

**ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO ALMACENADO, EN EL
ARREGLO SILVOPASTORIL DE ACACIA NEGRA *Acacia decurrens* EN
LINDERO MADERABLE, EN EL CORREGIMIENTO DE OBONUCO,
MUNICIPIO DE PASTO.**

**OSCAR JAVIER APONTE
BAYRON GIOVANNY OBANDO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2004**

**ESTIMACIÓN DE BIOMASA AÉREA Y CARBONO ALMACENADO, EN EL
ARREGLO SILVOPASTORIL DE ACACIA NEGRA *Acacia decurrens* EN
LINDERO MADERABLE, EN EL CORREGIMIENTO DE OBONUCO,
MUNICIPIO DE PASTO.**

**OSCAR JAVIER APONTE
BAYRON GIOVANNY OBANDO**

**Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Agroforestal**

**Presidenta
I.F.M. Sc. LUZ AMALIA FORERO PEÑA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL
SAN JUAN DE PASTO
2004**

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo primero del Acuerdo número 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

Nota de aceptación

Firma del presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan de Pasto, _____ del mes de _____ del 2004

Al Altísimo,

A mi madre Graciela Llanos
Por su apoyo incondicional

A mi familia
Por ser mi soporte y guía e impulsando
cada una de mis metas y aspiraciones.

Oscar Javier

A Dios,
Que todo le debo.

A mis padres,
Por su esfuerzo y dedicación.

A Lorena Ibarra,
Por la inspiración.

Giovanny Obando

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

La Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño, especialmente al Programa de Ingeniería Agroforestal, sus docentes, directivos y diversos estamentos.

Luz Amalia Forero Peña, Ingeniera Forestal M. Sc., docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Héctor Ordóñez, Ingeniero Forestal, M. Sc., docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

William Ballesteros, Ingeniero Agroforestal M. Sc., docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

Francisco Torres, Ingeniero Agrónomo M. Sc, docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

El Centro de Investigaciones CORPOICA, Obonuco, municipio de Pasto.

Analuz Aristizabal, Zootecnista, de la Universidad de Nariño

Jorge Vélez, Ingeniero Agroforestal de la Universidad de Nariño.

Lorena Ibarra, estudiante Ingeniería Agroforestal

Y a todas aquellas personas que de una o de otra manera favorecieron el alcance de los objetivos planteados en este estudio.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1 DEFINICIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES	23
1.1.1 Certificación por concepto de Servicios Ambientales.	23
1.1.1.1 Pago por servicios ambientales.	24
1.1.1.2 Valoración de los servicios ambientales.	24
1.1.2. Concepto de servicio captura de Carbono.	24
1.2 EFECTO INVERNADERO	25
1.3 ENERGÍA SOLAR	25
1.3.1 Absorción de la radiación por las plantas.	25
1.4 FOTOSÍNTESIS	26
1.4.1 Plantas C3.	27
1.4.2 Plantas C4.	27
1.5 SISTEMA SILVOPASTORIL	28
1.5.1 Interacciones.	28
1.5.1.1 Interacciones leñosas perennes – pasturas.	28
1.5.1.2. Los árboles en los sistemas silvopastoriles.	29
1.5.2 Linderos maderables.	29

1.5.3 Pradera mejorada.	30
1.6 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA, EL CONTENIDO DE CARBONO Y CÁLCULOS DE CO ₂ FIJADO	30
1.6.1 Contenido de CO ₂ en la Biomasa por método del factor de conversión.	32
1.7 DESCRIPCIÓN DE ESPECIES	34
1.7.1 COMPONENTE FORESTAL	34
1.7.1.1 Acacia negra, <i>Acacia decurrens</i> .	34
* Morfología.	34
* Propagación y crecimiento.	34
* Estimación de Carbono en Biomasa aérea.	34
1.7.2 COMPONENTE FORRAJERO	35
1.7.2.1 Azul orchoro, <i>Dactylis glomerata</i>	35
* Morfología.	35
* Generalidades.	35
* Estimación de captura de Carbono.	35
1.7.2.2 Aubade, <i>Lolium multiflorum</i> tetraploide.	35
* Generalidades.	35
* Estimación de captura de Carbono.	36
1.7.2.3 Tetrablend 444, <i>Lolium multiflorum</i> .	36
* Generalidades.	36
1.7.2.4 Trébol blanco, <i>Trifolium repens</i> .	36
* Generalidades.	36

* Morfología.	37
* Estimación de captura de Carbono	37
* Duración.	37
1.8 EXPERIENCIAS	37
1.8.1 Estudio en Antioquia, Colombia.	37
1.8.2 Estudio Gualipes, Costa Rica.	38
2. MATERIALES Y MÉTODOS	40
2.1 LOCALIZACIÓN	40
2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA	40
2.2.1 Características de la zona.	40
2.2.2 Geología y geomorfología.	40
2.2.3 Topografía y pendiente.	41
2.2.4 Características del sitio de estudio.	41
2.2.4.1 Suelo.	41
2.2.4.2 Aspectos del sistema silvopastoril.	42
2.2.5 Área experimental.	42
2.2.6 Tratamientos.	42
2.2.7 Época de muestreo.	42
2.3 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	44
2.3.1 Componente herbáceo.	44
2.3.1.1 En campo.	44

2.3.1.2 En laboratorio.	45
2.3.2 Componente Arbóreo.	45
2.3.2.1 En campo.	45
* Variables dasométricas.	45
* Técnica del árbol promedio (método destructivo).	45
* Peso verde total de la parte aérea del árbol (PV).	46
2.3.2.2 En laboratorio.	46
2.3.2.3 Estimación de Volumen.	46
* Volumen del Fuste.	46
* Volumen del tocón.	47
* Volumen de ramas.	47
* Volumen de madera en el lindero.	47
2.3.2.4 Estimación de biomasa.	47
* Ecuación alométrica.	47
* Estimación de la Biomasa aérea mediante la técnica del árbol promedio.	48
2.3.2.5 Estimación de la Biomasa y del carbono almacenado del componente herbáceo.	48
* Producción de Biomasa aérea y almacenamiento de carbono.	48
* Estimación de Biomasa por superficie.	48
* Materia seca.	49
* Estimación de carbono almacenado por hectárea.	49
2.3.2.6 Componente forestal.	49

* Producción de Biomasa aérea y captura de carbono por árbol.	49
* Estimación de Biomasa aérea del lindero.	49
* Estimación de carbono almacenado.	50
2.3.3 Arreglo silvopastoril.	50
2.3.3.1 Fijación de carbono.	50
2.4 ANÁLISIS ECONÓMICO	50
2.4.1 Ingreso Bruto.	50
2.4.2 Utilidad.	51
2.4.3 Rentabilidad.	51
2.4.4 Relación Beneficio Costo.	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ARREGLO SILVOPASTORIL	52
3.1.1 Pradera.	52
3.1.2 Lindero Maderable (LM).	53
3.1.2.1 Descripción de la especie.	53
3.1.2.2 Estructura del Lindero.	53
* Estructura diamétrica.	53
* Estructura altimétrica.	54
3.1.3. Interacciones entre componentes.	56
3.2 ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y SU CONTENIDO DE CARBONO (CC) EN EL SISTEMA SILVOPASTORIL (SSP)	59
3.2.1 Biomasa y Carbono (C) del componente herbáceo.	59

3.2.1.1	90 días después de la siembra.	59
3.2.1.2	135 después de la siembra.	61
3.2.1.3	Muestreo tres, 180 días después de la siembra.	62
3.2.1.4	225 días después de la siembra.	63
3.2.1.5	270 días después de la siembra.	63
3.2.1.6	315 días después de la siembra.	65
3.2.1.7	360 días después de la siembra.	66
3.2.2	Componente forestal.	70
3.2.2.1	Estimación de la Biomasa aérea y carbono con la ecuación alométrica.	70
3.2.2.2	Estimación de la Ba por la técnica del árbol de área basal promedio.	70
3.3	ANÁLISIS ECONÓMICO	71
3.3.1	Indicadores económicos.	71
3.3.2	Comparadores económicos entre el arreglo silvopastoril y testigo.	73
	CONCLUSIONES	74
	RECOMENDACIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Estimación de Carbono en la Biomasa aérea de los árboles de <i>Acacia decurrens</i> de seis años de edad utilizados en el Sistema Silvopastoril. Antioquia, 2000.	39
Cuadro 2. Estimación de Carbono almacenado en la parte aérea de la pastura kikuyo <i>P. Clandestinum</i> . Antioquia, 2003.	39
Cuadro 3. Variables dasométricas del Lindero Maderable <i>A. decurrens</i> de nueve años de edad en el C. I, Obonuco, Pasto – Nariño, 2003.	55
Cuadro 4. Forraje Verde (FV), Biomasa aérea (Ba) y Contenido de Carbono (CC) en la pradera mejorada del SSP y testigo, para 7 épocas de muestreo después de la siembra (DDS) y entre diferentes tratamientos C.I Obonuco, Pasto, 2003.	59
Cuadro 5. Estimación de la Biomasa aérea (Ba) y almacenamiento de Carbono (C) en el Lindero Maderable de <i>A. decurrens</i> en el C. I. CORPOICA Obonuco, Pasto, 2003.	70
Cuadro 6. Indicadores económicos (ingreso total: IT, costo total: CT, utilidad: UT, rentabilidad: R% y la relación beneficio/costo: BC) de los tratamientos en el arreglo silvopastoril y el testigo, C.I. CORPOICA Obonuco, Pasto, 2003.	71

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Esquema simplificado de un sistema silvopastoril, interfase árbol – pastura.	33
Figura 2. Esquema de la ubicación del área de estudio en el C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto, 2003.	41
Figura 3. Esquema de campo del sistema silvopastoril de <i>Acacia decurrens</i> en el Lindero Maderable, con pradera mejorada, C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto, 2002.	43
Figura 4. Histograma de frecuencia diamétrica (cm), del Lindero Maderable de <i>Acacia decurrens</i> , C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto 2002.	57
Figura 5. Histograma de frecuencia de altura (m), del Lindero Maderable de <i>Acacia decurrens</i> , C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto 2002.	57
Figura 6. Diagrama del arreglo silvopastoril de <i>Acacia decurrens</i> – pradera mejorada en el Lindero Maderable, C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto, 2002.	58
Figura 7. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de Carbono en la pradera mejorada en cada uno de los tratamientos y testigo, 90 días después de la siembra.	60
Figura 8. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de Carbono de los tratamientos y testigo, a los 135 días después de la siembra.	62
Figura 9. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de Carbono de los tratamientos y testigo, a los 180 días después de la siembra.	64
Figura 10. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de Carbono de los tratamientos y testigo, a los 225 días después de la siembra.	64
Figura 11. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de Carbono de los tratamientos y testigo, a los 270 días después de la siembra.	65
Figura 12. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de Carbono de los tratamientos y testigo, a los 315 días después de la siembra.	66

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Análisis de suelos. Lote 12.	81
Anexo B. Precipitación CI. CORPOICA, años 2001 – 2002.	82
Anexo C. Costos de establecimiento de una pradera con pasto aubade, azul orchoro, tetrablend 444 y trébol blanco ha año ⁻¹ , en el lote no. 12, C.I Obonuco, municipio de Pasto 2002.	83
Anexo D. Costos de establecimiento y mantenimiento de un Lindero Maderable de acacia negra (<i>Acacia decurrens</i>), densidad de siembra: 15 árboles distanciados a 6 metros cada uno (90 m lineales).	84
Anexo E. Costos de mantenimiento de un Lindero Maderable de acacia negra, densidad de siembra: 15 árboles distanciados a 6 metros cada uno (90 m lineales)	85

RESUMEN

El presente estudio, se desarrolló en el Centro de Investigaciones (C.I.) CORPOICA, del corregimiento de Obonuco, perteneciente al municipio de Pasto, ubicado al sur – occidente colombiano; en esta zona se presenta una temperatura media de 13 °C, una precipitación promedio de 840 milímetros año (mm/año) y una altura de 2710 metros sobre el nivel del mar (msnm). En el C.I., se estableció una pradera con pasturas mejoradas (Pasto Azul Orcho *Dactylis glomerata*, Trébol Blanco *Trifolium repens*, Pasto Aubade *Lolium multiflorum* tetraploide y Tetrablend 444 *Lolium multiflorum*) contiguo a un Lindero Maderable (LM) de *Acacia decurrens* con nueve años de edad, conformando un arreglo silvopastoril.

El objetivo de la investigación, fué estimar la cantidad de biomasa aérea y existencia de Carbono (C) tanto en pasturas como en el componente leñoso del arreglo. En el arreglo, la estimación del compartimento pastos, se realizó a diferentes distancias en relación al LM; realizándose muestreos en el LM (T1), a 15 m (T2), a 30 m (T3) y a 45 m (T4); en donde estos tratamientos fueron comparados con un testigo, para determinar la influencia del componente arbóreo sobre la producción y almacenamiento de C de las forrajeras. La evaluación se realizó durante un año, cada 45 días aproximadamente.

El promedio de rendimiento de Ba de la pradera del sistema silvopastoril para los cuatro tratamientos en los siete períodos evaluados fue de 1,33 t Ba ha⁻¹, 0,66 t C ha⁻¹ por corte y en la pradera de 1,91 t Ba ha⁻¹ y 0,95 t C ha⁻¹.

La comparación de promedios de producción y almacenamiento de C de las pasturas, en un mismo periodo y a través de su ciclo productivo, se realizó con una prueba de comparación de medias (t Student), en el programa SAS ® versión 6.1 para Windows 98, con el cual se determinó la variabilidad espacio temporal de los tratamientos.

La biomasa aérea (Ba) del componente arbóreo, se estimó a través de la ecuación alométrica sugerida por Giraldo para *A. decurrens*, a partir de estos resultados se determinó el C almacenado en el LM. El segundo método ejecutado fué el destructivo (técnica del árbol de área basal promedio), a partir de esta técnica, se estimó en campo la biomasa y C almacenado en el Lindero.

Entre estos métodos, existe una diferencia por árbol de 0,49 t Ba año⁻¹ y 0,24 t C año⁻¹, siendo más confiable, la técnica del árbol basal promedio.

En la producción de Forraje Verde (FV) y almacenamiento de C de las pasturas, se encontraron diferencias estadísticas en los tratamientos 1,2 y 3 con respecto al tratamiento 4 y testigo, que presentaron rendimientos mayores, que los tres primeros tratamientos influenciados directamente por el LM, lo que implicó que hasta los 30 m de distancia del Lindero se encuentra una marcada interfase de las arbóreas con las pasturas.

En la evaluación de todo el ciclo productivo herbáceo, se presentó una mayor variabilidad en el T4 y testigo en relación con los tres primeros tratamientos, que a pesar de tener una menor producción, se mantuvieron con menor fluctuación durante todo el periodo de producción.

En el estudio realizado en la leñosa perenne, se presentó una mayor confiabilidad, en la metodología ejecutada en campo, que la realizada por medio de la ecuación, debido a los resultados con significativa diferencia presentado entre las dos. Desde el punto de vista económico, el arreglo silvopastoril tiene un comportamiento menos rentable que el testigo, a pesar de su diversidad de componentes, que permite la venta de otros productos diferentes a los de la pradera.

ABSTRACT

The present study, was developed in the Center of Investigations (C.I.) CORPOICA, of the town of Obonuco, belonging to the municipality of Pasto, located to the south - Colombian occident; in this area a half temperature of 13 °C, a precipitation average 840 millimeters year it is presented (mm/year) and a height 2710 meters on the level of the sea. In the C.I., a prairie settled down with improved pastures (I Pasture Blue Orchoro *Dactylis glomerata*, Clover White *Trifolium repens*, grass Aubade *Lolium multiflorum* tetraploide and Tetrablend 444 *Lolium multiflorum*) contiguous to a boundary woodwork of *Acacia decurrens* with nine years of age, conforming an arrangement silvopastoril.

The objective of the investigation, was to estimate the quantity of air biomass and existence of Carbon (C) as much in pastures as in the woody component of the arrangement. In the arrangement, the estimate of the compartment grasses, was carried out at different distances in relation to the boundary woodwork (BW), being carried out samplings in the BW (T1), to 15 m (T2), to 30 m (T3) and to 45 m (T4); where these treatments were compared with a witness, to determine the influence of the arboreal component on the production and storage of C of the grass. The evaluation was carried out during one year, every 45 days approximately.

The average of yield of Ab of the prairie of the system silvopastoril for the four treatments in the seven evaluated periods was of 1,33 t Ab he⁻¹, 0,66 t C he⁻¹ for court and in the prairie of 1,91 t Ab he⁻¹ and 0,95 t C he⁻¹.

The comparison of production averages and storage of C of the pastures, in oneself period and through their productive cycle, he was carried out with a test of comparison of stockings (t Student), in the program SAS ® version 6.1, with which the variability space storm of the treatments was determined.

The air biomass (Ab) of the arboreal component, he was considered through the equation alométrica suggested by Giraldo for *A. decurrens*, starting from these results the C was determined stored in the LM. The second executed method was the destructive one (technique of the tree of area basal average), starting from this technique, he/she was considered in field the biomass and C stored in the Boundary.

Among these methods, a difference exists for tree of 0,49 t Ab year⁻¹ and 0,24 t C year⁻¹, being more reliable, the technique of the tree basal average.

In the production of Green Forage (GF) and storage of C of the pastures, they were statistical differences in the treatments 1,2 and 3 with regard to the treatment 4 and witness that presented bigger yields that the first three treatments influenced directly by the BW, what implied that until the 30 m of distance of the Boundary he meets a marked interface of the arboreal ones with the pastures.

In the evaluation of the whole herbaceous productive cycle, a bigger variability was presented in the T4 and witness in connection with the first three treatments that in spite of having a smaller production, they stayed with smaller fluctuation during the whole period of production.

In the study carried out in the woody one perennial, a bigger dependability was presented in the methodology executed in field that the one carried out by means of the equation, due to the results with significant difference presented among two o'clock. From the economic point of view, the arrangement silvopastoril has a less profitable behavior that the witness, in spite of its diversity of components that allows the sale of other products different to those of the prairie.

INTRODUCCIÓN

En el departamento de Nariño, existe una marcada actividad ganadera, representada en 82.266 cabezas de ganado que producen diariamente 584.119 litros/leche; esta actividad pecuaria, ocupa una gran parte del territorio nariñense, ya sea por la explotación de grandes extensiones de praderas mejoradas, o pequeños minifundios con pasturas nativas, las cuales generalmente se encuentran bajo un manejo empírico e inadecuado, ya sea por falta de recursos económicos o de capacitación, o simplemente por la idiosincrasia de los productores.

Tradicionalmente, los finqueros cercan los linderos de sus predios con postes muertos de madera que extraen de reductos boscosos cercanos, contribuyendo a la deforestación local y ampliando la frontera agropecuaria. Es entonces, cuando los linderos maderables con especies leñosas (LM), conjuntamente con las praderas, pueden presentarse como una opción, dentro de los muchos arreglos de Sistemas Silvopastoriles (SSP), disminuyendo así, la presión que se tiene sobre los recursos naturales e indirectamente en los costos de producción.

Los SSP, son una alternativa de manejo viable, tanto para pequeños, como grandes productores, en donde las plantaciones de árboles en línea, favorecen su implementación al no incidir directamente sobre el terreno cultivable y labores culturales, además de generar servicios y bienes adicionales, que llevados dentro de un marco productivo bien diseñado pueden generar mayor rentabilidad, que una forma de uso tradicional del suelo (monocultivo).

