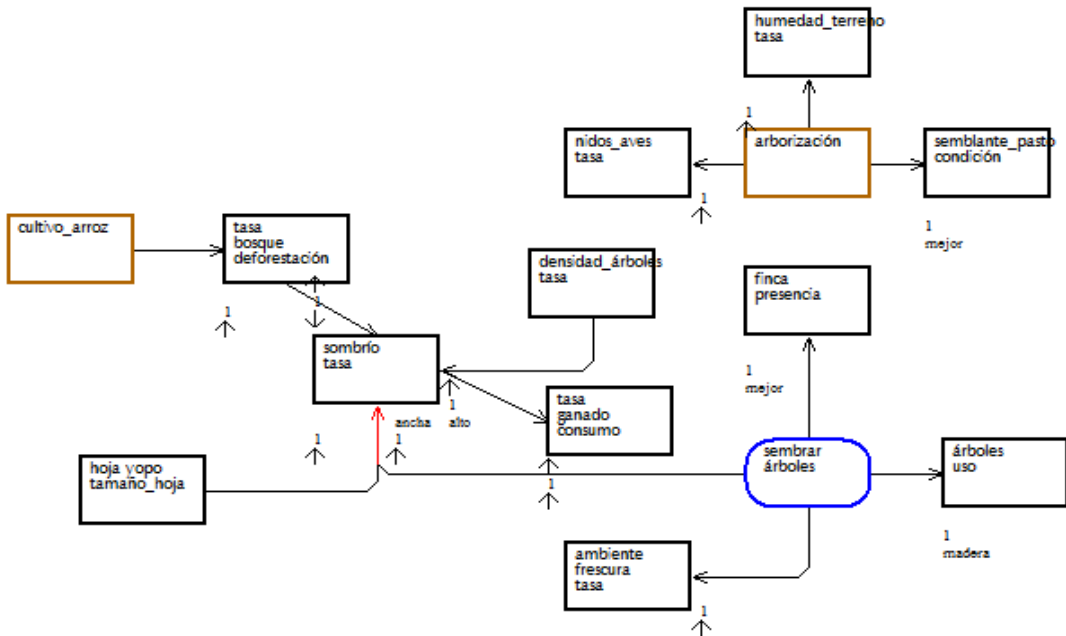
Igualmente consideran que la alta densidad de árboles, puede generar exceso de sombrío en la finca y por lo tanto pérdida de la producción de pasto, para ellos la densidad es un condicionante para la incorporación o no de árboles.

Otros conceptos asociados a la incorporación de los árboles tienen que ver con los bienes y servicios que se pueden obtener de estos, como son la madera y el paisaje, servicio al cual se refieren los productores como “mejor presencia de la finca”.

Igualmente se considera el servicio ambiental que prestan los árboles, como reguladores del microclima, el cual es considerado por los productores como “frescura”.

Algunos productores definen su motivación a incorporar árboles como una actividad tendiente a disminuir los efectos de la deforestación e identifican algunas causas de este fenómeno como son: los cultivos de arroz realizados en la zona y la idea de potreros sin árboles para la actividad ganadera.

Figura 43. Mapa conceptual de la base forestal.kb sobre la motivación a incorporar árboles

