

**Efecto de la Sombra de *Alnus acuminata* Kunth sobre la Producción y Calidad de Biomasa de Pasturas
en un Arreglo Silvopastoril en el Trópico Alto de Nariño**

Bayron Giovanni Obando Enríquez

Universidad de Nariño

Facultad de Ciencias Agrícolas

Escuela de Posgrados Facultad de Ciencias Agrícolas

Maestría en Agroforestería Tropical

San Juan de Pasto

2022

**Efecto de la Sombra de *Alnus acuminata* Kunth sobre la Producción y Calidad de Biomasa de Pasturas
en un Arreglo Silvopastoril en el Trópico Alto de Nariño**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Agroforestería
Tropical**

Bayron Giovanni Obando Enríquez

Director

Jorge Alberto Vélez Lozano M Sc., Ph D.

Codirector

Edwin Castro Rincón M Sc., Ph D.

Universidad de Nariño

Facultad de Ciencias Agrícolas

Escuela de Posgrados Facultad de Ciencias Agrícolas

Maestría en Agroforestería Tropical

San Juan de Pasto

2022

Nota de Responsabilidad

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor. Artículo 1^{ro} del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño

Nota de Aceptación

Jerson Esteban Rosero Morán M Sc.
Asesor delegado

Jorge Fernando Navia Estrada M Sc., Ph D.
Asesor

William Ballesteros Possú M Sc., Ph D.
Asesor

Jorge Alberto Vélez Lozano M Sc., Ph D.
Director

Edwin Castro Rincón M Sc., Ph D.
Codirector

Agradecimientos

A la corporación colombiana de investigación agropecuaria Agrosavia, a mis asesores Jorge Alberto y Edwin por su valioso tiempo y colaboración, a mis jurados y profesores Jorge Fernando, William y Jerson; a Victoria Catalina, Diego Andrés, Edmundo Andrés y demás colaboradores del centro de investigación Obonuco, y a todas aquellas personas que estuvieron involucradas en este proceso, gracias, gracias, gracias.

Dedicatoria

Quiero dedicar la terminación de este ciclo de aprendizaje, recopilado en este documento, a mi amada esposa cuya paciencia y amor fueron motivación y soporte para alcanzar esta meta, a mi hijo, el más grande motor e inspiración en mi vida; a mis padres, por su valioso esfuerzo y apoyo desde siempre, a mis hermanas, sobrinas, madrina y a todos mis seres queridos.

A mis amigos y compañeros, que siempre estuvieron alentándome durante este recorrido; y por último a mis asesores y jurados quienes fueron mis maestros y amigos, que me orientaron en este proceso de meritorio aprendizaje.

Resumen

Las cuencas lecheras del trópico alto colombiano, por lo general basan su oferta forrajera en praderas de kikuyo *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. morrone, gramínea naturalizada ampliamente distribuida en la región fría de los Andes nariñenses, se caracteriza por tener un nivel nutricional y productivo de bajo a medio; que se establece como monocultivo con un método de explotación ganadero extensivo. Estos modelos ganaderos, deben ser replanteados debido a su baja productividad, a los efectos adversos que producen sobre la oferta ambiental, y su consecuente impacto negativo en la coyuntura ambiental global, que afectan las diferentes cadenas productivas agropecuarias, debido en buena parte a la variabilidad climática (sequías, heladas e inundaciones). Diferentes estudios señalan a la agroforestería, como una alternativa de producción pecuaria sostenible, hacia la cual puede migrar la ganadería de leche especializada. En ese sentido, en un sistema silvopastoril (SSP) de la región altoandina nariñense se evaluaron los siguientes objetivos: determinar la cobertura y sombra del dosel de la especie forestal *Alnus acuminata* Kunth en el SSP; evaluar la producción y calidad de la biomasa aérea de pasturas bajo sombra; y valorar los bienes y servicios ambientales generados. En el objetivo uno: para *A. acuminata* se registró un promedio de altura total de 11,74 m con un incremento medio anual (IMA) de 0,53 m año⁻¹, diámetro a la altura del pecho (DAP) de 19,17 cm con IMA de 4,86 año⁻¹, altura y área de copa de 9,50 m 47,89 m²; se estableció la opacidad media del dosel en 65 % y que en el área de influencia de la copa de aliso la luminosidad es estadísticamente menor a la registrada en una pradera a libre exposición solar; los árboles del SSP en su mayoría son de forma irregular, de copa estrecha, tronco grisáceo y con algunas curvaturas. En el objetivo dos, se estableció que la pastura con cobertura arbórea fue estadísticamente superior en variables productivas y calidad en comparación a una pradera a libre exposición solar, y en el objetivo tres, que los actores de la región están dispuestos a asumir y recibir un pago adicional de \$ 69 para mantener o generar servicios ambientales en su sistema productivo.

Abstract

The dairy basins of the Colombian high tropics generally base their forage supply on kikuyo grasslands *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. morrone, a naturalized grass widely distributed in the cold region of the Nariño Andes, characterized by a low to medium nutritional and productive level, which is established as a monoculture with an extensive livestock farming method. These livestock models must be reconsidered due to their low productivity, the adverse effects they have on the environmental supply, and their consequent negative impact on the global environmental situation, which affects the different agricultural production chains, largely due to climate variability (droughts, frosts and floods). Different studies point to agroforestry as an alternative for sustainable livestock production, towards which specialized dairy cattle raising can migrate. In this sense, the following objectives were evaluated in a silvopastoral system (SSP) in the high Andean region of Nariño: to determine the canopy cover and shade of the forest species *Alnus acuminata* Kunth in the SSP; to evaluate the production and quality of the aerial biomass of pastures under shade; and to value the environmental goods and services generated. In objective one: for *A. acuminata* an average total height of 11.74 m with a mean annual increment (MAI) of 0.53 m yr⁻¹, diameter at breast height (DBH) of 19.17 cm with an MAI of 4.86 yr⁻¹, height and crown area of 9.50 m and 47.89 m² were recorded; the average opacity of the canopy was established at 65% and that in the area of influence of the alder canopy the luminosity is statistically lower than that recorded in a meadow with free sun exposure; SSP trees are mostly irregular in shape, with a narrow crown, grayish trunk and some curvatures. In objective two, it was established that the pasture with tree cover was statistically superior in productive variables and quality compared to a pasture with free sun exposure, and in objective three, that the stakeholders in the region are willing to assume and receive an additional payment of \$69 to maintain or generate environmental services in their productive system.

Tabla de Contenido

1	Introducción	15
2	Objetivos	19
2.1	Objetivo General	19
2.2	Objetivos Específicos.....	19
3	Marco Teórico	20
3.1	Generalidades	20
3.2	Agroforestería	21
3.3	Clasificación de Sistemas Agroforestales	22
3.4	Sistemas Silvopastoriles	22
3.4.1	Clasificación de sistemas silvopastoriles.....	23
3.4.2	Interacciones en sistemas silvopastoriles	24
3.5	Antecedentes	27
3.6	Servicios Ambientales	28
3.6.1	Bienes y servicios ambientales.....	28
3.6.2	Marco normativo de Pagos por Servicios Ambientales en Colombia	29
3.6.3	Pago por Servicios Ambientales	32
4	Materiales y Métodos	34
4.1	Localización	34
4.2	Parámetros Climáticos	34
4.3	Material Vegetal.....	34
4.3.1	Aliso <i>Alnus acuminata</i> Kunth	34
4.3.2	Kikuyo <i>Cenchrus clandestinus</i> Hochst. ex Chiov. Morrone.....	36
4.4	Manejo de Sistemas Productivos	39
4.4.1	Manejo de praderas	39
4.4.2	Manejo de la especie forestal	39

4.5	Diseño Experimental	39
4.6	Tratamientos de Investigación.....	40
4.7	Variables Evaluadas.....	40
4.7.1	Caracterización Fertilidad de suelos, variables climáticas y descripción de la zona de establecimiento de los sistemas productivos	41
4.7.2	Caracterización de especies vegetales.....	41
4.7.3	Estimación de producción y calidad de biomasa aérea de la pradera del arreglo silvopastoril y monocultivo	46
4.8	Análisis Estadístico	47
4.9	Valoración de Servicios Ambientales en el Arreglo Silvopastoril.....	48
5	Resultados y Discusión	50
5.1	Caracterización Edafoclimática de Sistemas Productivos.....	50
5.1.1	Registro de temperatura, brillo solar y precipitación en el municipio de Pasto	50
5.1.2	Caracterización de suelos en los sistemas productivos	53
5.1.3	Caracterización del entorno de los sistemas productivos	56
5.2	Caracterización de Especies Vegetales	56
5.2.1	Caracterización de A. acuminata del arreglo silvopastoril.....	57
5.2.2	Caracterización de praderas de los sistemas productivos	67
5.2.3	Intensidad lumínica en sistemas productivos	70
5.3	Estimación de Producción y Calidad de Biomasa Aérea de la Pradera del SSP y Monocultivo ..	73
5.3.1	Producción de biomasa herbácea forrajera de la pradera del SSP y monocultivo ...	73
5.3.2	Calidad nutricional de C. clandestinus en los sistemas productivos.....	76
5.4	Valoración de Servicios Ambientales en el Arreglo Silvopastoril.....	87
5.4.1	Servicios ambientales generados en el arreglo silvopastoril	88
5.4.2	Actores clave en zona de influencia del arreglo silvopastoril	90

5.4.3	Disposición a pagar por generación de servicios ambientales en el arreglo silvopastoril	90
5.4.4	Disposición a aceptar pago por generación de Servicios ambientales en el arreglo silvopastoril.....	97
5.4.5	Valor concertado de pago por servicios ambientales en el arreglo silvopastoril ...	100
6	Conclusiones	101
7	Recomendaciones	102
8	Bibliografía	103

Lista de Tablas

Tabla 1 Concentración de Nutrientes de <i>C. clandestinus</i> en Praderas de la Región Altoandina de Colombia	38
Tabla 2 Tratamientos de Investigación Evaluados en Dos Sistemas Pastoriles de la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	40
Tabla 3 Descriptores Botánicos de Especies Forestales	41
Tabla 4 Precipitación de Septiembre de 2021 a Febrero 2022 en Estación Agrometeorológica Obonuco del IDEAM	52
Tabla 5 Fertilidad de Suelos en Praderas a Libre Exposición Solar y Bajo Incidencia de <i>A. acuminata</i> en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	53
Tabla 6 Descripción Botánica de <i>A. acuminata</i> en un Arreglo Silvopastoril en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	60
Tabla 7 Variables Dasométricas de <i>A. acuminata</i> del SSP en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	62
Tabla 8 Caracterización Florística de Praderas en la Zona Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	68
Tabla 9 Altura de Planta de <i>C. clandestinus</i> en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de <i>A. acuminata</i> en la región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	69
Tabla 10 Intensidad Luminosa en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de <i>A. acuminata</i> en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	71
Tabla 11 Forraje Verde y Materia Seca de <i>C. clandestinus</i> en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de <i>A. acuminata</i> en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	74

Tabla 12 Composición de Macrocomponentes de <i>C. clandestinus</i> en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de <i>A. acuminata</i> en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño.....	77
--	----

Tabla 13 Composición Nutricional de <i>C. clandestinus</i> en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de <i>A. acuminata</i> en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	82
---	----

Tabla 14 Servicios Ambientales del SSP de Árboles Dispersos en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño	89
---	----

Lista de Figuras

Figura 1 Normativa Pago por Servicios Ambientales en Colombia	30
Figura 2 Variables Dasométricas Evaluadas en la Especie Forestal A. acuminata	42
Figura 3 Temperatura y Brillo Solar Registrados en la Estación Agrometeorológica Obonuco	51
Figura 4 Descripción Botánica de A. acuminata en el SSP en la Región Altoandina Nariñense	59
Figura 5 Índice de Área Foliar y Porcentaje de Porosidad del Dosel de A. acuminata	64
Figura 6 Porosidad de Copa de A acuminata en la Región Altoandina Nariñense entre Septiembre 2021 y Febrero 2022.....	65
Figura 7 Promedio Diario de Intensidad Lumínica a Libre Exposición Solar y Bajo Dosel de A. acuminata	71
Figura 8 Percepción del Impacto Negativo de la Ganadería y su Influencia en Problemas Ambientales ..	92
Figura 9 Percepción de la Importancia de Árboles en ´Generación de Servicios Ambientales	94
Figura 10 Disposición a Pagar por Generación de Servicios Ambientales en agroecosistemas	95
Figura 11 Disposición de consumidores a pagar por servicios ambientales generados en un SSP de la región altoandina de Pasto, Nariño	95
Figura 12 Lugares de Compra de Leche para Consumo de la Ciudadanía del Municipio de Pasto	97

1 Introducción

Las gramíneas tropicales, se encuentran expuestas a climas en constante transformación, son sometidas a pisoteo sin el uso de prácticas agronómicas correctas y periodos de descansos adecuados; sin embargo, aunque los forrajes consumidos por animales tienen calidad nutricional de media a baja en cuanto a proteína, energía y minerales, se consideran la base de alimentación ganadera en América Latina (Murgueitio *et al.*, 2016). La escasa carga animal producto de estos aspectos, conlleva a que la mayor parte de esquemas bovinos registren bajos niveles de productividad y competitividad como consecuencia del agotamiento de recursos naturales (Rivera *et al.*, 2017).

Barragán (2015) manifiesta que en predios de América Latina, la ganadería es de carácter extensivo con insuficientes niveles tecnológicos, lo que ocasiona una baja eficiencia biológica y económica en el sector pecuario, especializado en monocultivos herbáceos de gramíneas y ausencia de componentes arbóreos o arbustivos; en la literatura, Navas (2010) reporta que en fincas agroforestales existe un rango entre 3 a 50 árboles hectárea⁻¹ (ha⁻¹) en predios ganaderos, una densidad baja, que no permite generar una gobernanza e interacciones adecuadas entre plantas y animales que beneficie ampliamente diferentes componentes del arreglo.

En ese mismo sentido, en Colombia, de los 50 millones de ha usadas en el sector agropecuario, cerca de 39 millones están dedicadas a producir praderas para explotación pecuaria, de las cuales el 70 % se encuentra bajo ganadería extensiva (DANE, 2019), que basan su producción en praderas a libre exposición solar (Castaño *et al.*, 2019).

En la región altoandina colombiana, en cuencas lecheras se establece principalmente pasturas permanentes de *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone (Navas *et al.*, 2020), que se encuentra en un 80 % de explotaciones ganaderas del país, tendencia común en sistemas convencionales de aprovechamiento pecuario de la región altoandina nariñense, donde se establece como monocultivo

asociado a otros pastos o árboles; este forraje presenta una muy buena adaptación, aunque su productividad es baja (Portillo *et al.*, 2019).

Adicional al bajo rendimiento, en la coyuntura ambiental global el establecer mono cultivos de gramíneas en la explotación ganadera se debe replantear; de ahí que en la actualidad se impulsa como una nueva alternativa productiva los sistemas silvopastoriles (SSP), que a través de especies forestales permiten conservar y mejorar propiedades físicas del suelo, mediante aporte de biomasa; además Vargas *et al.* (2018) menciona que algunas leñosas logran fijar Nitrógeno (N) atmosférico al suelo, para ser aprovechados por las plantas.

Al mismo tiempo, los SSP incrementan la biomasa forrajera, con arreglos como bancos de proteínas, cercas vivas, pasturas en callejones, a través de los cuales se obtiene alimento adicional y/o sombra, que contribuyen a mejorar ampliamente el bienestar animal en regiones con temperaturas cambiantes (Del Pozo, 2019).

Igualmente, por la presencia del componente leñoso, generan un amplio portafolio de bienes y servicios ambientales (SA), que originan sinergias de adaptación y mitigación a efectos negativos del cambio climático y promueven un ingreso económico extra para productores (Cristeche & Penna, 2008; Murgueitio *et al.*, 2013).

Ahora bien, aunque los SSP tienen múltiples beneficios, en el Inventario Ganadero Nariñense de 189000 ha de oferta forrajera, se estima que solo 1975 se encuentran bajo esta modalidad, alrededor del 1,04 % (Secretaría de Agricultura Y Desarrollo Rural De Nariño, 2017), un porcentaje de adopción bajo; resultado del desconocimiento de beneficios de la agroforestería en producción bovina, de prácticas inadecuadas en manejo de arreglos, altos costos en mantenimiento de árboles en fincas, sumado a la ausencia de una plataforma efectiva de pago por servicios ambientales (PSA), e inexistente

comercialización de productos forestales promisorios, que pueden ser una alternativa adicional de ingresos económicos para el productor.

En razón de lo anterior, incluir árboles es una estrategia que provee de sombra natural a herbáceas forrajeras, al tiempo que se puede diversificar la oferta de alimento, generar SA, fortalecer ingresos del productor, propiciar microclimas adecuados para el ganado, y con ello aumentar la productividad total del sistema (Murgueitio *et al.*, 2011).

Uno de los factores fundamentales a medir para determinar potencialidades de diferentes arreglos de SSP, es cantidad y calidad herbácea bajo condiciones específicas de incidencia forestal, de forma que se identifique efectos reales que se ocasiona por asociar forestales con pasturas, como en el caso del trópico de altura, donde se encuentra establecidos modelos alternativos de ganadería agroforestal, que no cuentan con un buen nivel de investigación e información sobre interacciones del sistema, por esta razón en muchos de ellos no se tiene certeza de relaciones ecosistémicas que pueden ser tanto de mutualismo como antagonismo en estos modelos de explotación.

En la agroforestería Andina nariñense, una especie forestal nativa con gran potencial en sistemas de producción pecuaria es *Alnus acuminata* Kunth, establecida comúnmente en cercas vivas, linderos, setos perimetrales y ocasionalmente como árboles dispersos en praderas asociadas con *C. clandestinus* (Muñoz *et al.*, 2018); además presenta una amplia gama de características deseables entre las que se destacan su rápido crecimiento y fijación de N atmosférico, que la posicionan como una especie nativa apreciada por los productores (Ospina *et al.*, 2005).

Por todo ello, se planteó el desarrollo de esta investigación con el objetivo de recopilar información relacionada con uno de los SSP más comunes en la región Andina: aliso-kikuyo; establecer si la presencia de *A acuminata* genera un ambiente diferencial en el desarrollo de *C clandestinus*, y en consecuencia contribuir a explorar campos de investigación que promueva un manejo eficiente de

sistemas de producción bovino soportados en praderas (Vargas *et al.*, 2018), además de indagar sobre pagos de SA que genera este tipo de modelos ganaderos.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Evaluar el efecto de la sombra de *Alnus acuminata* Kunth sobre producción y calidad de biomasa de pasturas en un arreglo silvopastoril en el trópico alto de Nariño.

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar la cobertura y sombra del dosel de *Alnus acuminata* Kunth en un arreglo silvopastoril.
- Evaluar la producción y calidad de la biomasa aérea de pasturas bajo sombra en un arreglo silvopastoril.
- Valorar los bienes y servicios ambientales generados en un arreglo silvopastoril.