Para verificar si los beneficios expuestos teóricamente, se cumplen en las condiciones de trópico alto, se desarrolló en el Centro de Investigación Corpoica Obonuco, la presente investigación en el arreglo silvopastoril con la especie perenne acacia *Acacia decurrens* y las forrajeras Pasto Azul Orcho *Dactylis glomerata*, Trébol Blanco *Trifolium repens*, Pasto Aubade *Lolium multiflorum* tetraploide y Tetrablend 444 *Lolium multiflorum*, para el cual se describió el manejo de éste y se calculó la biomasa aérea y el potencial de almacenamiento de carbono del compartimiento arbóreo, así como del herbáceo, a diferentes distancias con respecto al LM (T1: próximo al LM, T2: a 15 m, T3: a 30 m y T4 a 45 m con relación al LM). Se realizaron siete muestreos en un año (cada 45 días), en cada tratamiento y en la pradera testigo. Además se realizó un análisis económico teniendo en cuenta algunos indicadores (Ingreso total, Costo total, Utilidad, Rentabilidad, y Beneficio Costo).

1. MARCO TEÓRICO

1.1 DEFINICIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES

Hueting nos presenta la siguiente definición:

Un bien ambiental es un producto de la naturaleza directamente aprovechado por el ser humano, el agua es un ejemplo de un bien ambiental; en cambio, los servicios ambientales se definen a partir de las funciones ecosistémicas de los recursos naturales. Las funciones ambientales son los posibles usos de la naturaleza por los humanos y los servicios ambientales son las posibilidades o el potencial a ser utilizados por los humanos para su propio bienestar¹.

El mismo autor afirma que “desde el punto de vista geográfico, los servicios ambientales pueden ser de interés global o local, por ejemplo, los servicios ambientales de captura de carbono (C) no tienen demarcación territorial y se consideran de interés global; la regulación hídrica es un servicio ambiental con más interés local o territorial”².

1.1.1 Certificación por concepto de servicios ambientales. Según Hueting “la certificación es un proceso voluntario al cual las empresas deciden someterse por razones diversas, incluyendo de imagen y de acceso a mercados. Los mercados para servicios ambientales son muy incipientes, así que no existen todavía prácticas establecidas de certificación y reglas definidas para acreditar a los certificadores”³

Pedroni afirma que “la única excepción es quizá el secuestro y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero bajo el Protocolo de Kyoto. En este caso se están formulando requisitos de certificación de las emisiones reducidas o secuestradas para los proyectos elegibles bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)”⁴.

¹ HUETING et al. Los mecanismos de pago por servicios ambientales como innovación social en Nicaragua: 7(13):32[Online][2000]. Available from internet: www.Sdnp.org/mirrors/lc/nic/documentos/s.a.agua/definición

² Ibid., p. 33.

³ Ibid., p. 35.

⁴ PEDRONI, L. Oportunidad y requisitos para el pago de servicios ambientales. Costa Rica. p. 15. [On line] [2001]. Available from internet: <www.Lpedroni@catie.ac.cr>.

El mismo autor afirma que “hasta la fecha no existen entidades acreditadas bajo el MDL que puedan certificar las emisiones reducidas o secuestradas. Sin embargo, existen empresas certificadoras internacionales, tales como SGS, Gerling Cert, GFA Terra Systems, entre otras, que ya han tomado la iniciativa de certificar algunos proyectos, por ejemplo proyectos de las fases pilotos de la implementación conjunta, bajo el MDL”⁵.

El autor sostiene que “es obvio, que para tener acceso a los fondos del MDL, serán necesarios esfuerzos importantes, incluso financieros. Por lo tanto empresas grandes, comunidades bien desarrolladas y organizaciones gubernamentales y no gubernamentales (ONG’s), fuertes tendrán la capacidad de preparar y coordinar la implementación de proyectos para el MDL”⁶.

1.1.1.1 Pago por servicios ambientales. Virtualcenter.org., informan que “el Pago por Servicios Ambientales no es una subvención o subsidio a la producción forestal, es el pago por un servicio que se recibe, y por el cual alguien está dispuesto a pagar (consumidores de combustible, empresas que utilizan el agua, compensación de emisiones de C, disfrute de la belleza escénica, protección de biodiversidad”⁷.

1.1.1.2 Valoración de los servicios ambientales. “La aplicación de las mismas ha arrojado valores que oscilan entre los US\$16 (\$46.400) y US\$2.671(\$7.745.900) por hectárea para el año 2003”⁸. Según, Virtualcenter.org.

1.1.2 Concepto de servicio captura de Carbono. De acuerdo con Ecosur “el concepto de captura de C normalmente se relaciona a la idea de almacenar reservas de C en suelos, bosques y otros tipos de vegetación, donde dichas reservas están en peligro inminente de ser perdidas. También se promueve el incremento de las reservas de C por el establecimiento de nuevas plantaciones forestales, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados”⁹.

⁵ Ibid., .p. 16

⁶ Ibid., .p. 20

⁷ VIRTUALCENTER O RG. Algunas experiencias en el Pago de Servicios Ambientales con énfasis en Captura de Carbono. España. P. 63[Online][2003].Available from internet: <<http://lead.virtualcenter.org/es/ele/conferencia3/articulo12.htm>>

⁸ Ibid., p. 63.

⁹ ECOFRONTERAS. Captura de carbono. México. p. 44[on line] [2002]. Available from internet: <Ecosur.mx/scolel/capcar.htm>

Conservación, reforestación y un manejo optimizado de la administración de bosques son los principales métodos mediante los cuales el C atmosférico puede ser capturado.

1.2 EFECTO INVERNADERO

Acevedo afirma que:

El promedio de temperatura de la Tierra se ha mantenido relativamente constante debido a que existe un balance entre la cantidad de energía solar que recibe la Tierra y la que es reflejada y emitida de nuevo al espacio. La contaminación del aire puede afectar este balance energético y ello tiene su efecto más notable en la temperatura global. Esta situación se está presentando actualmente con el aumento geométrico de los niveles de CO₂ en la atmósfera. Este gas, junto con el metano, los clorofluorocarbonos (CFCs), los óxidos de nitrógeno y el vapor de agua, al acumularse en los estratos superiores de la atmósfera, absorben gran parte de la radiación infrarroja que refleja la superficie de la Tierra; funcionan como el cristal de un invernadero que deja pasar parte de los rayos solares y atrapa el calor que regresa, lo que incrementa la temperatura interna, fenómeno conocido como efecto invernadero¹⁰.

1.3 ENERGÍA SOLAR

Para Nair “la energía radiante disponible para la fotosíntesis viene del sol. La radiación solar que recibe la superficie de la tierra, cuando la superficie es perpendicular a los rayos del sol, varía de 1.4 a 1.7 cal cm² min⁻¹ en un día claro. El espectro de la radiación solar (de 400-700 nm longitud de onda) corresponde a 44 – 50% de la radiación solar total que entra a la atmósfera terrestre. A este espectro visible, que usan las plantas se le llama radiación fotosintéticamente activa (PAR)”¹¹.

1.3.1 Absorción de la radiación por las plantas. Según Andrade “la radiación que incide sobre las hojas, una gran parte es absorbida, la mayor parte de la luz ultravioleta es retenida por la epidermis; solamente un 2 a 5% de esta radiación penetra en las capas más profundas de la hoja. La absorción de radiación fotosintéticamente activa es determinada por los pigmentos de los cloroplastos, clorofila a y b y los carotenos. Cerca del 70% de esta radiación que entra en el mesófilo es absorbida por los cloroplastos”¹².

1.4 FOTOSÍNTESIS

¹⁰ ACEVEDO, S et al.. Ecología, Efecto Invernadero. Bogotá: Norma, 1999. p 526.

¹¹ NAIR, Ramachandran. Agroforestería. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1997. p 183.

¹² ANDRADE, Hernan. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta* en el trópico húmedo. Turrialba, Costa Rica, 1999, 67 p. Trabajo de grado (*Magister Scientiae*). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

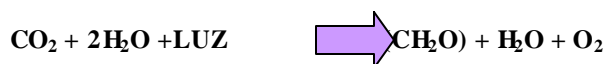
La fotosíntesis es uno de los procesos metabólicos de los que se valen las células para obtener energía (se puede ver como un sistema de conversión de energía lumínica en energía química que se puede transportar y almacenar)¹³.

Gurin¹⁴ afirma que:

Con la ayuda imprescindible de la energía lumínica y de la clorofila, en las hojas y partes verdes de una planta se sintetizan azúcares (glucosa), hidratos de C (almidón) y otras sustancias, a partir del CO₂ (anhídrido carbónico o dióxido de carbono) que se encuentra en el aire y penetra en la planta a través de los estomas y del H₂O (agua) que viene de las raíces. Si los estomas están cerrados no puede entrar el CO₂, por lo tanto no hay crecimiento. Recordemos que la madera no es más que un compuesto de C. Este C no proviene de la tierra, proviene del CO₂ del aire.

De acuerdo con Nair¹⁵ la fotosíntesis consiste especialmente en la “fijación de C” en todos los tejidos verdes de las plantas, en presencia de luz solar

Toda la reacción se puede describir así:



La pagina de la Estación Experimental del Zaidí¹⁶ afirma que la energía captada en la fotosíntesis y el poder reductor adquirido en el proceso, hacen posible la reducción y la asimilación de los bioelementos necesarios, como nitrógeno y azufre, además de C, para formar materia viva.

La misma pagina, comenta que “la fotosíntesis se realiza en dos fases o etapas: la reacción lumínica, y la reacción en la oscuridad. La reacción lumínica actúa en presencia de luz con independencia de la temperatura reinante (siempre que ésta no sobrepase determinados límites). Por su parte, la reacción en la oscuridad tiene lugar con independencia de la luz pero no de la temperatura, aunque ésta última debe mantenerse igualmente dentro de unos límites para que sea efectiva”¹⁷

¹³ NAIR, Op cit., p 182.

¹⁴ GURY, Javier. Primera versión: 11 SEP. 1998 Actualizaciones (On line) / Updates: 11 ENE 1999 – Gutación – Gutation.

¹⁵ NAIR, Op cit., 183.

¹⁶ ESTACIÓN EXPERIMENTAL DEL ZAIDÍ. Fotosíntesis. [on line] [2003]. Available from internet: <www.eez.csic.es/-olivares/ciencia/fijación/fotosíntesis.htm-9k>

¹⁷ Ibid., 16.

1.4.1 Plantas C3. Nair¹⁸ dice que:

Antes de los años sesenta, se creía que la reducción de CO₂ sólo proseguía de acuerdo a un modelo de trayectoria conocida como el Ciclo de Calvin. En este proceso, el CO₂ se combina con ribulosa 1-5- difosfato y azúcar pentosa para producir dos moléculas de ácido 3 – fosfoglicerato (3-PGA) y finalmente hexosa. Puesto que el primer producto que se puede medir después de agregar CO₂ radiactivo (14 CO₂) es una molécula de 3-C (3-PGA), está vía son conocidas como planta C3.

1.4.2 Plantas C4. Según Cricyt¹⁹:

Algunas plantas han desarrollado un ciclo previo para evitar la Fotorrespiración, donde la fijación del CO₂ comienza en el fosfoenolpiruvato (PEP), molécula de 3 a 3-C, que se convierte en oxalacético de 4 C. El oxálico es convertido en ácido málico (también de 4 C). Todo esto ocurre en las células del parénquima clorofiliano del mesófilo y luego el ácido málico pasa a las células de la vaina fascicular donde se desdobra nuevamente en PEP y anhídrido carbónico, que entra en el ciclo de Calvin, mientras que el PEP vuelve a las células del mesófilo. La glucosa formada puede ser transportada rápidamente al resto de la planta.

1.5 SISTEMA SILVOPASTORIL

Pezo e Ibrahim²⁰ manifiestan que es una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de leñosas perennes (árboles, arbustos), e interactúa con los componentes tradicionales (forrajeras, herbáceas y animales), todos ellos bajo un manejo integral.

Los autores argumentan que “si bien, se habla a menudo de arreglos silvopastoriles, en los cuales las perennes leñosas constituyen un recurso alimenticio, no debe interpretarse que un

¹⁸ NAIR., Op cit., 185.

¹⁹ CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS. Fotosíntesis. [on line] [2002]. Available from internet: <<http://www.Cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Fotosint.htm>>

²⁰ PEZO Danilo e IBRAIM Muhammad. Sistemas Silvopastoriles. 2 ed. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 1999. p 4.

sistema ganadero será silvopastoril sólo cuando los árboles o arbustos presentes cumplen un propósito forrajero”²¹.

1.5.1 Interacciones. Nair²² manifiesta que las interacciones de los componentes se refieren a la influencia de un componente del sistema sobre el desempeño de los otros componentes, así como del sistema tomado como un todo.

1.5.1.1 Interacciones leñosas perennes –pasturas. De acuerdo con Pezo e Ibrahim “cuando las leñosas perennes y las especies herbáceas comparten un terreno, pueden presentarse entre ellas relaciones de interferencia y facilitación”²³.

Los autores afirman que “la competencia por radiación solar, por agua y por nutrientes, así como las posibles relaciones alelopáticas entre componentes, son manifestaciones de interferencia. En cambio, la fijación y transferencia de nutrientes, y el efecto de protección contra el viento que pueden ejercer los árboles, son relaciones de facilitación”²⁴. (Figura 1).

Los mismos autores informan que “la magnitud de las interacciones entre leñosas perennes y pasturas, así como entre individuos dentro de cada uno de estas categorías, es función de disponibilidad de factores de crecimiento (luz, agua nutrientes) en el medio, los requerimientos específicos y las características morfológicas de los componentes; la población de plantas, su arreglo espacial, y el manejo a que estén sometidos”²⁵.

1.5.1.2 Los árboles en los sistemas silvopastoriles. Pezo e Ibrahim²⁶ manifiestan que:

Los árboles interceptan parte de la radiación solar, de la precipitación, del CO₂ y del O₂ que ingresa al sistema; la captura de estos ingresos es mayor si el aprovechamiento del espacio vertical es mayor. Las plantas que se desarrollan bajo los árboles disponen de menores cantidades de luz y con frecuencia, dependiendo de la especie, no satisfacen sus necesidades para una óptima producción;

²¹ Ibid., p 4.

²² NAIR, Op cit., p 275.

²³ PEZO e IBRAHIM, Op cit., p 37.

²⁴ Ibid., p 37.

²⁵ Ibid., p 75.

²⁶ Ibid., p 76.

las plantas C4, tipo metabólico al que pertenece la gran mayoría de gramíneas tropicales, alcanza su máxima producción con altos niveles de intensidad lumínica.

1.5.2 Linderos maderables. Beer²⁷ manifiesta que en un sentido estricto, los linderos pueden definirse como los límites espaciales de una propiedad. Ellos definen el dominio espacial del inmueble y por lo tanto enmarca las posibilidades de realización de actividades que su propietario puede organizar y desarrollar con cierta paciencia en consideración de su libre albedrío.

El mismo autor comenta que “en un sentido más amplio, los linderos pueden considerarse las divisiones a establecerse dentro de un mismo predio para separar diferentes actividades productivas como puede ser el caso de separaciones de pastizales para la producción ganadera, o para distinguirlas de las actividades agrícolas propiamente dichas”²⁸.

El autor aduce que “los linderos se pueden demarcar de diferentes formas para responder plenamente a las actividades que el propietario realice. De esta forma, los linderos se demarcan simplemente por carriles desnudos de vegetación, cercos con alambre de púas sostenidos, por postes de madera, concreto, o arbustos y árboles”²⁹.

Los linderos maderables son la siembra de árboles en línea en los límites de parcelas agropecuarias ó fincas, plantadas con el objetivo principal de producir madera ó postes.

1.5.3 Pradera mejorada. Rivera³⁰, indica que es la superficie cubierta de plantas herbáceas de una o varias especies forrajeras, gramíneas, leguminosas, o mezcla de ellas sometidas a pastoreo .

1.6 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE BIOMASA, CONTENIDO DE CARBONO Y CÁLCULOS DEL CO₂ FIJADO.

El estudio de la biomasa se puede utilizar para caracterizar los bosques según su capacidad para acumular materia orgánica, para evaluar en magnitud la fijación de CO₂ atmosférico por medio de la fotosíntesis, y por

²⁷ BEER, J et al. Plantaciones de árboles en línea. 2 ed. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza(CATIE), 2000. p 37.

²⁸ Ibid., p 37.

²⁹ Ibid., p 38.

³⁰ RIVERA, Julio. Producción de bovinos. Pasto: Publigráficas, 1999. p 131.

tanto estudiar el papel de los bosques en la mitigación de los crecientes niveles de contaminación por CO₂ en la atmósfera de acuerdo con Forero³¹.

Forero³², sostiene que la relación dendrométrica correlaciona características del árbol individual o del bosque en su totalidad y se basa en el principio de crecimiento relativo, es decir, el crecimiento de un organismo respecto a otro, el principio de alometría es la ley más sencilla posible del crecimiento relativo y corresponde al incremento de una variable y con respecto a una variable x .

$$y = bx^n$$

La función alométrica ha sido recomendada para la relación existente entre el diámetro total y la altura de los árboles como también para la relación biomasa con otras variables dendrométricas. La variable independiente que mejor explica el peso seco de un árbol es el diámetro normal el cual es de fácil medición de acuerdo con Forero³³.

El diámetro explica satisfactoriamente la biomasa. La función alométrica ha sido usada en Colombia Según Forero³⁴, por ser de mejor ajuste.

De acuerdo con la misma autora:

Un problema que se ha encontrado es que se presenta una tendencia no lineal al relacionar el diámetro normal y el peso seco de los árboles, debido a la heterocedasticidad que indica un incremento de la varianza con el aumento del diámetro según Forero. Existen procedimientos para ajustar modelos de regresión que no cumplen con los supuestos de varianza constante y de distribución normal de errores, los métodos basados en las transformaciones más usados son los logarítmicos. La forma linealizada del modelo alométrico³⁵.

$$\ln(y) = \ln(a) + b \ln(x),$$

Donde y es la variable dependiente en metros, x es la variable independiente en centímetros, a y b son coeficientes de regresión y \ln es el logaritmo natural.

³¹ FORERO, Luz. Estimación del potencial de la Captura de Carbono por la *Acacia mágium* (*Rascopea mágium* ex *Acacia mágium*), en diferentes densidades de siembra de un Sistema Silvopastoril. Medellín, 2003, 113 p. Tesis de grado (*Magíster Scientiae*). Universidad Nacional de Colombia. Programa de Maestrías en Ciencias Agrícolas sede Medellín.

³² Ibid., p 65.

³³ Ibid., p 65.

³⁴ Ibid., p 66.

³⁵ Ibid., p 66

La transformación simplifica los cálculos pues permite usar ajuste de rectas por mínimos cuadrados ordinarios y, además incrementa la validación estadística del análisis al homogeneizar la varianza sobre el rango de los datos, Forero³⁶.