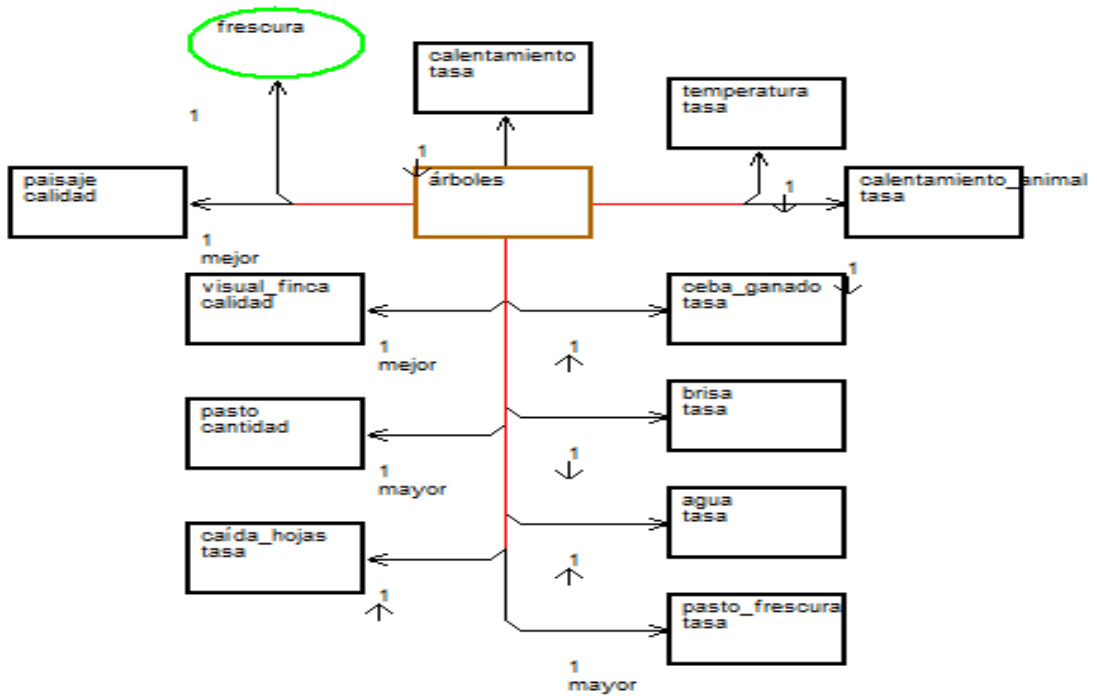


La conformación de grupos por categorías muestra que las motivaciones para la incorporación de los árboles pueden definirse en tres temas principales: (i) La capacidad institucional para generar programas de reforestación, (ii) los programas de asistencia técnica en fincas y (iii) el interés individual de los productores mediado por sus conocimientos sobre los árboles y sus beneficios.

En la figura 44 se puede observar el mapa conceptual sobre el beneficio de los árboles. Los productores consideran que estos beneficios se manifiestan en las interacciones árbol-animal, en el papel que pueden cumplir los árboles en la disminución de la temperatura y el confort animal, lo que genera una disminución en los tiempos de ceba y producción de leche.

La mayoría de los productores, consideran que el primer beneficio que pueden generar los árboles es la sombra, especialmente en el bienestar animal y por lo tanto una mayor producción del componente animal en el corto plazo.

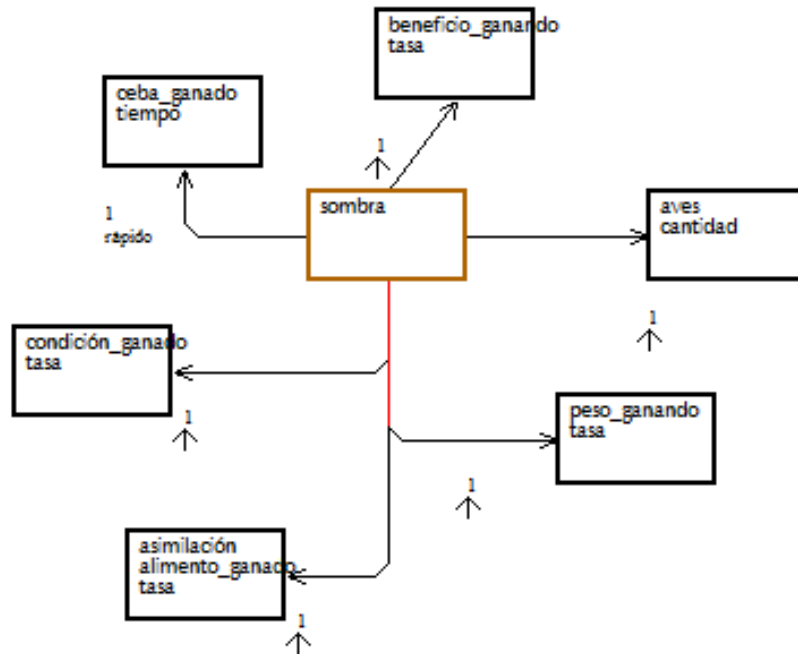
Figura 44. Mapa conceptual de la base forestal.kb sobre el beneficio de los árboles



Los grupos de categorías respecto a los beneficios de los árboles, señalan una posible percepción de los productores en tres aspectos esenciales (i) el valor ambiental de los árboles, (ii) las interacciones positivas entre el componente forestal y pecuario desde una mirada productiva del bienestar animal y (iii) los efectos del sombrero en el mantenimiento de la pastura.

Respecto a los productos de los árboles tal como se muestra en la figura 45, son la sombra y los productos de madera los más referidos por los productores. Los grupos de categorías señalan que la percepción de los productores se puede diferenciar en tres aspectos (i) los bienes tangibles de los árboles madera y forraje (ii) los productos derivados del establecimiento de una condición de sombra y finalmente (iii) los servicios ambientales que estos árboles puedan generar.