3 Marco Teórico

3.1 Generalidades

La ganadería es una de las actividades de mayor importancia en la economía colombiana, representa el 4,27 y 67 % del PIB Nacional Agropecuario y Pecuario respectivamente (ICA, 2021), genera cerca de 950 mil empleos en el sector rural; sin embargo, su desarrollo productivo es bajo debido a la insuficiente apropiación tecnológica que limita la competitividad del sector en un mercado global (FEDEGAN, 2018).

El modelo productivo ganadero en Colombia se basa en gramíneas forrajeras, debido a que se consideran recursos de baja inversión económica para su manejo (Vargas *et al.*, 2018); además, los rumiantes tienen la habilidad de consumirlos y transformarlos en productos como carne o leche, que presentan a la sociedad un valor nutricional alto (Mottet *et al.*, 2017). No obstante, el rendimiento de pasturas no es homogénea en diferentes épocas del año, en temporadas de sequía o intensas lluvias las áreas pastoriles disminuyen su oferta herbácea, en consecuencia se reduce la producción bovina (Vargas *et al.*, 2018).

En Colombia, las regiones de montaña por su clima moderado permiten implementar especies forrajeras originadas en regiones templadas del mundo, como tréboles, raigrases, avenas, entre otros; por esta razón en la región Andina del país se establecieron cuencas de lechería especializada, las tres principales se encuentran en Nariño, el Altiplano Cundiboyacense y Antioquia; estas zonas con tan solo el 7 % del hato nacional producen hasta el 45 % del total de leche del territorio colombiano (Carulla & Ortega, 2016; Murgueitio *et al.*, 2013).

En esa misma línea, en el trópico alto Nariñense, la alimentación bovina en condiciones de pastoreo se limita al uso de pocas especies, entre las que destacan *C. clandestinus*, *Holcus lanatus* L., *Lolium multiflorum* Lam. Husnot y varios cultivares comerciales de raigrás, (Castro *et al.*, 2019). En el establecimiento de estos sistemas productivos, se elimina de áreas pastoriles la cobertura arbórea, con

lo cual se descarta beneficios de árboles en cuanto a disponer de microclimas apropiados para animales, mejorar calidad de pastura y generar SA asociados a sistemas forrajeros estratificados y diversos (Navas, 2010).

Transformar la ganadería en términos productivos, económicos y medioambientales, es uno de los retos que enfrenta Nariño y Colombia, la magnitud del área dedicada a ganadería hacen de esta actividad parte fundamental del proceso de cambio de nuestras actividades hacia sistemas sostenibles, que contribuyan a conservar el gran patrimonio natural que posee el país, generar alimentos, crear riqueza, bienestar social y luchar contra el cambio climático, al concienciar sobre la necesidad e importancia de transformar el modelo ganadero convencional basados únicamente en pasturas, al migrarlo hacia agroecosistemas más diversos como SSP (Zapata & Silva, 2020).

3.2 Agroforestería

Es el nombre genérico utilizado en la descripción de un sistema antiguo de uso de la tierra ampliamente practicado, en el cual árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas, que armoniza elementos de agricultura, forestería, y/o pecuarios en sistemas productivos sustentables en la misma unidad de tierra (Altieri, 1999).

Esa no es la única definición referente, en 1982 el Consejo Internacional para Investigación en Agroforestería, ICRAF por sus siglas en inglés, la definió como un sistema sustentable de manejo de sembradíos agrícolas que procura aumentar rendimientos en forma continua, al combinar producción de plantaciones forestales (frutales y otras especies arbóreas) con especies vegetales transitorias y/o animales de modo simultáneo o secuencial sobre la misma unidad de tierra, además de aplicar prácticas de manejo compatibles con la cultura y costumbres de la población local.

Aunque esta práctica no es novedosa, el término tomó fuerza gracias al impulso de instituciones como la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mundialmente conocida como FAO, quien creó en 1977 el ICRAF, transformándose hasta ser el actual Centro Mundial de

Agroforestería (ICRAF, 2003), cuya misión es el desarrollo de investigación relacionada a ella, como una opción para mejorar condiciones en seguridad alimentaria, nutrición, nivel social, económico, recursos energéticos y sostenibilidad ambiental en el mundo (Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural de Colombia, 2012).

3.3 Clasificación de Sistemas Agroforestales

Pueden usarse varios criterios, entre los más utilizados se encuentra el propuesto por Nair (1985) que se basa en estructura, composición, disposición de componentes, función, escala socioeconómica, nivel de gestión, y difusión ecológica del sistema; los sistemas agroforestales se agrupan en tres grandes categorías.

- **Sistemas silvoagrícolas:** árboles con cultivos agrícolas
- **Sistemas silvopastoriles:** árboles con pastos (ganadería)
- **Sistemas agrosilvopastoriles:** árboles con cultivos agrícolas y pasturas

3.4 Sistemas Silvopastoriles

Se caracterizan como agroforestería que incluye especies arbóreas, en compañía de un componente herbáceo, por lo general gramíneas (Barragán & Cajas, 2019) En este sistema, se requiere manejar árboles, de modo que perduren en el tiempo, así como su aprovechamiento en alimentación animal (IICA, 2016).

Los SSP constituyen una fuente adicional de ingresos económicos y disminución de costos para agricultores si son aprovechados sustentablemente; estos arreglos, en general cuentan con consistencia económica, ambiental y social, que pueden garantizar el aumento de productividad ganadera, además generar beneficios adicionales y en cierta medida proteger los bosques de la deforestación (Clavero & Suárez, 2006).

Esta práctica se dio a conocer por el desarrollo de tecnologías que involucran el progreso de sistemas ganaderos, al mismo tiempo que proporcionan beneficios ambientales por medio de especies

forestales como componentes esenciales en el agroecosistema, al aumentar la productividad de pastos, producir SA como reducir emisión de gases de efecto invernadero (GEI); e interceden en conservar la biodiversidad, amparar cuencas hídricas y enriquecer propiedades del suelo (Arciniegas & Flórez, 2018).

3.4.1 Clasificación de sistemas silvopastoriles

Según Mendieta y Rocha (2007) los SSP se pueden clasificar en:

- Sistemas silvopastoriles con manejo de sucesión vegetal
- Pastoreo de ganado en plantaciones forestales
- Pastoreo de animales en cultivos y plantaciones frutales
- Cercas vivas
- Pasturas en callejones de árboles
- Cortinas rompevientos
- Silvopastoriles de alta densidad arbórea
- Sistemas de corte y acarreo
- Bancos de alimentos energéticos
- Árboles dispersos en potreros

Para efectos de esta investigación, se describe el arreglo de árboles dispersos en potreros, el cual se puede generar de forma natural como resultado de procesos de sucesión vegetal, se establece con especies forestales y pasturas presentes en dicho agroecosistema definidas por las condiciones agroecológicas del sitio (Atta, 1993).

Este arreglo, también puede ser establecido a través del manejo selectivo de especies leñosas remanentes después que el bosque se transformó en pasturas, o de introducirlas en praderas ya existentes; en estos casos densidades y arreglos espaciales son regulados, por ende se puede manejar las interacciones presentes (Pezo & Ibrahim, 1998).

3.4.2 Interacciones en sistemas silvopastoriles

Las interacciones en un sistema se definen como la influencia de un componente en el desempeño de otros y sobre el sistema como un todo; en agroecosistemas con especies vegetales, el efecto de diferentes relaciones y su importancia depende de condiciones de sitio (suelo y clima); variedad, procedencia, genotipo de las especies, características de árboles, cultivares, y prácticas de manejo del sistema (Farfán, 2014). En los SSP entre componentes vegetales asociados pueden ser complementarias, neutrales o competitivas (Aguilar *et al.*, 2011).

Competitivas. Limitan el crecimiento debido a una desigual competencia por recursos, favoreciendo presencia de plagas, enfermedades, maleza, alelopatía, entre otros (García, 2003); estas interacciones pueden presentarse de modo directo en cuanto al uso de recursos naturales como luz solar, agua y nutrientes; o de manera indirecta, cuando un componente afecta condiciones ambientales que limitan el uso de los recursos por parte de otro (Carranza & Ledesma, 2009).

Complementarias. Mejoran el crecimiento, permiten el uso eficiente del agua, luz, nutrientes y espacio físico (Aguilar *et al.*, 2011), las más comunes son ciclaje de nutrientes, sombrero regulado, protección contra vientos, heladas y plagas; regulación hídrica, conservación de suelos y fijar N atmosférico (Catie, 1986).

Neutrales. Mantienen el nivel de crecimiento y productividad del agroecosistema (Aguilar *et al.*, 2011).

Aunque las interacciones pueden ocurrir simultáneamente en un SAF, el efecto negativo de las competitivas es menor que el efecto positivo de las complementarias (Young, 1997). Si bien se han estudiado algunas interrelaciones, existe poca información que permite analizar su efecto de carácter integral y estudiar cómo estos modelos pueden contribuir a mejorar el usufructo de recursos locales, al

alcanzar mayor sustentabilidad y permitir suplir requerimientos de los mercados y la sociedad mundial (Murgueitio *et al.*, 2016).

En literatura afín, se menciona que la competencia por luz y aporte de N en el caso de árboles fijadores de N (AFN) son los principales factores que determinan la producción herbácea en SSP; debido a que estas características aumentan a medida que se desarrollan; en efecto la planificación del manejo SSP se basa en modelos que predicen el comportamiento de la sombra y la medida en que esta afecta a las pasturas (Carranza & Ledesma, 2009).

Efectos de la sombra de los árboles sobre pasturas en sistemas silvopastoriles. Los sistemas multiestrato favorecen a especies de estratos altos en la competencia por luz, al quedar la producción del estrato herbáceo sujeta a la densidad del componente arbóreo y a su adaptación fisiológica a la baja intensidad de luz (Fernandez, 2017). El interceptar luminosidad solar por el dosel arbóreo causa efectos directos en dos importantes recursos para el pasto como son iluminación y calor (Córdoba & Hernández, 2003).

La sombra del dosel forestal trae consigo importantes modificaciones en factores ambientales y en atributos de vegetación que crecen bajo su incidencia; condiciona variaciones en cantidad y calidad de luz solar a partir de reducir la radiación fotosintéticamente activa; disminuye temperatura del aire, del suelo y hojas de las plantas; propicia el aumento de humedad relativa del aire y suelo; cambia el funcionamiento de estomas; reduce niveles de transpiración, aumenta el potencial hídrico y productividad de pasturas (Mendoza, 2018).

Por esto en SSP una reducción de luz solar que llega al estrato herbáceo puede influir en la productividad de biomasa, absorción de agua y distribución de raíces (Alonso *et al.*, 2006), algunos estudios señalan que en condiciones de campo las intensidades de sombra pueden reducir, aumentar o interferir en la producción de praderas (Peri *et al.*, 2005).

En SSP tropicales, las plantas C_4 tienen mejor desempeño fotosintético a bajas radiaciones solares; mientras que las C_3 tienen mejor adaptación fisiológica, tanto a condiciones de poca radiación como a bajas temperaturas que predominan en SSP de clima frío (Fernandez, 2017); la tolerancia de especies herbáceas a la sombra se considera como una condición necesaria para aprovechar ventajas de integrar forrajes con especies forestales (Alonso *et al.*, 2006).

Los pastos tropicales C_4 , alcanzan máximo rendimiento con niveles altos de intensidad lumínica; de este modo, al considerar solo la intersección de luminosidad, se espera que la sombra de árboles reduzca la tasa de producción de biomasa al comparar con pastoriles en áreas abiertas (Hernández & Guenni, 2008).

De lo expuesto, si este factor no se maneja de modo correcto puede ocasionar degradación en el comportamiento productivo del sistema, debido a que la cantidad de luz disponible en el crecimiento del componente herbáceo, puede considerarse como un factor decisivo sobre la sostenibilidad de estos arreglos (Garcia *et al.*, 2003).

Importancia de la luz y su intensidad lumínica en praderas. El ambiente lumínico de una cubierta vegetal es normalmente muy heterogéneo, la parte superior del mismo recibe luz incidente en su totalidad, disminuyéndola exponencialmente con la profundidad de los estratos foliares; se ha demostrado en gramíneas forrajeras que la calidad de luminosidad influye en iniciación del macollaje, ya que promueve producción de clorofila, expansión de hojas; el alargamiento del tallo se inhibe por luz y el desarrollo radicular, la cantidad y calidad de radiación solar se reducen y modifican drásticamente en una cubierta vegetal densa; el macollo desciende al disminuir la radiación (Carámbula, 2002).

El estrato herbáceo bajo dosel arbóreo responde al cambio de intensidad lumínica a través de mecanismos de aclimatación. Estos ajustes incluyen un incremento en área foliar específica como en índice de área foliar, mejor distribución del área foliar con la altura y reducción en la tasa respiratoria (Wong & Wilson, 1980), al modificar la productividad forrajera de gramíneas y variar la composición

botánica de potreros. Sin embargo, algunas especies pueden aclimatarse a la sombra con mayor eficacia que otras (Humphreys, 1994).

3.5 Antecedentes

En el SSP en estudio, en el año 2011 se comparó variables bromatológicas y agronómicas en dos praderas, tanto en monocultivo, como bajo influencia de árboles dispersos, en referencia a estas variables, en la mayoría no se encontró diferencias significativas, excepto en fósforo (P), donde la pradera del sistema presentó un promedio mayor con niveles de 0,39 % al comparar con resultados del monocultivo que registró un 0,30 %. En cuanto a producción de FV, aunque no se encontraron diferencias estadísticas, el rendimiento sí fue mayor en la pradera del SSP 19,6 t ha⁻¹ en comparación con los 13,91 t ha⁻¹ del monocultivo, igualmente en el rendimiento promedio por corte de MS (3,9 t ha⁻¹ y 4,7 t ha⁻¹) se encontraron que los rendimientos por ha fueron superiores en el arreglo en comparación con la pradera (Insuasty *et al.*, 2011).

En el altiplano de Pasto, corregimiento de Obonuco, se evaluó el impacto de *A. acuminata* en flujos de N₂O y calidad del pasto kikuyo; este SSP se comparó con cinco niveles de fertilización nitrogenada en una pradera (0, 50, 100, 150 y 200 kg N ha año⁻¹); en el SSP se determinó que la pastura registró un valor medio de 17,53 t ha⁻¹ corte de FV, similar a los 19,17 t ha⁻¹ corte de FV, obtenido con 100 kg N ha año⁻¹; el registro del SSP fue mayor a los valores medios por corte con 0 y 50 kg N ha año⁻¹ con ocho y 10,9 t ha⁻¹ corte respectivamente en lo que se refiere a MS, se obtuvo que la media de la herbácea en el SSP 390 t ha⁻¹ corte, fue mayor a la de 2,38 t ha⁻¹ corte y 50 kg N ha año⁻¹ (2,74 t ha⁻¹ corte); los tratamientos con una aplicación de N igual y superior 100 kg ha año⁻¹, sobrepasaron en MS al SSP, en último término, la cantidad de N absorbido por *C. clandestinus* en el SSP excedió a 0 y 50 kg N ha año⁻¹ a los 30, 45 y 60 días, esto indica que la incorporación constante del N al suelo en el arreglo, se mantuvo, y mejoró calidad de pastura en el tiempo (Silva *et al.*, 2017)

En otro estudio, en un SSP de aliso-kikuyo en los Andes de Antioquia, se evaluó la incidencia del componente forestal, sobre productividad herbácea; se evaluaron tres tratamientos basados en este forraje: SSP asociado con aliso, monocultivo fertilizado con urea; y monocultivo sin fertilización; la PC sí registró un mayor porcentaje en la asociación (20,7 %). Los monocultivos reportaron 15,8 % y 16 % para cada tratamiento, se atribuye esta diferencia en el contenido de PC a la incidencia de *A. acuminata* que fija N y genera un microclima favorable en el desarrollo de pastos, el resultado más relevante de esta investigación fue que el pasto asociado con árboles mostró un menor contenido de FDN con 70 % y FDA con 31,6 %, en comparación de resultados de los monocultivos (75 y 73,6 %; 32,9 y 33 %). Es probable que las copas de árboles sirvan como filtro de radiación solar que permiten que la pastura no se afecte en su composición química de un modo tan drástico como en potreros a libre exposición y por esto puede mantener su nivel nutritivo (Sarria *et al.*, 2008).

3.6 Servicios Ambientales

Se define SA como flujos de materia y energía producidos por funciones de un ecosistema, que proveen recursos económicos y no económicos a una sociedad, para garantizar el sostenimiento de la vida humana, biodiversidad y producción de bienes ambientales (Wunder, 2006). Se derivan a partir de complejas funciones, condiciones y procesos naturales de ecosistemas.

Estos servicios hacen posible la vida humana, al proporcionar alimentos nutritivos y agua limpia, al regular el clima, polinizar cultivos, formar suelo, ofrecer beneficios recreativos, culturales y espirituales. Si bien se estima que estos bienes tienen un valor económico importante, no reciben atención adecuada en políticas y normativas financieras, de ahí que no se invierte suficiente en su protección y ordenación (FAO, 2001).

3.6.1 Bienes y servicios ambientales

Los ecosistemas proveen cuatro flujos de bienes y SA hacia la sociedad (Martín & Montes, 2010).

Provisión. Primer flujo, se refieren a procesos ecológicos necesarios para la existencia de los demás servicios ecosistémicos. Son productos generados en ecosistemas y utilizados como materias primas o finalizados, como alimentos, agua, recursos genéticos, productos forestales, entre otros.

Regulación. Segundo flujo, atañen a beneficios obtenidos de regulación de procesos ecosistémicos e inciden en el clima, inundaciones, calidad del agua y hábitat para soportar la biodiversidad.

Cultural. Tercer flujo, menciona al conjunto de atractivos que brinda un ecosistema, definidos como bienes no materiales obtenidos de los ecosistemas (espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación y experiencias estéticas).

Cuarto flujo. corresponde a dispersión, transformación y almacenamiento de residuos de la actividad económica.

En el tema de categorización, Caro y Torres (2015) consideran que además de los componentes del sistema ecológico de interés, se deben incluir contextos sociales y políticos en que los SA están siendo investigados o utilizados; por esta razón, se evidencia la estrecha relación que existe entre conservación de ecosistemas naturales saludables, y mejorar o mantener la calidad de vida de poblaciones humanas; mientras más degradadas se encuentran las funciones o estructura de un ecosistema, más tiende a deteriorarse el bienestar de la población.