La misma autora³⁷, cita algunos ejemplos de modelos alométricos y logarítmicos empleados en los estudios de biomasa para la *A. mangium* en zonas tropicales son:

- En el bajo Cauca Antioqueño, la ecuación de biomasa total estimada fue:

$$Bt = 0,0519537 D^{2.15628} H^{0.693581}, \\ R^2 = 98,73\%$$

Donde:

Bt, representa la biomasa total en kg

D, es el diámetro a la altura del pecho (DAP) en cm

H, es la altura (m)

- En Guapiles (Costa Rica), en sistemas silvopastoriles de aproximadamente 2 años de edad, los modelos de biomasa aérea encontrados presentaron un buen ajuste ($R^2 = 0.99$), de acuerdo con Andrade³⁸.

$$B = 3.44 ** + 0.064 dap^2 + 1.03 ** H$$

Donde *B* corresponde a la biomasa total en Kg, *dap* al diámetro y *H* a la altura total.

Para la determinación de modelos de biomasa radical se usan las mismas ecuaciones alométricas y generalmente se utiliza el diámetro normal como variable dependiente.

1.6.1 Contenido de CO₂ en la biomasa por el método del factor de conversión. El mismo autor afirma que “en la actualidad existen muchos métodos para estimar la cantidad de CO₂ fijada por la vegetación; en uno de ellos, los datos de biomasa son multiplicados por un factor

³⁶ Ibid., p 67.

³⁷ Ibid., p 68.

³⁸ ANDRADE, Op cit., 68.

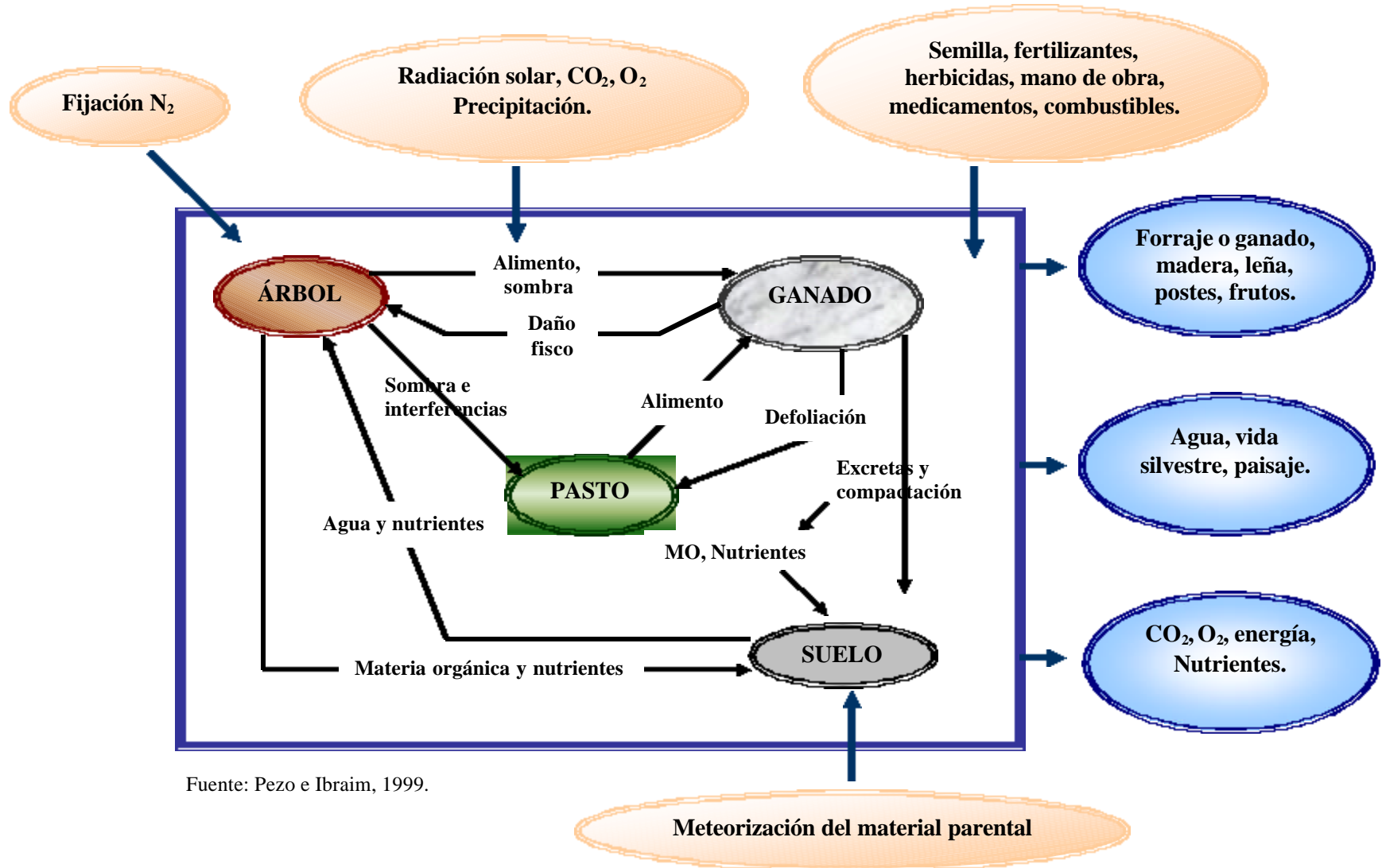
que involucra en contenido de C en la biomasa seca y la relación entre el peso de la molécula de CO₂ y el peso del átomo de C, como se muestra en la siguiente fórmula³⁹.

$$\text{CO}_2 = B * (\text{CC} * 44 / 12)$$

El autor asume que un gramo de biomasa es igual a 0.5 g de C.

³⁹ Ibid., p 69.

Figura 1. Esquema simplificado de un sistema silvopastoril, interfase árbol – pastura.



Fuente: Pezo e Ibrahim, 1999.

1.7 DESCRIPCIÓN DE ESPECIES

1.7.1 COMPONENTE FORESTAL

1.7.1.1 Acacia negra, *Acacia decurrens*.

* **Morfología.** Según Bartholomaeus es un árbol de 15 metros (m) de altura aproximadamente. Tronco con corteza agrietada; la ramificación empieza a los 2 m. Copa de forma ovalada-piramidal; follaje verde blaucuzco; hojas de 6 cm, alternas, de borde entero y nervación paralela. Flores redondas de color crema (1 cm de diámetro) agrupadas; frutos en legumbre pardusca enroscada de 7 cm., con múltiples semillas⁴⁰.

* **Propagación y crecimiento.** El mismo autor manifiesta que:

Los frutos se colectan cuando se tornan amarillos, se secan al sol durante 1 día y luego se extraen las semillas; éstas se colocan en un recipiente con agua hirviendo, retirándolo inmediatamente del calor, y dejándolas allí 24 horas. Posteriormente se siembran en el sitio definitivo, ó en semillero a 1 cm de profundidad, a 1 cm entre sí, en líneas separadas 10 cm. El transplante se efectúa cuando la plántula alcanza 20 cm. Soporta suelos pobres y arcillosos⁴¹.

* **Estimación de Carbono en biomasa aérea.** en un sistema silvopastoril de acacia *A. decurrens*, asociado con pasto kikuyo, con una densidad de 1200 árboles por ha y un diámetro promedio de 16,4 cm árbol, se determinó que el C total almacenado es de 159.06 t Giraldo⁴².

1.7.2 COMPONENTE FORRAJERO

1.7.2.1 Azul orchoro, *Dactylis glomerata*.

* **Morfología.** Bartholomaeus aduce que “es de crecimiento alto, tallos con hojas plegadas y vainas comprimidas; inflorescencia conspicua, semejante a una panícula con numerosos racimos de espiguillas

⁴⁰ BARTHOLOMAEUS, A. El manto de la tierra. Bogotá: Corporación Autónoma Regional. 1990. p 102.

⁴¹ Ibid., p 102.

⁴² GIRALDO, Luis et al. Evaluación de un Sistema Silvopastoril de *Acacia decurrens* asociada con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, en clima frío de Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2003. p 6.

reducidas cuando se deja florecer para producción de semilla; los tallos se tornan duros, fibrosos y poco apetecibles; después de varios años de producción disminuye y solo quedan plantas aisladas⁴³.

* **Generalidades.** Según Segura⁴⁴, la especie crece a 1.500 – 3.100 msnm. y se adapta muy bien al clima frío, aun en el límite de los páramos. Su crecimiento es bastante reducido en altitudes menores de 2.000 metros (m), se siembra al voleo, de 8 a 12 kg ha⁻¹, a mano ó con sembradora de granos, en surcos separados de 10 a 15 cm, 5 a 8 kg ha⁻¹. Crece bastante bien con mezclas de tréboles rojo y blanco o intercalados entre los surcos de trigo, cebada o avena.

* **Estimación de captura de Carbono.** El mismo continúa dice que “se pueden obtener 7,5 a 12, 5 t de FV, cada 6 a 8 semanas, que en materia seca, representa entre 1,5 y 2,5 t ha⁻¹, según la fracción de C en Materia Seca (MS) (en un 50% para todas las especies en general), representaría entre 0,75 y 1,25 t C ha⁻¹, cada 45 días aproximadamente, en mezcla con leguminosas, se obtiene de 2 a 4 t MS por corte; entre 1 y 2 t C⁴⁵”.

1.7.2.2 Aubade, *Lolium multiflorum* tetraploide.

* **Generalidades.** Rosenstein sostiene que “se adapta a clima frío y páramo (2200 a 3200 msnm). Se desarrolla en suelos fértiles, bien drenados, algo pesados y ricos en materia orgánica. No soporta sequías prolongadas, pero es tolerante a las heladas. Se puede sembrar con granos como cebada o avena, pero es una especie vigorosa y puede reducir la producción de los cereales. La producción de forraje verde en los primeros tres cortes puede pasar de 30 t/ ha./corte, pero después decae a la mitad. Su duración es anual⁴⁶”.

* **Estimación de captura de Carbono.** El mismo autor aclara que se obtienen de 2 a 3 t. de materia seca por corte (entre 1 y 1,5 t C), a intervalos de 45 días⁴⁷.

1.7.2.3 Tetrablend 444, *Lolium multiflorum*

* **Generalidades.** El mismo autor manifiesta que:

⁴³ BARTHOLOMAUS, Op cit., p 105.

⁴⁴ SEGURA, M. Forrajes en el Perú En: Leisa. Agricultura sostenible de los Andes. Lima, Boletín técnico, no.41, 1970. p 4-5.

⁴⁵ Ibid., p 5.

⁴⁶ ROSENSTEIN, Enrique. Diccionario de especialidades agroquímico: Semillas forrajeras. 9 ed. Bogotá: SEMICOL, 1999. p 657.

⁴⁷ Ibid., p 657.

Se ha adaptado a climas fríos (2300 a 3000 msnm). Suelos de mediana a buena fertilidad, bien drenados. Exigente en agua y nitrógeno; dura de 2 a 3 años y es tolerante a la sequía. Su crecimiento es erecto; de gran vigor, compite bien con el pasto kikuyo, se puede sembrar con granos como cebada o avena, pero es una especie vigorosa y puede reducir la producción de los cereales. La producción de forraje verde en los primeros tres cortes puede pasar de 30 t ha corte, pero después decae a la mitad⁴⁸.

1.7.2.4 Trébol blanco, *Trifolium repens*.

* **Generalidades.** De acuerdo con Segura⁴⁹, crece entre los 1500 a 3200 msnm, muy bien adaptado en Colombia, en muchas regiones crece espontáneo, especialmente en suelos bien fertilizados; requiere suelos fértiles, pero crece en gran diversidad de tipos de suelos, cuando la humedad es adecuada; se siembra al voleo 4 o 7 kg ha⁻¹ en surcos de 3 a 5 kg ha⁻¹, generalmente se siembran en mezclas con gramíneas y simultáneamente con cereales.

* **Morfología.** El mismo afirma que “son plantas rastreras glabras, estoloníferas; emite raíces en los nudos, hoyuelos ovales generalmente con manchas blanquecinas en forma de V; cabezuelas axilares sobre pedúnculos largos o más largos que las hojas, flores blancas o rosadas⁵⁰”.

* **Estimación de captura de Carbono.** Segura manifiesta que “se puede cosechar hasta 5 t FV después de la siembra (hasta 1 t MS por corte), que en C secuestrado representa ½ t cada 45 días⁵¹”.

* **Duración.** El mismo autor sostiene que “reacciona como perenne con humedad del suelo; sin embargo muchas plantas desaparecen durante el verano debido a enfermedades de los estolones⁵²”.

1.8 EXPERIENCIAS.

1.8.1 Estudio en Antioquia, Colombia. Giraldo⁵³, asegura que es un estudio sobre identificación y evaluación de diferentes Sistemas Silvopastoriles (SSP). El SSP combina la leguminosa acacia negra *A. decurrens* y la gramínea común de la zona kikuyo *Pennisetum clandestinum*. Los árboles se plantaron en

⁴⁸ Ibid., p 658.

⁴⁹ SEGURA, Op cit., p5-6.

⁵⁰ Ibid., p 5-6

⁵¹ Ibid., p 5-6.

⁵² Ibid., p 5-6.

⁵³ GIRALDO, Luis et al, Op cit., p 6.

diciembre de 1996 a una distancia de 3*3 m (1.111 árboles ha⁻¹), el SSP, se manejó en pastoreo rotacional con 7 días de ocupación y 42 días de descanso, sin fertilización. (Cuadro 1).

Para comparar las existencias de C del SSP con la actividad de pastoreo tradicional, se delimitó un potrero sin árboles de una hectárea con pastura kikuyo, también manejada con pastoreo rotacional. Este último sirvió como sistema testigo o línea base. Se estableció aleatoriamente tres parcelas permanentes circulares de 500 m², en el SSP, según Giraldo⁵⁴.

Para estimar la biomasa aérea de los árboles, comenta el mismo autor⁵⁵, se utilizó el método de las ecuaciones de biomasa (ecuación alométrica). Este método permite pronosticar la biomasa aérea total de los árboles de las parcelas con solo medir su diámetro. Para la construcción la ecuación de biomasa de *A. decurrens*, se cosecharon ocho árboles (Cuadro 1).

1.8.2 Estudio Gualipes, Costa Rica. De acuerdo con Andrade:

Se evaluó la dinámica productiva de los Sistemas Silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucalyptus deglupta*, en el trópico húmedo, en donde para determinar la biomasa aérea de los árboles se cortaron seis individuos por especie, para determinar su biomasa total, además, se midió su diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total. Se pesó por separado cada componente (fuste, ramas, hojas), para cada muestreo se llevó una submuestra al laboratorio para determinar el contenido de MS a 65^o, y luego estimar la biomasa seca por individuo⁵⁶ (Cuadro 2).

Según el mismo autor, “con base en los resultados de biomasa seca, altura y DAP, se comprobaron 11 modelos de regresión para cada especie arbórea y se escogió el modelo de mejor ajuste”⁵⁷.

Andrade afirma que “la cantidad de C almacenado en la biomasa aérea se determinó con base en la biomasa y la fracción de C para cada una de las especies. El C secuestrado en las pasturas se estimó mediante la cantidad de biomasa residual y el porcentaje de C almacenado es la resultante de la suma de los valores encontrados en los componentes arbóreo y herbáceo”⁵⁸.

⁵⁴ Ibid., p 6.

⁵⁵ Ibid., p 7.

⁵⁶ ANDRADE, Op cit., p 28.

⁵⁷ Ibid., p 30.

⁵⁸ Ibid., p 42.

Cuadro 1. Estimación de Carbono en la biomasa aérea de los árboles de *A. decurrens* de seis años de edad utilizados en el Sistema Silvopastoril, Antioquia. 2000.

Componente	Parcela	Árbol promedio (t)	Total parcela (t)	Total promedio (t ha ⁻¹)
Biomasa aérea	1	0.161	9.839	159.066
	2	0.086	5.266	
	3	0.154	8.266	

Fuente: Giraldo *et al*, 2003.

Cuadro 2. Estimación de Carbono almacenado en la parte aérea de la pastura Kikuyo *P. clandestinum*, Antioquia. 2003.

Parcela	Edad	t C ha ⁻¹
Potrero testigo	60 días	4.78 ^A
Promedio SSP	60 días	1.62 ^B

Fuente: Giraldo, *et al*, 2003. Valores con igual superíndice verticalmente no difieren significativamente al 95% de confianza.

2.MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

El ensayo se realizó en el Centro de Investigación CORPOICA Obonuco⁵⁹ (C.I), situado en el corregimiento de Obonuco, perteneciente al municipio de Pasto, ubicado al sur – occidente colombiano (Figura 2); con longitud de 77° 16´ oeste y latitud de 01° 13´norte; presenta una temperatura de 13°C, una precipitación promedio anual de 840 mm, altura de 2710 msnm; corresponde a la zona de vida bosque seco montano bajo (bs-MB).

2.2 ASPECTOS GENERALES DE LA ZONA

2.2.1 Características de la zona. Según Ordóñez⁶⁰, el Centro de Investigación (C.I.), tiene un área total de 562 ha, de las cuales, 442 ha son de vocación forestal, repartidas en una plantación de eucalipto y una zona de reserva de bosque natural, 80 ha dedicadas a ganadería de levante, ceba y cría, y 40 dedicadas a la investigación agopecuaria. El manejo de los lotes, se hace mediante rotación semestral o anual, con cereales, papa, pastos y ganado de leche (Figura 2).

2.2.2 Geología y geomorfología. Los suelos son de origen volcánico, principalmente aquellos formados “in situ” como son los observados en las lomas de relieve convexo desarrolladas a partir de un material parental más o menos homogéneo de acuerdo con Guerrero⁶¹.

El mismo autor define que “las rocas predominantes, corresponden a ígneas, como Dioritas, caracterizadas por ser de color gris verdoso y Breccia volcánica (extrusiva), constituida por fragmentos de rocas y minerales angulares cementados en cenizas volcánicas y que se presentan en color púrpura o rosado”⁶².

⁵⁹ CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGOPECUARIA.

⁶⁰ ENTREVISTA con Luis Ordóñez, auxiliar técnico del Centro de Investigación CORPOICA, Obonuco. Pasto, 15 de julio del 2003.

⁶¹ GUERRERO, Ramiro. Reconocimiento detallado de los suelos de la ganja Obonuco (Pasto) y otros Municipios del Departamento de Nariño. En: ICA. Taxonomía de suelos en Nariño. Pasto: ICA, 1970. p. 3-4,23.