Figura 45. Mapa conceptual de la base forestal.kb sobre el sombra

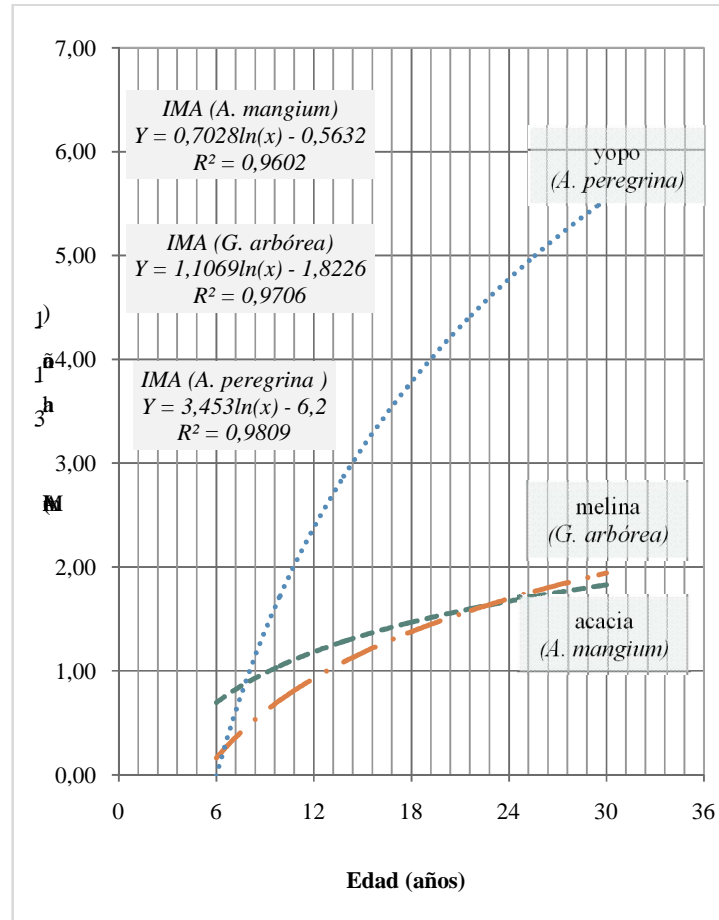


13.4 OBJETIVO 4. ESTRATEGIAS Y OPCIONES DE MANEJO SILVICULTURAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL Y PECUARIO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.

Las proyecciones de crecimiento y sombra de los arreglos silvopastoriles reflejan una mejor tendencia de crecimiento para el arreglo *yopo* (*A. peregrina*)// (*B. decumbens*), esto se debe a la cantidad de árboles en el sistema garantizando primero una mejor densidad y una mejor distribución de la sombra para la pastura. Esto puede observarse en la siguiente figura 43, donde se muestra el incremento medio anual en volumen del componente forestal en los tres arreglos evaluados.

Si bien la proyección del crecimiento del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y *yopo* (*A. peregrina*) bajo sistema silvopastoril, sería como se muestra en la figura 46, no se debe prescindir del manejo silvicultural en estos sistemas, se debe considerar como elementos fundamentales la densidad y las características propias de cada componente forestal empleado en el arreglo.

Figura 46. Incremento medio anual de los arreglos silvopastoriles a las edades de proyección



Los resultados encontrados en este estudio muestran diferentes umbrales máximos de sombra para cada arreglo silvopastoril, están asociados a la estructura de la copa y a las características fenológicas de las especies forestales (Fassola *et al.*, 2004) (Carranza y Ledesma, 2009).

Los umbrales máximos de sombra para los arreglos silvopastoriles acacia (*A. mangium*) en 50%, melina (*G. arbórea*) 35% y yopo (*A. peregrina*) 40%, serían alcanzados, implementando prácticas de manejo silvicultural, tal como lo sugieren Alonso *et al.*, (2003), con respecto al control de la densidad y la distribución espacial de los árboles, para generar una sombra inducida en la pastura, y en las edades avanzadas de los árboles el manejo debe incorporar podas que modifiquen la estructura de la copa.

El manejo silvicultural para sombra inducida, debe considerar todas las etapas del ciclo de plantación del componente forestal, desde su establecimiento hasta el aprovechamiento, manteniendo una

densidad adecuada de árboles, los cuales se pueden aprovechar, obteniendo productos maderables intermedios al turno final.

En la tabla 36 se muestra una síntesis de los sistemas de producción plantación forestal, silvopastoril y tradicional analizados. Puede considerarse que los sistemas silvopastoriles presentan una mejor opción de producción, dada la posibilidad de obtener productos maderables y forrajes con mejores condiciones de cantidad y calidad.

Tabla 36 Síntesis de los sistemas de producción

Sistema de Producción		COMPONENTES							
		Forestal			Relación árbol-pastura				Relación árbol-suelo
		Volumen Total (m ³ ha ⁻¹)	Umbral crítico de sombra (%)	Edad de umbral sombra (años)	Forraje verde kg ha ⁻¹	Forraje seco kg ha ⁻¹	R FV/FS	Calidad de forraje	Diversidad macrofauna
Plantación forestal	acacia (<i>A. Mangium</i>)	95,29 a			-	-	-	-	-
	melina (<i>G. arbórea</i>)	90,57 a			-	-	-	-	-
	yopo (<i>A. peregrina</i>)	39,33 b			-	-	-	-	-
Sistema silvopastoril	Arreglo acacia (<i>A. mangium</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	4,54 c	50	20	5.612	1.823	2,8/1	Opción 3	0,088
	Arreglo melina (<i>G. arbórea</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	1,97 c	35	20	6.614	2.018	3,2/1	Opción 2	0,110
	Arreglo yopo (<i>A. peregrina</i>) // (<i>B. decumbens</i>)	2,78 c	40	10	4.583	1.580	2,9/1	Opción 1	0,059
Pastura tradicional	(<i>B. decumbens</i>)	-	-		5.138	1.904	2,7/1	Opción 4	0,017

La baja productividad forestal en los sistemas silvopastoriles, fue debida a la alta mortalidad y la baja densidad de siembra y baja calidad forestal. La condición de subpoblamiento en la edad actual, puede mostrar la necesidad de aumentar el número de árboles de siembra, que permita realizar una selección silvicultural mediante tratamientos de cortas intermedias que además proporcione algunos productos en etapas anteriores al turno de manejo y aprovechamiento; estos turnos, estarían definidos a partir de unos posibles umbrales críticos de sombra en cada uno de los arreglos.

El arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) se destaca en los resultados de cantidad y calidad de pastura de (*B. decumbens*)y además en el índice de diversidad de macrofauna edáfica presente. Esto puede considerarse como una ventaja para la región del Piedemonte Llanero, dado el interés de los productores entrevistados en esta especie.

Además es importante resaltar que tiene la mejor calidad forestal, las menores tasas de mortalidad y que la proyección de su crecimiento es sobresaliente en relación a los componentes forestales acacia (*A.mangium*) y melina (*G. arbórea*).

Es posible que este arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*)/(*B. decumbens*) pueda hacer parte de un programa de fomento de agroforestal en la región, para lo cual debe considerar las temáticas motivaciones de los productores para incorporar árboles en sus sistemas ganaderos, especialmente que pueda incluirse en programas de reforestación, asistencia técnica.

De igual manera los resultados obtenidos pueden dar una señal del beneficio de esta especie en la cantidad y calidad de pastura que es necesario profundizar especialmente en el aporte de proteína a la pastura y en general como especie dinamizadora del ciclaje de nutrientes.

Los resultados muestran algunos indicios respecto a la dinámica biológica del suelo por la presencia de los árboles en los sistemas silvopastoriles, se resalta la presencia del orden diplópoda en todos los arreglos estudiados, este orden ha sido considerado como uno de los más sobresalientes e importantes en la mejora de la estructura del suelo. Igualmente la mayor diversidad en cuanto a estos grupos de macrofauna pueden mostrar este efecto benéfico en la relación árbol-suelo.

De igual manera en la relación árbol-pastura los resultados pueden mostrar la tendencia de la mejora en las características de la pastura de (*B. decumbens*) debida a una sombra intermedia en los sistemas silvopastoriles. El análisis muestra como los umbrales máximos de sombra corresponden a las características morfológicas de la copa de cada uno de los componentes forestales en los arreglos estudiados y que la determinación de la edad de ese umbral máximo de sombra esta además en función de la densidad de árboles.

14 CONCLUSIONES

14.1 OBJETIVO 1. DETERMINAR LA PRODUCTIVIDAD EL COMPONENTE FORESTAL acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) BAJO PLANTACIÓN FORESTAL Y SISTEMA SILVOPASTORIL DE ÁRBOLES DISPERSOS.

La mejor productividad forestal tanto plantación forestal como en sistema silvopastoril es para la especie acacia (*A. mangium*), por su tasa de crecimiento acelerada en edades tempranas en comparación con melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*), sin embargo sus rendimientos por hectárea corresponden a un sitio marginal de producción forestal.

Es importante considerar que las proyecciones del crecimiento muestran a la especie yopo (*A. peregrina*) con un mejor comportamiento incremental del volumen, esto en razón a la cantidad de árboles dispuestos en el arreglo silvopastoril, lo que puede señalar una mejor productividad forestal dependiente de la densidad.

El componente forestal evaluado bajo plantación y sistema silvopastoril tiene baja calidad forestal, en las etapas tempranas en plantación forestal y del sistema silvopastoril, esto puede causar una disminución en el potencial de productos; los porcentajes de mortalidad en cada uno de los sistemas fueron superiores al 10% con lo cual es factible que los rendimientos esperados de estos sistemas estarán por debajo de los reportados como óptimos para cualquiera de las especies estudiadas.

Para los sistemas silvopastoriles los principales daños son debidos al ramoneo, estos probablemente afecten el crecimiento de los árboles, su productividad en madera y su función de sombra para el sistema. La especie melina (*G. arborea*) fue la más susceptible a este tipo de daños y la que mostró la menor calidad forestal tanto en plantación forestal como en arreglo silvopastoril.

Las diferencias en productividad para el componente forestal bajo plantación y sistemas silvopastoril son debidas fundamentalmente a los altos porcentajes de mortalidad, la baja calidad forestal y la densidad en cada uno de los sistemas.

14.2 OBJETIVO 2. EVALUAR EL EFECTO ECOLÓGICO DE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) EN LA RELACIÓN ÁRBOL-PASTURA Y ÁRBOL-SUELO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.

Se puede señalar como uno de los efectos benéficos del sombrío la cantidad y calidad de forraje de (*B. decumbens*) para las épocas lluviosa o seca en los arreglos investigados; esta mayor disponibilidad de forraje verde, estaría en relación directa con el consumo del animal, (a mayor oferta, mayor consumo, pero dependiendo de los niveles de materia seca MS%, que son menores en estos sistemas).

Los sistemas silvopastoriles ofertan garantías nutricionales para las dos épocas lluviosa y seca, sin embargo es importante considerar que este efecto es distinto para cada una de las especies forestales evaluadas en los arreglos.

La conversión de forraje/carne o leche, depende del sistema de producción, pero con lo reportado en este ejercicio, es posible inferir que los sistemas silvopastoriles garantizan ambientes de producción forrajera de calidad durante las épocas de lluviosa y seca, que aprovechados racionalmente, mantendrían en una curva creciente la producción de los animales.