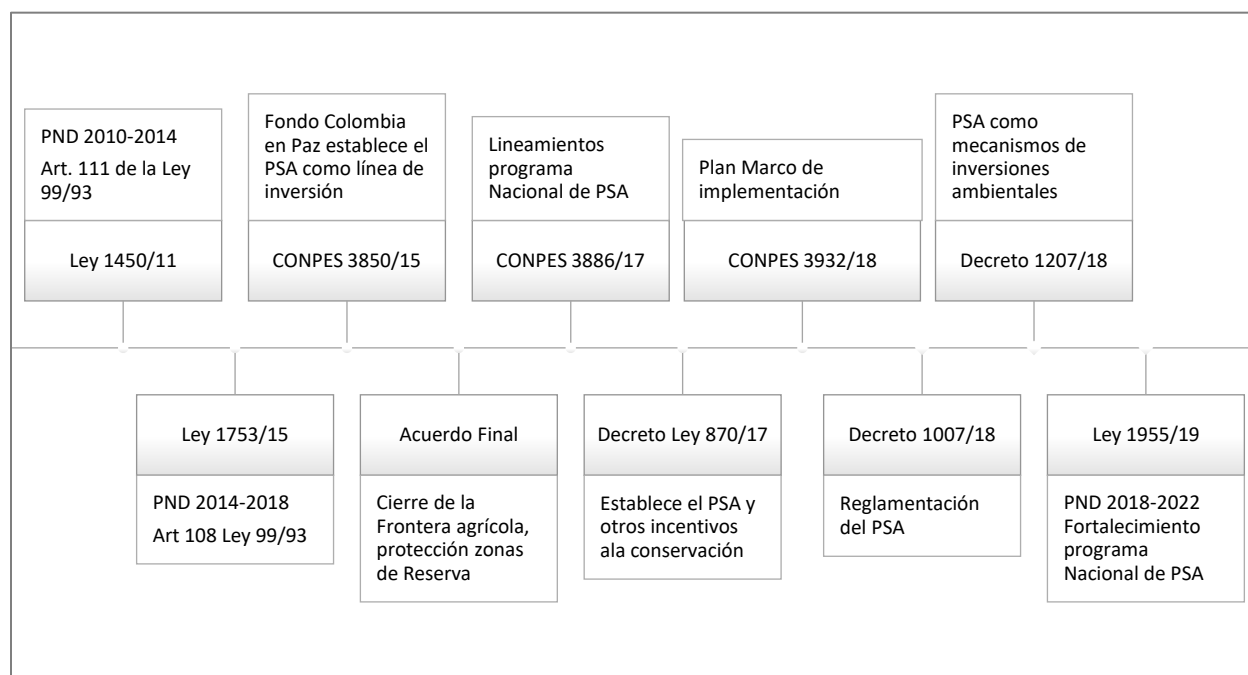
3.6.2 Marco normativo de Pagos por Servicios Ambientales en Colombia

«*Por el cual se establece el PSA y otros incentivos a la conservación*». En la Figura 1 se describen los principales documentos de política y normativas que establecen el marco normativo vigente del PSA de Colombia, dentro de los cuales está la inclusión del PSA en el PND 2018-2022 como herramienta para el manejo de áreas y ecosistemas estratégicos, así como el documento de política CONPES 3886 de 2017

que establece los lineamientos del Programa Nacional de PSA, el marco jurídico vigente y antecedentes normativos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Figura 1

Normativa Pago por Servicios Ambientales en Colombia



- **Ley 1450/11:** los departamentos y municipios dedicarán un porcentaje no inferior al 1 % de sus ingresos a adquisición de áreas de interés y PSA.
- **Ley 1753/15:** corporaciones Autónomas Regionales en coordinación y con el apoyo de las entidades territoriales adelantarán los planes de cofinanciación necesarios para adquirir áreas o ecosistemas estratégicos para conservación, preservación, y recuperación de recursos naturales.
- **CONPES 3850/15:** el Fondo Colombia en Paz establece los PSA como un eje temático a financiar en los territorios en el marco de las acciones del Fondo. Acuerdo Final para la Consolidación de una Paz Estable y Duradera.

- Programas orientados al cierre de frontera agrícola y protección de zonas de reserva, Acceso y uso, Tierras improductivas, Formalización de la propiedad, Frontera agrícola y protección de zonas de reserva.
- **CONPES 3886 de 2017:** con el fin de afrontar la problemática ambiental y complementar la gestión ambiental, el CONPES 3886 de 2017 establece los lineamientos de política del Programa Nacional de PSA, el cual busca fomentar la implementación del instrumento PSA mediante acciones articuladas en los diferentes niveles de gobierno, sector privado, la sociedad civil y la cooperación internacional.
- **Decreto ley 870 de 2017:** este Decreto Ley define los términos, condiciones y fuentes de financiación para la implementación del incentivo de PSA.
- **CONPES 3901 de 2017:** definen los PSA como línea de inversión del crédito Colombia Sostenible.
- **Decreto 1007 de 2018:** definen los componentes generales para el diseño e implementación de proyectos de PSA.
- **Decreto 1207 de 2018:** los costos encaminados a garantizar la adecuada protección de las cuencas y fuentes de agua serán incorporados en tarifas de los servicios públicos domiciliarios de acueducto alcantarillado, siguiendo los criterios definidos por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- **Ley 1955 de 2019:** por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, pacto por la equidad. El marco legal faculta que autoridades ambientales celebren acuerdos con población campesina en condición de vulnerabilidad, que habite, ocupe o realice usos tradicionales asociados a la economía campesina en áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) que deriven su sustento de estos usos, con el objeto de contribuir a la atención de los conflictos de uso, ocupación y tenencia que se presenten en estas áreas.

3.6.3 *Pago por Servicios Ambientales*

Los ecosistemas naturales proveen una serie de valiosos SA que, por falta de aplicación de una plataforma de pago; con frecuencia, no es posible asignarles un valor monetario, lo cual se refleja en carencia de incentivos económicos orientados a conservación y uso sostenible de la oferta ambiental, que conlleva a que los recursos naturales sean sobreexplotados, mal utilizados y terminen degradados.

En ese sentido, los PSA son una valoración económica para garantizar la recuperación, preservación y conservación de SA que proveen ecosistemas y agroecosistemas. (Wunder, 2006).

Los métodos de valoración económica de SA fueron desarrollados en el marco de la economía ambiental; estos métodos permiten encontrar un indicador monetario del bienestar que percibe la sociedad por cuatro flujos de bienes y servicios (Camargo, 2013).

Valoración Contingente de Servicios Ambientales. Tiene como objetivo que personas declaren sus preferencias con un determinado SA, en lugar de realizar estimaciones sobre la base de conductas que se observan en el mercado. Asimismo, el método de valoración contingente es el único que permite calcular el valor económico total de un SA, dado que es capaz de estimar valores de uso como de no uso, estos últimos son responsables de la gran difusión y acogida del método debido a que ninguna otra metodología puede capturarlos (Cristeche & Penna, 2008).

Esta técnica intenta averiguar, a través de una respuesta informada y honesta de las personas, el valor que un individuo le asigna a un bien o SA dado un cambio en su estado o calidad cuando la estructura de oferta se ha modificado, es decir, se intenta valorar beneficios derivados de una mejora ambiental por la disponibilidad a pagar (DP) que tienen los individuos por este bien o SA (Mitchell & Carson, 2013).

El procedimiento se basa en cuestionarios directos o encuestas bien estructuradas, donde individuos revelan sus predilecciones o su DP. Con este fin se escoge un mecanismo de encuesta y un formato de pregunta adecuado. La metodología pretende simular un mercado hipotético en cuyo

escenario, usuarios manifiestan sus preferencias por distintas cantidades y calidades del bien o SA, como si estuvieran en un mercado real. El valor resultante es la estimación de beneficios derivados de su provisión, valor este que se utiliza para evaluar proyectos que pretenden mejorar la oferta de un determinado bien o servicio (L. Escobar & Erazo, 2006).

4 Materiales y Métodos

4.1 Localización

El trabajo de investigación se desarrolló en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, departamento de Nariño, ubicado en la zona de vida Bosque Seco Montano Bajo bs-MB (Holdridge, 1978) a una altura de 2760 msnm, en coordenadas 1° 11' 52" N - 77° 18' 13" W.

4.2 Parámetros Climáticos

La estación meteorológica Obonuco del IDEAM registró en los últimos diez años una precipitación promedio anual histórica de 780 mm, el mes más lluvioso fue noviembre (94mm), el mes más seco fue agosto (31 mm), la temperatura media fue de 12°C y una media de brillo solar de 3,3 horas día (IDEAM, 2020); el régimen de lluvias fue bimodal, presentándose dos periodos de mayor pluviometría, uno de marzo a mayo y otro de octubre a diciembre (Weather Atlas, 2020).

4.3 Material Vegetal

Los componentes vegetales de las parcelas de investigación fueron kikuyo *C. clandestinus* y aliso *A. acuminata*; en kikuyo se evaluaron variables dependientes influenciadas por la presencia o ausencia de la cobertura Arbórea, además de dos tiempos de corte de 35 y 45 días.

4.3.1 *Aliso Alnus acuminata* Kunth

Los *Alnus* de América del Sur, México y América Central, se han identificado bajo nombres de *A. acuminata*, *A. jorullensis*, o *A. ferruginea* Winkler (World Flora Online, 2021). No obstante, el aliso de Colombia es de la subespecie *acuminata*, taxón infra específico de: *Alnus acuminata* Kunth, que pertenece a la familia Betulácea y su nombre científico es *Alnus acuminata* Kunth, su estado de conservación es de no preocupación en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Bernal *et al.*, 2019). En otras localidades del ámbito latinoamericano, al género *Alnus* se le denomina aile, alder o jaul (Ospina *et al.*, 2005).

Es una especie importante en la región altoandina por su amplia gama de usos, tales como materia prima de papel, rehabilitación y recuperación de suelos degradados, componente de SSP, entre otros. Su adaptación a suelos degradados se fundamenta en la capacidad de formar simbiosis con microorganismos diversos, como el actinomiceto *Frankia spp* (Medina *et al.*, 2012).

Distribución. Es originaria de zonas montañosas de Latino América; se puede encontrar a lo largo de la cadena de montañas Andinas bajo condiciones secas; se extiende desde el noroeste de México hasta el norte de Argentina; en Colombia se encuentra en las Cordilleras Central y Oriental (Sánchez *et al.*, 2009).

En los Andes colombianos está distribuida entre 1500 a 3400 msnm en departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Huila, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle (Sánchez *et al.*, 2009).

Descripción. Su ramificación es monopódica, con flores unisexuales, presenta poda natural (caducifolio), alcanza una altura total (HT) de 30 m; es de copa estrecha, fuste generalmente recto, con aletones pobremente desarrollados, su corteza es de color grisáceo a plateado, con lenticelas amarillentas ovales, circulares dispuestas horizontalmente en el fuste (Ospina *et al.*, 2005), sus hojas son glabras de seis a 15 cm de largo, entre tres a ocho cm de ancho, de forma ovada, margen agudo y biserrado (Ospina *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2009).

En la simbiosis *A. acuminata* - *Frankia Alnii* la planta suministra al microorganismo condiciones anaerobias y nutrientes; y este fija el N para que el árbol pueda incorporarlo a las proteínas. El aliso está enquistado por la bacteria, por ello forma nódulos fijadores de N en la raíz; en SSP esta relación sinérgica beneficia a todo los componentes del sistema (pastura y animales), al aportar nutrientes al componente herbáceo se oferta un mejor forraje para el pastoreo del ganado (Molina *et al.*, 2006).

Usos. En la región Andina, debido a su amplia gama de utilidades es una de las especies más utilizadas en SSP, no solo por el aporte de N atmosférico, sino también por la hojarasca que estimula el

ciclaje de nutrientes (Medina *et al.*, 2012). Por otro lado, debido a su amplio sistema radicular que le permite crecer en suelos poco profundos, se usa en programas de reforestación, incremento de coberturas vegetales, protección de cuencas hidrográficas, estabilizar laderas, entre otros.

En SSP ganaderos del trópico alto colombiano es asociado con pasto kikuyo, constituyéndose en un arreglo de importancia ampliamente establecido, el cual se ha estudiado en diferentes agroecosistemas debido a la popularidad de las dos especies (Muñoz *et al.*, 2018).

4.3.2 Kikuyo *Cenchrus clandestinus* Hochst. ex Chiov. Morrone

Es una gramínea originaria de zonas altas de África, incluyendo países como Etiopía, Kenia, Tanzania, Uganda, Ruanda y Congo; se encuentra entre 1950 a 2700 msnm, con precipitaciones de 1000 y 1600 mm; debe su nombre a los Kikuyo una tribu asentada en Kenia, de donde es originaria (Mears, 1970); en la primera parte del siglo XX fue introducida en algunas regiones de Oceanía, Europa, Centro y Sur América (Arango *et al.*, 2017).

Descripción. Es una pastura tropical perenne de ruta fotosintética C₄ adaptada a climas tropicales, templados y cálidos; debido a su metabolismo realiza procesos fotosintéticos más eficientes que especies de gramíneas de origen templado (M. Escobar, 2018).

Alcanza de 14 a 45 cm de altura, sus estructuras están cubiertas por pelos finos que sobresalen de rebrotes desprendidos del conjunto de estolones, rizomas y raíces. Sus estolones son ramificados, presionados contra el suelo, que forman un césped bajo; posee brotes estériles, tienen tallos cortos (Auld *et al.*, 1992); las hojas presentan entre 4,5 a 20 cm de largo, de seis a 15 mm de ancho.

En Colombia, las estructuras florales son inconspicuas, de estambres brillantes blanquecinos. Las semillas son planas, ovoides, de color marrón oscuro, se producen en axilas de hojas en donde quedan ocultas (Vargas *et al.*, 2018).

Adaptación. Es capaz de recuperarse rápidamente del desgaste, puede tolerar una gran cantidad de agua; en épocas secas puede utilizar humedad hasta de 1,2 m de profundidad en el suelo,

mitigando los efectos del verano (A. Vallejo & Zapata, 2020); Además, al ser una especie C₄ tiene mayor resistencia a sequías y es más eficiente en el uso del agua (Mears, 1970).

- **Altitud:** 1600 a 3000 msnm
- **Precipitación:** 650 a 2600 mm/año
- **Temperatura:** siete a 38°C
- **Sequía:** uno a cuatro meses

La temperatura óptima del crecimiento del Kikuyo va de 18 - 30° C, pero crece entre 7 y 38°C (Khumalo, 2015; Mears, 1970), es susceptible a heladas; tolera pH de 5,5 - 8,0, altos contenidos de Al y Mn en el suelo; se considera una maleza en algunas regiones del mundo debido a su naturaleza agresiva; sin embargo, esta agresividad es un potencial de supervivencia (Fraser *et al.*, 2017). Esta pastura representa cerca del 80 % de la base de alimentación forrajera de lechería especializada del país; su amplia distribución por el territorio y múltiples atributos, como su respuesta eficiente a fertilización, la convierten en elemento clave de productividad y economía de la cadena láctea (Arango *et al.*, 2017).

Rendimiento. Garcia *et al.*, (2014) sugieren un potencial de producción, representado por el máximo crecimiento neto de MS correspondiente a 30 t ha año⁻¹ con acompañamiento de riego. Cuando existe un manejo inadecuado se reduce el potencial de rendimiento hasta el 83 %.

En Nariño, donde la producción de Kikuyo es constante a lo largo del año, muestra un rendimiento de 26,7 a 29,6 t ha año⁻¹ MS con métodos de renovación de praderas (L. Sanchez & Villaneda, 2009) . Esta pastura presenta menores exigencias en cuanto a fertilización, riego, calidad de suelos, se adapta a una gran diversidad de condiciones edáficas (Holmann *et al.*, 2003). La gran variación en rendimientos de MS reportados puede estar asociada a diferencias en el manejo y parámetros climáticas en diferentes sitios.

En particular, entre especies de gramíneas, Kikuyo se destaca por su adaptabilidad a diferentes suelos, alta densidad de tallos, capacidad de rebrote, rendimiento constante, alto valor nutritivo y producciones de hasta 28,2 t ha⁻¹ MS (Gherbin *et al.*, 2007); con un potencial para producción de leche de ocho a 12 litros (L) vaca día⁻¹ (Holmann *et al.*, 2003).

Calidad nutricional. *C. clandestinus* es la gramínea más utilizada en sistemas de leche especializada en la región Andina de Colombia, presenta gran resiliencia ante variabilidad ambiental, que lo posiciona como una especie de interés ante nuevos escenarios de variabilidad climática (Portillo *et al.*, 2019), no obstante según Vargas *et al.* (2018) registra variables nutricionales que afectan producción y calidad composicional de la leche; en la Tabla 1 Vargas Martínez *et al.* (2018) describen los parámetros más importantes en cuanto a su respuesta agronómica y composicional.

Tabla 1

Concentración de Nutrientes de C. clandestinus en Praderas de la Región Altoandina de Colombia

Nutriente	Unidad	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación
MS	g 100 g MS ⁻¹	17,26	6,61	37,42	1,40
PC	g 100 g MH ⁻¹	18,34	9,91	25,58	0,82
Ceniza	g 100 g MS ⁻¹	8,20	5,35	2,90	0,30
EE	g 100 g MS ⁻¹	1,70	1,12	2,04	0,15
FDN	g 100 g MS ⁻¹	56,21	50,81	66,05	0,39
FDA	g 100 g MS ⁻¹	26,46	23,39	38,68	0,38
Lignina	g 100 g MS ⁻¹	4,34	1,86	13,50	0,71
ENL	g 100 g MS ⁻¹	1,36	1,12	1,49	0,06

4.4 Manejo de Sistemas Productivos

A continuación, se describe los sistemas de producción pecuaria utilizados para este estudio; los cuales se mantuvieron dentro de las estrategias administrativas establecidas en el plan de manejo del hato ganadero CI Obonuco.

4.4.1 Manejo de praderas

La pradera de kikuyo se trató según el plan de manejo del hato ganadero del CI Obonuco; durante la investigación no se realizaron fertilización o labores culturales adicionales ni control fitosanitario; las unidades experimentales se aislaron con el fin de evitar el consumo del forraje y pisoteo por parte del ganado. El muestreo de biomasa herbácea se efectuó acorde a tiempos estipulados en cada uno de los tratamientos (35 y 45 días), al inicio del estudio se cortó mecánicamente la pradera para homogeneización de tiempo en el experimento.

4.4.2 Manejo de la especie forestal

Los especímenes de aliso del SSP de parcelas evaluadas en el Centro de investigación, se establecieron hace 22 años aproximadamente, por su forma actual se observó que los individuos no se sometieron a podas de formación, raleo de copas o manejo fitosanitario; el arreglo en el que se encuentra establecido en las praderas es árboles dispersos, se estima una densidad de siembra de 200 árboles por ha (Insuasty, 2011), durante el estudio no se realizaron labores culturales en los individuos; la especie presenta algunos daños no significativos por insectos plaga comedores de hojas, que no afectan el desempeño de la especie dentro del agroecosistema.

4.5 Diseño Experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), con cuatro tratamientos y tres repeticiones para un total de 12 unidades experimentales. El modelo matemático de este diseño es:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + e_{ij} \quad i = 1, \dots, t, j = 1, \dots, b$$

y_{ij} : representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor A y al nivel (j) del factor B.