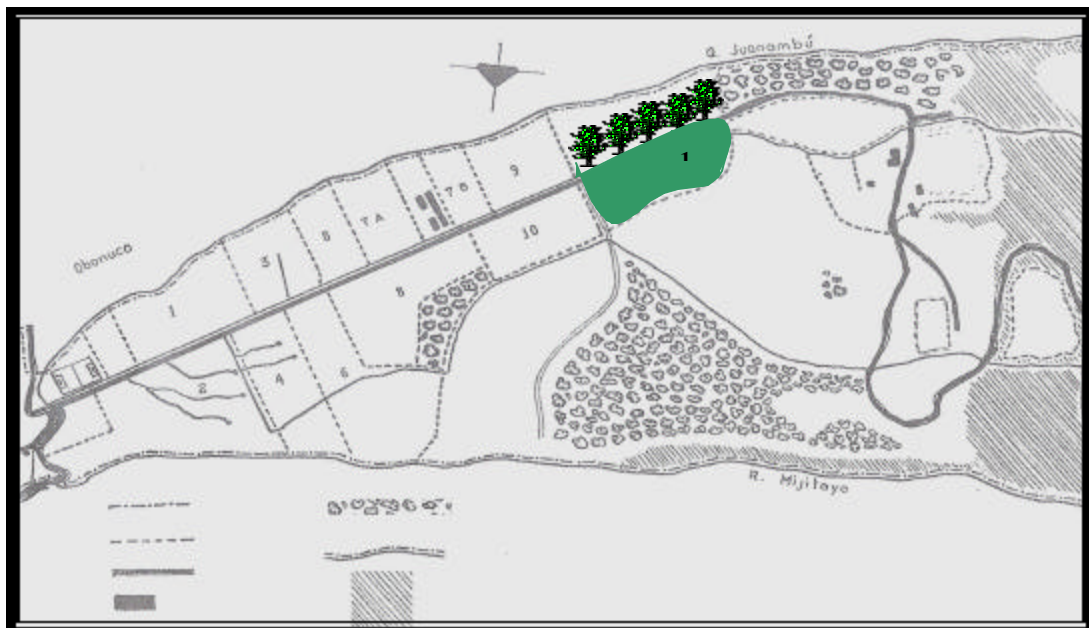
⁶² Ibid., p 3-4.

2.2.3 Topografía y pendiente. Según el autor “en el C.I es característico el tipo de relieve en terrazas o fajas de poca pendiente (3 – 7 – 12%) y poca anchura entre 20 – 80 m, separadas entre sí por barrancos de pendiente mayor (25 – 75%) y de poca altura entre 10 – 40 m”⁶³.

2.2.4 Características del sitio de estudio. El proyecto de investigación, se desarrolló en el lote 12 del sector de ganadería, que tiene un área de 5.1 ha perteneciente al C.I. (Figura 2).

2.2.4.1 Suelo . De origen volcánico, textura Arcillo-Arenosa (Ar-A), pH fuertemente ácido, contenido medio de materia orgánica, el nitrógeno total en el suelo es de bajo a medio, el contenido de fósforo es bajo a medio, el nivel de potasio es medio y de calcio y magnesio es alto, con problemas de boro, por su nivel muy bajo (Anexo A).

Figura 2. Esquema de la ubicación del área de estudio en el C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto, 2003.



Fuente: Centro de Investigación Corpoica.

⁶³ Ibid., p 3-4.

2.2.4.2 Aspectos del sistema silvopastoril.

Los árboles de *A. decurrens* se sembraron en línea en el año de 1994 como lindero y fueron asociados a diferentes cultivos transitorios (papa y cereales). La pradera mejorada, objeto del estudio, está conformada por trébol blanco *Trifolium repens*, azul orchoro *Dactylis glomerata*, tetrablend 444 *Lolium multiflorum* y pasto aubade *Lolium multiflorum*, mezclados en un 90% de gamíneas y 10% de leguminosas; establecidos a mediados del mes de diciembre del 2001.

En el establecimiento, se efectuó una arada y dos rastrilladas, con maquinaria agrícola; y se realizó solamente una fertilización al inicio del ciclo productivo de la pradera, con superfosfato simple, sulfato de magnesio, urea y bórax. El ganado de raza Holstein, pastoreó cada 45 días aproximadamente, permaneciendo durante 5 días en el sitio.

2.2.5 Área experimental. Del total del área del sistema silvopastoril (SSP), se tomó 7.000 m² para conformar dos unidades experimentales; la primera de 4.500m², se encuentra contigua al lindero maderable integrado al arreglo, y constituido por 15 árboles de *A. decurrens*, a un distanciamiento entre ellos de 6 metros aproximadamente; la segunda unidad experimental, tiene un área de 2.500 m² y conforma la pradera testigo (Figura 3).

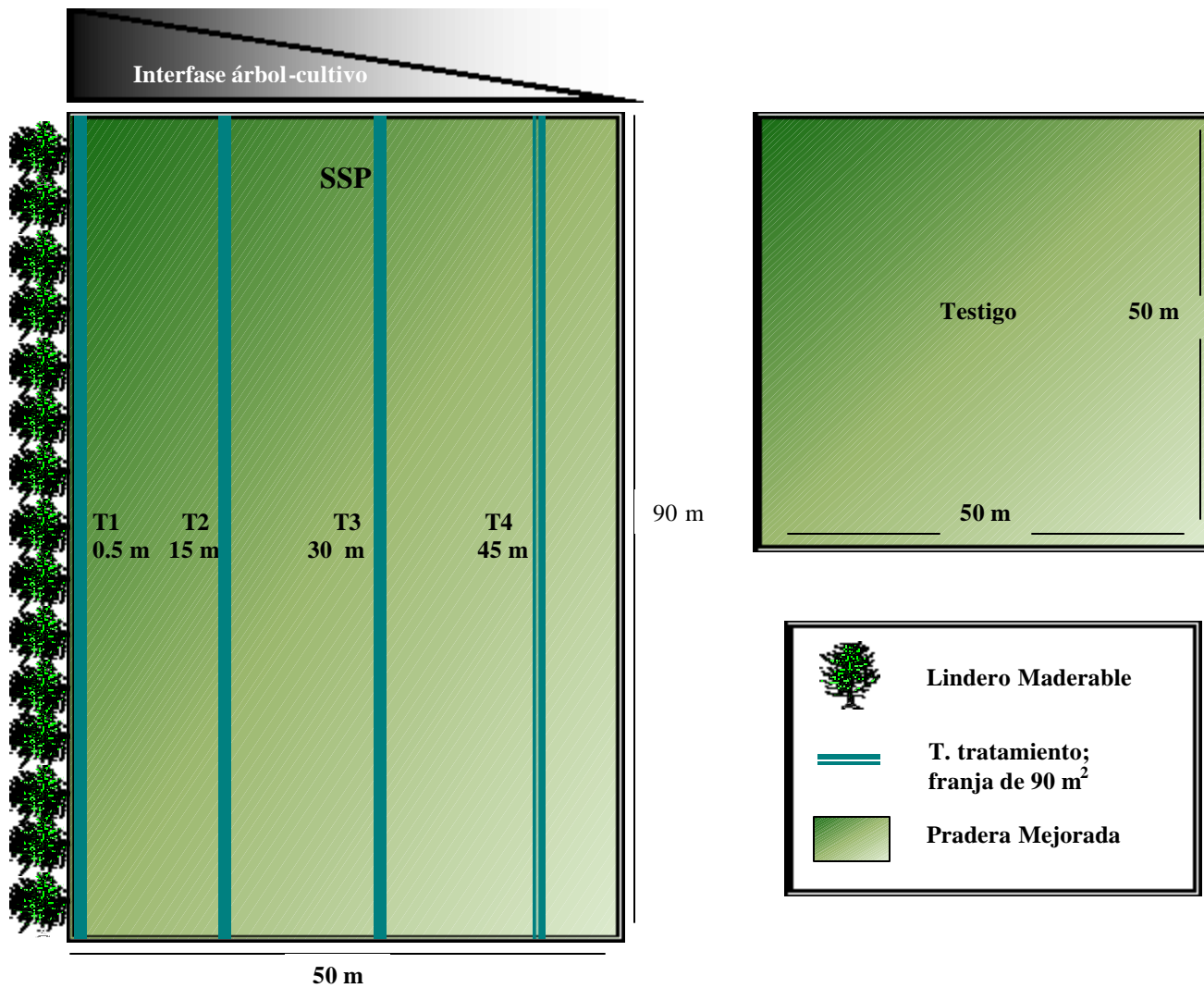
2.2.6 Tratamientos. La delimitación de cada uno de los tratamientos se hizo teniendo como referencia la influencia de los árboles sobre la pradera, estimada en 4 veces la altura, según Vélez y Moreno⁶⁴. Los tratamientos fueron franjas paralelas al lindero maderable (LM) de 1 m de ancho por 90 m de largo (90 m²), ubicadas en sentido este- oeste. La nomenclatura de cada tratamiento se describe a continuación. (Figura 3):

- **Tratamiento 1.** Franja contigua al LM.
- **Tratamiento 2.** Franja a 15 m de distancia desde el LM.
- **Tratamiento 3.** Franja a 30 m de distancia desde el LM.
- **Tratamiento 4.** Franja a 45 m de distancia desde el LM..
- **Testigo.** Pradera sin influencia arbórea.

⁶⁴ VÉLEZ Gladis y MORENO Flavio. Principios de la agosilvicultura. En: Universidad Nacional de Colombia. Revista crónica forestal y del medio ambiente no. 8. Medellín, Colombia: U:N, 1993. 56 p.

Época de muestreo. La recolección de información herbácea, se realizó en campo, teniendo en cuenta la época de cosecha estipulada para las pasturas, es así como cada

Figura 3. Esquema de campo del sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* en el Lindero Maderable , con pradera mejorada, C.I. CORPOICA, municipio de Pasto, 2002.



Donde:

Vf = Volumen total del fuste
D = Diámetros de los extremos de cada troza.
L = Longitud de cada troza.
0.6= Coeficiente de forma

*** Volumen del tocón.**

$$V_t = (D_b)^2 * \pi / 4 * L.$$

Donde:

Vt = Volumen total del tocón
Db = Diámetro de la base.
L = Longitud del tocón.

*** Volumen de ramas.**

$$V_r = \frac{\pi}{4} (D^2 * \pi / 4 * L.)$$

Donde:

Vr = Volumen de las ramas.
D = Diámetro de cada rama tomado a la mitad
L = Longitud de cada rama.

*** Volumen de madera en el lindero.** Se obtuvo de sumar el volumen de los componentes del árbol de área basal promedio por el número de individuos que conforman el lindero maderable.

2.3.2.4 Estimación de biomasa.

*** Ecuación alométrica.** Se aplicó la ecuación alométrica propuesta por Giraldo⁶⁹, en una plantación de Acacia negra en el departamento de Antioquia.

Ecuación: $\ln(y) = \ln(a) + b * \ln(x)$

⁶⁹ GIRALDO, Luis et al, Op cit., p 15.

Donde y es la variable dependiente en toneladas, x es la variable independiente en centímetros, a y b son coeficientes de regresión y \ln es el logaritmo natural.

En donde el modelo obtenido para *Acacia decurrens* es:

$$\ln(\mathbf{Bt}) = -1,431 + 2,274 \ln(\mathbf{D}), R^2 = 97.88\%.$$

Donde:

- Bt** = Biomasa aérea en kg.
- D** = Diámetro del fuste medido en cm.

*** Estimación de la biomasa aérea mediante la técnica del árbol promedio.**

La biomasa del árbol de área basal promedio fue multiplicada por el número de árboles del Lindero para obtener un estimado de la biomasa aérea total del lindero.

2.3.2.5 Estimación de la biomasa y del carbono almacenado del componente herbáceo.

*** Producción de biomasa aérea y almacenamiento de carbono.** Para evaluar estadísticamente la producción de biomasa aérea y almacenamiento de C en el componente herbáceo, se aplicó un análisis de comparación de medias entre tratamientos (prueba t de student) y el testigo, en cada uno de los muestreos realizados cada 45 días.

*** Estimación de biomasa por superficie.** Para determinar la producción por ha de cada una de las variables, en los diferentes tratamientos y testigo, en este caso Forraje Verde (FV), Materia Seca (MS) y almacenamiento de C.

Para estimar la cantidad de FV ha^{-1} , se partió de los datos colectados en campo y laboratorio, calculando el promedio de biomasa obtenido en 0.25 m^2 por cada tratamiento, y proyectándolos a t ha^{-1} , aplicando la siguiente formula:

$$\mathbf{t FV ha}^{-1} = 0.04 * \mathbf{g}$$

Donde:

0.04 = Constante..
g = Promedio en gamos

* **Materia seca.** Los resultados de MS obtenidos en la muestra representativa de 200 g en laboratorio, se proyectaron a t MS ha⁻¹, teniendo en cuenta la producción de forraje por ha obtenida en la pradera del arreglo silvopastoril y testigo; para esto se empleó la siguiente fórmula:

$$t \text{ MS ha}^{-1} = \frac{t \text{ FV} * \text{MS } 200\text{g}}{200\text{g}}$$

Donde:

t FV = Toneladas forraje verde.
MS 200g = Cantidad de MS por 200g
200g = Muestra representativa

* **Estimación de carbono almacenado por hectárea.** Según Brown⁷⁰ los resultados obtenidos en toneladas de MS, en cada uno de los tratamientos, y el testigo, se multiplicarán por la constante de fracción de C en MS, en un 50% para todas las especies en general.

$$C = t \text{ MS.} * 0,5$$

2.3.2.6 Componente forestal. .

* **Producción de biomasa aérea y captura de carbono por árbol.** Se realizó una comparación entre la biomasa calculada a través de la técnica del árbol promedio, y la estimada con la ecuación alométrica.

* **Estimación de biomasa aérea del lindero.** A partir de los resultados obtenidos de biomasa para las muestras representativas de las partes del árbol (fuste, ramas, follaje), se calculó MS para un árbol y posteriormente se lo multiplicó por el número de individuos del lindero maderable.

⁷⁰ BROWN, S. Los bosques y el cambio climático. En: CONGRESO FORESTAL MUNDIAL. (2o. :Istanbul). Ponencias del II Congreso sobre el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Istanbul, Sp, 1997. p 37.

$$B \text{ Lindero} = \frac{(t \text{ BV}) * (t \text{ MS})}{N^4 t \text{ BV}} * 15$$

$$N^4 t \text{ BV}$$

Donde:

$N^4 t$	=	Muestra representativa de biomasa en verde.
$t \text{ MS}$	=	MS obtenida de la muestra representativa.
$t \text{ BV}$	=	Biomasa en verde del árbol.
15	=	Número de árboles del lindero.

* **Estimación de carbono almacenado.** Los datos obtenidos de MS, en el Lindero Maderable se multiplican por la constante de la fracción de carbono en MS de un 50% para todas las especies y será representado en toneladas de C almacenado por ha.

$$C \text{ LM} = \text{MS del LM} * 0.5.$$

2.3.3 Arreglo silvopastoril.

2.3.31 Fijación de carbono. Los datos obtenidos de C en el lindero maderable se suman con los datos de C de la pradera del arreglo, para obtener la cantidad de carbono total del arreglo silvopastoril.

$$C \text{ SSP} = (C \text{ del LM}) + (C \text{ de la pradera})$$

2.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para este análisis, se tuvo en cuenta variables económicas, para todos los tratamientos del Arreglo Silvopastoril, comparados con el testigo, mediante indicadores económicos.

2.4.1 Ingreso Bruto.

$$IB = R * P$$

Donde:

IB = Ingreso bruto..
R = Rendimiento.
P = Precio.

2.4.2 Utilidad.

$$UT = IT - CT$$

Donde:

UT = Utilidad.
IT = Ingreso total.
CT = Costo total.

2.4.3 Rentabilidad.

$$R = IN / CT * 100.$$

Donde:

R = Rentabilidad.
IN = Ingreso neto.
CT = Costo total.

2.4.4 Relación Beneficio Costo.

$$BC = IB / CT.$$

Donde:

BC = Beneficio - costo.
IB = Ingreso bruto.
CT = Costo total.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la investigación titulada “Estimación de la biomasa aérea, y de carbono en el arreglo silvopastoril de *Acacia decurrens* en lindero maderable”, en cuanto a la descripción de su manejo, estimación de biomasa y almacenamiento de C, así como también su viabilidad económica, se presentan teniendo en cuenta los objetivos trazados.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ARREGLO SILVOPASTORIL

En el Centro de Investigación CORPOICA Obonuco (CI), sección ganadería, se estableció en el lote 12 del arreglo silvopastoril, de *Acacia decurrens* en lindero maderable asociado con una pradera mejorada.

Los antecedentes del arreglo silvopastoril de árboles en línea, así como las interacciones positivas y negativas que se manifiestan en él, se describen a continuación.

3.1.1 Pradera. En el arreglo silvopastoril, el compartimento plantas herbáceas se refiere básicamente a gramíneas y leguminosas, especies que conforman el mayor porcentaje del alimento de los bovinos en el sistema; el componente animal pertenece al grupo alimenticio de los consumidores (herbívoros) Vélez y Moreno⁷¹.

Para la preparación del terreno se efectuó una arada y dos rastrilladas; al momento de establecer las pasturas se realizó una única fertilización con superfosfato simple (50 kg ha⁻¹) sulfato de magnesio (44.11 kg ha⁻¹), urea y bórax (4.9 kg ha⁻¹), según afirmación de Ordóñez⁷². Su proyección de duración es un año y los muestreos se realizaron aproximadamente cada 45 días dependiendo de la época climática en que se encuentre.

El mismo⁷³, aduce que la pradera, se conformó por la leguminosa trébol blanco *Trifolium repens* (4.9 kg ha⁻¹), que representa el 10 % de la misma, porcentaje que se considera relativamente bajo si el propósito de su presencia es contribuir al aporte de nitrógeno para

⁷¹ VÉLEZ, Gladis y MORENO, Flavio, Op cit., p 5.

⁷² ENTREVISTA con Luis Ordóñez, auxiliar técnico del Centro de Investigación CORPOICA, Obonuco. Pasto, 24 de julio del 2002.

⁷³ Ibid., 78.

el resto de la pastura, ya que un porcentaje adecuado con este fin oscila entre el 30 y 40%; el pasto azul orchoro *Dactylis glomerata* (7.84 kg ha⁻¹), constituyó el 15% de la pradera, tetrablend 444 *Lolium multiflorum* (22.5 kg ha⁻¹), fue del 45%, y pasto aubade *Lolium multiflorum* (15.09 kg ha⁻¹) representó el 30% del total, siendo estas dos, las gramíneas con mayor presencia, y de mayores exigencias en nutrientes, que requieren suelos fértiles, buen drenaje, ricos en materia orgánica (MO) y una distribución homogénea de la precipitación, durante su ciclo productivo.

El ganado vacuno (Holstein) en producción, entró a pastorear cada 45 días, según afirmaciones hechas por Ordóñez⁷⁴; periodo inadecuado para la recuperación de la pastura, teniendo en cuenta las bajas precipitaciones que se presentaron durante el año de evaluación, según reportes meteorológicos de la estación Obonuco⁷⁵. La permanencia de los animales se consideró relativamente larga (5 días), dada la alta carga animal, a la que fue sometida a las pasturas.

3.1.2 Lindero maderable (LM).

3.1.2.1 Descripción de la especie. La especie forestal *Acacia decurrens*, es nativa de Australia, ha mostrado ser promisorio para el desarrollo e implementación de SSP en clima frío de Colombia, ya que se adapta a situaciones edafoclimáticas propias del trópico de altura; además, es una leguminosa que soporta suelos pobres y áridos, se propaga rápidamente por semillas y brotes de raíz, y forma rodales sólidos, Giraldo⁷⁶.

3.1.2.2 Estructura del Lindero. En el lindero maderable (LM) conformado por 15 árboles de *Acacia decurrens*, establecidos hace 9 años, se encontró una distancia de siembra de 6 m entre plantas, y una altura promedio de 11.64 m.

* **Estructura diamétrica** Los árboles presentaron diámetros normales (Dn) entre 11.3 y 58.6 cm, con un promedio de 38 cm (Cuadro 3). El árbol de área basal promedio presentó un Dn superior al promedio (41.1 cm).

⁷⁴ Ibid., 78.