Los componentes forestales evaluados acacia (*A. mangium*), melina (*G. arbórea*) y yopo (*A. peregrina*) tienen características particulares referidas a su estructura de copa lo que puede determinar distintos umbrales de sombra en arreglos silvopastoriles.

Es importante considerar para la relación árbol-pastura y árbol suelo, al arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumbens*) siendo la mejor opción entre los arreglos evaluados y la pastura tradicional, sus resultados respecto a la relación forraje verde/forraje seco y las fracciones de nutrientes de (*B. decumbens*), apuntan a considerar el papel de esta especie como dinamizadora de procesos de ciclaje de nutrientes.

Existe una mayor riqueza y diversidad de macrofauna edáfica para los sistemas silvopastoriles, esto es una evidencia del favorecimiento de los árboles por la actividad biológica del suelo en una interacción de sinergia entre los componentes del sistema. Esta interacción es además distinta para cada especie y para el estudio, el arreglo silvopastoril melina (*G. arbórea*) obtuvo los mejores resultados en cuanto a

características químicas y biológicas de los suelos mejorando la condición de acidez característica de los suelos en el área de estudio.

Las diferencias existentes respecto a la incorporación del componente forestal en la relación árbol-pastura y árbol suelo en sistemas silvopastoriles, pueden deberse al beneficio del efecto sombra, esta condición de sombreamiento es distinta para cada una de las especies forestales que componen los arreglos silvopastoriles y se atribuye a las diferentes estructuras de la copa y al rol dinamizador que la especie forestal aporta en los procesos de ciclaje en el sistema.

14.3 OBJETIVO 3. CONOCER LA PERCEPCIÓN DE LOS PRODUCTORES GANADEROS DE LOS MUNICIPIOS DE VILLAVICENCIO, ACACIAS Y CASTILLA LA NUEVA, DEPARTAMENTO DEL META SOBRE LA INCORPORACIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL EN SUS SISTEMAS GANADEROS

Los productores ganaderos tienen percepciones sobre la incorporación de los árboles en sus sistemas de ganadería tradicionales gracias a los efectos benéficos de los árboles, siendo la sombra y la sinergia con la producción de pasto los más reconocidos.

La incorporación de los árboles en los sistemas ganaderos corresponde a tres temáticas esenciales: (i) Presencia institucional en el desarrollo de programas de reforestación, (ii) La opción de asistencia técnica y organización social en la implementación de los arreglos silvopastoriles y (iii) la vinculación de sus experiencias en el manejo forestal en el desarrollo de estos proyectos.

Existen referencias en los productores respecto al beneficios de los árboles principalmente en garantizar el bienestar animal, ellos explican con claridad la interacción árbol-pasto-animal en los sistemas silvopastoriles, considerando algunas experiencias de manejo como la reducción de los tiempos de ceba y el aumento en la producción y reconocen además una opción desde la valoración de los servicios ambientales de los árboles.

El principales productos esperados de los árboles en los sistemas ganaderos son la sombra asociada a una mayor producción animal en el corto plazo, el paisaje y los productos maderables que las especies puedan proveer una vez termine su ciclo de crecimiento dentro del sistema silvopastoril.

Los productores cuentan con referencias dadas por la experiencia y por los programas de reforestación respecto a las especies forestales que se incorporan en sus sistemas ganaderos, sin embargo este conocimiento no está adecuadamente estructurado lo que hace difícil la replicación de las experiencias en otros productores.

Claramente puede afirmarse que los productores ganaderos perciben que la incorporación de árboles en sus sistemas mejoran la productividad de sus fincas, especialmente gracias al efecto sombra en el bienestar animal y el mantenimiento de los forrajes.

14.4 OBJETIVO 4. ESTRATEGIAS Y OPCIONES DE MANEJO SILVICULTURAL PARA OPTIMIZAR LA PRODUCCIÓN DEL COMPONENTE FORESTAL Y PECUARIO EN SISTEMAS SILVOPASTORILES.

Los elementos estratégicos del manejo silvicultural en sistemas silvopastoriles son la densidad en función de umbrales máximos de sombra para la pastura, dentro de un esquema de silvicultura adaptativa y tratamientos intermedios de sombra inducida.

Los arreglos silvopastoriles evaluados se encuentran en subpoblamiento, situación en la cual no se aprovecha el potencial del sitio forestal y se sacrifica la productividad.

Las proyecciones de productividad del componente forestal acacia (*A. mangium*), melina (*G. arborea*) y yopo (*A. peregrina*) en arreglo silvopastoril muestran rendimientos bajos. Sin embargo el componente forestal yopo (*A. peregrina*) tiene una mejor tasa incremental del volumen y esto se debe fundamentalmente a su baja mortalidad.

Las proyecciones de sombra en los arreglos silvopastoriles indican una distribución no homogénea de los árboles en el sistema, con lo que se generan sitios de concentraciones excesivas de sombra y otros lugares con déficit de sombra. Esto lleva a considerar un aumento de la densidad inicial y el desarrollo de tratamientos silviculturales de claras intermedias y podas en los sitios de excesivo sombreamiento.