μ : media general

τ_i : efecto del i-ésimo tratamiento

β_j : efecto del j-ésimo bloque

e_{ij} : error experimental en la unidad j del tratamiento i

El área de la unidad experimental fue de 12 m² con una distancia de un metro entre unidades; en el SSP la superficie de trabajo se determinó por el dosel arbóreo de *A. acuminata*, estimada también en 12 m² para un total del experimento de 144 m².

4.6 Tratamientos de Investigación

Se comparó producción y calidad de biomasa forrajera herbácea entre cuatro tratamientos: dos en pradera a libre exposición solar con tiempos de corte de pasturas cada 35 y 45 días, dos en pradera de un SSP cada 35 y 45 días como se describe en la Tabla 2.

Tabla 2

Tratamientos de Investigación Evaluados en Dos Sistemas Pastoriles de la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Tratamiento	Descripción
Testigo	Muestreo de biomasa forrajera (LES) cada 45 días
Tratamiento dos	Muestreo de biomasa forrajera (LES) cada 35 días
Tratamiento tres	Muestreo de biomasa forrajera (bajo sombra) cada 45 días
Tratamiento cuatro	Muestreo de biomasa forrajera (bajo sombra) cada 35 días

Nota. LES: libre exposición solar.

4.7 Variables Evaluadas

Las variables caracterizadas y evaluadas para describir componentes de los sistemas productivos se relacionan a continuación.

4.7.1 Caracterización Fertilidad de suelos, variables climáticas y descripción de la zona de establecimiento de los sistemas productivos

Por tratamiento se tomó una muestra compuesta de suelo, que fue enviada laboratorios especializados de AGROSAVIA, donde se determinó el parámetro de química analítica. Adicionalmente, durante el tiempo de la investigación, se llevó un registro de variables climáticas, con parámetros de precipitación, temperatura, humedad relativa y brillo solar. finalmente, se realizó una descripción de la zona de estudio en cuanto a su formación, geomorfología y vegetación circundante.

4.7.2 Caracterización de especies vegetales

Las variables que se caracterizaron en sistemas productivos de la investigación tanto en el SSP, como en monocultivo de pasturas se describen a continuación.

Caracterización de la especie forestal *A. acuminata*. Se realizó un inventario total de árboles del lote donde se encuentra las unidades experimentales; los cuales se describieron botánicamente, se evaluaron variables dasométricas y de opacidad de dosel.

Descriptores botánicos. Se identificó el tipo de arquitectura de *A. acuminata*, a través de descriptores morfológicos arbóreos: forma, hábito de crecimiento, fructificación, rectitud y forma del fuste; ramificación, ángulo de inserción, altura de ramificación y de bifurcación; dominancia del eje principal, forma de copa en su perfil horizontal y vertical. Se valoró a todos los individuos del arreglo; en la Tabla 3 se describe las categorías existentes por cada descriptor.

Tabla 3

Descriptores Botánicos de Especies Forestales

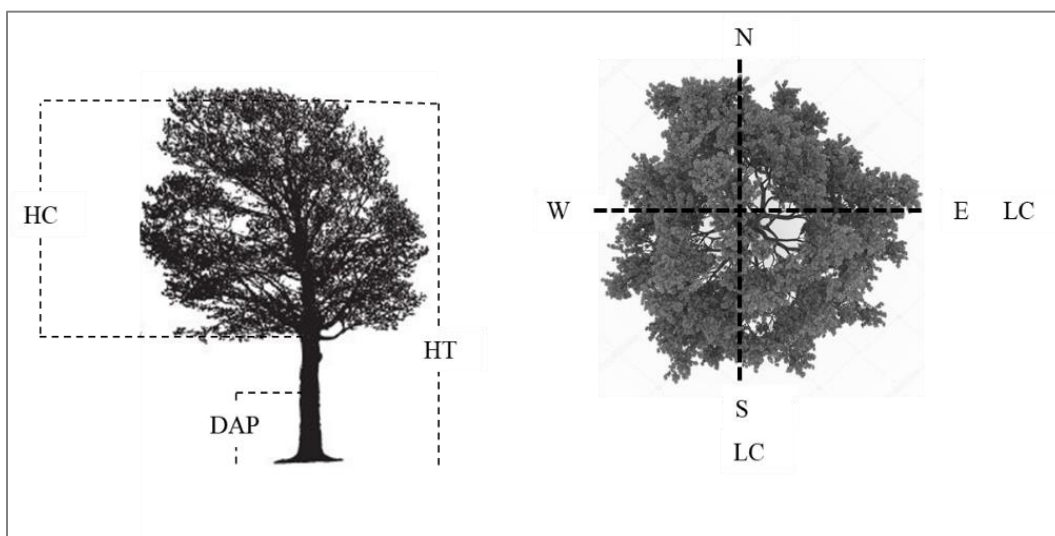
Descriptor		Categoría		
Hábito de fructificación	Base	Medio	Superior	Toda
Forma del árbol	Elipsoide	Semi circular	Redondeado	Extendido

Descriptor		Categoría		
Hábito de crecimiento del árbol	Erecto	Extendido	Goteante	
Forma del fuste	Cilíndrico	Cónico	Paraboloide	Neiloide
Rectitud del fuste	Recto	Ligeramente torcido	Algunas curvaturas	Torcido
Ramificación	Erecta	Péndula	Acodillada	
Altura de ramificación	Tercio inferior	Tercio medio	Tercio superior	
Altura de bifurcación	Tercio inferior	Tercio medio	Tercio superior	
Dominancia del eje apical	Completa inicial	Parcial del eje inicial sobre ramas lateral	Completa sobre las ramas laterales	
Ángulo de inserción de ramas	0 -30°	31 -60°	61 – 90°	
Forma de copa vertical	Extendida	Globosa	Piramidal	Ovoide
Forma de copa horizontal	Circular completa	Circular irregular	Medio circulo	< de 1/3
Densidad de copa	Escasa	Intermedia	Densa	
Tipo de corteza	Surcada horizontal	Agrietada	Espinosa	Lenticelada

Evaluación dasométrica de la especie forestal *A. acuminata*. Según metodología descrita por Pérez (2012) las variables dasométricas evaluadas fueron: altura total (HT), diámetro a la altura del pecho (DAP), longitud de copa (LC), área de copa (AC) y altura de copa (HC) como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Variables Dasométricas Evaluadas en la Especie Forestal A. acuminata



Nota. DAP: diámetro a la altura del pecho, HC: altura de copa, HT: altura total, LC: longitud de copa.

Las mediciones de HT y DAP se tomaron al inicio y final de la investigación; LC, AC y HC se registraron cada 35 días para el tratamiento T4; y 45 días para el tratamiento T3 a la par con muestreos de biomasa de pasturas programados según tiempo de corte.

Se aplicó la metodología propuesta por Pérez *et al.* (2017) para medir las variables dasométricas que se describe a continuación.

- **Altura total (HT):** se efectuó con clinómetro Suunto, se realizó a 15 m de distancia del individuo; con la escala en porcentaje del instrumento se tomó dos medidas en el árbol, a la base y ápice; con los valores obtenidos HT se calculó con la siguiente fórmula.

$$HT: \frac{(\% b + \% a) * d}{100}$$

- **Diámetro a la Altura de pecho (DAP):** se midió en el tronco del individuo a 1,30 m desde el suelo, para esto se utilizó una forcípula, se tomó dos medidas en cruz, que luego fueron promediados.
- **Longitud de copa (LC):** teniendo en cuenta que la forma de la copa es generalmente irregular, para determinar LC se realizó cuatro mediciones en dirección norte-sur y oriente-occidente y sus correspondientes subpuntos cardinales. Se tomó como referencia de medida la proyección de los extremos del dosel sobre el suelo, con cinta métrica se midió la distancia entre los límites determinados.
- **Área de copa (AC):** se estimó como equivalente al área de una circunferencia; a partir de mediciones de LC (diámetro) con el promedio obtenido en esta variable, se estimó el valor, con la fórmula de superficie del círculo con el guarismo de LC de cada medición.

$$AC = \pi \times LC^2$$

- **Altura de copa (HC):** en literatura HC se define como la distancia vertical del punto más alto de crecimiento al punto inferior de follaje vivo del dosel, es decir, se tomó al determinar con clinómetro de Suunto los porcentajes en la escala del instrumento a la primera rama viva y al ápice del árbol.

$$HT: \frac{(\% rv + \% a) * d}{100}$$

Opacidad del dosel (OD). Se tomaron fotografías hemisféricas, con las cuales se precisó la cantidad de luz que ingresa a través de las hojas y ramas; mediante esta técnica, las fotografías fueron tomadas en el punto medio de la copa a una altura constante de 1,0 m, en el mismo punto georreferenciado.

La toma fotográfica se realizó con el lente de la cámara orientado hacia la copa, se empleó un lente ojo de pescado con un campo de visión de 180° (Promis & Cruz, 2009), el resultado fue una fotografía con registro de la posición, tamaño y forma de aberturas existentes, (Díaz *et al.*, 2014). Las evaluaciones se hicieron quincenalmente, la información se expresó en porcentaje.

En la unidad experimental seleccionada, se colocó la cámara en el punto medio de la copa del árbol, esto con el fin de obtener una mayor cobertura del dosel; se estableció un trípode temporal en cada muestreo a una altura mayor a 1,0 m para evitar interferencia de especies tipo arvenses altas en el campo visual. Se definieron dos puntos fijos de muestreo por árbol, donde por cada uno se tomó tres fotos con el fin de seleccionar la mejor.

Las fotografías obtenidas fueron analizadas a través del software gratuito GAP Analyzer, especializado en análisis de dosel, generar su estructura e Índice de área foliar (IAF), entre otras. Los resultados de indicadores del análisis de fotos de la especie forestal de cada unidad experimental se promediaron y se obtuvo un estimativo global de los árboles.

Caracterización de praderas de los sistemas de producción. En la caracterización de praderas se determinó: composición botánica, cobertura y altura de pasturas, la metodología desarrollada fue la siguiente.

Composición y variables agronómicas de la pradera. Para establecer la composición botánica en el componente herbáceo de los cuatro tratamientos, se caracterizó praderas a través del método de disponibilidad por frecuencia (MDF) en especies rastreras (Franco *et al.*, 2005; L. Sanchez & Villaneda, 2009).

Con la evaluación de composición, se estableció la existencia de especies herbáceas y malezas, al momento de evaluación, y si son limitantes para la producción de forraje (Santana & Díaz, 1999),

Porcentaje de cobertura y alto de pradera. Análogamente, se calculó la cobertura al tener en cuenta el porcentaje de superficie de terreno que está cubierta por vegetación, con este fin se usó un marco de 0,25 m², ubicado al azar en el área útil de la unidad experimental (Calzada et al., 2014).

Intensidad lumínica (IL) de los sistemas productivos. Se usó un luxómetro con el que se realizó mediciones a 1,50 m del suelo; las mediciones se realizaron quincenalmente en conjunto con opacidad del dosel de la especie arbórea; las horas de muestreo fueron 10:00 a.m. y en la tarde a las 15:00 horas, los resultados se expresaron en grados brix (Mantilla & Ramírez, 2015).

4.7.3 Estimación de producción y calidad de biomasa aérea de la pradera del arreglo silvopastoril y monocultivo

En campo se determinó FV; se estimó MS en hornos de laboratorios del CI Obonuco; y calidad de pasturas en laboratorios especializados de Agrosavia en Bogotá; los muestreos de los cuatro tratamientos se realizaron en un periodo de 180 días cada 35 y 45 días, según el tratamiento.

Producción de biomasa herbácea forrajera de la pradera del SSP y monocultivo. Se calculó con metodología de aforos, se utilizó un marco de 0,5 m x 0,5 m de lado (0,25 m²); El material vegetal se cortó a 10 cm de altura (Alarcón, 2017), se empacó en bolsas de papel recubiertas con bolsas plásticas, para concluir se pesó en balanzas digitales de los laboratorios del Centro de Investigación Obonuco.

Los cortes de FV se hicieron periódicamente, durante los cuales kikuyo tuvo periodos de recuperación estimados en 35 y 45 días según el tratamiento; los muestreos fueron sistemáticos y dirigidos, en el caso del arreglo SSP, se tuvo en cuenta el área de copa para ubicarlos sitios de evaluación y en la pradera se seleccionó lugares representativos.

Los puntos de muestreo seleccionados fueron georreferenciados, teniendo una ubicación exacta de aforos en diferentes tiempos de muestreo. La muestra herbácea se compuso por cuatro submuestras dentro de la unidad experimental en cada uno de los cortes realizados.

El rendimiento de FV por ha se calculó mediante regla de tres, en la que se multiplicó el peso en kg FV del muestreo por 10000 m² y se dividió sobre el área del aforo 0,25m² (Rúa, 2010).

$$FV\ Ha = \frac{kg\ FV \times 10000}{0,25}$$

Del FV recolectado por muestreo en cada unidad experimental, se determinó el contenido de MS, esta labor se desarrolló en laboratorios del CI Obonuco, donde se utilizaron hornos de ventilación forzada a temperaturas de 65°C por el tiempo requerido (72 horas) hasta que la muestra (de 500 g) obtenga un peso constante (De Gracia, 2015). La expresión de este parámetro se realizó en forma proporcional; es decir, como porcentaje del FV total cosechado, se utilizó la siguiente regla de tres.

$$\% MS = \frac{Xg \times 100}{FV\ g}$$

Calidad nutricional de la pradera de los sistemas productivos. Se envió una muestra por unidad experimental de 100 g de MS del forraje de pasturas tomada en el primer y tercer muestreo, a laboratorios especializados de AGROSAVIA; con el uso de espectrometría NIR (Near Infrared Spectroscopy – Espectroscopia de Infrarrojo Cercano) se determinó su valor composicional (Ariza *et al.*, 2018).

Se evaluaron los siguientes parámetros en el análisis bromatológico:

- **Macrocomponentes:** proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), lignina y energía neta de lactancia (ENL).
- **Minerales:** calcio, fósforo, magnesio, potasio, sodio, azufre, cobre, hierro, manganeso, zinc y boro.

4.8 Análisis Estadístico

Los datos resultantes de la investigación se analizaron a través del software estadístico R (R Core Team, 2020) , a través del paquete agrícola (Mendiburu, 2021). En la investigación, se realizó un análisis

de varianza (ANOVA) y se aplicó prueba de Tukey con el propósito de establecer diferencias significativas ($p \leq 0,05$). Para ello se tuvo en consideración tiempo de corte, período de evaluación, exposición solar de pasturas en la incidencia en producción del forraje y calidad de pasturas.

4.9 Valoración de Servicios Ambientales en el Arreglo Silvopastoril

Se utilizó encuestas con un cuestionario estructurado en el que se indagó a un grupo de personas, cuánto estarían dispuestas a pagar por obtener un determinado beneficio del SSP o por evitar percibir un perjuicio de carácter ambiental (Cristeche & Penna, 2008). En el caso de los productores, qué pago económico adicional consideran justo para mantener o establecer árboles en su sistema de producción bovina.

Se aplicó la metodología basada en valoración contingente (Pedroza & Pérez, 2020), se tomó una muestra de 90 personas de la ciudadanía en general del municipio de Pasto y 25 productores pecuarios de la zona altoandina de la cuenca lechera nariñense, para un total de 115 encuestados.

En este sentido a los consumidores se envió encuestas digitales; estructuradas en tres componentes esenciales: el primero, caracterización socioeconómica, el segundo, descripción de SA seleccionados y en el tercer componente se estableció la valoración del SA.

En la caracterización socioeconómica se recopiló información general acerca de los encuestados, por medio de preguntas como nombre, sexo, edad, si reside en zona urbana o rural, ocupación, nivel educativo, área del predio, ingresos mensuales, tiempo de residencia en la zona, y composición de núcleos familiares.

En el segundo componente, se llevó a cabo la descripción de SA a valorar, en esta sección se contextualizó a encuestados acerca del escenario donde se desarrolló la investigación, en este caso en torno al SSP. Del mismo modo, se hicieron preguntas con el propósito de sensibilizar sobre las condiciones en que se encuentra el agroecosistema, al igual sobre la percepción de los consumidores

referente a la degradación provocada por algunas actividades pecuarias, e importancia de servicios ecosistémicos identificados en zona de estudio.

En la última sección del cuestionario se llevó a cabo la valoración de SA, y la disposición de la población a pagar un incentivo económico para recuperación, preservación y conservación de servicios ecosistémicos presentes en el SSP.

En cuanto a los productores, se realizó encuestas telefónicas, el formato se basó en un aspecto descriptivo de la dimensión socioeconómica, del sistema ganadero y en la parte final se identificó el valor a aceptar como pago por SA.

5 Resultados y Discusión

En el primer apartado, se mencionan parámetros climáticos, geomorfología, textura y fertilidad de suelos, tipificación de entorno; descriptores botánicos, dasometría y opacidad del compartimento forestal; al final, caracterización del componente herbáceo relacionado con arvenses y porcentaje de cobertura.

En la segunda sección, se relaciona información de intensidad lumínica en praderas a libre exposición y bajo dosel arbóreo; incidencia de sombra y tiempos de corte sobre resultados de parámetros de cantidad, calidad forrajera.

Al final, se caracterizan servicios ambientales generados en el SSP, disponibilidad de consumidores a pagar por SA, y cuánto estiman los productores que deben pagar los usuarios para conservar bienes y servicios ambientales en el SSP.

5.1 Caracterización Edafoclimática de Sistemas Productivos

Los datos climáticos fueron valorados durante el tiempo de estudio con el propósito de reseñar características presentes en las unidades experimentales. El parámetro fertilidad de suelos se tomó en cada uno de los tratamientos al inicio de la investigación.