⁷⁵ COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Reporte técnico; estación meteorológica Obonuco, municipio de Pasto. 2001-2002.

⁷⁶ GIRALDO, Luis et al. Sistemas silvopastoriles, alternativa sostenible para la ganadería colombiana: Universidad Nacional de Colombia, 2000. p 23.

En la Figura 4, se muestra la distribución diamétrica de los árboles inventariados, encontrándose una mayor frecuencia (33%) en la clase diamétrica comprendida entre 39.68 -49.14 cm seguida por la clase diamétrica comprendida entre 30.22 y 39.68 cm. (26%). En los extremos se encontró un 20% de los árboles en las clases inferiores y un 20% en las superiores (mayores a 50 cm de Dn). Giraldo⁷⁷, reportó una distribución para *A. decurrens* de forma unimodal, típica de estructuras coetáneas.

El incremento medio anual (IMA) en diámetro para la especie (4.22 cm año⁻¹) se considera alto en comparación con otras especies forestales que se han reportado con buen crecimiento en el trópico, p.e para *Acacia mangium*, se reportó un IMA de 3.63 cm año⁻¹ Forero⁷⁸ y para *Acacia melanoxylum* de 3.74 cm año⁻¹ de acuerdo con Giraldo⁷⁹, mostrando a *A. decurrens* como una potencial para el trópico de altura.

* **Estructura altimétrica** Los árboles tuvieron alturas (H) entre 2.73 y 18.7 m, con un promedio de 11.64 m (Cuadro 3). El árbol de área basal promedio presentó la H máxima dentro de los 15 árboles seleccionados del LM(18.7 m).

La Figura 5, presentó una distribución de alturas, donde el mayor porcentaje (40%) de los árboles se encontraron en la clase comprendida entre 5 – 10 m, seguida por un 27% que incluye las clases entre 10 y 15 al igual que entre 15 y 20 m. El 6% se encontró en la categoría inferior (menor de 5 m).

Giraldo⁸⁰, cita que “*A. decurrens* es una especie precoz, capaz de sobrepasar los 2 m, a los 17 meses de edad, lo que constituye un incremento medio anual (IMA) de 1.33 m año⁻¹, que comparado con el IMA encontrado en este estudio (1.29 m año⁻¹), es similar en crecimiento de esta variable, tendiente a ser decreciente con la edad”.

⁷⁷ GIRALDO, Luis et al. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* asociado con pasto *Pennisetum clandestinum*, en clima frío, Op cit., p 25.

⁷⁸ FORERO, Luz, Op cit., p 53.

⁷⁹ GIRALDO, Luis et al. Sistemas Silvopastoriles, alternativa sostenible para la ganadería colombiana, Op cit., p 16.

⁸⁰ Ibid., p 16.

La presencia de árboles de bajas dimensiones en diámetro y altura pueden ser debidos a que la especie se regenera naturalmente a través de semillas y brotes de raíz según Giraldo⁸¹ ocupando los claros existentes dentro del lindero; Otra causa puede ser por restablecimiento por el hombre, mediante la reforestación en aquellos espacios de las líneas donde se aprovecha o muere un árbol.

El área basal de los árboles, se promedio en 0.13 m², lo que conllevó a que en el LM se tuviera 1.93 m² ha⁻¹; que según resultados encontrados por Giraldo⁸², en la investigación de una plantación de 6 años de edad de *A. decurrens*, con una densidad de siembra de 1200 árboles, presenta un área basal de 11.916 m², existiendo una diferencia entre estos dos sistemas de explotación de 9.986 m² ha⁻¹ debido a la mayor densidad de siembra por hectárea (Cuadro 3).

Cuadro 3. Variables dasométricas del Lindero Maderable *A. decurrens* de nueve años de edad en el C. I, Obonuco, Pasto – Nariño, 2003.

Parámetros caracterizados	Mínimo	Promedio	Máximo	Árbol de área basal promedio	IMA año ⁻¹
Diámetro normal cm)	11.3	37.97	58.6	41.1	4.22
Altura (m)	2.73	11.64	18.7	18.7	1.29
Area basal (m² árbol)	0.010	0.13	0.27	0.13	0.014
Volumen (m³)	0.01	0.95	1.60	1.49	0.11

El volumen total de madera disponible en el lindero fue de 14.17 m³, la cual según Dixon⁸³ al convertirla en muebles o usarlas en construcción, actúa como deposito de C hasta su descomposición completa, que puede durar por muchos años (Cuadro 3).

⁸¹ Ibid., p 16.

⁸² GIRALDO, Luis et al. Sistemas silvopastoriles, alternativa sostenible para la ganadería colombiana, Op cit., p 12.

⁸³ DIXON, R. Agroforestry systems: Sources or sink of greenhouse gas?: Agroforestry Systems. 4a. ed. New York:, 1995. p 99-116.

3.1.3 Interacciones entre los componentes Según Vélez y Moreno⁸⁴:

El componente herbáceo, se encuentra dispuesto en el mismo espacio que el forestal (lindero maderable), en este caso como cualquier otro sistema de uso de la tierra, el arreglo resulta de la combinación distintiva de por lo menos dos elementos interrelacionados, por lo tanto se establecen entre ellos interacciones debido a la influencia de un componente del sistema sobre el desempeño del otro, así como también del funcionamiento del sistema como un todo (Figura 6).

El componente leñoso del sistema puede tener interacciones directas o indirectas, a través del suelo, hacia las pasturas de acuerdo con Pezo e Ibrahim⁸⁵, una forma directa, por la competencia de nutrientes agua, CO₂ y luz solar debido a que todos los miembros de una comunidad vegetal, utilizan las mismas reservas de los recursos de crecimiento, Nair⁸⁶.

Esta competencia puede ser causada por interferencia directa (competencia real) y por la explotación de los recursos compartidos, que es mediada por otras plantas o predadores compartidos (competencia aparente). Según Nair⁸⁷, incidiendo sobre la producción de las pasturas que se encuentran bajo su influencia, ya que en sistemas de plantaciones en línea y callejones, la energía lumínica disponible a los cultivos es una función del patrón de sombra proyectado por los setos o hileras de forestales, el cual a su turno es dependiente de su altura, orientación de las hileras y tiempo (día y época). El área de terreno de producción de la pastura, que puede estar sombreado en algún grado por la perenne leñosa es considerado como la interfase árbol – cultivo y en ella puede existir menor rendimiento de los pastos de acuerdo con Andrade⁸⁸.

⁸⁴ VÉLEZ, Gladis y MORENO, Flavio, Op cit., p 8.

⁸⁵ PEZO, Daniel e IBRAHIM, Muhamad, Op cit., p 15.

⁸⁶ NAIR, Ramachandran, Op cit., p 282.

⁸⁷ Ibid., p 283.

⁸⁸ ANDRADE, Héran. Fijación de Carbono en Sistemas Silvopastoriles: Una propuesta metodológica, Op cit., p 6.

Figura 4. Histograma de frecuencia diamétrica (cm), del Lindero Maderable de *Acacia decurrens*, C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto 2002.

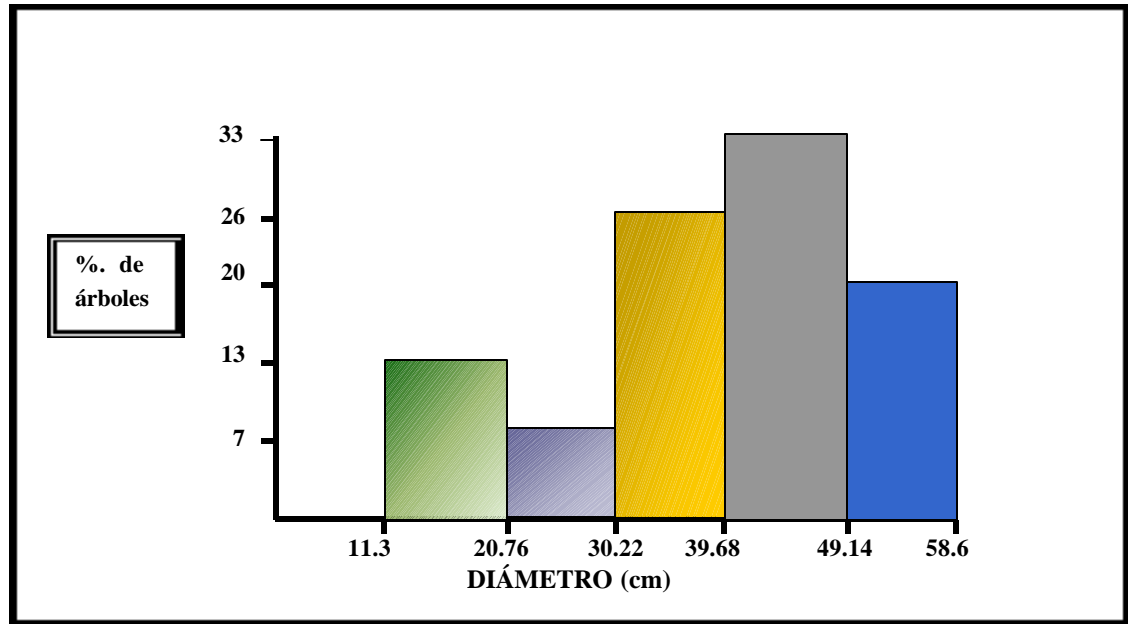


Figura 5. Histograma de frecuencia de altura (m), del Lindero Maderable de *Acacia decurrens*, C.I. CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto 2002.

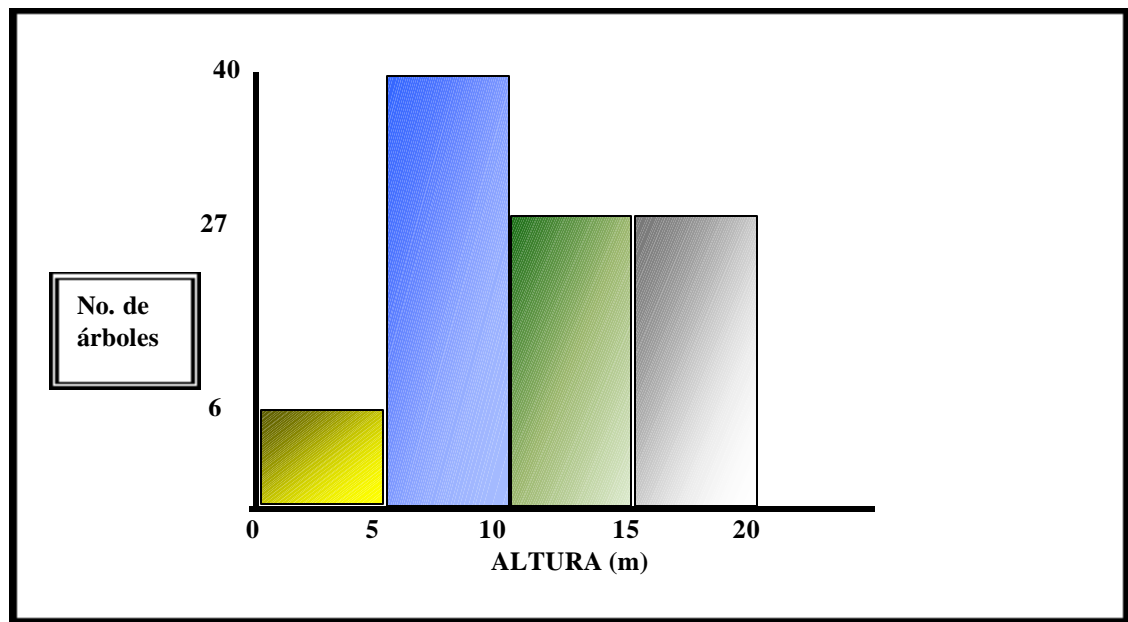
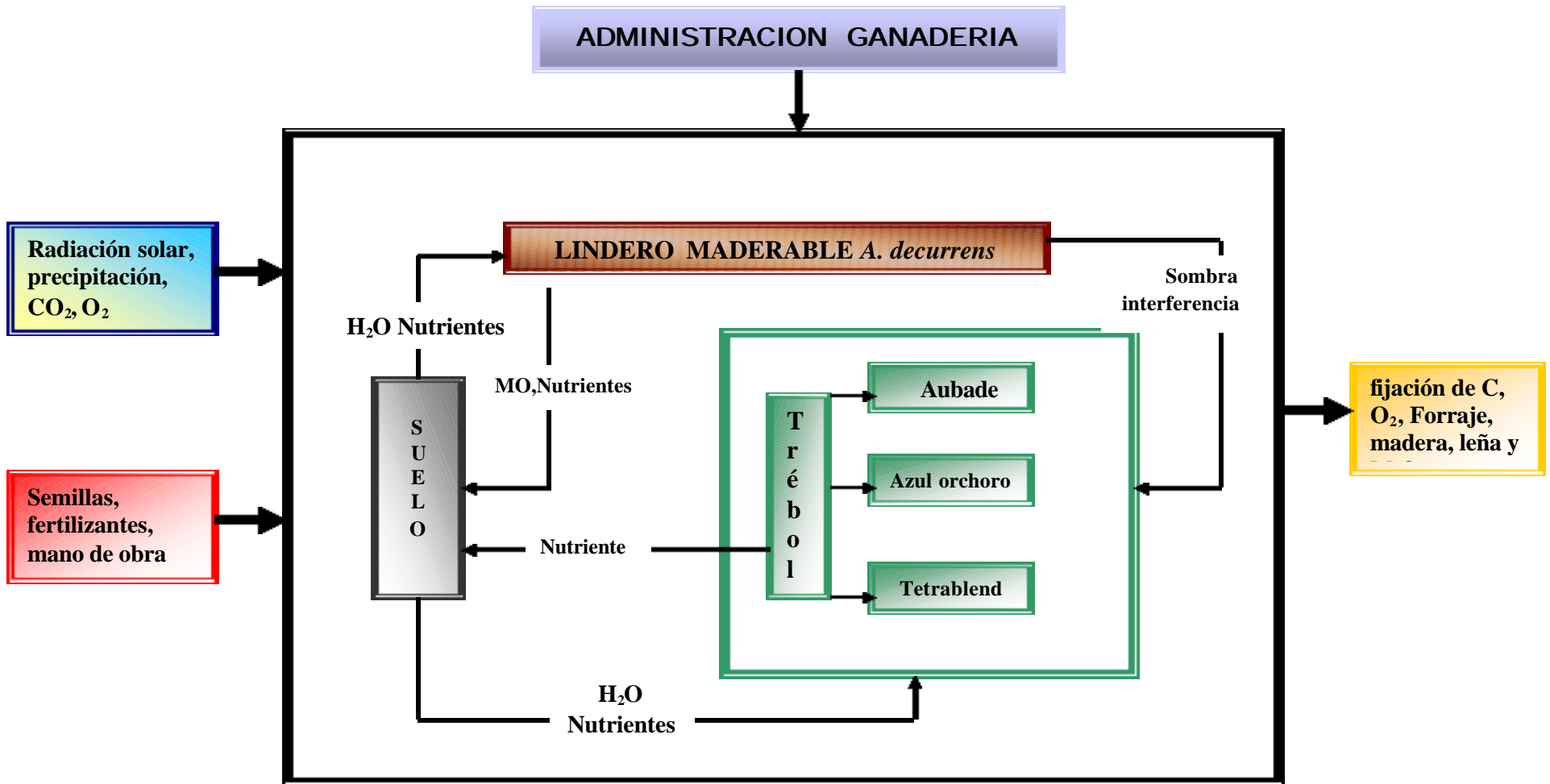


Figura 6. Diagrama del arreglo silvopastoril de *Acacia decurrens*- pradera mejorada en el Lindero Maderable, C.I., CORPOICA Obonuco, municipio de Pasto, 2002.



3.2 ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y SU CONTENIDO DE CARBONO (CC) EN EL SISTEMA SILVOPASTORIL (SSP).

La biomasa aérea (Ba), contenida en los pastos (Cuadro 4) fue estimada mediante el método destructivo, propuesto por Andrade⁸⁹; y la de los árboles del sistema a través de la ecuación propuesta por Giraldo⁹⁰, y su verificación se realizó con el valor de la biomasa aérea obtenido a partir de la técnica del árbol promedio.

3.2.1 Biomasa y Carbono (C) del componente herbáceo.

3.2.1.1 90 días después de la siembra. En el Cuadro 4 y la Figura 7 se observa que el FV, la Ba y el C almacenado en las pasturas del tratamiento uno (T1, franja ubicada en el LM), fue de 5.63 t FV ha⁻¹, 1.24 t Ba ha⁻¹ y 0.62 t C ha⁻¹; esta cantidad de FV correspondió a la mitad del de la pastura a plena exposición solar (12.59 t ha⁻¹ testigo), siendo estadísticamente significativas las diferencias.

Cuadro 4. Forraje Verde (FV), y Contenido de Carbono (CC) en la pradera mejorada del SSP y testigo, para 7 épocas de muestreo después de la siembra (DDS) y entre diferentes tratamientos C.I Obonuco, Pasto, 2003.

Épocas de muestreo (DDS)	T1 Muestreo en el LM		T2 A 15 m de LM		T3 A 30 m del LM		T4 A 45 m del LM		Testigo	
	FV t ha ⁻¹	CC t ha ⁻¹	FV t ha ⁻¹	CC t ha ⁻¹	FV t ha ⁻¹	CC t ha ⁻¹	FV t ha ⁻¹	CC t ha ⁻¹	FV t ha ⁻¹	CC t ha ⁻¹
90 días	5.63	0.62	8.18	0.94	6.55	0.66	11.31	1.33	12.59	1.65
	a		b		ab		c		c	
135 días	4.86	0.54	4.82	0.58	7.45	0.80	9.88	1.13	11.34	1.37
	a		a		b		bc		c	
180 días	4.99	0.60	6.79	0.80	8.75	0.94	7.16	0.72	10.10	1.16
	a		b		bc		b		c	
225 días	6.76	0.78	7.79	0.80	7.04	0.70	8.66	0.92	7.97	0.92
	a		ab		ab		b		ab	
270 días	6.92	0.80	9.02	0.90	6.42	0.66	8.51	0.90	9.28	1.05
	ac		b		c		ab		b	
315 días	3.80	0.44	2.86	0.29	2.58	0.27	2.49	0.26	2.01	0.22
	a		ab		ab		ab		b	
360 días	3.09	0.36	3.02	0.30	2.43	0.25	3.02	0.32	2.56	0.34
	a		a		a		a		a	

⁸⁹ Ibid., p 31.