Para cada arreglo silvopastoril se proponen umbrales máximos de sombra, los cuales corresponden a una edad en la cual el crecimiento de los árboles y su sombra genera la mejor interacción respecto a la cantidad y calidad de forraje de (*B. decumbens*). De esta manera para cada uno de los arreglos, la edad

de umbral máximo de sombra es: acacia (*A. mangium*) 50% sombra 20 años de edad, melina (*G. arborea*) 35% de sombra 20 años de edad y yopo (*A. peregrina*) 40% de sombra 10 años de edad.

En los sistemas silvopastoriles pueden obtenerse productos intermedios si se tiene en cuenta el manejo de la densidad de árboles acorde con los umbrales máximos de sombra por cada componente forestal.

15 RECOMENDACIONES

Los resultados presentados por este estudio corresponden a una primera evaluación del componente forestal en plantación y en sistema silvopastoril. Será necesario establecer parcelas permanentes de monitoreo que permitan contar con mayor información respecto a la dinámica de estas especies y comprobar las proyecciones de crecimiento y sombra resultado de la simulación.

Para los sistemas de plantación forestal y silvopastoril se sugiere adoptar medidas de manejo silvicultural prioritarias para mejorar la condición actual de baja productividad, entre las que pueden considerarse aclareos de sanidad y cortas intermedias conforme a la determinación de índices de espaciamiento. De igual manera se recomienda realizar labores de mantenimiento como podas y fertilización para mejorar la tasa de crecimiento de los árboles.

El estudio consideró solamente la relación árbol-pastura y árbol suelo para la evaluación del componente forestal en silvopastoreo, es necesario profundizar el estudio de otras interacciones presentes en este tipo de sistemas que contribuyan a su mejor comprensión. Esto además permitirá contribuir al conocimiento de los productores respecto a este tipo de sistemas de producción.

Es necesario avanzar en estudios que determinen los beneficios de la mayor producción de forraje en sistemas silvopastoriles en la tasa efectiva de producción animal.

Es importante abordar con mayor profundidad investigaciones para el arreglo silvopastoril yopo (*A. peregrina*) // (*B. decumben*) respecto a la dinámica de ciclaje de nutrientes, dado que, en este estudio fue el arreglo silvopastoril donde se mostraron los mejores resultados respecto a cantidad y calidad de pastura de (*B. decumbens*)

Para futuras investigaciones alrededor del efecto sombra, pueden considerar temáticas como sombra inducida de las especies forestales y diferentes densidades de siembra.

Las estrategias de un programa de fomento de sistemas silvopastoriles en la región puede considerar los siguientes aspectos:

- a) El rol institucional dentro de un esquema claro de acompañamiento, asistencia técnica y fortalecimiento organizacional.

- b) Contribuir al conocimiento sobre los sistemas silvopastoriles en especial en las temáticas de valor ambiental de los árboles, experiencias de los productores y la interacción árbol-pastura-animal
- c) Los productos a los que el programa de fomento debe referirse serían: los servicios ambientales generados por los árboles, los bienes tangibles y los productos resultantes del beneficio del sombrero.

16 BIBLIOGRAFIA

Alonzo 2000. Potencial of silvipastoral systems for economic dairy production in Cayo Belize and constraints for their adoption. Tesis Maestría en Agroforestería Tropical 2000

Alonso, J., Ruiz, T., & Febles, G. (2003). Comparación de métodos de poda en un sistema silvopastoril. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(4), 433-44. En línea:

Alonso, J., Febles, G., & Ruíz, T. E. (2008). Características bromatológicas de guinea (*Panicum maximum* vc. Likoni). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 42(3), 295. En línea: <http://revistas.mes.edu.cu/greenstone/collect/repo/index/assoc/D0034748/5093295.dir/00347485093295.pdf>

Andrade H y otros 1999. Modelaje de opciones silvopastoriles sostenibles para el sistema ganadero de doble propósito en el trópico húmedo. *Agroforestería de las Américas* Vol 6 N. 23

Andrade, H. 1999. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Tesis M.Sc., CATIE, Turrialba, Costa Rica

_____ Sistemas Silvopastoriles en América Central: Experiencias de CATIE

Arias-Giraldo y Camargo J. 2007 Análisis de sustentabilidad en unidades productivas ganaderas del municipio de Circasia (Quindío - Colombia), Cuenca del Río La Vieja Centro de Investigaciones y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, Pereira. *Revista Livestock Research for Rural Development*, Volume 19, Number 10, October

Barrios y otros 2011. Agroforestry and soil health: Liking trees, soil biota and ecosystem services. *Soil Ecology and Ecosystem services*. Universidad de Oxford

Bassi 2010. Conceptos básicos sobre la calidad de los forrajes. Universidad Nacional de Lomas de Zamora. En línea: <http://www.cerealesyforrajes.com.ar/TechNotes/PDF/TechNote03.PDF>

Bendersky, 2001. Nos va a alcanzar el pasto que tenemos? <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/articulos/disponibilidad-de-forraje-t3562/p0.htm>

Bentley y Baker 2005. Comprendiendo y obteniendo lo máximo del conocimiento local de los agricultores. Investigación y desarrollo participativo para la agricultura y el manejo sostenible de recursos naturales: Libro de consulta. Volumen 1: Comprendiendo Investigación y desarrollo participativo. International Development Research Centre (IDRC). En línea: http://web.idrc.ca/es/ev-85049-201-1-DO_TOPIC.html