5.1.1 *Registro de temperatura, brillo solar y precipitación en el municipio de Pasto*

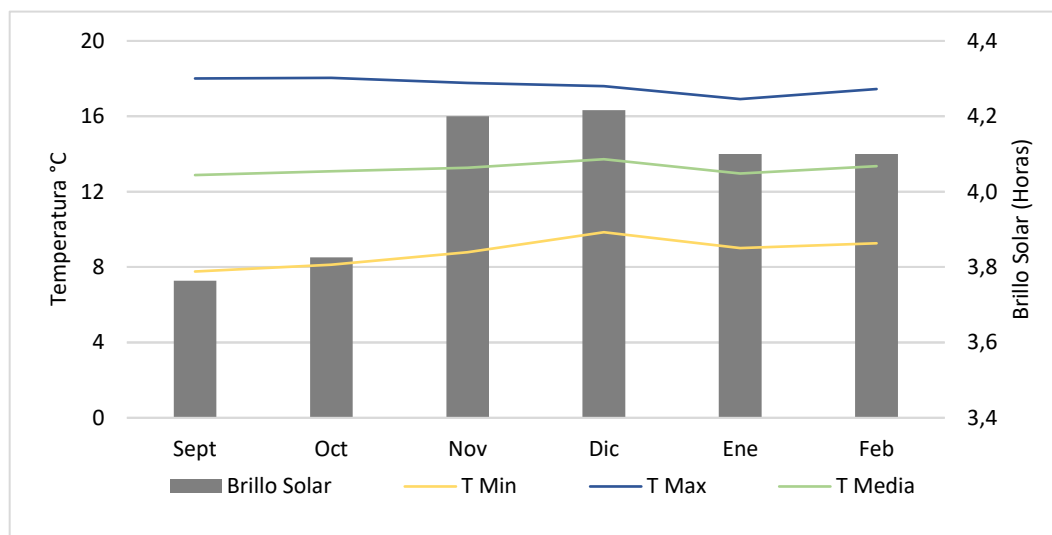
El registro climático y determinación de su variación, en los meses comprendidos entre septiembre de 2021 y febrero de 2022, se realizó con datos abiertos de la estación Agrometeorológica Obonuco 52045010 del IDEAM (IDEAM, 2022a) ubicada en el municipio de Pasto, que registra brillo solar, precipitación, temperatura, velocidad del viento entre otros parámetros; se encuentra a una distancia menor de 300 m de las parcelas de investigación establecida en el CI Obonuco, con influencia directa de datos climáticos que se registran en ella.

Temperatura y brillo Solar. Durante esta investigación, la temperatura media fue 13,2 °C; la máxima 17,6 °C. y la mínima alrededor de 8,8 °C. El sol brilló en un intervalo de 3,8 y 4,3 horas diarias, la

insolación en promedio fue cuatro horas día⁻¹ (IDEAM, 2022a). La distribución de estos parámetros climáticos en el tiempo de estudio en el municipio de Pasto se observa en la Figura 3.

Figura 3

Temperatura y Brillo Solar Registrados en la Estación Agrometeorológica Obonuco



Nota. Periodo de evaluación de septiembre de 2021 a febrero de 2022, en el municipio de Pasto, departamento de Nariño.

Con respecto a estas variables, históricamente en Pasto la temperatura promedio es 12,8 °C; al medio día la máxima media oscila entre 16 y 17 °C. En la madrugada la mínima está alrededor de 9,5 °C. El sol brilla entre 2,5 y tres horas diarias en meses lluviosos, en meses secos la insolación es levemente superior a 3,5 horas diarias. La humedad relativa del aire varía durante el año entre 74 y 8 %, en época lluviosa del segundo semestre es mayor (IDEAM, 2018).

Precipitación. Con referencia a este parámetro, se registró 646,5 mm de lluvia acumulada, el mes de mayor pluviosidad fue diciembre con 172 mm y el de menor septiembre con 21,3 mm, en la Tabla 4 se describe la precipitación durante el estudio (IDEAM, 2022a).

Tabla 4

Precipitación de Septiembre de 2021 a Febrero 2022 Registrada en Estación Agrometeorológica Obonuco del IDEAM

Meses	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Total
Precipitación (mm)	21,3	88,1	145,5	172,0	74,8	144,8	646,5

Para esta época de estudio, según el modelo de registro pluviométrico del IDEAM, en el trimestre comprendido de noviembre del 2021 a marzo del 2022, en las regiones Caribe y Andina se presentaron incrementos en precipitaciones entre 20 y 70 %, con relación a promedios climatológicos de referencia 1981-2010. En Colombia, las lluvias estuvieron por encima de niveles históricos, por tanto, en el país las condiciones climáticas concurren en presentación del fenómeno de La Niña por segundo año consecutivo (IDEAM, 2022b).

En el sur occidente colombiano, en la primera temporada seca de diciembre 2021 a marzo 2022, se incrementó la precipitación acumulada debido a este fenómeno, los días promedio de lluvia alternaron con periodos secos de uno a varios días y con eventos de aguaceros (CVC, 2022).

Históricamente, el clima de Pasto es frío, muy seco, con precipitación media total anual de 796 mm; durante el año se reconoce una temporada seca definida de junio a agosto; otra menos notoria en enero y febrero. La principal estación lluviosa ocurre de octubre a diciembre; la segunda temporada se desarrolla entre marzo a mayo (IDEAM, 2018).

5.1.2 Caracterización de suelos en los sistemas productivos

En cuanto a su geología, según el IGAC (2004), menciona que los suelos del área de investigación se originaron de cenizas volcánicas que yacen sobre tobas de cenizas y lapilli; son andisoles caracterizados por ser moderadamente profundos, bien a imperfectamente drenados y se ubican en la consociación Vitric Haplustands (AMBa, AMBb y AMBc).

Resultados fertilidad de suelos. En cuanto a química, los resultados de análisis realizados en la investigación en laboratorios especializados de Agrosavia, se describen en la Tabla 5.

Tabla 5

Fertilidad de Suelos en Praderas a Libre Exposición Solar y Bajo Incidencia de A. acuminata en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

	pH	MO (%)	P mg kg ⁻¹	Ca	Mg Meq 100 g ⁻¹	K	S	B	Cu	Mn (ppm)	Fe	Zn
T1	6,31	4,53	10,81	8,26	3,76	3,06	11,16	0,42	3,44	11,91	473,06	6,03
T2	6,44	4,41	11,56	8,14	3,94	3,65	12,03	0,45	3,96	9,50	449,01	5,31
T3	6,22	6,17	18,40	10,03	4,57	2,94	12,32	0,63	2,81	6,31	433,59	6,09
T4	6,06	6,88	30,25	9,86	5,05	3,29	14,51	0,68	2,76	7,67	589,00	8,17

Se puede observar en la Tabla 5, que los cuatro tratamientos presentaron suelos ácidos y sus pH estuvieron en un rango entre 6,06 y 6,44. Con respecto a MO, el valor más alto se obtuvo en T4 con 6,88 % seguido en forma decreciente por T3 con 6,17 %, ambos con presencia del componente forestal; las cifras más bajas se presentaron en praderas en monocultivo T1 y T2 con 4,53 y 4,41 %. En cuanto a niveles de MO en T1 y T2, los registros expresados de tratamientos a libre exposición solar se consideran bajos, con respecto a T3 y T4, los valores se interpretan como intermedios (IGAC, 2014).

En torno a P se mostraron datos menores en T1 y T2, con 10,81 y 11,56 mg kg⁻¹ los dos monocultivos pastoriles; los mayores resultados se obtuvieron en T3 y T4, con 18,40 y 30,25 mg kg⁻¹,

ambos en arreglo de árboles dispersos. La interpretación de registros de P en T1, T2 y T3 son bajos, y con relación a T4 sus niveles se encuentran en rango de disponibilidad media (IGAC, 2014).

Por otra parte, los índices de K en T2 y T4, fueron superiores en comparación con T1 y T3, en la interpretación de estos resultados dentro de rangos expresados de fertilidad de suelos, todos reportaron índices altos de este nutriente (IGAC, 2014).

En lo concerniente a las variables Ca, Mg, B, Zn y S se determinó que los tratamientos con presencia de *A. acuminata* (T3 y T4), reportaron mayores cifras en contraste con los de libre exposición solar (T1 y T2); para Ca, Mg, B y Zn, los valores hallados se consideran altos; en lo pertinente a S los resultados en el análisis se interpretan como medios (IGAC, 2014).

En el caso de Mn y Cu, T1 y T2 presentaron cuantías más altas en comparación a T3 y T4; Mn obtuvo niveles medios en T2, T3 y T4 y alto en T1; y Cu en T1 y T2 expresó índices altos, y en T3 y T4 valores medios (IGAC, 2014).

Discusión Fertilidad de suelos. El papel que cumplen los estratos superiores e intermedios en SSP, es generar biomasa abundante y heterogénea que se deposita sobre el suelo en forma de hojas, ramas, frutos, resinas y exudados con efectos importantes sobre MO y biota; a través de ella, el suelo mejora propiedades físicas como porosidad, densidades e infiltración de agua (Montagnini *et al.*, 2015).

Sumado a eso, la penetración de raíces del árbol en horizontes profundos del suelo inciden en una mejor fertilidad, debido al bombeo de nutrientes de difícil acceso para gramíneas herbáceas, acción que puede incidir en disponibilidad de nutrimentos y ofertar forraje en mejor cantidad y calidad (Silicuana *et al.*, 2018).

Asimismo, el dosel arbóreo establece un microclima favorable en humedad y temperatura que garantiza la recolonización de macro y microfauna. Varios trabajos han determinado una mayor abundancia y actividad de macro y microorganismos edáficos en SSP que en monocultivos de pasturas.

Esta biota es fundamental debido al desarrollo de funciones ecológicas claves que contribuyen a conservar propiedades físicas, fertilidad y disponibilidad de nutrientes en el suelo.

En ese sentido, en relación con macroinvertebrados, en un estudio llevado a cabo por Giraldo *et al.* (2011) en la región Andina colombiana, encontró que la abundancia de escarabajos coprófagos fue estadísticamente superior en SSP que en pasturas mejoradas. En cuanto a microbiota, Vallejo *et al.*, (2012) hallaron que SSP presentaron mayor biomasa de hongos, actinomicetos y micorrizas en comparación con praderas en monocultivos.

Otro factor influyente en fertilidad de suelos son los AFN como aliso, quienes generan asociaciones con actinomicetos del género *Frankia*, que al inducir la formación de nódulos radiculares fijadores de N atmosférico, pueden contribuir a aumentar sus niveles en SAF (Gabbarini, 2016).

La cantidad anual de N fijado por aliso en simbiosis con *Frankia* varía de manera importante según clima y manejo de la especie, pero puede ubicarse en rango de 60 a 320 kg de N ha año⁻¹; en algunos casos, ha llegado a los 780 kg en un período de cinco años en condiciones de campo. (Brozek & Wanic, 2002).

De acuerdo a lo expuesto, en un trabajo con tres especies forestales utilizadas para sombra y ramoneo, se encontró que suelos donde se encuentra establecido el SSP, mejoraron sus contenidos químicos y físicos edáficos en comparación con pradera a libre exposición; entre los resultados más valiosos se encontró un incremento del pH (5,6 a 6,0), MO (2,5 a 5,1 %) y P (10 a 35 mg kg⁻¹), que se traducen en una mejor retención de agua y una mayor tasa de reciclaje de nutrientes (Rodríguez & Barrera, 2007).

Navas *et al.* (2020) mencionan que al estudiar el efecto del componente arbóreo sobre dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera, encontraron cambios en condiciones del suelo dentro y fuera de la copa de árboles, observaron que bajo dosel se encontró un mayor pH, MO,

minerales y capacidad de intercambio catiónico (CIC), factores que pudieron influir en dinámica de crecimiento y calidad nutricional de pasturas bajo dosel arbóreo.

Asimismo, en un estudio realizado en un SSP con kikuyo en el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto, se evaluó el efecto de incorporar hojarasca de cuatro tipos de arbóreas incluida *A. acuminata* sobre niveles edáficos de CO₂, pH y P disponible en un Vitric Haplustand; respecto al P del testigo (11,15 mg kg⁻¹) en comparación el del SSP con *A. acuminata* (18 mg kg⁻¹), se encontraron diferencias significativas debido al aporte de 4 t ha⁻¹ de hojarasca de la forestal, aunque en la misma investigación con una aplicación menor (2 t ha⁻¹) al sistema, no se determinaron diferencias significativas con el testigo (Morán *et al.*, 2012).

Los resultados hallados en esta investigación concuerdan con lo descrito por los autores anteriormente citados, quienes reportan mejor calidad del suelo bajo incidencia de forestales que en pasturas a pleno sol. En este SSP en particular, el posible papel de aliso sobre circulación de nutrientes en el sistema, depende de la cantidad de material que se reincorpora, su tasa de descomposición, capacidad de fijar N, el microclima y actividad biológica bajo su área influencia (Montagnini *et al.*, 1994).

5.1.3 Caracterización del entorno de los sistemas productivos

El SSP de este estudio se encuentra en una zona montañosa, terreno con topografía ondulada entre 6 - 10,9 %, en torno de pendiente suave (5-10 %); la vegetación general en alrededores está compuesta por una cerca viva multiestrato, una franja de protección de la quebrada conformada por especies arbóreas y arbustivas nativas.

5.2 Caracterización de Especies Vegetales

El pasto que conforma el componente herbáceo de la pradera es *C. clandestinus*; además de esta gramínea, en el SSP está la especie forestal *A. acuminata*, a continuación, se describe cada uno de los componentes.

5.2.1 Caracterización de *A. acuminata* del arreglo silvopastoril

Con relación a los ejemplares de *A. acuminata*, tienen 22 años de establecidos (Insuasty, 2011); en el SSP no se encuentran distancias de siembra definidas, fluctúan entre tres a cinco metros entre plantas y de cinco a siete metros surcos, para una densidad de siembra media de 200 plantas por ha⁻¹, no se observa resiembra de individuos perdidos, motivo de la irregularidad entre distancias de siembra realizadas.

Las plantas se adquirieron en un vivero comercial de Pasto, su condición biológica es cultivar tradicional (Bernal *et al.*, 2019) establecido en asociación con pasturas naturalizadas, la apariencia general es regular; las partes de la planta utilizadas son copa, hojas y raíces; sus funciones e interacciones en el SSP son: fijación de N a través de raíces, ciclaje de nutrientes por medio del follaje (bombeo de raíces-hojarasca), e interacciones derivadas del dosel: opacidad, microclima y regulación de intensidad de luz (Sánchez *et al.*, 2009).

El objetivo principal del SSP, fue producir forraje herbáceo (kikuyo) para alimentación bovina, los animales se alimentan con pastura que crece bajo árboles, cerca de ellos y a libre exposición solar (Chemisquy *et al.*, 2018); este arreglo en particular no planteó como ingreso adicional producir madera, leña o productos no maderables, de ahí que no se observa un manejo apropiado de este componente, como podas de formación y manejo fitosanitario, entre otros; la ausencia de estas prácticas conllevó a que los individuos presenten una arquitectura y desarrollo irregular.

Además de las interacciones mencionadas, introducir arbóreas dentro de la pradera generó servicios ambientales como control de erosión y mayor eficiencia en utilización del agua disponible en áreas con sombra, que se mencionan más adelante en este documento. En estudios realizados con aliso se han reportado cambios en el suelo como aumento del contenido de MO, mejoramiento de pH, características físicas, químicas y un incremento en actividad microbiológica (Sánchez *et al.*, 2009).

Los árboles del SSP, por su plantación irregular presentan sombras heterogéneas en la pradera debido a su establecimiento en grupos o líneas de tres o más individuos, por esta razón en algunos puntos se hace más densa al entrelazar copas que interfieren el paso de luz, por consiguiente el estrato herbáceo cuenta con diferentes niveles de brillo solar; a pesar de que los arreglos en árboles dispersos suelen establecerse espontánea y aleatoriamente sobre praderas, es importante el manejo de calidad de luz dentro de la misma, debido a que la interacción sombra perenne-pastura puede ser de las más limitantes en agroecosistemas (Ramírez *et al.*, 2020).

De lo expuesto, se puede afirmar que debido al inadecuado manejo de la plantación en sus fases iniciales, el único propósito del establecimiento de la leñosa fue brindar coberturas arbóreas sobre la pradera, ya sea para mejorar condiciones de recursos naturales implícitos en el sistema (suelo, agua, flora), optimizar el escenario micro climático de componentes herbáceo y animal, aumentar el aporte de N y P a pasturas, situación que se evidencia por ausencia de individuos con características deseables para aprovechamiento forestal, usos etnobotánicos o no maderables.

Este arreglo refleja las condiciones típicas en las que se encuentra aliso en la zona altoandina del departamento de Nariño, donde en fincas los cultivos permanentes presentan un incipiente manejo forestal (Muñoz *et al.*, 2018).

Descriptores botánicos *A. acuminata*. Con el objeto de conocer la variabilidad morfológica de *A. acuminata* en el SSP, se caracterizó los órganos vegetativos copa y tronco, para el corregimiento de Obonuco, municipio de Pasto; en la identificación se utilizaron descriptores botánicos cualitativos descritos a continuación.

Resultados descriptores botánicos *A. acuminata*. En lo concerniente a estructura, los árboles del SSP son predominantemente de forma semicircular, crecimiento erecto con fuste cilíndrico que registra algunas curvaturas, su ramificación es erguida e inicia desde el tercio medio del tronco, no se bifurca, presentó dominancia completa en el eje inicial sobre ramas laterales que se insertan en el fuste

en un ángulo entre 31 a 60 °, su copa en perfil vertical es irregular, de poca ramificación en el horizontal, posee una densidad intermedia a escasa de ramillas y hojas en el dosel, su corteza es exfoliada papelosa y de tonalidad grisácea blanquecina, su hábito de fructificación se presenta en los tercios medio e inferior de la copa (Figura 4).

Figura 4

Descripción Botánica de A. acuminata en un SSP en la Región Altoandina Nariñense



Los rasgos de árbol que presentaron una característica predominante $\geq 80\%$ fueron FFU, HRAM, RAM, HB, DEP; el descriptor de menor índice entre los evaluados fue FCH con un 37,93 % (Tabla 6).

Tabla 6

Descripción Botánica de A. acuminata en un Arreglo Silvopastoril en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Descriptor	Categoría predominante	Porcentaje (%)
Hábito de fructificación.	Base y media copa.	62,07
Forma del árbol.	Semicircular.	68,97
Hábito de crecimiento del árbol.	Erecto.	68,97
Forma del fuste.	Cilíndrico.	96,55
Rectitud del fuste.	Algunas curvaturas en más de un plano.	58,62
Ramificación.	Erecta.	86,21
Altura de ramificación.	Ramificación en el tercio medio.	100
Altura de bifurcación.	No bifurcado.	93,10
Dominancia del eje apical.	Dominancia completa en el eje inicial.	82,76
Ángulo de inserción de ramas.	31°- 60°.	62,07
Forma de la copa vertical.	Irregular.	75,86
Forma de la copa horizontal.	Pocas ramas.	37,93
Densidad de copa.	Intermedia.	75,86
Tipo de corteza.	Exfoliada papelosa.	79,31

Discusión descriptores botánicos A. acuminata. Las características morfológicas descritas en la Tabla 6, son similares a las presentadas por Ospina y Sánchez (2005; 2009), quienes lo describen como una especie con copa irregular y angosta, de fuste cilíndrico a cónico, dependiendo del tipo de arreglo en el que se encuentra establecido; asimismo entre los colores descritos, van de grises blanquecinos a oscuros.