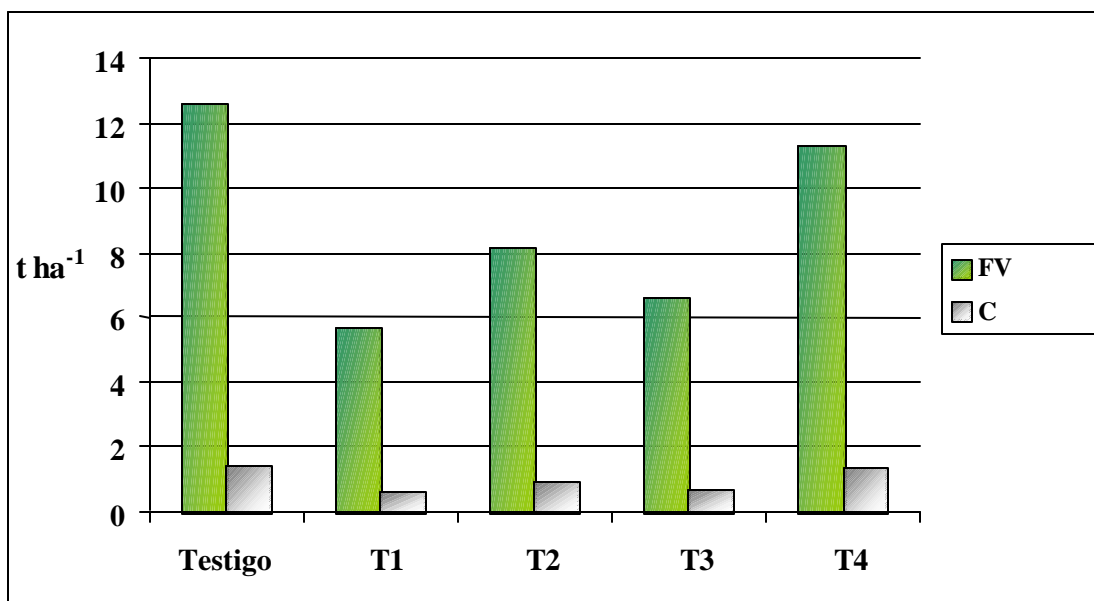
⁹⁰ GIRALDO, Luis et al. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* asociado con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, en clima frío de Colombia, Op cit., p 7.

Tratamientos con uno o dos caracteres alfabéticos iguales horizontalmente, no representan diferencias significativas.

Con respecto a producciones de pasturas mejoradas reportadas en la literatura, Segura⁹¹ afirma que la de los tratamientos resultaron bajas, ya que se esperaba una mayor productividad, por ser la primera cosecha, este hecho pudo deberse a la inadecuada fertilización, realizada con la mitad de la dosis recomendada para éste cultivo.

En el tratamiento dos (T2, franja distante a 15m del lindero) la producción fue de 8.18 t FV ha⁻¹, 1.88 t Ba ha⁻¹ y 0.94 t C ha⁻¹; percibiéndose diferencias en los rendimientos entre el T1 y T2 de 2.55 t FV ha⁻¹, y de 0.32 t C ha⁻¹, que al ser evaluados presentó diferencias estadísticas.

Figura 7. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de Carbono en la pradera mejorada en cada uno de los tratamientos y testigo, 90 días después de la siembra.



Igualmente, se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los T1 y T4 (franja de pasto a 45m del lindero maderable); éste ultimo presentó un rendimiento superior (11.31 t FV ha⁻¹

⁹¹ SEGURA, Op c it., p 5.

¹, 2.66 t Ba ha⁻¹ y de 1.33 t C ha⁻¹) a T1, que al compararlos, difieren en 5.68 t FV ha⁻¹ y 0.71 t C ha⁻¹.

El testigo presenta diferencias estadísticas al ser comparado con los T1, T2 y T3, manifestando los más altos rendimientos en cuanto a producción con 12.58 t FV ha⁻¹ y secuestro de C de 1.39 t ha⁻¹.

El testigo y el T4 tuvieron los rendimientos más altos, (12.58 t FV ha⁻¹ y 11.31 t FV. ha⁻¹), estadísticamente estos resultados no presentan diferencias significativas, mostrando que la influencia del árbol hacia la pradera disminuyó con la distancia, de manera inversamente proporcional.

Corroborando los resultados obtenidos, donde los menores rendimientos se presentaron en las pasturas que se encuentran en la interfase árbol - cultivo; Shelton, Humphreys y Batello⁹², afirman que el factor más limitante en la producción de las pasturas en SSP es la intensidad de sombra generada por el componente arbóreo que interfiere negativamente en la disponibilidad de la intensidad lumínica.

Giraldo⁹³, reportó reducciones hasta de un 45% en la producción de biomasa en gramíneas, debido a la baja disponibilidad solar en un sistema silvopastoril con alta densidad de árboles de *A. decurrens* dispersos en un potrero de *Pennisetum clandestinum*, comparado con los rendimientos de un potrero sin árboles. En ésta investigación, la diferencia más marcada en cuanto a rendimiento y almacenamiento de C, se presentó entre el T1 (con la menor disponibilidad lumínica) y la pradera testigo, estimándose una diferencia entre ellos dos del 55%, favoreciendo a las pasturas que no presentaban ningún tipo de interferencia lumínica. El promedio de producción de las praderas en el SSP a 90 DDS, fue de 1.77 t MS ha⁻¹

3.2.1.2 135 días después de la siembra. El T1 (4.86 t FV ha⁻¹, 1.08 t Ba ha⁻¹ y 0.54 t C ha⁻¹) y T2 (4.82 t FV ha⁻¹, 1.16 t Ba ha⁻¹, 0.58 t C ha⁻¹) presentaron los rendimientos más bajos de ésta época, sin diferencia estadística entre ellos; al igual que en la primera cosecha, el mejor

⁹² SHELTON, H., HUMPHREYS, L y BATELLO, C. Pastures in the plantations of Asia and Pacific: Tropical Grasslands. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1987. p 159-168.

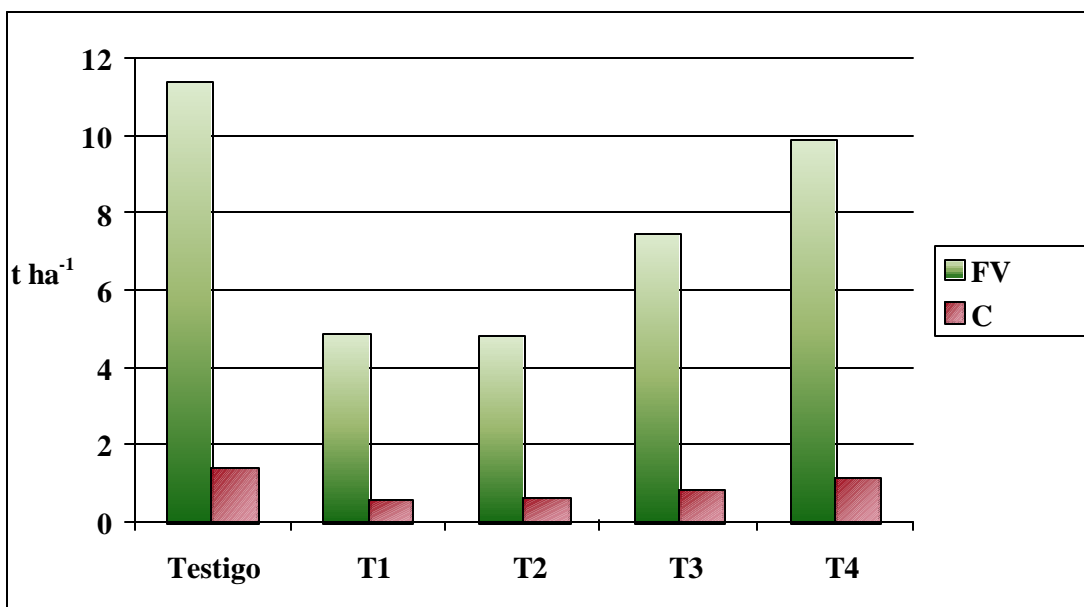
⁹³ GIRALDO, Luis et al. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* asociado con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, en clima frío de Colombia, Op cit., p 7.

rendimiento se presentó en el testigo (11.34 t FV ha⁻¹, 2.74 t Ba ha⁻¹, y 1.37 t C ha⁻¹), siendo estadísticamente distinto con respecto a T1 y T2 (Cuadro 4).

Entre los T1 y T3 hubo diferencias, con el mejor rendimiento en producción y almacenamiento de C en el T3 (7.45 t FV ha⁻¹, 1.60 t Ba ha⁻¹ y 0.80 t C ha⁻¹); la diferencia fue de 2.59 t FV ha⁻¹ y de 0.26 t C ha⁻¹ (Figura 8).

El testigo no presentó diferencias significativas con T4, pero sí con los tres primeros tratamientos (Figura 8). La mayor diferencia se presentó con respecto a T1, donde la diferencia fue de 6.48 t FV ha⁻¹, 0.86 t Ba ha⁻¹ y 0.43 t C ha⁻¹.

Figura 8. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de carbono de los tratamientos y testigo, a los 135 días después de la siembra.



3.2.1.3 Muestreo tres, 180 días después de la siembra. Los rendimientos más bajos en producción y captura de C los presentó el T1 (muestreo herbáceo localizado en el LM), con una producción de 4.99 t FV ha⁻¹, 1.20 t Ba ha⁻¹ y 0.60 t C ha⁻¹. El mejor rendimiento se observó en el testigo (10.10 t FV ha⁻¹, 2.32 t Ba ha⁻¹ y 1.16 t C ha⁻¹), el cual tuvo diferencias significativas con T1, T2 y T4 (Cuadro 4). Las mayores diferencias estadísticas (5.11 t FV ha⁻¹, 50.1%),

fueron entre el testigo y el T1, o sea, que el testigo siguió manteniendo, aun después de 180 días (tercer corte), una producción dos veces mayor (Figura 9).

3.2.1.4 225 días después de la siembra. Los T1, T2 y T3, presentan igualdad estadística en su producción (6.76, 7.79 y 7.04 t FV ha⁻¹), Ba (1.56, 1.60 y 1.40 t ha⁻¹) y almacenamiento de C (0.78, 0.80 y 0.70 t C ha⁻¹ respectivamente). La pradera testigo tuvo un rendimiento similar a los demostrados en los cuatro tratamientos (Cuadro 4), por ende entre él y todos los tratamientos no se encontró ninguna diferencia significativa. (Figura 10).

El T1, presentó una discrepancia significativa con el T4, debido a que la diferencia existente entre las medias de los dos presentó un excedente de 1.90 t FV ha⁻¹ y 0.14 t C ha⁻¹, que estadísticamente se acepta para que los dos no tengan una igualdad.

El mejor rendimiento lo presentó el T4 con 8.66 t FV ha⁻¹ y 0.92 t C ha⁻¹, el rendimiento más bajo lo obtuvo el T1 con 6.76 t FV ha⁻¹ y 0.08 t C ha⁻¹, corroborando que entre estos dos tratamientos sí se presenta una diferencia estadística.

3.2.1.5 270 días después de la siembra. El T1 tuvo rendimientos de 6.92 t FV.ha⁻¹, 1.60 t Ba ha⁻¹ y 0.80 t C ha⁻¹, que al compararse con los rendimientos del testigo (9.28 t FV ha⁻¹ y 1.05 t C ha⁻¹), presentan una diferencia de 2.36 t FV ha⁻¹ y 0.25 t C ha⁻¹, a favor del testigo; estadísticamente tienen diferencias (Figura 11 y Cuadro 4).

El T3 (franja ubicada a 30 m del LM), presentó el rendimiento más bajo a los 270 días después del establecimiento de la pradera (6.42 t FV ha⁻¹ y 0.66 t C ha⁻¹), que estadísticamente, no difieren con los rendimientos presentados por el T1 (6.92 t FV.ha⁻¹ y 0.80 t C ha⁻¹) (Cuadro 4).

Las 9.28 t FV ha⁻¹ y 1.05 t C ha⁻¹, del testigo, no presentó diferencias estadísticas con T2 (9.02 t FV.ha⁻¹ y 0.90 t C ha⁻¹) y T4 (8.51 t FV.ha⁻¹ y 0.90 t C ha⁻¹), el 8.29% rendimiento de más presentado por el testigo, en comparación con los tratamientos no fue suficiente para que estos difieran entre sí.

Figura 9. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de carbono de los tratamientos y testigo, a los 180 días después de la siembra.

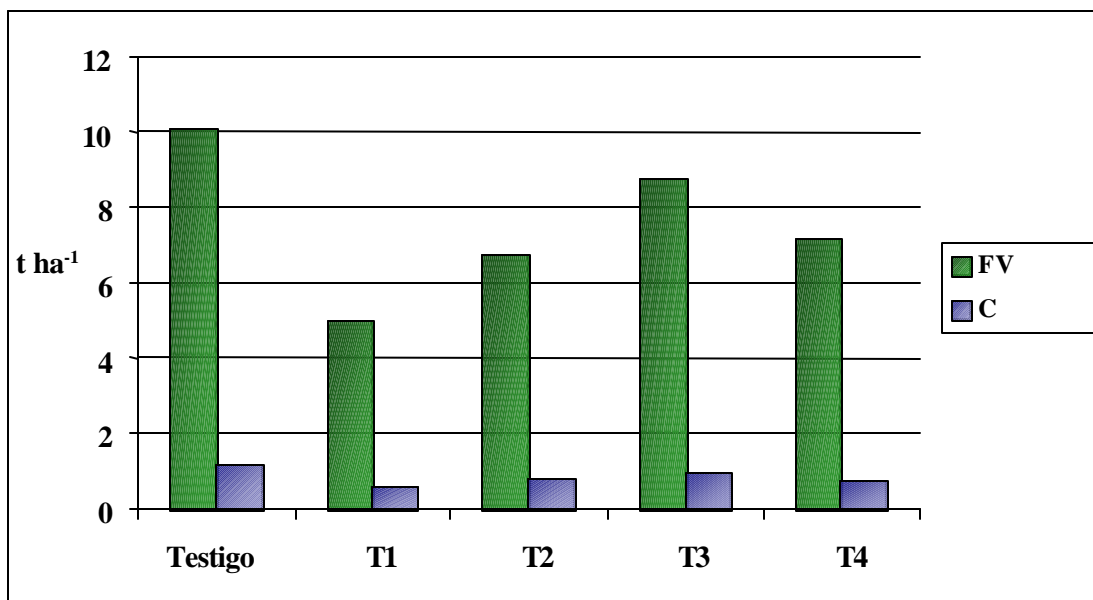


Figura 10. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de carbono de los tratamientos y testigo, a los 225 días después de la siembra.

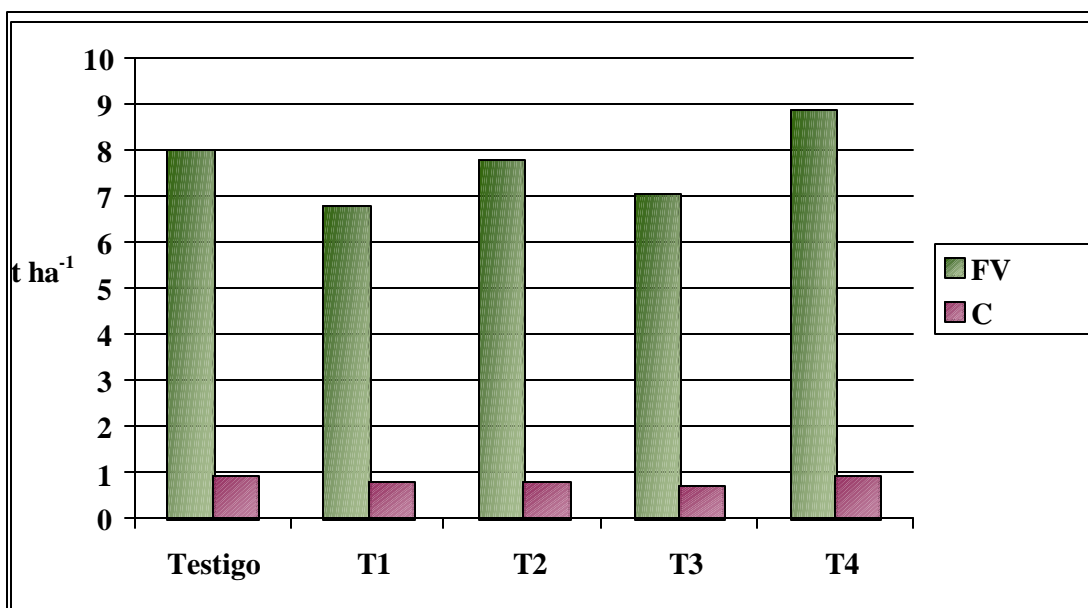
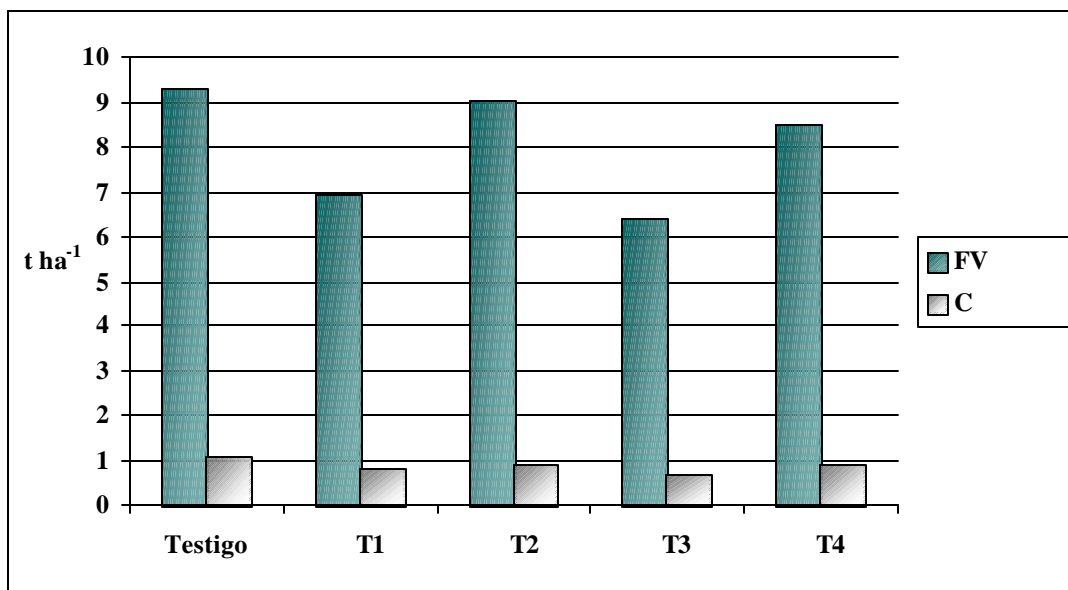


Figura 11. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de carbono de los tratamientos y testigo, a los 270 días después de la siembra.



Giraldo⁹⁴, explica este fenómeno por la menor intensidad de luz que reciben las pasturas después de atravesar el dosel de los árboles en el SSP, comparado con la luminosidad del potrero testigo; así por ejemplo Giraldo⁹⁵, reporta la intensidad lumínica a las 12 del día de un SSP de *A. decurrens* con pasto kikuyo en 344.3 ± 179 lux, en contraste en el potrero sin árboles (testigo), reportan 4.923 ± 179 lux.