Betancourt y otros. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Revista Agroforestería de las Americas Vol. 10 N. 39-40

Brown, G., y otros. 2001. Diversidad y Rol Funcional de la Macrofauna Edáfica en los Ecosistema

Bugarín, J., Bojórquez, J. I., Lemus, C., Murray, R. M., Ontiveros, H., Aguirre, J., & Hernández, A. (2010). Comportamiento de algunas propiedades físico-químicas del suelo con diferente sistema silvopastoril en la llanura norte de Nayarit. Cultivos Tropicales, 31(2), En línea: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362010000200007&script=sci_arttext&tlng=en

Camas R. 2003. Aplicación del modelo de simulación epic en la predicción del efecto de sistemas de labranza del suelo. Revista TERRA Latinoamericana, Vol. 21, Núm. 3, julio-septiembre, 2003, pp. 381-388 Universidad Autónoma Chapingo México

Cárdenas Castro, E., Bustamante Lozano, Á. M., Espitia Barrera, J. E., & Páez Martínez, A. (2012). Dry Matter Productivity and Carbon Sequestration in a Silvopastoral System and a Traditional System in Five Foothill Cattle Farms in the Department of Casanare. Revista de Medicina Veterinaria, (24), 51-57.

Carranza, C. A., & Ledesma, M. (2009). Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles. In XIII Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires, Argentina. En línea: <http://ecaths1.s3.amazonaws.com/forrajicultura/ManejoSistemasSilvopastoriles.pdf>

Carrilho, PHM, Alonso, J., Santos, LDT, y Sampaio, RA (2012). Comportamiento vegetativo y reproductivo de *Brachiaria decumbens* vs. *Basilisk* Bajo Diferentes Niveles de sombra. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 46 (1), 85.

Carvalho, MM (1997). Asociaciones de Pasturas con Árboles en la región centro sur del Brasil. *Agroforestería en las Américas*, 4 (5). En línea: <http://www.fao.org/wairdocs/LEAD/X6313S/X6313S00.HTM>

Casasola F y Gobbil J. 2003 A. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, *Revista Agroforesteria de las Americas* Vol 10 N. 39-40

Castro E y otros 2009. Balance de nitrógeno en pastura de gramíneas y pastura de gramínea más *Lotus uliginosus* en la sabana de Bogotá, Colombia *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 10(1), 91-101

CATIE 1983. Sistemas de producción animal en el trópico. Curso corto. Republica Dominicana

CATIE 1992. *Acacia mangium* especie de árbol de uso múltiple en América Central. Centro Agronómico tropical de investigación y enseñanza. Programa de manejo integrado de recursos naturales renovables. Turrialba Costa Rica.

Colegio de la frontera Sur. 2003 Competencia por luz en sistemas Silvopastoril. *Revista cuatrimestral*.

Coral D, Coral JP y Muñoz D. 2011 Caracterización del conocimiento local del componente arbórea en fincas ganaderas. *Revista de ciencias agrícolas Volumen XXVIII No. 2 Pág. 18 – 30*

Córdoba 2003. Competencia por luz en sistemas Silvopastoril. *Revista Ecofronteras* N. 18. <http://www.ecosur.mx/ecosur/ecofronteras/ecofrontera/ecofront18/pdf/silvopastoril.pdf>

Corvalan y Hernández 2006 Cátedra de Dasometría 2006. Universidad de Chile http://www.grn.cl/Parametros_de_Rodal.pdf.

Daniel, O., & Couto, L. (1999). Una visión general de sistemas silvopastoriles y agrosilvopastoriles con Eucalipto en Brasil. *FAO ANIMAL PRODUCTION AND HEALTH PAPER*, 421-438.

Dauber, E. 1995. Guía práctica y teórica para el diseño de un inventario forestal de reconocimiento. Proyecto de Manejo forestal sostenible (BOLFOR). Santa Cruz Bolivia.

Estrada, 2002. Pastos y forrajes para el trópico Colombiano. Universidad de Caldas.

FAO. 1998. Conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible. Materia orgánica y actividad biológica. En línea: www.fao.org/ag/ca/Training_Materials/CD27.../organic_matter.pdf

Fassola H y otros 2004. Regulación de la densidad en rodales de *Grevillea robusta* A. Cunn para la producción de madera de calidad y forraje en el sur de la provincia de Misiones. Instituto Nacional de tecnología agropecuaria INTA. Misiones Argentina

Fernández J, y otros. 2003. Uso de la *Acacia decurrens* como Suplemento Alimenticio para Vacas Lecheras, en Clima Frío de Colombia

Gadow y otros. 2007. Estructura y crecimiento del bosque I y II. IUFRO.

Giraldo A 2003. Potencial de la arbórea guácimo (*Guazuma ulmifolia*), como componente forrajero en sistemas silvopastoriles.