En literatura científica lo referencian como una especie poco ramificada, de ramas grises, muy angulosas, de dosel estrecho e irregular, follaje intermedio a escaso y de color verdoso, resultados acordes con la predominancia en descriptores de *A. acuminata* del CI Obonuco (Díaz, 2019; Paniagua-Zambrana et al., 2020)

En agroforestería, se recomienda que el componente forestal tenga características deseadas en su arquitectura y requerimientos nutritivos, entre las que destacan que el dosel permita el paso de luz, que sus hojas aporten biomasa al sistema, raíces profundas, entre otras (IICA, 2016); su integración a producción agropecuaria, debe ser planeada sin generar mayores interacciones negativas. La disposición de copa, fuste y hojas de *A. acuminata*, son aptas para su establecimiento en explotación pecuaria, el realizar un manejo del dosel y tronco a través de podas de formación, se puede optimizar relaciones existentes en el arreglo y disminuir efectos negativos que se pueden atribuir al árbol.

Evaluación dasométrica de la especie forestal *A. acuminata*. Debido a las características forestales, fenológicas, ecológicas y productivas de la especie, se constituye en una alternativa para incluirla en SSP en la región altoandina, a continuación, se describe su desarrollo sobre 2800 msnm en un arreglo silvopastoril de árboles dispersos en la zona altoandina del departamento de Nariño.

Resultados dasometría *A. acuminata*. Aliso del SSP a los 22 años de establecido en el centro de investigación Obonuco, alcanzó una HT de $11,74 \pm 3,6$ m con un incremento medio anual de altura (IMAH) de $0,53 \text{ m año}^{-1}$; DAP: $19,17 \pm 4,86$ cm, con un incremento medio anual de diámetro (IMAD) de $0,87 \text{ cm año}^{-1}$, la copa en promedio inicia a los $2,30 \pm 0,29$ m, y tiene una HC de $9,50 \pm 3,65$ m, LC de $7,61 \text{ m} \pm 1,88 \text{ m}$ y un AC de $47,89 \text{ m}^2$ como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Variables Dasométricas de A. acuminata del SSP en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Variable	HT (m)	IC (m)	HC (m)	LC (m)	AC (m ²)	DAP (cm)
Promedio	11,74	2,24	9,50	7,61	47,89	19,17
Min	7,35	1,90	5,05	4,60	16,62	12,00
Max	20,25	2,80	18,30	11,50	103,87	30,00
IMA	0,53					4,86

Discusión dasometría A. acuminata. Los resultados inferiores de variables dasométricas e IMA de esta investigación en contraste con otros trabajos, probablemente se deban al efecto negativo de altitud sobre el incremento en dasometría de aliso, debido a que el SSP se encuentra establecida a 2760 msnm, lo que puede afectar HT y DAP con sus respectivos IMA. Acerca del gradiente altitudinal, Omahn *et al.* (2020) mencionan que es uno de los factores de mayor incidencia en el desarrollo vegetal, al considerar que influye en parámetros de temperatura, humedad edáfica y ambiente, que en plantas se expresan como reducción de IMA típicos de cada especie y disminución del vigor de la vegetación.

Escobar *et al.* (2019) mencionaron que en evaluación de componentes arbóreos en la región altoandina, se encontró que la altitud influyó en datos dasométricos. Otros autores indican que tasas de crecimiento de plantaciones forestales posiblemente disminuyen debido a limitación de nutrientes por poca actividad microbiana, luz solar, transpiración reducida y fuertes vientos (Sandoya *et al.*, 2021), además de bajas temperaturas de ambiente y suelo por estar en regiones de mayor altitud (Coomes & Allen, 2007). En ese mismo sentido, Cyamweshi *et al.* (2021) obtuvieron resultados similares en Ruanda, donde el progreso de la arbórea fue superior en altitudes bajas, e inferior en cotas más elevadas.

Al estudiar la evolución de árboles en una determinada región con parámetros edafoclimáticos particulares, y comparar resultados obtenidos con reportados en la misma especie en otras latitudes, los

índices de crecimiento pueden variar, los efectos de altitud, suelo y clima pueden influir en el desarrollo y vigor forestal (Enslin *et al.*, 2015).

Los valores alcanzados en este trabajo fueron inferiores a los obtenidos en otros estudios; diferentes autores reportan resultados superiores en variables dasométricas. En ese sentido, en investigaciones realizadas en otras zonas con *A. acuminata*; Ospina *et al.* (2005) indicaron que en Colombia a los cinco años, en departamentos de Huila, Risaralda y Tolima, presentó una HT de 13,67, 13,3 y 11,87 m y un DAP de 12,7, 13,4 y 12,37 cm en cada localidad. De igual forma, Aulestia *et al.*, (2018) escribieron que a los 11 años la especie en Ecuador registró una HT de 15,9 m y un DAP de 31 cm año⁻¹. Cyamweshi *et al.* (2021) en Ruanda en regiones de Kabumba, Mutovu y Rusiza en plantaciones con siete, cinco y 4,5 años, reportaron HT de 9,9, 7,6 y 8,3 m y DAP de 22,2, 18 y 18,5 cm en cada zona.

En la misma medida, valores de IMA de HT y DAP obtenidos en las mencionadas investigaciones, fueron mayores a los alcanzados en esta (IMAH 0,53 m año⁻¹ e IMAD 0,87 cm año⁻¹), Ospina *et al.* (2005) reportaron IMAH a los cinco años en departamentos de Huila, Risaralda y Tolima de 2,73; 2,66 y 2,36 m año⁻¹; y un IMAD de 2,54; 2,58 y 2,45 cm año⁻¹ en cada zona; en la región altoandina de Nariño sobre los 2800 msnm Escobar *et al.* (2019) expresaron que aliso, tuvo un IMAH de 2,41 m año⁻¹ y un IMAD de 2,6 cm año⁻¹. De igual forma, Aulestia *et al.*, (2018) en Ecuador determinaron que a los 11 años aliso registró un IMAH de 1,45 m año⁻¹ e IMAD 2,81 cm año⁻¹, con referencia a Ruanda, Cyamweshi *et al.* (2021) en territorios de Kabumba, Mutovu y Rusiza en plantaciones de *A. acuminata* con siete, cinco y 4,5 años reportan IMAH de 1,41; 1,84 y 1,61 m año⁻¹ e IMAD de 3,17; 4 y 3,96 cm año⁻¹.

Por otra parte, al revisar el desarrollo de *A. acuminata* y compararlo con otras especies forestales de importancia económica en la zona altoandina, como *Pinus patula* y *eucaliptus globulus*, se estableció que presentó un desarrollo menor pero aceptable. Pinilla (2009) y Aguirre *et al.* (2019) informaron un IMAH de pino 0,8 m año⁻¹, y en eucalipto, Lopes *et. al* (2015) registró un IMAH de 4,5 m,

no obstante Aulestia *et al.* (2018) menciona que aunque son mayores, al ser especies introducidas pueden ocasionar efectos negativos en ecosistemas.

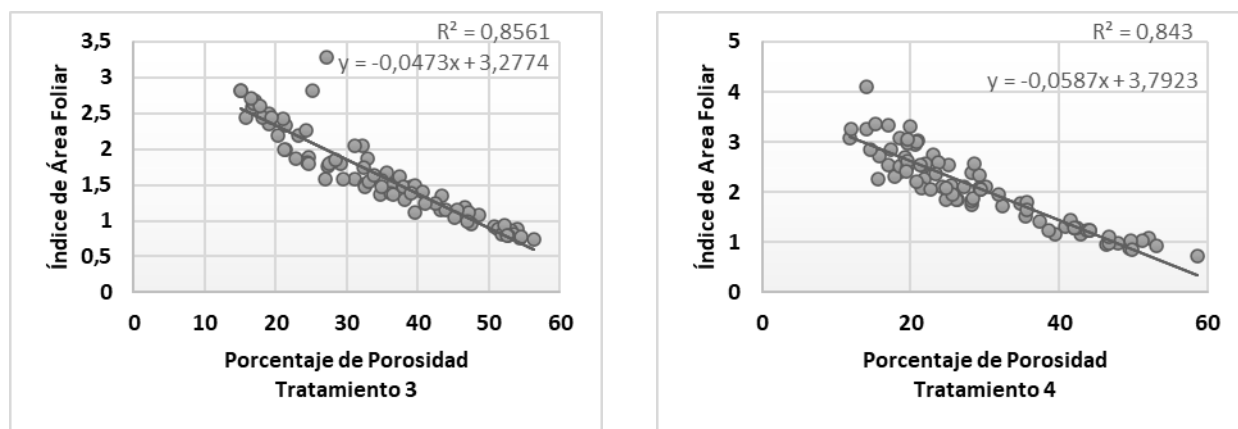
Finalmente, los diferentes parámetros de copa y su incidencia sobre productividad herbácea, está definida por altura del inicio de copa, área de copa y labores silvícolas, que pueden ser controladas mediante labores de mantenimiento, inciden sobre el aumento o disminución de calidad de luz y porcentaje de sombra emitida por el árbol (Mendoza, 2018).

Opacidad del dosel. A continuación, se expresan los valores de opacidad, porosidad e índice de área foliar del dosel de árboles que se encuentran dentro de las unidades de experimentales en tratamientos tres y cuatro del SSP.

Resultados opacidad dosel *A. acuminata*. Durante las evaluaciones realizadas en un periodo de seis meses entre septiembre de 2021 y febrero de 2022, se presentó una misma tendencia en respuesta a los índices de área foliar respecto al porcentaje de porosidad registrado en los árboles del sistema (Figura 5).

Figura 5

*Índice de Área Foliar y Porcentaje de Porosidad del Dosel de *A. acuminata**



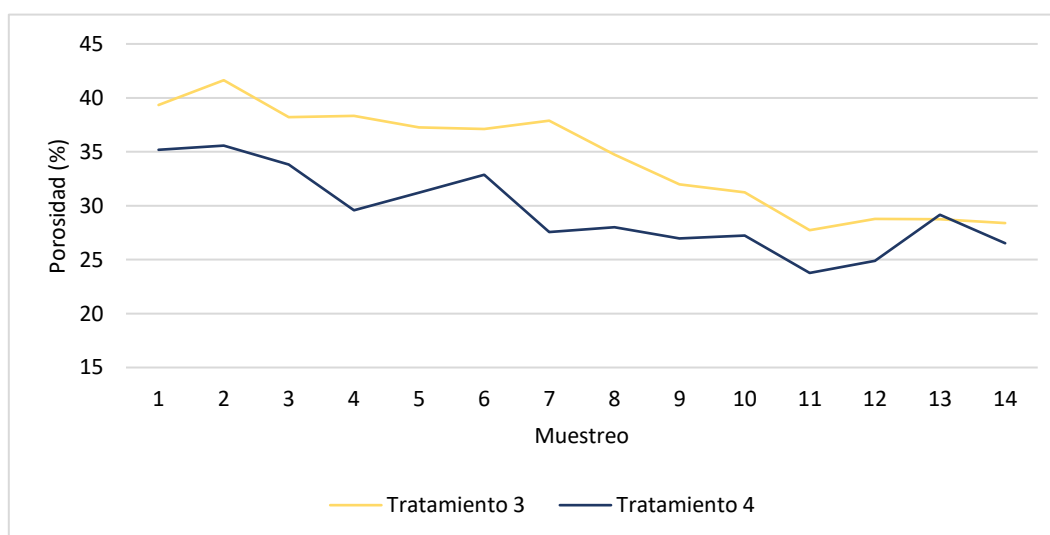
Los resultados obtenidos en muestreos revelan un máximo índice de área foliar (IAF) de 3,29 en el dosel de árboles de T3 asociado a una porosidad del 10,77 %; un registro mínimo de 0,75 emparejado a una filtración de luz del 56,42 %. En torno a T4, el valor máximo de IAF fue 4,09 con una porosidad de 14,05 %; el menor IAF fue 0,72 con permeabilidad de 41,42 %.

Estos parámetros de copa en árboles de los dos tratamientos presentaron un comportamiento lineal entre IAF y porosidad, con un R^2 superior al 84 %; de este modo, entre menor es el índice mayor es el paso de luz solar, es así como forman una relación inversamente proporcional, en la que se puede observar que al aumentar IAF disminuye la luz que atraviesa hojas y ramas.

En la Figura 6, se observa que la permeabilidad de la copa en los dos primeros muestreos es mayor que en los subsiguientes, en los cuales se presentó una opacidad más densa a medida que pasa el tiempo, teniendo en cuenta que *A. acuminata* presenta característica caducifolia, se presume que al momento de tomar información su follaje se encontró en fenofase de rebrote, por lo que al aumentar los brotes de hojas, su opacidad incrementó (CONAFOR, 2015).

Figura 6

Porosidad de Copa de A acuminata en la Región Altoandina Nariñense entre Septiembre 2021 y Febrero 2022



Discusión opacidad del dosel *A. acuminata*. Opacidad de dosel con su proyección de sombra, es la interacción biofísica más importante en agroforestería tropical (Andrade *et al.*, 2014), por lo que el éxito de sistemas mixtos como SSP dependen del balance entre interacciones negativas y positivas especialmente, por competencia de luz, agua y nutrientes (Jose *et al.*, 2000).

En arreglos agroforestales, el nivel óptimo de opacidad en cultivos es multifactorial, ya que depende de la tolerancia a sombra y condiciones edafoclimáticas (Muschler 1999); en diferentes asociaciones árboles y estratos herbáceos, se recomienda un rango de 30 a 40 % de sombra.

En ese orden de ideas, durante la evaluación, los árboles de aliso conservaron gran parte de las hojas de su copa, comportándose como un dosel estático, por presencia continua de ramillas y hojas, es decir, no tuvo un cambio relevante en el tiempo, lo cual se refleja en opacidad promedio superior al 60 % en los dos tratamientos evaluados (T3 65,8 % y T4 70,3 %), estos valores pueden ser considerados altos, cuando en agroforestería se proponen sombreados con alrededor del 40 % o menos (Andrade *et al.*, 2014).

La aparente inmovilidad del dosel, puede ser por incremento en precipitación en el periodo de evaluación, al ser una variable climática comúnmente correlacionada con cantidad de follaje; Mejía (1990) señaló en su trabajo sobre *fundamentos y métodos en fenología*, que en el trópico la precipitación es un elemento relevante y necesaria su utilización, debido a su evidente relación entre suministro de agua y efectos negativos o positivos en procesos biológicos vegetales.

En ese sentido, en una investigación realizada con *A. acuminata*, mencionó que al reiniciarse las lluvias después de un período seco, esta especie presentó el inicio del rebrote de hojas y flores; esto debido a que las condiciones climáticas disímiles después de transcurrido un periodo cronológico de lluvia o sequía, pueden afectar diferentes estados de desarrollo de las plantas (Vílchez *et al.*, 2004), es importante destacar que esto puede explicar el por qué el follaje de esta especie, tanto en su brotación

como en su caída, se ve altamente afectado por temporadas secas (pérdida de follaje), o por aquellas en las que se presentan una mayor precipitación (brotación o mantenimiento de órganos).

Respecto al porcentaje de copa, otra variable forestal que afecta el paso de luz solar a través del dosel, *A. acuminata* registró en los dos tratamientos un valor en promedio superior al 80 % en relación con HT, este tipo de resultados se exteriorizan en árboles cubiertos por una extensa copa, ubicados en sitios de baja ocupación; se puede considerar un valor alto en comparación de otros estudios, donde se encontraron porcentajes menores; Arias (2005) reportó en *Pinus caribaea* y *Terminalia amazonia* porcentajes medios de dosel de 47 y 44 % respectivamente, consideradas como especies con una proporción de copa alta.

Otras arbóreas muestran baja proporción, donde LC representa una tercera o cuarta parte de altura del árbol, como *Gmelina arborea*, que tan solo un 25 % de HT está cubierta por la copa. En el caso de *A. acuminata*, los individuos pueden presentar un alto índice debido a una débil auto poda, y que ramas iniciales persisten varios años debido a ausencia de podas de formación iniciales, de ahí que presenten mayores valores de en este parámetro (Arias, 2005).

Teniendo en cuenta que la sombra influye sobre producción de pasturas bajo el dosel arbóreo, tanto porosidad de la canopia, como proporción de copa, deben ser evaluados en sistemas de alta densidad arbórea o cuando se utilizan árboles con una cobertura muy amplia, muy tupida o árboles de gran altura, que dificultan la penetración de rayos del sol hacia pasturas asociadas. De igual manera, puede verse degradado el pasto cuando se emplean especies forrajeras que son susceptibles a sombra (Mahecha, 2003).

5.2.2 Caracterización de praderas de los sistemas productivos

Las praderas del monocultivo y el SSP de esta investigación, se encuentran conformadas por una sola especie herbácea, este tipo de coberturas son conocidas como monófitas, para su establecimiento se utilizó *C. clandestinus* (Pizzio et al., 2021).

Una de las razones por las cuales se usan, obedece a que es posible estimar una producción de forraje en un tiempo determinado; En cambio, en una pradera conformada por varias especies, el rendimiento de biomasa fluctúa de acuerdo con características productivas, tiempo de recuperación, respuesta a fertilización, entre otros factores, por lo que se hace imprescindible tener clara la intensidad de pastoreo a que se debe someter (Merchant & Solano, 2016).

En la Tabla 8 se registró las principales plantas de tipo arvenses o con uso pecuario encontradas esporádicamente y con porcentajes de coberturas mínimos en el lote de investigación, pero fuera del área experimental, por lo cual no afectan rendimiento y calidad de kikuyo de los sistemas evaluados.

Las praderas con cobertura herbácea densa son de mayor rendimiento, evitan el crecimiento de malezas, son resistentes al peso del ganado y aptas para vehículos pesados. Las gramíneas son muy importantes y su porcentaje debe ser superior al 70 %, una gran cobertura de gramíneas es más valiosa aún más cuando en ella dominan las de alto valor forrajero (Dietl *et al.*, 2009).

Tabla 8

Caracterización Florística de Praderas en la Zona Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Familia	Nombre científico	Nombre común	Tipo
Asteraceae	<i>Hypochaeris radicata</i>	Chicoria	Conteo
Asteraceae	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de león	Conteo
Capparaceae	<i>Capparis spinosa</i>	Alcaparro	Conteo
Fabacea	<i>Trifolium repens</i>	Trébol Blanco	Cobertura
Poaceae	<i>Holcus lanatus</i>	Falsa poa	Cobertura

Porcentaje de cobertura de praderas.

Resultados cobertura de praderas. Estuvo por encima del 95 % (T1 96 %, T2 98 %, T3 99 %, T4 97 %), no se encontraron diferencias significativas entre ellos, en este tipo de gramíneas de tendencia

postrada y con alto desarrollo estolinífero es común encontrar cubiertas superiores al 80 % (Ramírez *et al.*, 2020).

Discusión cobertura de praderas. En estudios realizados en Costa Rica, Andrade (2006) reporta porcentajes de cobertura de 77,42 a 86,5 % en praderas de kikuyo; Villalobos y WingChing (2020) registran valores en este forraje entre 54,4 y 99,65 % con un promedio de 83,24 %; en referencia a otras gramíneas, malezas y material senescente asociado a praderas de *C. clandestinus*, los mismos autores informan rangos de 8,26 a 14,4 % y 3,11 a 6,09 %.