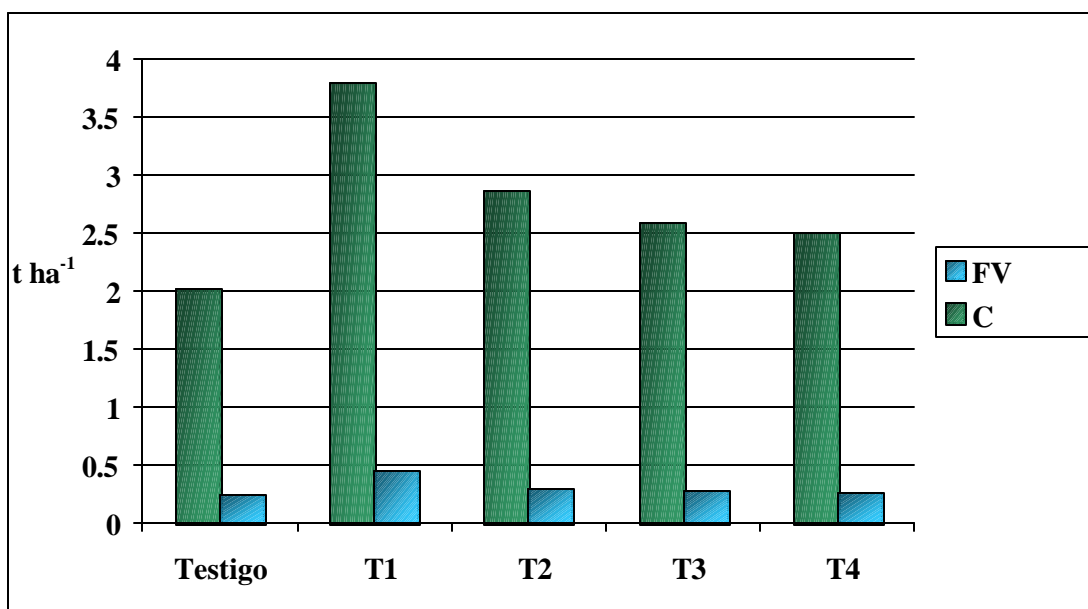
3.2.1.6 315 días después de la siembra. El T1 ($3.80 \text{ t FV ha}^{-1}$, $0.88 \text{ t Ba ha}^{-1}$ y 0.44 t C ha^{-1}), no presenta diferencias significativas con los T2 ($2.86 \text{ t FV ha}^{-1}$ y 0.29 t C ha^{-1}) T3 ($2.58 \text{ t FV ha}^{-1}$ y 0.27 t C ha^{-1}) y T4 ($2.49 \text{ t FV ha}^{-1}$ y 0.26 t C ha^{-1}), solamente fue diferente estadísticamente con el testigo, existiendo entre estos dos una diferencia en producción de $1.79 \text{ t FV ha}^{-1}$, $0.42 \text{ t Ba ha}^{-1}$ y de 0.21 t C ha^{-1} , a favor del T1 (Figura 12), mostrando una menor variabilidad en el tiempo, y una mayor estabilidad en la productividad de este tratamiento, probablemente debida a una mayor regulación de los factores edafoclimáticos (Evapotranspiración, temperatura, humedad del suelo, fijación de nitrógeno, ciclaje de nutrientes).

⁹⁴ GIRALDO, Luis et al. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* asociado con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, en clima frío en Colombia, Op c it., p 3.

⁹⁵ Ibid., p 3.

El testigo, fue estadísticamente igual a T2 (2.86 t FV ha⁻¹ y 0.29 t C ha⁻¹), T3 (2.58 t FV ha⁻¹ y 0.27 t C ha⁻¹) y T4 (2.49 t FV ha⁻¹ y 0.26 t C ha⁻¹), mostrando una degradación de la pastura a plena exposición solar con el paso del tiempo. La carencia de fertilización, después de las cosechas pudo ser la causa de dicho detrimento (Cuadro 4).

Figura 12. Producción de Forraje Verde y almacenamiento de C de los tratamientos y testigo, a los 315 días después de la siembra.



3.2.1.7 360 días después de la siembra Un año después del establecimiento de la pradera, el testigo presentó una producción estadísticamente similar a todos los tratamientos (aproximadamente 2.7 t FV ha⁻¹), disminuyéndose aproximadamente en 10 t FV ha⁻¹ desde la primera cosecha, esta disminución implicó una menor acumulación de carbono en la biomasa aérea (0.34 t C ha⁻¹ y 0.68 t Ba ha⁻¹).

La fertilización realizada en el Centro de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, no fue la más acorde a los requerimientos nutricionales exigidos por las pasturas; según la interpretación del análisis de suelo (Anexo A), los contenidos de nitrógeno, boro, y materia orgánica son bajos, y por esto se tenía que realizar una fertilización nitrogenada con urea tres veces mayor, ya que el nitrógeno asimilable por la planta de este producto comercial es del 40-50%, y éste al ser uno de los nutrientes mas exigidos por las plantas, para su formación estructural y la realización de sus funciones fisiológicas deberían estar en mayores proporciones en el suelo; Además, se recomienda una fertilización partida, para mantener una producción estable durante todo el periodo productivo.

En el T1, a pesar de que su producción fue menor a la presentada por la pradera testigo en los primeros tres cortes, se mantuvo estable, y sus rendimientos no disminuyeron significativamente, tendiendo a una estabilidad en las épocas de invierno y verano (Anexo B). Opuestamente, los rendimientos de la pradera testigo, fueron los que más fluctuaron durante todo el periodo investigativo, empezando con una producción mayor a 12 t FV ha⁻¹, y finalizando en una menor de 3 t FV ha⁻¹.

El promedio de rendimiento en la Ba de la pradera del SSP para los cuatro tratamientos en los 7 periodos evaluados fue de 1.33 t Ba ha⁻¹, 0.66 t C ha⁻¹ por corte, y en la pradera del testigo de 1.91 t Ba ha⁻¹ y 0.95 t C ha⁻¹. Giraldo⁹⁶, reportó datos de producción en Marinilla, Antioquia, de la asociación *A. decurrens* y *P. clandestinum* de 1.71 t Ba ha⁻¹, 0.85 t C ha⁻¹, y un rendimiento de la pastura en monocultivo de 2.13 t Ba ha⁻¹, 1.06 t C ha⁻¹ resultados similares a los encontrados en este estudio de mayor producción en la pradera testigo con respecto al SSP; partiendo de la hipótesis en el trabajo de Giraldo⁹⁷, como en este, que la pradera dispuso del 100% de luz solar.

El mismo autor⁹⁸, encontró:

Para Belmira, Antioquia que *A. decurrens* asociada con *P. clandestinum* a dos densidades de siembra (625 árboles ha⁻¹ y 278 árboles ha⁻¹), presentaron rendimientos de la pastura de 1.95 t Ba ha⁻¹ y 0.97 t C ha⁻¹, y 3.6 t Ba ha⁻¹, 1.8 t C ha⁻¹ respectivamente y en Medellín, de 1.8 t Ba ha⁻¹ y 0.9 t C ha⁻¹, en un potrero con una alta densidad de siembra (1111 árboles ha⁻¹) y una baja densidad (400 árboles ha⁻¹) de 2.8 t Ba ha⁻¹, 1.4 t C ha⁻¹, y 3.67 t MS ha⁻¹, 1.83 t C ha⁻¹, en el testigo, concluyendo que la producción fue directamente proporcional a la disponibilidad de luz.

En estudios realizados por Smith y Whiteman⁹⁹, a cinco diferentes intensidades lumínicas, ejercida por una plantación de cocoteros sobre la gramínea *A. cumpressus* en trópico bajo, se encontró que, a una intensidad lumínica del 50%, existía una producción de 6.1 t Ba ha⁻¹ y de 3.05 t C ha⁻¹, diferente en los rendimientos observados en las pasturas (3.1 t MS ha⁻¹ y 1.55 t C ha⁻¹) que tenían una incidencia del 20% de intensidad lumínica.

⁹⁶ GIRALDO, Luis et al. Sistemas Silvopastoriles, alternativa sostenible para la ganadería colombiana, Op cit., p 24.

⁹⁷ Ibid., p 27.

⁹⁸ Ibid., p 27.

⁹⁹ SMITH, M y WHITEMAN, P. Evaluation of tropical grasses in increasing shade under coconut canopies. Experimental Agriculture. 2 a. ed. Oxford: Oxford University press, 1983. p 153-161.

En este estudio se encontraron resultados similares a los encontrados por Smith y Whiteman¹⁰⁰, porque a pesar de que se diferencian los rendimientos de los tratamientos con influencia del lindero, estos se encuentran entre un 57% y 34% más bajos que los del testigo. En ese año, los autores encontraron diferencias significativas en los rendimientos de *A. cumpressus* expuestas al 100% de intensidad lumínica (9.3 t MS ha⁻¹ y de 4.15 t C ha⁻¹) ó testigo, comparadas con los rendimientos tres veces más bajos, de los pastos con un 20% de radiación solar, 2.7 veces mas de aquellos que se encuentran con un 40% de disponibilidad de luz solar y un 1.5 veces mayor de diferencia a favor del testigo con relación a los pastos que tienen un 50% de influencia lumínica.

Similares a los resultados encontrados por Giraldo¹⁰¹, Smith y Whiteman¹⁰² a los de T1 y T3, ya que a pesar de tener la influencia arbórea sobre los dos, presentaron diferencias significativas en su rendimiento y almacenamiento de C, posiblemente debido a que la intensidad lumínica del T2, es menor que la percibida por el T3, lógicamente por la distancia que cada uno de ellos presentas con respecto al lindero maderable.

Según Jackson y Palmer¹⁰³, el efecto generado por la interfase árbol-cultivo, definida como el área de terreno de producción de la pastura sombreada en algún grado por la perenne leñosa, puede influir negativamente en el rendimiento de los pastos. Esta interfase, pudo afectar los rendimientos de los tratamientos cercanos al lindero (T1, T2 y T3); sin embargo, los árboles generaron un microclima (temperatura, humedad relativa), que le permitió a las pasturas permanecer relativamente estables durante todo el tiempo de evaluación; es así como la presencia de la arbórea, reguló el estrés climático que pudo afectar los rendimientos de la pradera testigo, y los tratamientos que se encontraron más distantes del LM.

La altura del LM es la variable posiblemente más incidente sobre la producción y consecuentemente de la captura de C de las pasturas que se encontraron bajo su influencia, porque en sistemas de plantaciones en línea y callejones, la energía lumínica disponible a los cultivos es una función del patrón de sombra proyectado por los setos o hileras de forestales, el cual a su vez, es dependiente de su altura, orientación de las hileras y tiempo Jackson y Palmer¹⁰⁴.

¹⁰⁰ Ibid., p 159.

¹⁰¹ GIRALDO, Luis et al. Sistemas Silvopastoriles, alternativa sostenible para la ganadería colombiana, Op cit., p 13.

¹⁰² SMITH, M y WHITEMAN, P, Op cit., p 161.

¹⁰³ JACKSON, J y PALMER, J. Light availability at the tree/crop interface. In: Reifsnnyder, W. S.; Damchofer, T.O (eds.). Meteorogy and Agroforestry. Ontario, Canada: ICRAF, 1987. 546 p.

¹⁰⁴ Ibid., p 272.

Vélez y Moreno¹⁰⁵, afirman que en diferentes mediciones realizadas en bosques, solo se alcanza el 100% de la radiación, en un punto con radio equivalente a 4 veces la altura de los árboles que lo rodean, así, para que la radiación solar sea del 100% en un punto, éste debe estar a una distancia de por lo menos 60 metros del árbol más próximo si la perenne mide 15 metros de altura.

En la pradera mejorada, el 90% de las forrajeras de la pradera, son gramíneas (*Lolium multiflorum*, *Dactylis glomerata*), según Wong y Wilson¹⁰⁶, la mayoría de las especies forrajeras tropicales son plantas de sol, con un sistema fotosintético C4 que no se saturan ni con la máxima radiación solar. Las plantas que crecen en sombra sufren cambios morfológicos, como mecanismos de adaptación a la baja disponibilidad de luz; en términos generales el sombreado tiene un efecto más marcado sobre la tasa de producción de las plantas forrajeras con ciclo fotosintético C4, que las leguminosas Tiezen¹⁰⁷, Sanderson, Stair y Hussey¹⁰⁸.

Acosta¹⁰⁹, reportó, que los factores que influyeron en la acumulación de C fueron la edad, la densidad, y la mezcla de especies ya sea a nivel herbáceo, arbustivo o arbóreo. Una vez que la vegetación se establece, el incremento de la biomasa dependerá de las condiciones edafológicas y climáticas principalmente, que influirán en la tasa de rendimiento y dependiendo de la capacidad de respuesta que presentan las especies, será la capacidad de crecimiento y por lo tanto la captura de C".

3.2.2 Componente forestal. En el Cuadro 5, se presentan los resultados de la cantidad de biomasa aérea y almacenamiento de C aéreo, obtenido por estimación con la ecuación alométrica sugerida por Giraldo¹¹⁰, y la calculada a través del método destructivo del árbol de área basal promedio.

¹⁰⁵ VÉLEZ, Gladis y MORENO, Flavio, Op cit., p 17.

¹⁰⁶ WONG, C y WILSON, J. Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. 5a. ed. Cambridge: Cambridge University, 1980. p 269-285.

¹⁰⁷ TIEZEN, L. Photosynthetic systems: implications for agroforestry. In: Huxley, P.A. (ed). Plant research and agroforestry: Proceedings of a Consultation Meeting held in Nairobi. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1981. p 323-346.

¹⁰⁸ SANDERSON, M., STAIR, D y HUSSEY, M. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress. Advances in Agronomy. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1997. p 171-224.

¹⁰⁹ ACOSTA, M. et al. Un método para la medición del Carbono almacenado en la parte aérea de sistemas de vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México. INAFAP, 2001. 6p. [on line]. Available from internet: <[E-mail:acosta@colpos.mx](mailto:acosta@colpos.mx)>.

¹¹⁰ GIRALDO, Luis et al. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* asociada con pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum*, en clima frío de Colombia, Op cit., p 6.

3.2.2.1 Estimación de la Biomasa aérea y carbono con la ecuación alométrica. Los resultados obtenidos de la Ba en el LM de *A. decurrens* de 9 años de edad, sembrados a 6 metros entre ellos, a través del método de ecuaciones fue de 16.69 t; el promedio por árbol fue de 1.11 t MS, que al ser convertida por la fracción de C (0.5), estimó un almacenamiento de 8.34 t C en el LM y de 0.56 t C por árbol

3.2.2.2 Estimación de la Ba por la técnica del árbol de área basal promedio. Con esta técnica, se obtuvo un resultado real de la MS del árbol y la Ba de la población forestal y por ende del C almacenada en ella; se encontró que la MS del árbol fue de 1.60 t, y este al representar la media de los quince árboles que formaron el LM, determinó una cantidad de Ba de 24.06 t (Cuadro 5). El C almacenado en el lindero maderable se cuantificó en 12.03 t.

Cuadro 5. Estimación de la Biomasa aérea (Ba) y almacenamiento de Carbono (C) en el Lindero Maderable de *A. decurrens* en el C. I. CORPOICA Obonuco, Pasto, 2003.

Variables	Ecuación alométrica			Árbol área basal	
	Mínimo	Promedio	Máximo	promedio	IMA (t año ⁻¹)
Ba (t/árbol)	0.059	1.11	2.50	1.60	0.17
C (t/árbol)	0.029	0.56	1.25	0.80	0.089
Ba. LM (t ha ⁻¹)		16.69		24.06	2.6
C. LM (t ha ⁻¹)		8.34		12.03	1.3

Al comparar los métodos de estimación de Ba y almacenamiento de C para *A. decurrens*, tanto de una manera destructiva, como de una manera estimativa, se encontró una diferencia de 7.4 t Ba y de 3.7 t C observándose, una superioridad en los resultados obtenidos por el método destructivo. Esto pudo deberse a que el ámbito de la regresión se ajustó para diámetros normales entre 4.3 y 25.5 cm, mientras que los Dn de los árboles del LM oscilaron entre 11.3 y 58.9, lo que representa una extrapolación y no una estimación, indicando una mínima validez externa del modelo.

Por lo tanto, para hacer el análisis económico, se consideró el dato obtenido por el método destructivo.

3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

3.3.1 Indicadores económicos. El análisis económico se realizó con los 4 tratamientos del arreglo silvopastoril, en cuanto a las entradas de activos (dinero) al sistema, por concepto de la venta de forraje de las pasturas y los productos forestales (follaje y leña), así como por la venta de servicio de almacenamiento de C, comparado con la pradera testigo (Cuadro 6), para el año 2003.

El forraje se puede comercializar en la localidad a un precio de \$42.000 t, en tanto que el m³ de leña tiene un valor de \$60.000; la t C almacenado se valora a un precio en el mercado internacional de U\$12 (\$34.800).

En el Cuadro 6, se puede observar que los costos de establecimiento del SSP son mayores que los de la pradera, debido a que en el arreglo, se estimó los costos de establecimiento y mantenimiento del lindero maderable; que incrementan en un 5% los valores respecto a la pradera (Anexos C, D y E).

Cuadro 6. Indicadores económicos (ingreso total: IT, costo total CT, utilidad: UT, rentabilidad : R% y la relación beneficio/costo: BC) de los tratamientos en el arreglo silvopastoril y el testigo, C I CORPOICA, Obonuco, Pasto 2003.

Indicador	T1	T2	T3	T4	Testigo	SSP*
CT (\$)	2.016.066	2.016.066	2.016.066	2.016.066	1.917.604	2.016.066
IT (\$)	1.681.788	2.091.816	1.946.388	2.498.232	2.570.508	2.324.916
UT (\$)	-334.278	75.750	-69.678	482.166	652.904	308.850
R %	-17	4	-3	24	34	15
B/C	0.83	1.04	0.97	1.24	1.34	1.15

El sistema silvopastoril (SSP) fue comparado solamente con la pradera testigo.

Los ingresos de los diferentes tratamientos (Cuadro 6), se estimaron a través de la comercialización del FV de la pradera y árboles, venta de leña (1.57 m³) proveniente de la *A. decurrens* en la zona, y almacenamiento de C tanto de las forrajeras como del lindero (1.33 t). Los generados por la perenne, se estimaron a partir de su incremento medio anual en leña y almacenamiento de C.

Los ingresos percibidos en la pradera testigo, superan las de los tratamientos del SSP, a pesar de los diferentes productos y servicios generados en el sistema. En el T1, cuya producción forrajera asemeja la de una plantación con vocación forestal (debido a que las pasturas no tienen una buena exposición solar), hubo ingresos 52% más bajos que la pradera testigo. El T4 presentó ingresos 2% menores que el SSP, que se compensa con la generación de otros servicios ambientales.

La utilidad por venta de FV y C del testigo, fue mayor a la obtenida en la comercialización del FV, leña y C de los tratamientos del SSP, en donde el T1 y T3 presentaron una utilidad negativa (-334.278 y -69.678 respectivamente), concluyendo en que su establecimiento no es recomendable.

El T4 tuvo una utilidad 27% menor que el testigo, pero fue el tratamiento mas cercano al testigo en comparación de este indicador económico

Como en los otros indicadores, la rentabilidad mayor, se presentó en el testigo, la menor en el T1, por lo que se puede concluir que los ingresos por venta de FV de la pradera, generaron mejores dividendos que el paquete de bienes y servicios ofrecido en el sistema.

Los T1 (próximo al LM) y T3 (a 30 m de distancia con relación al L.M), presentaron una rentabilidad negativa, frente a la pradera testigo (16 y 3 % menos respectivamente), lo contrario sucedió con los tratamientos 2 (a 15 m distanciado con relación al L.M) y 4 (a 45 m distanciado del L.M), que presentaron una rentabilidad positiva, frente a la pradera testigo (4 y 24% más respectivamente).