González y otros 2007. Los pastizales naturales y el medio ambiente. Facultad de Agronomía. Universidad de Matanzas “C. Cienfuegos”. Matanzas. Cuba

Guardiola 2010, Apuntes de clase. Sociología. Universidad de Murcia. España. En línea. <http://www.um.es/docencia/pguardio/>

Hernández-Valencia, I., & López-Hernández, D. (2002). Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Revista de biología tropical*, 50(3-4), 1013-1019. En línea: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0034-77442002000300019&script=sci_arttext

Heinsdijk D. y otros 1965. Planta ções de eucaliptos no Brasil. Río de Janeiro.

Ibrahim y Pezo. 1995 Sistemas Silvopastoriles. Proyecto agroforestal CATIE/GTZ. Materiales de enseñanza CATIE

Jiménez J. 2007. Diseño de sistemas de producción ganaderos sostenibles con base a los sistemas silvopastoriles (SSP) para mejorar la producción animal y lograr la sostenibilidad ambiental Tesis Maestría en Agroforestería Tropical CATIE.

López A. y otros 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril Revista Agroforestería de las Américas Vol 6 N. 23

Mahecha L y otros. Experiencias en un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala-Cynodon plectostachyus-Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica.

Mahecha L y otros. Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad.

_____. 2002. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias Vol. 15: 2,

_____. 2003 Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, Vol. 16, No 1

Muergueitio E, Ibrahim M. 2001. Agroforestería pecuaria para la reconversión de la ganadería en Latinoamérica. Ponencia presentada en el XVII Congreso Panamericano de Ciencias Veterinarias. Livestock Research for Rural Development, Volume 15, Number 10.

Muergueitio E. 2003 Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV) Livestock Research for Rural Development, Volume 13, Number 3.

Neto, AF, García, R. y Gobbi, KF 2010. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas un Padrões e níveis de sombreamento. Rev. Bras. Zootec, 29, 42.

Noguera-Talavera, A., Reyes Flores, F., Murillo, I., & Sanchez, L. (2011). Influencia de la estructura arbórea en la producción de pasto en un sistema de árboles dispersos en potrero, Tipitapa, Nicaragua. *La Calera*, 9(13), 5-10. En línea: <http://lcalera.una.edu.ni/index.php/calera/article/view/126>

Norman, D.; Worman, F.; Siebert, J.; Modiakgotla E. 1996. El enfoque de sistemas agropecuarios para el desarrollo y la generación de tecnología apropiada. FAO, Serie: Gestión de sistemas de explotación agrícola N° 10. Roma, 1996. Capítulos 2 y 3, pp. 5- 34.

Ñique, M. 2010. Biodiversidad: Clasificación y Cuantificación. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Perú

Pentón G 2000. Efecto de la sombra de los árboles sobre el pastizal en un sistema seminatural. Tesis Magister en pastos y forrajes. Universidad de Matanzas EEPF Indio Hatuey Cuba.

Rocca. 1991. Percepción, usos y teorías. *Revista Apunts: Educació Física i Esports*, (25). Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya (España). En línea: <http://www.revista-apunts.com/es/hemeroteca?article=999>

Rodríguez, M. Broto, I. Lizarralde, 2010. cubiFOR: Complemento de Excel para cubicar, clasificar productos, calcular biomasa y CO2 en masas forestales de Castilla y León. En línea: http://www.cesefor.com/cubifor/descargas/cubiFOR_CIM_MADERA.pdf

Rojas 2011. Percepción social introducción y definición. Publicación portal Scribd. En línea: <http://es.scribd.com/doc/60902427/1/PERCEPCION-SOCIAL-INTRODUCCION-Y-DEFINICION-239-246>

Rojas 2011. Manual para productores de Melina arbórea en Costa Rica. Fondo Nacional de Financiamiento forestal. http://www.fonafifo.go.cr/text_files/proyectos/Manual%20Prod%20Melina.pdf

Roldan A y otros 2000. Tecnificación del sistema de producción ganadera de doble propósito en el trópico alto andino colombiano: amamantamiento restringido. *Revista Livestock Research for Rural Development* Volume 12, Number 2, May

Rosa D. 2013 Estructura del rodal. http://iesrosachacel.net/vox_populi_digital/XX/paginas/13.php Vox populi N. XX

Rouse. 2007 Bases de conocimiento. En línea: <http://searchcrm.techtarget.com/definition/knowledge-base>

Russo R. Los sistemas agrosilvopastoriles en el contexto de una agricultura sostenible

Sánchez, S., Hernández, M., & Simón, L. (2012). Efecto del sistema silvopastoril en la fertilidad edáfica en unidades lecheras de la empresa Nazareno. Pastos y Forrajes, 26(2). En línea: <http://payfo.ihatuey.cu/Revista/v26n2/pdf/pyf05203.pdf>

Torres. 2008 Que es la fertilidad del suelo? Chemonics International USAID/Bolivia 1998 Monitoreo de parcelas permanentes de medicion en el bosque chimanes

X SEMINARIO DE PASTOS Y FORRALES. 2006 Factores del manejo para estabilizar la producción de biomasa en sistemas ganaderos

Villanueva C 2001. Ganadería y beneficios de los sistemas silvopastoriles en la cuenca alta del Río Virilla, San José, Costa rica. Tesis Maestría en Agroforestería Tropical