Kikuyo al ser una gramínea es capaz de formar una cobertura herbácea densa y estable (porcentajes hasta superiores al 90 %). Debido al crecimiento propio de la especie, los estolones subterráneos y/o superficiales crean tapices vegetales que conforman las praderas (Noreña, 2009).

Resultados Altura de planta *C. clandestinus*. T3 fue estadísticamente superior a los otros tratamientos; T4 presentó mayores alturas y diferencias significativas con respecto a T1 y T2; entre los tratamientos uno y dos no se registraron diferencias significativas, aunque el valor medio de T1 fue mayor que T2. En la Tabla 9 se describen los resultados obtenidos en altura de planta de kikuyo en los tratamientos de esta investigación

Tabla 9

*Altura de Planta de *C. clandestinus* en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de *A. acuminata* en la región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño*

Tratamiento	Altura de planta cm
T1 Monocultivo LES, corte cada 45 días	23,19 ^c
T2 Monocultivo LES, corte cada 35 días	21,81 ^c
T3 SSP corte cada 45 días	35,92 ^a
T4 SSP corte cada 35 días	29,93 ^b

Nota. LES: libre exposición solar. ^{a-b-c} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0,05$).

Discusión altura de planta *C. clandestinus*. La longitud de planta fue mayor bajo influencia de *A. acuminata* y conforme aumentó días entre cortes. La literatura reporta que el kikuyo pueden alcanzar alturas hasta 80 cm (Molina Genera, 2018), sin embargo, en las condiciones evaluadas (hasta el día 45 de rebrote) no se alcanzaron estas longitudes, pues las alturas observadas en tratamientos con y sin incidencia forestal y con dos tiempos de corte no superaron los 35,92 cm.

Insuasty *et al.* (2011), reportaron que en los SSP la altura de kikuyo es producto de la interferencia de árboles en el paso de la luz solar, lo cual genera una necesidad de pasto de crecer hacia arriba en búsqueda del sol.

Los porcentajes de cobertura arbórea y la sombra proyectada por el dosel, y su incidencia sobre radiación, humedad relativa, velocidad del viento, temperatura y humedad del suelo, son factores que pueden afectar el crecimiento del forraje y la velocidad de recuperación después de un periodo de pastoreo (Molina Genera, 2018).

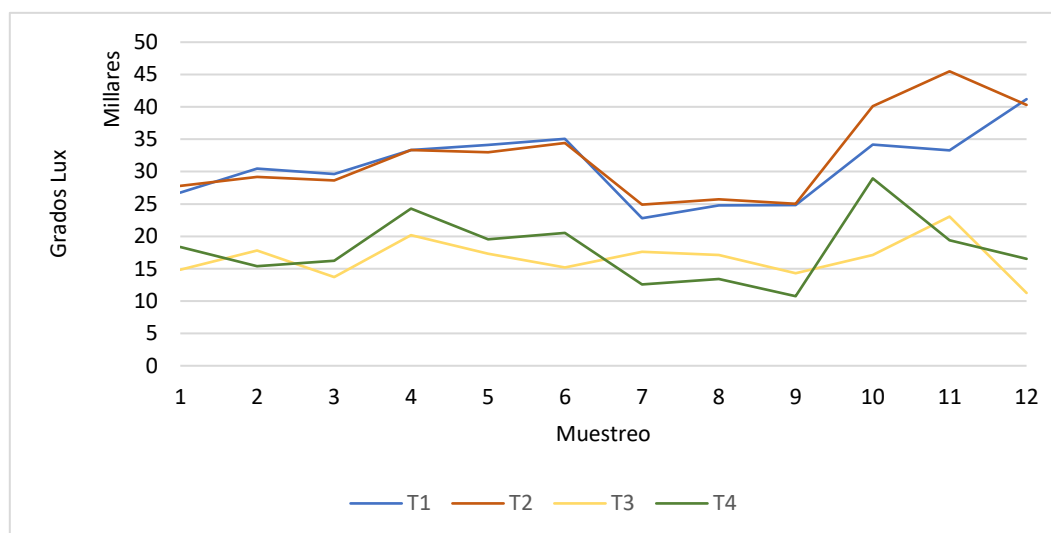
5.2.3 Intensidad lumínica en sistemas productivos

Determinar la intensidad lumínica en los sistemas evaluados, permite determinar si la incorporación del componente forestal en un sistema de producción agropecuario influye sobre producción y calidad del estrato bajo, y si estas diferencias en luminosidad tienen o no diferencias en una cobertura arbórea y una exposición a pleno sol.

Resultados Intensidad lumínica de sistemas productivos. El parámetro Intensidad lumínica, no se comportó de manera estable en el tiempo, de hecho, en el mismo día presentó diferentes comportamientos como se observa en la Figura 7.

Figura 7

Promedio Diario de Intensidad Lumínica a Libre Exposición Solar y Bajo Dosel de A. acuminata



Los tratamientos a libre exposición solar presentaron luminosidad más alta en las dos jornadas evaluadas, T2, con respecto a T1 no presentó diferencias significativas y tuvo los valores más altos en la mañana, en estos tratamientos existió una diferencia porcentual de 12 % de luminosidad en la mañana y del 6 % en la tarde, por último, tienen una correlación de 88 % para información tomada en horas de la tarde y del 67,5 % en la mañana (Tabla 10).

Tabla 10

Intensidad Luminosa en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de A. acuminata en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Tratamiento	Grados Lux	Grados Lux
	10:00 am	15:00 horas
T1 LES	40325 ^a	21433 ^a
T2 LES	41925 ^a	22733 ^a
T3 SSP	18708 ^b	14533 ^b
T4 SSP	19492 ^b	16500 ^b

Nota. LES: libre exposición solar ^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa $p < 0,05$.

La intensidad lumínica en T2 con respecto a T3 y T4 del SSP, fue significativamente diferente, y porcentualmente superior a T3 y T4 en más del 45 % en la mañana, y 25 % en la tarde.

En ese mismo sentido, T1 fue estadísticamente superior a T3 y T4, presentó un 40 % más de luminosidad en relación con los registros bajo dosel arbóreo en la mañana y en la tarde más del 23 %. Por último, T3 y T4 tuvieron la luminosidad más baja de los tratamientos, entre ellos no se encontró diferencias significativas.

Discusión intensidad lumínica. La intensidad lumínica no es estable en el tiempo, está condicionada por la nubosidad, precipitación, hora del día, entre otros parámetros, que inciden sobre la cantidad de grados lux que llegan a los sistemas productivos, ocasionado una heterogeneidad espacial y temporal, además la presencia de estratos altos en agroecosistemas afecta notablemente la disponibilidad de luz bajo su cubierta.

En la fisiología vegetal, tanto el exceso, como el defecto de luminosidad, inciden negativamente en el crecimiento de la planta, los diferentes grados de intensidad lumínica, puede disminuir la capacidad de la planta de convertir energía en biomasa, inhibiendo el desarrollo de esta (Romero, 2008).

El ambiente lumínico de una cubierta vegetal es normalmente heterogéneo. La parte superior de la misma recibe la totalidad de la luz incidente, disminuyendo con la profundidad dentro de los estratos foliares (Abud et al., 2011).

Cuando una planta recibe el 50 % de la luz solar, absorbe el 25 %; al recibir el 100 %, o libre exposición solar, la absorción en la vegetación desciende al 10 %, el resultado, es una disminución en la eficiencia de la absorción del dióxido de carbono, de la liberación de oxígeno y de la reducción de fluorescencia de la clorofila.

En otras palabras, el aumento de la intensidad de la luz no aumentará la tasa de conversión de energía. La saturación de iluminación es el punto en el cual los daños pueden comenzar a aparecer. (Vogan & Sage, 2012).

El principal factor que limita el crecimiento de la pastura es la energía solar, la incidencia de radiación en las distintas regiones varía en función de la latitud y la nubosidad (Romero, 2008). Los valores más altos de energía disponible a lo largo del año corresponden a climas tropicales, la producción potencial de forraje en estas zonas es muy elevada, siempre que el resto de los factores que condicionan el crecimiento no estén presentes en cantidades limitantes. Así, temperaturas desfavorables, sequías y déficit de nutrientes, en especial N podrían condicionar la utilización de la radiación incidente (Holmann et al., 2003; Rúa, 2010).

5.3 Estimación de Producción y Calidad de Biomasa Aérea de la Pradera del SSP y Monocultivo

Estimar biomasa forrajera herbácea, tanto en monocultivo como en asociación con especie forestal, permite determinar características productivas y nutricionales de *C. clandestinus*, tanto a cielo abierto o bajo sombra del dosel arbóreo, en esta sección del documento con los resultados expuestos se da cumplimiento al objetivo dos: Evaluar la producción y calidad de la biomasa aérea de las pasturas bajo sombra en un arreglo silvopastoril.

5.3.1 Producción de biomasa herbácea forrajera de la pradera del SSP y monocultivo

Los parámetros productivos FV, MS, macrocomponentes y minerales, evaluadas en kikuyo, tanto en el monocultivo como en el SSP, presentaron afectación debido a las variables independientes edad de rebrote e incidencia forestal. De esta manera, el rendimiento de biomasa fue mayor al incrementarse los días de rebrote y estar con influencia del componente arbóreo, a continuación, se describen los resultados encontrados.

Resultados forraje verde y materia seca de *C. clandestinus*. Se presentaron diferencias estadísticas significativas entre T3 y los otros tratamientos. T3 tuvo un rendimiento por encima del 50 %

en relación con el monocultivo, con una superioridad del 51,7 % en desempeño respecto a T1, y 58,6 % a T2; en relación con T4, se presentó un 36,6 % de mayor producción de pastura en T3 (Tabla 11).

En cuanto a T4, al compararlo con T1 estadísticamente no fueron diferentes ($P>0,05$); sin embargo, existe una tendencia de mayor cosecha de FV en pradera del SSP, que produjo 25 % más kg FV ha^{-1} que T1; T4 con respecto a T2, sí presentó diferencias significativas, con un 35 % más en rendimiento.

Entre tratamientos del monocultivo, en estadística no tuvieron diferencias, pero T1 sí tuvo un rendimiento medio de más de 1337 kg FV ha^{-1} por corte en comparación con T2.

Tabla 11

Forraje Verde y Materia Seca de C. clandestinus en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de A. acuminata en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Tratamiento	FV kg ha^{-1}	MS kg ha^{-1}
T1 Pradera LES, CC 45 días	9349,8 ^{bc}	1156,4 ^b
T2 Pradera LES, CC 35 días	8012,9 ^c	1475,3 ^{ab}
T3 SSP CC 45 días	19360,3 ^a	2123,5 ^a
T4 SSP CC 35 días	12335,7 ^b	1964,0 ^{ab}

Nota. LES: libre exposición solar ^{a-b-c} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa $p<0,05$.

En función a MS, los resultados obtenidos de mayor a menor fueron T3: 2123,5, T4: 1964, T2: 1475,3, T1: 1156,4 kg MS ha^{-1} (Tabla 11). T3 supera estadísticamente a T1. Al evaluar el desempeño de T3 en relación con T2 y T4, según análisis estadístico, no existieron diferencias significativas.

T4 presentó el segundo mejor desempeño de MS, con un 41,1 % y 24,9 % más de producción de kg MS ha^{-1} en relación con T1 y T2 del sistema pastoril, no se presentaron diferencias significativas entre estos tratamientos. T1 y T2 del monocultivo estadísticamente no tuvieron diferencias, no obstante, sí se registró un rendimiento superior de MS con una tasa porcentual de 21,6 a favor de T2.

Discusión forraje verde y materia seca de *C. clandestinus*. Las variables agronómicas de *C. clandestinus* pueden ser cambiantes de acuerdo con condiciones de suelos, precipitación y manejo de praderas; en varios estudios se determinó que la altitud, precipitación, días de rebrote, afectan la respuesta morfológica de kikuyo, encontrando mejores desempeños en MS en épocas de lluvia, con mayor tiempo entre cortes de pastura (Avellaneda & Mancipe, 2020).

Diversos autores encontraron rendimientos mayores de MS en *C. clandestinus* en tiempos con alta pluviosidad en comparación con periodos secos (Portillo *et al.*, 2019). En esta investigación, la precipitación acumulada de 600 mm en seis meses, arroja un promedio superior a 100 mm mes⁻¹, muy superior a registros históricos de pluviosidad para esta región (IDEAM, 2018).

En esta zona de estudio, Insuasty *et al.* (2011) en un SSP de aliso y kikuyo encontraron rendimientos en el monocultivo de 13910 y en SSP de 19640 kg FV ha⁻¹; al contrastar los resultados de T1: 9349,8, T2: 8012,9 kg FV ha⁻¹, estuvieron por debajo de los obtenidos por estos autores en los dos sistemas; el desempeño de los tratamientos del SSP (T3: 19360,3 y T4: 12335,7 kg FV ha⁻¹), fueron similares para T3, e inferiores en T4.

En cuanto a MS, los mismos autores mencionan en monocultivo 3900 y en el SSP 4700 kg ha⁻¹, los datos colectados en esta investigación, T1: 1680,7, T2: 1475,3, T3: 3148,89, T4: 1964 kg MS ha⁻¹, presentaron menores rendimientos a los descritos por Insuasty *et al* 2011.

En cuanto a estudios realizados a *C. clandestinus* en periodos de lluvia, Portillo *et al.* (2019) registró en Pasto 1486,6 y Sapuyes 568,8 kg MS ha⁻¹. Asimismo, Avellaneda & Mancipe (2020), con tiempos de corte de 35 y 42 días, obtuvieron en el Alto de Chicamocha 1985 y 3430 kg MS ha⁻¹; en Bogotá 2255 y 2893 kg MS ha⁻¹, y en Ubaté Chiquinquirá 3639 y 6129 kg MS ha⁻¹.

Los resultados de MS de esta investigación fueron mayores que los mencionados por Portillo *et al.* en los municipios de Sapuyes y Pasto, excepto por T2 que tuvo un rendimiento similar en Pasto. En referencia a los obtenidos por Avellaneda & Mancipe (2020) en varias regiones, en el CI Obonuco a los

35 días T2 y T4 registraron medias inferiores con respecto a los reportados en tres localidades en ese mismo periodo de corte; igualmente a los 45 días, T3 tuvo un rendimiento inferior en comparación con Chicamocha y Chiquinquirá, y superior al contrastarlo con Bogotá, T1 presentó rendimientos inferiores a los descritos en las tres localidades.

Con respecto a trabajos en SSP de aliso con base forrajera en kikuyo, Giraldo y Bolívar (1999) estudiaron un diseño de árboles dispersos con baja densidad arbórea, en el que se encontró una producción de 2084 kg MS ha⁻¹, resultados superiores a los de este trabajo en T1, T2 y T4.

Asimismo Silva *et al.* (2017) evaluaron rendimiento de pastura con cortes cada 30 y 45 días en SSP, con resultados de 15000 y 23600 kg FV ha⁻¹, superior a los de este ensayo, y una MS de 3200 y 4470 kg ha⁻¹, los resultados de esta investigación fueron inferiores a los reportados por estos autores.

5.3.2 Calidad nutricional de *C. clandestinus* en los sistemas productivos

La evaluación del forraje herbáceo del SSP y su comparación con el del monocultivo, se realizó para determinar diferencias en cuanto a parámetros nutricionales, a continuación, se describen los resultados encontrados.

Macrocomponentes *C. clandestinus*. Los resultados obtenidos en laboratorios especializados de Agrosavia, relacionados con macrocomponentes en praderas con diferente grado de exposición solar y con dos periodos de corte, se relacionan a continuación.

Resultados Macrocomponentes *C. clandestinus*. Los valores promedios de PC, EE, FDN, FDA, Digestibilidad, ENL se relacionan en la Tabla 12. En cuanto al contenido promedio de PC la cifra más alta se registró en T4 y la menor en T1. T4 presentó diferencias significativas con T1 y T2; además, obtuvo rendimientos superiores en más del 30 % en relación con estos tratamientos. T3 al igual que T4, al ser evaluado con T1 y T2, fue estadísticamente superior a ellos, y su rendimiento fue superior en más de 30 %.

Según prueba de Tukey para EE entre T4 y T1 se estableció diferencias estadísticas con un mejor desempeño en T4. Entre T2, T3 y T4 no se presentaron diferencias significativas, del mismo modo que entre T1, T2 y T3.

Tabla 12

Composición de Macrocomponentes de C. clandestinus en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de A. acuminata en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Tratamiento	PC %	EE %	FDN %	FDA %	Dg %	ENL Mcal kg MS ⁻¹
T1 monocultivo LES, corte cada 45 días	14,81 ^b	1,82 ^b	60,16 ^a	36,21 ^a	59,93 ^b	1,22 ^b
T2 monocultivo LES, corte cada 35 días	15,34 ^b	2,05 ^{ab}	59,83 ^a	33,95 ^{ab}	61,07 ^b	1,25 ^b
T3 SSP, corte cada 45 días	22,35 ^a	2,08 ^{ab}	53,18 ^b	32,57 ^{bc}	67,08 ^a	1,41 ^a
T4 SSP, corte cada 35 días	23,74 ^a	2,24 ^a	53,31 ^b	31,52 ^c	68,52 ^a	1,42 ^a

Nota. LES: libre exposición solar, PC: Proteína cruda, EE: extracto etéreo, FDN: fibra detergente neutra, FDA: fibra en detergente ácido, Dg: digestibilidad, ENL: energía neta de lactancia. ^{a-b-c} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa (p<0,05).

En este estudio, los mejores registros que se presentaron en FDN y FDA estuvieron en T3 y T4, teniendo en cuenta que se considera que a mayor FDN la ingesta de MS disminuye; y que a mayor FDA menor digestibilidad, lo que reduce la capacidad de digerir forraje (Foss, 2018).

Los registros de manera ascendente para FDN fueron T3: 53,18 %, T4: 53,31 %, T2: 59,83 % y T1: 60,16 %. T1, no tuvo diferencias significativas con T2; por otro lado, fue estadísticamente inferior al compararlo con T3 y T4. T2 también presentó diferencias significativas con T3 y T4, y tuvo un desempeño inferior a ellos.

T3 y T4 del SSP no registraron diferencias significativas; se destaca que praderas con cobertura arbórea exhibieron mejor desempeño en esta variable, y al comparar T3 y T4 con T1 y T2 del monocultivo fueron estadísticamente superiores.

En la variable FDA, T4 registró diferencias significativas al evaluarlo con T1 y T2. T3 fue superior estadísticamente a T1. T1 y T2 no registraron diferencias, al igual que T3 y T4. Se resalta que los tratamientos con incidencia de aliso ostentaron mejor valoración para este parámetro.

En los tratamientos del SSP se hallaron valores más altos en torno a parámetros digestibilidad y ENL; para estas medidas entre más altos, mejor calidad del forraje. En cuanto a Digestibilidad, T4 estadísticamente no fue diferente a T3; pero sí registro diferencias estadísticas con T1 y T2. T3 en comparación con T1 y T2 estadísticamente fue superior; entre T1 y T2 no hubo diferencias.