La rentabilidad del tratamiento 3 se puede comparar con la que posee la arveja producida en el primer semestre del año 2002, en el municipio de Iles (Nariño), según datos suministrados por la gobernación de Nariño¹¹¹ la cual tiene un 31% de rentabilidad, similar a esta.

3.3.2 Comparadores económicos entre arreglo silvopastoril y testigo. En el cuadro 5, se analiza que el SSP superó en \$ 352.750 las utilidades y la rentabilidad (16%) a la pradera testigo.

Teniendo en cuenta la rentabilidad obtenida en el arreglo silvopastoril, como sistema, fue comparada con la rentabilidad obtenida por la cebada (44%), en el primer semestre del año 2002 en el municipio de Ipiales (2003)¹¹², encontrándose, que el monocultivo frente al arreglo silvopastoril, es menos rentable, por ende es más recomendable implementar SSP.

La DTF, para la tercera semana de Octubre del 2003, fue de 7.75%¹¹³, comparada con la rentabilidad del SSP, encontrándose una discrepancia entre las dos, validándose esta ultima.

¹¹¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Consolidado Agropecuario, Acuícola y Pesquero. Pasto: Gobernación de Nariño, 2003. p 10.

¹¹² Ibid., p 10.

¹¹³ ENTREVISTA con Elena Jurado, asesora comercial AV Villas, Pasto, 9 de octubre del 2003.

CONCLUSIONES

El arreglo silvopastoril, al poseer el compartimento leñoso *Acacia decurrens* y diferentes pasturas en el componente herbáceo dentro de un mismo contexto espacio-temporal, posee una mayor complejidad y diversidad que la existente en la pradera testigo.

El componente herbáceo, presenta una disminución en su producción de biomasa aérea y existencias de carbono cuando interactúa con la especie arbórea *Acacia decurrens*, en un arreglo silvopastoril, haciéndose más evidente el comportamiento cuando se encuentran más próximas a la leñosa (tratamiento 1 y 2), que comparadas con la pradera testigo, poseen una diferencia promedio de 0.73 t Ba ha⁻¹, 0.36 t C ha⁻¹ y 0.6 Ba ha⁻¹, 0.3 t C ha⁻¹ respectivamente, a favor del comparador.

Así como la arbórea afecta negativamente en la producción de las pasturas y existencias de carbono con relación a las obtenidas en el testigo, el microclima generado por el mismo sobre los pastos que se encontraron más próximos al lindero maderable, estabilizó la producción del pasto durante todo su ciclo productivo, contrariamente a la fluctuación presentada en la pradera testigo.

El paquete de bienes y servicios generados en el sistema silvopastoril, por la venta de forraje, leña y comercialización de carbono, no superó los rendimientos existentes en la pradera testigo por la venta de forraje y almacenamiento de carbono.

RECOMENDACIONES

Como mecanismo para promover la implementación del componente arbóreo en arreglos silvopastoriles y agroforestales, se recomienda difundir los diversos beneficios generados por la leñosa, ya sea en la parte económica, por la venta de productos tangibles y la comercialización de servicios ambientales negociables en el mercado internacional, así como también los beneficios ecológicos al disminuir el impacto negativo generado en el medio ambiente territorial y global por el sistema de producción pecuario insostenible.

Desarrollar investigaciones en Sistemas Silvopastoriles y Agroforestales durante todo el ciclo productivo del árbol, para determinar las diferentes interacciones e influencias en cada una de las etapas de crecimiento de la arbórea, y valorar así su dimensión económica, teniendo en cuenta los objetivos de implementación del arreglo.

Realizar investigaciones sobre almacenamiento de carbono en diferentes especies forestales nativas, para estimar su potencial y tasa de asimilación de la especie en diferentes estados de su crecimiento y condiciones de manejo.

Realizar investigaciones sobre almacenamiento de carbono radical, tanto en el compartimiento arbóreo y herbáceo, además del componente suelo, para que su determinación se realice con más elementos, y su viabilidad sea mayor.

Incrementar la implementación de árboles en los Linderos de las parcelas, en este tipo de Sistemas silvopastoriles lineales, realizando labores culturales apropiadas, aumentan los ingresos por venta de leña y almacenamiento de carbono del sistema sin afectar en mayor medida los rendimientos de las pasturas.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, S et al. Ecología: Efecto invernadero. Bogotá: Norma, 1999. 1027 p.

ACOSTA, M et al. Un método para la medición del Carbono almacenado en la parte aérea de sistemas de vegetación natural e inducida en terrenos de ladera en México: INAFAP, 2001. 6 p. [on line]. Available from internet: E-mail: Acosta@colpos.mex.

ANDRADE, Hernán. Dinámica productiva de sistemas silvopastoriles con *Acacia mangium* y *Eucaliptus deglupta* en el trópico húmedo. Turrialba, Costa Rica, 1999., 67 p. Trabajo de grado. (*Magíster Scientiae*). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

_____. Fijación de Carbono en sistemas silvopastoriles: Una propuesta metodológica. Sp. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), sf. p 72.

BARTHOLOMAUS, A. El manto de la tierra. Bogotá: Corporación Autónoma Regional, 1990. 300 p.

BEER, J et al. Plantaciones de árboles en línea. 2 ed. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2000. 134p.

BROWN, S. Los bosques y el cambio climático. En: CONGRESO FORESTAL MUNDIAL. (2o. :Istanbul). Ponencias del II Congreso sobre el papel de los terrenos forestales como sumideros de carbono. Istanbul, Sp, 1997. p 37.

CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS
Fotosíntesis. [on line] [2002] Available from internet:
<<http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Fotosint.htm>>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Consolidado agropecuario, acuícola y pesquero. Pasto: Gobernación de Nariño, 2003. p 6.

COLOMBIA. INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Reporte técnico, estación meteorológica Obonuco, municipio de Pasto. 2001-2002.

CORPORACIÓN COLOMBINA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA.

DIXON, R. Agroforestry systems: Sources or sink of greenhouse gase?. 4a. ed. New York: wilei, 1998. p 99-116.

ECOFRONTERAS. Captura de Carbono. México: 2002. [on line] Available from internet: <[www.ECOSUR. mx/scolel/capcar.htm](http://www.ECOSUR.mx/scolel/capcar.htm)>.

ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAIDÍ. Fotosíntesis. [on line] [2003]. Available from internet: <www.eez.csic.es/-olivares/ciencia/fijación/fotosíntesis.htm-9k>.

FORERO, Luz. Estimación del potencial de la captura de Carbono por la *Acacia mágium* (*Riscopema mágium* ex *Acacia mágium*), en diferentes densidades de siembra de un sistema silvopastoril. Medellín, 2003, 113 p. Trabajo de grado (*Magíster Scientiae*). Universidad Nacional de Colombia. Programa de Maestrías en Ciencias Agrarias. Sede Medellín.

GIRALDO, Luis et al. Evaluación de un sistema silvopastoril de *Acacia decurrens* asociada con pasto kikuyo *Penisetum clandestinum*, en clima frío de Colombia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2003. 32p.

_____. Sistemas Silvopastoriles: alternativa sostenible para la ganadería colombiana. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2000. p 114.

GUERRERO, Ramiro. Reconocimiento detallado de los suelos de la granja Obonuco (Pasto) y otros Municipios del Departamento de Nariño. En: ICA. Taxonomía de suelos en Nariño. Pasto: ICA, 1970. p 3-4,23.

GURI, Javier. Primera versión (On line). / First version: 11 SEP 98 Actualizaciones / Updates: 11 ENE 99 - Gutación – Gutation.

JACKSON, J y PALMER, J. Light availability at the tree/crop interface. In: Reifsnyder, W. S.; Darnchofer, T.O (eds.). Meteorology and Agroforestry. Ontario, Canada: ICRAF, 1987. 546 p.

NAIR, Ramachandran. Agroforestería. Chapingo, México: Universidad Autónoma de Chapingo, 1997. p 183.

PEDRONI, L. Oportunidad y requisitos para el pago de servicios ambientales. Costa Rica, 2001 [On line]. Available from internet: <www.Lpedroni@catie.ac.cr>.

HUETING et al. Los mecanismos de pago por servicios ambientales como innovación social en Nicaragua [On line] [2000]. Available from internet: <[www. Sdnp. Org/mirrors/lc/nic/documentos/s.a.agua/definición](http://www.Sdnp.Org/mirrors/lc/nic/documentos/s.a.agua/definición)>

PEZO Danilo y IBRAHIM Muhammad. Sistemas silvopastoriles. 2 ed. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 1999. 275 p.

RIVERA, Julio. Producción de bovinos. Pasto: Publigráficas, 1999. 280 p.

ROSENSTEIN Enrique. Diccionario de especialidades agroquímicas: Semillas forrajeras. 9 ed. Bogotá: SEMICOL, 1999. p 657-699.

SANDERSON, M; STAIR, D y HUSSEY, M. Physiological and morphological responses of perennial forages to stress: Advances in Agronomy. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1997. p 171-224.

SEGURA, M. Forrajes en el Perú En: Leisa. Agricultura sostenible de los Andes. Lima, Boletín técnico no. 41, 1970. p 4-8.

SHELTON, H., HUMPHREYS, L y BATELLO, C. Pastures in the plantations of Asia and Pacific: Tropical Grasslands. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1987. p 159-168.

SMITH, M y WHITEMAN, P. Evaluation of tropical grasses in increasing shade under coconut canopies. Experimental Agriculture. 2a. ed. Oxford: Oxford University press, 1983. p 153-161.

TIESZEN, L. Photosynthetic systems: implications for agroforestry. In: Huxley, P.A. (ed). Plant research and agroforestry.: Proceedings of a Consultation Meeting held in Nairobi. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1981. p 323-346.

VÉLEZ Gladis y MORENO Flavio. Principios de la agrosilvicultura. En: Universidad Nacional de Colombia. Revista crónica forestal y del medio ambiente no. 8. Medellín, Colombia: U.N, 1993. 56 p.

VIRTUALCENTER. Algunas experiencias en el Pago de Servicios Ambientales con énfasis en Captura de Carbono. [on line][2003]. Available from internet: <<http://lead.virtalcenter.org/es/ele/conferencia3/articulo12.htm>>.

WONG, C y WILSON, J. Effects of shading on the growth and nitrogen content or Green Panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frecuencies. 5a. ed. Cambridge: Cambridge University, 1980. p 269-285.

Anexo A. Análisis de suelos. Lote 12.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
SECCION DE LABORATORIOS
SECCIÓN DE LABORATORIOS DE SUELOS
(a) Teléfono 235850 y 232289 – Ext 217

RESULTADOS DE ANALISIS DE MUESTRAS DE SUELO

Fecha _____ Análisis No. _____ No. Original _____
 Interesado _____ Propietario _____
 Finca _____ Referencia _____
 Cultivo Anterior _____ Cultivo proyectado _____
 Altura _____ msnm Temperatura _____ Topografía _____
 Profundidad _____ cm Recibo de Pago No. _____
 Fertilizantes Utilizados Anteriormente _____
 Análisis Solicitado: Caracterización X _____ Fertilidad _____ Otros: Elementos menores _____

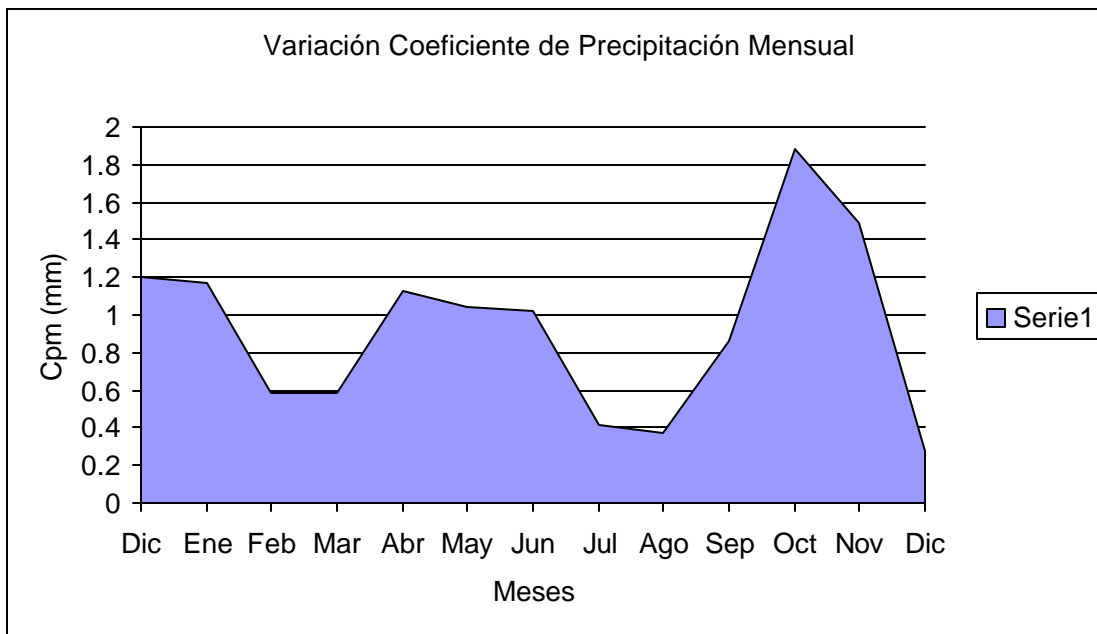
Muestra	Unidad	8614	
pH, Potenciómetro Relación Suelo: Agua (1:1)		5.3	
Materia Orgánica Walkley – Black (coloriméto)	%	9.8	
Densidad Aparente	g/cc	1.0	
Fósforo (P) Bray II	ppm	19	
Capacidad de intercambio carionico (CIC)	CH ₃ COOHNH ₄ 1NpH 7	meq/100 g	25.2
Calcio de Cambio			9.5
Magnesio de Cambio			2.9
Potasio de cambio			1.38
Acidez Intercambiable			0.5
Hierro	Extracción con DTPA y Trietanofamina		318.00
Magnesio			25.20
Cobre			3.40
Zinc			4.20
Boro ppm. Método de Agua Caliente			0.06
Textura Bouyoucos F= Franco Ar= Arcilloso A= Arenoso	% arenas		*
	% arcilla		*
	% limos		*
	Grado textural		Ar-A
Húmedad Higroscópica	% PW		*
Capacidad de campo	%		*
Nitrógeno total			0.40
Carbono Orgánico %			5.68

Observaciones

(i) MARIA DEL REOSARIO CARREÑO

TECNOLOGA QUIMICA LABORATORIOS DE SUELOS

Anexo B. Precipitación años 2001 – 2002. C.I. Corpoica



Meses	Precipitación Total Mensual Ptm (mm)	Precipitación Media Diaria Pmd (mm)	Coeficiente de Precipitación Mensual Cpm
Dic - 01	75.4	2.51	1.20
Ene - 02	73.3	2.44	1.17
Feb - 02	36.6	1.22	0.58
Mar - 02	36.5	1.22	0.58
Abr - 02	70.9	2.36	1.13
May - 02	65.1	2.17	1.04
Jun - 02	63.9	2.13	1.02
Jul - 02	25.6	0.85	0.41
Ago - 02	23	0.77	0.37
Sep - 02	53.9	1.80	0.86
Oct - 02	118.06	3.94	1.88
Nov - 02	93.4	3.11	1.49
Dic - 02	17.8	0.59	0.28
Sumatoria	753.46		

Expresiones para Cálculos

$C_{pm} - i = P_{tm} - 1 / P_{mm}$ Donde

$P_{mm} = \text{Sumatoria } P_{tm} - 1 / \text{Nro de meses}$

Anexo C. Costos de establecimiento de una pradera con pasto aubade, azul orchoro, tetrabend 444 y trébol blanco ha año⁻¹.

1. COSTOS DIRECTOS	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1.1.Preparación del terreno				
1.1.1. Arada		1	100.000	100.000
1.1.2. Rastrillada		2	40.000	80.000
1.2 Mano de obra				
1.2.1. Fertilización	Jornal	1	10.000	10.000
1.2.2. Siembra	Jornal	1	10.000	10.000
SUBTOTAL				200.000
1.2. INSUMOS				
1.2.1 Semillas				
1.2.2. Aubade	kg.	15.09	4800	72432
1.2.3. Azul orchoro	kg.	7.84	9600	75264
1.2.4. Trébol blanco	kg.	4.9	6327	31002.3
1.2.5. Tetrabled 444	kg.	22.5	12320	277200
1.2.6. Superfosfato	kg.	50	510	25500
1.2.7. Sulfato de magnesio	kg.	19.6	600	11760
1.2.8. Urea	kg.	44.11	600	26466
1.2.9. Borax	kg.	4.9	560	2744
1.3. Arrendamiento	Meses	12	90000	1080000
SUBTOTAL				1.602.368
TOTAL COSTOS DIRECTOS				1.802.368
2.COSTOS INDIRECTOS				
2.1. Transporte				35.600
2.2. Asesoría técnica				54.236
2.3. Asistente administrativo				25.400
SUBTOTAL				115.236
COSTO TOTAL				1.917.604

Anexo D. Costo de establecimiento y mantenimiento de un Lindero Maderable de acacia negra (*Acacia decurrens*), densidad de siembra: 15 árboles distanciados a 6 metros cada uno (90 m. lineales).

1. COSTOS DIRECTOS	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1.1. Mano de obra				
1.1.1. Trazado	Jornal	0.2	10.000	2.000
1.1.2. Plateo y ahoyado	Jornal	0.2	10.000	2.000
1.1.3. Siembra	Jornal	0.2	10.000	2.000
1.1.4. Control fitosanitario	Jornal	1	10.000	10.000
1.1.5. Aplicación de fertilizantes	Jornal	0.2	10.000	2.000
1.1.6. Limp ias	Jornal	2	10.000	20.000
SUBTOTAL				38.000
1.2. INSUMOS				
1.3. Plántulas	Plántula	15	285	4.275
1.4. Fertilizante NPK	Kg.	1	750	750
1.5. Calfos	Kg.	2	350	700
1.6. Borax	Kg.	0.5	1600	800
1.7. Insecticida	Kg.	0.5	4500	2250
SUBTOTAL				8.775
TOTAL COSTOS DIRECTOS				46.775
2. COSTOS INDIRECTOS				
2.1. Transporte insumos		Global		10.000
2.2. Asistencia técnica				8.477
SUBTOTAL				18.477
COSTO TOTAL AÑO 1				65.252

Anexo E. Costos de mantenimiento de un Lindero Made rable de acacia negra, densidad de siembra: 15 árboles distanciados a 6 metros cada uno (90 m lineales)

1. COSTOS DIRECTOS	UNIDAD	CANTIDAD	V. UNITARIO	V. TOTAL
1.1. Mano de obra				
1.1.1. Plateo	Jornal	0.33	10.000	3.300
1.1.2. Control fitosanitario	Jornal	0.33	10.000	3.300
1.1.3. Aplicación de fertilizantes	Jornal	0.34	10.000	3.400
SUBTOTAL				10.000
1.2. INSUMOS				
1.3. Fertilizante NPK	Kg.	2	750	1.500
1.4. Insecticida	Kg.	0.5	4500	2.250
SUBTOTAL				3.750
TOTAL COSTOS DIRECTOS				13.750
2. COSTOS INDIRECTOS				
2.1. Transporte insumos		Global		1.500
2.2. Asistencia técnica				1.355
SUBTOTAL				2.855
COSTO TOTAL AÑO 2				16.605