En los valores asentados en ENL, T3 presentó diferencias significativas con T1 y T2; igualmente T4 con T1 y T2; entre tratamientos del monocultivo no se registraron diferencias; los mejores índices de este parámetro se registraron en el arreglo, y T1 exhibió menor ENL.

Discusión Macrocomponentes *C. clandestinus*. Los mejores índices determinados en el SSP, se atribuyen al efecto de los árboles, que al contar con un microclima y sombra regulada por el dosel, pueden favorecer estos parámetros y afectar positivamente su calidad nutricional. Además, la especie es AFN, lo cual disminuye la aplicación de fertilizantes nitrogenados, que en exceso, defecto o ausencia, ocasionan efectos negativos en pasturas a nivel productivo, nutritivo y reproductivo.

Por otra parte, cuando aumenta el periodo de rebrote, menor es la digestibilidad y el valor nutricional. Es por esta razón, que el pastoreo en intervalos cortos, es una alternativa de productores para compensar mayores demandas nutricionales y energéticas del ganado lechero (Correa *et al.*, 2008).

Los contenidos medios de PC en *C. clandestinus* de esta investigación para pradera (T1: 14,81 y T2: 15,34 %) y SSP (T3: 22,35 y T4: 23,74 %) fueron superiores a los hallados por Insuasty *et al.* (2011) en la misma zona (monocultivo 10,20 y SSP 11,41 %). En el trabajo “*Evaluación y selección de especies*

forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño” Portillo *et al.* (2019), en la localidad de Sapuyes registraron en Kikuyo 18,7 %, datos inferiores a los obtenidos en el SSP y superiores a los del monocultivo. En la plataforma digital AlimenTro, en el municipio de Pasto se ponderó un promedio de 17,44 %, y un intervalo entre 14,91 y 22,01 % (Agrosavia, 2022), T1 y T2 se encuentran por debajo de la media, T3 y T4 del SSP por encima.

En otras latitudes, Avellaneda & Mancipe (2020) en la cuenca lechera de Bogotá, para kikuyo en temporadas de lluvia y con periodos de corte cada 35 días, definieron una PC de 21,5 %, cifra superior a T2, pero inferior a T4; los mismos autores a los 42 días encontraron una PC de 19,2 %, mayor que T1 e inferior a T3 (muestreos cada 45 días); Vargas *et al.* (2014) en el trópico alto colombiano registró 25,4 %, un porcentaje de PC de mejor desempeño en referencia a los resultados descritos en esta investigación. Villalobos & WingChing (2020) en Costa Rica, a los 28 días determinaron 18,45 %, mayor a las tasas de T1 y T2, pero por debajo de las identificadas en T3 y T4.

Para concluir, se describen los resultados de PC de kikuyo, en ensayos de agroforestería con árboles dispersos. Silva *et al.* (2017) en un arreglo con aliso y aprovechamiento de la herbácea a 30 y 45 días, mencionaron un PC de 15,14 y 10,63 % en cada época. Sanchez (2021) en dos SSP con la misma especie a diferentes distancias de siembra, obtuvo un valor de PC 17,77 y 17,01 %; finalmente, en un estudio de asociación con *Acacia melanoxylon* y cortes a los 30 y 45 días Navas *et al.* (2020), determinó un 17 y 23 % para cada tiempo de muestreo; estos resultados son consonantes a los registrados en el SSP de esta investigación.

Por otra parte, en cuanto a valores porcentuales de EE en los tratamientos del monocultivo (T1: 1,82 T2: 2,05 %) fueron superiores a los descritos en la zona por Insuasty *et al.* (2011), donde alcanzó un porcentaje en monocultivo de 1,52 %, inferior en rendimiento en un 25 con T1 y 16 % con T2.

En el SSP el mismo autor informó un 1,79 %, cifra porcentual por debajo de la media de T3 y T4; la diferencia con T3 y T4, fue de 14 y 20 %. AlimenTro (Agrosavia, 2022) detalla para el municipio de

Pasto un promedio de 1,98 %, con un rango de 1,69 a 2,69 %; los valores reportados en esta investigación se encuentran dentro del intervalo descrito en la plataforma, y por encima del promedio, excepto por T1.

En cuanto a las variables FDN y FDA, En la misma zona de estudio, en 2011 Insuasty *et al.* reportaron en el monocultivo un FDN 70,69 % y FDA 40,05 %; teniendo en cuenta que los datos de estas variables deben ser inferiores para ser considerados óptimos, en los resultados de T1 y T2 de esta investigación los valores porcentuales en FDN fueron mejores, con T1: 60,16 % y T2: 59,83 % y en FDA T1: 36,21 % y T2: 33,95 %.

De la misma manera, estos autores mencionaron en SSP, un FDN de 69,49 y FDA 61,42 %; al contrastar con los valores del SSP de este estudio, T4 y T3 presentaron mejor desempeño con porcentajes de FDN en T3: 53,18 y T4: 53,31 % y en FDA T3: 32,57 y T4: 31,52 %.

Portillo *et al.* (2019) en el trópico alto de Nariño, registraron para kikuyo en Sapuyes un FDN de 52,9 % y un FDA de 31,1 %, en esa localidad, la pastura se desempeñó de mejor manera, que los tratamientos de esta investigación.

En AlimenTro para el municipio de Pasto, con respecto al parámetro FDN de *C. clandestinus*, se reportó una media de 50,77 % con un rango de 45,75 % a 60,55 %; y en FDA un promedio de 31,75 %, con un intervalo de 25,39 % a 35,50 %; los valores de FDN y FDA de esta investigación son superiores al promedio de la región, y se encuentran dentro de los límites reportados en la plataforma.

Avellaneda & Mancipe (2020) en la cuenca lechera de Bogotá, describieron a los 35 días un porcentaje de 55,1 en FDN y un FDA de 27,1 %, parámetros con mejor desempeño en comparación con T2 y T4 (cortes de pastura cada 35 días).

En esa misma línea, estos autores reportaron a los 42 días un FDN de 54,4 y FDA de 28,8 %, resultados superiores a los descritos en esta investigación. En Costa Rica se encontró en *C. clandestinus* a los 28 días un FDN de 48,89 % (Villalobos & WingChing, 2020), Vargas *et al.* (2014) en una pradera de

kikuyo indicó un registro de FDN de 48,3 % y FDA de 22,5 %; en los estudios mencionados, los parámetros evaluados presentaron un mejor rendimiento a los expresados en esta investigación.

En trabajos de agroforestería, Sanchez (2021) en dos SSP de árboles dispersos de aliso-kikuyo con diferentes distancias de siembra, reportó valores en FDN de 56,68 y 54,46 %, un FDA de 27,01 y 28,73 %; en una asociación de *Acacia melanoxylon*-*C. clandestinus*, Navas *et al.* (2020) en dos tiempos de corte (30 y 45 días) registró en FDN 58 y 57 %, en FDA 33 y 32 %. Los resultados de estos autores presentaron mejores desempeños que T1 y T2, no obstante T3 y T4 estuvieron por encima de los niveles mencionados.

En cuanto a digestibilidad, el promedio fue 66,58 % en los registros de AlimenTro (Agrosavia, 2022) para el municipio de Pasto; el intervalo de valores oscila de 59,55 a 70,12 %; los resultados de esta investigación, se encuentran en el rango municipal; los tratamientos del SSP (T3 y T4) se ubican por encima de la media, T1 y T2 por debajo de ella.

En referencia a este parámetro, Correa *et al.* (2008) a los 30 días registró 52,5 %; Navas *et al.* (2020) en dos asociaciones de Aliso-kikuyo con corte a 30 y 45 días, reportó 63 y 64 %; Villalobos & WingChing (2020) En Costa Rica, informaron 73,31 %; los valores de digestibilidad de esta investigación al compararlos con los de estos autores, fueron mayores a los de Correa *et al.*; respecto a los reportados por Navas *et al.*, T1 y T2 fueron inferiores y T3 y T4 superiores; y los resultados hallados en Costa Rica, fueron mejores a los expresados en este trabajo.

Para el municipio de Pasto, en AlimenTro se señaló en ENL un promedio de 1,37 Mcal kg MS⁻¹ y un intervalo de 1,21 a 1,45 Mcal kg MS⁻¹, los valores de este estudio se encontraron dentro de este rango, las medias para T1: 1,22 y T2: 1,25 Mcal kg MS⁻¹ estuvieron por debajo del promedio municipal, y los del SSP T3:1,41 y T4: 1,42 Mcal kg MS⁻¹ por encima del mismo.

Para kikuyo, en la región altoandina de Nariño, Portillo *et al.* (2019) en Pasto y Sapuyes registraron en ENL porcentajes de 1,45 y 1,33, los registros en T1 y T2 del monocultivo fueron menores a

los expresados en estas dos localidades, y los del SSP (T3 y T4) estuvieron por encima de los resultados de Sapuyes, e inferiores a los de Pasto. Los registros de ENL a 35 y 42 días, reportados por Avellaneda & Mancipe (2020), en la cuenca lechera de Bogotá fue 1,40 para los dos periodos; al compararlos con los resultados de esta investigación, se encuentran por encima del promedio de T1 y T2, y bajo la media de T3 y T4. Mojica *et al.* (2009) reporta en kikuyo un valor de 1,57 %, los cuatro tratamientos tuvieron valores inferiores a los encontrados por este autor.

Minerales *C. clandestinus*. La composición mineral de los forrajes varía de acuerdo con numerosos factores, entre los que se destacan el estado vegetativo, suelo, fertilización, clima, luminosidad, sanidad de la planta, frecuencia de defoliación, el retorno de los minerales al suelo entre otros, a continuación, se describe los resultados de *C. clandestinus* bajo incidencia forestal y dos tiempos de corte.

Resultados minerales *C. clandestinus*. Los resultados de los Minerales para *C. clandestinus* de los tratamientos evaluados se presentan en la Tabla 13. En el marco de los resultados de minerales, los parámetros P, Mg, K, S, Cu, Fe y Zn presentaron cifras más altas en tratamientos tres y cuatro del SSP, las más bajas se dieron en T1, seguido por T2.

Tabla 13

Composición Nutricional de C. clandestinus en Sistemas Pastoriles a Libre Exposición Solar y Bajo Sombra de A. acuminata en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Tto	Ca	P	Mg	K	Na	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	%						ppm				
1	0,29 ^a	0,28 ^d	0,24 ^b	2,56 ^c	0,03 ^b	0,25 ^c	5,92 ^c	173,08 ^b	86,87 ^{ab}	34,47 ^b	9,53 ^{ab}
2	0,30 ^a	0,31 ^c	0,24 ^b	2,75 ^c	0,03 ^{ab}	0,27 ^c	6,50 ^c	208,15 ^{ab}	99,71 ^a	36,77 ^{ab}	10,8 ^a
3	0,28 ^a	0,35 ^b	0,29 ^a	3,41 ^b	0,03 ^{ab}	0,32 ^b	8,02 ^b	209,93 ^{ab}	67,35 ^{ab}	41,64 ^a	9,05 ^b
4	0,27 ^a	0,38 ^a	0,30 ^a	3,79 ^a	0,04 ^a	0,36 ^a	8,88 ^a	232,81 ^a	57,14 ^b	41,97 ^a	10,48 ^{ab}

Nota. ^{a-b-c-d} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa (p<0,05).

El mejor desempeño en P lo registró T4: 0,38 % seguido en orden descendente por T3: 0,35 %, T2: 0,31 % y T1: 0,28 %; los cuatro tratamientos fueron estadísticamente diferentes, existe tendencia de valores más elevados en los ensayos del SSP (T3 y T4); T4 presentó un 27,95 % y 19,21 % más de P por cada 100 g MS⁻¹ con respecto a T1 y T2, con T3 la variación fue del 9,61 %.

En Mg los mejores rendimientos se presentaron en T4: 0,30 y T3: 0,29 %; T2 y T1 con 0,24 % tuvieron el mismo desempeño. Con respecto a T3, registró diferencias significativas con T1 y T2. T4 también fue estadísticamente superior a T1 y T2. Finalmente, entre T1 y T2 no se presentaron diferencias estadísticas; se conserva la directriz de mejores resultados en los ensayos con presencia de aliso.

En línea con P y Mg, K presentó mejores cifras porcentuales en T3 y T4 con 3,41 y 3,79 %. T4 fue estadísticamente superior a los otros tratamientos. T3 presentó diferencias significativas con T1 y T2; en el monocultivo, T1 y T2 fueron estadísticamente similares, y obtuvieron los menores resultados en este componente.

En los tratamientos de la investigación, S registró los siguientes resultados: T1 0,25, T2: 0,27, T3: 0,32 y T4: 0,37 %. T4 fue estadísticamente superior en comparación con los otros tratamientos; T3 presentó diferencias estadísticas con T1 y T2; en T1 y T2 del sistema pastoril se registró valores más bajos y entre ellos no se marcó una diferencia significativa. Los tratamientos con presencia de aliso obtuvieron los números más altos.

Cu registró en T1: 5,92, T2: 6,50, T3: 8,02 y T4: 8,88 ppm; el dato más alto lo presentó T4 y el menor T1; T4 con respecto a los otros tratamientos, tuvo mejor desempeño y diferencias significativas. T3 registró diferencias estadísticas con T1 y T2. En parcelas del monocultivo estadísticamente no existió diferenciación; el ensayo en los dos tratamientos del SSP exhibió mejores rendimientos para este mineral.

Fe expuso los siguientes valores T1: 173,08, T2: 208,15, T3: 209,93, T4: 232,81 ppm, en este parámetro, T2, T3 y T4 estadísticamente no fueron diferentes; de la misma manera entre T1, T2 y T3; en contraste T4 y T1 sí tuvieron diferencias significativas, el SSP ostentó valores más altos, siendo T4 el tratamiento con mejor desempeño.

En la investigación, Zn obtuvo los siguientes registros T4: 41,97 ppm, T3: 41,64 ppm, T2: 36,77 y T1: 34,47 ppm; los tratamientos bajo incidencia del SSP, tuvieron mejor desempeño en relación con los del monocultivo, y fueron estadísticamente superiores; entre T3 y T4 no se encontró diferencias significativas, al igual que en T1 y T2. T4, en relación con T1 y T2, exhibió un rendimiento porcentual por encima en 17,88 % y 12,39 %; los dos tratamientos del SSP tuvieron una diferencia en rendimiento del 0,80 %.

Los minerales Ca, Mn y B, a diferencia de los descritos, presentaron valores más altos en el monocultivo, principalmente en T2; T4 registró los valores más bajos para Ca y Mn, T3 el menor valor en B. en cuanto a Mn y B se hallaron diferencias estadísticas, a diferencia de Ca, que tuvo resultados estadísticamente similares.

En los resultados obtenidos en Ca no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. En referencia a Mn, en este parámetro entre T1, T2 y T3 no se encontraron diferencias significativas, al igual que en T2, T3 y T4; en contraposición, T1 es estadísticamente superior a T4. El mejor rendimiento se presentó en los tratamientos del sistema pastoril.

En último lugar, B exhibió las siguientes cifras: T1: 9,53 ppm, T2: 10,83 ppm, T3: 9,05 ppm y T4 10,48 ppm. T2 con 10,83 ppm presentó el mayor registro y T3 con 9,05 el menor, entre T1, T3 y T4, no se determinaron diferencias significativas, en otro sentido T2 y T3 estadísticamente sí fueron diferentes.

Discusión minerales *C. clandestinus*. Los mayores índices en parámetros de microelementos en los tratamientos del SSP, pueden ser debido a presencia del componente forestal, con lo cual, al sistema ingresan algunos dinamizadores como micro y macrofauna invertebrada, actinomicetos, micorrizas,

interacciones benéficas por el dosel forestal (hojarasca, sombreado y microclima) y raíces para bombeo de nutrientes de horizontes más profundos del suelo.

Con respecto a fauna edáfica, Vallejo *et al.* (2012) mencionan que en estudios realizados en el sur occidente colombiano, encontraron una mayor actividad de β -glucosidasa, fosfatasa ácida y fosfatasa alcalina en suelos de SSP; esto indica mayor actividad microbiana en los suelos con especies forestales, y explica por qué en estos sistemas se sostiene la producción forrajera, dado que estas enzimas juegan un papel fundamental en el reciclaje y disponibilidad de nutrientes y energía en el suelo.

De esta forma, se evidencia que los SSP mejoran la capacidad de la microbiota del suelo para llevar a cabo procesos de descomposición y mineralización, que al final, llevan a que los nutrimentos sean aprovechados por especies vegetales, mejorando su productividad.

Del mismo modo, la presencia de AFN y su capacidad de formar relaciones con actinomicetos del género *Frankia*, conforman una simbiosis responsable de fijar N y absorber P (Becerra *et al.*, 2009), por ende, representa una ventaja en el crecimiento y nutrición de especies vegetales asociadas (Silva *et al.*, 2017). Así mismo, el lograr un adecuado nivel de nutrientes edáficos permite el aprovechamiento pleno de estas relaciones simbióticas mutualistas, que contribuyen a sostenibilidad del sistema (Molina *et al.*, 2006).

Por otro lado, Obispo *et al.* (2013) en su estudio “*Relación de la proporción de sombra en el potrero con el rendimiento, calidad del forraje y ganancia diaria de peso en novillos*” mencionaron que el sombreado mejoró la calidad de la pastura a través de cambios en niveles de proteína, disminución de estructuras fibrosas, y consecuentemente mejora en digestibilidad de MS.

Finalmente, varios autores mencionan que los árboles incrementan el reciclaje de nutrientes a través de su sistema radical, el cual explora mayor profundidad el suelo que las gramíneas; recuperando nutrientes que se han decantado por procesos de lixiviación, ubicándolos sobre el suelo a través de

hojarasca, que se descompone por microbiología edáfica, liberándolos y dejándolos a disposición de las pasturas (Altieri, 1999; M. Escobar, 2018).

Los aportes de hojarasca y la presencia durante todo el año de la rizosfera arbórea en el SSP contribuyen a formar "islas fértiles", que se espera afecten positivamente la actividad biológica y productividad de pasturas (M. Escobar et al., 2020; Nahed-Toral et al., 2013).

A continuación, se detallan algunos estudios realizados sobre calidad de kikuyo en monocultivo y como componente herbáceo del SSP. Por ejemplo, al comparar los resultados de Ca reportados por Insuasty *et al.* (2011) en SSP: 0,38 y monocultivo: 0,31 %, se encontró que los resultados de los tratamientos de esta investigación fueron inferiores a los reportados por estos autores. Al igual que con el promedio del municipio de Pasto de 0,31 % de AlimenTro (Agrosavia, 2022), aunque los valores en este trabajo se encuentran en el intervalo comprendido entre 0,14 y 0,65 %.

Insuasty *et al.* (2011) en esta misma zona de estudio, mencionaron que P en el monocultivo presentó 0,30 y SSP 0,39 %; al contrastar los resultados de esta investigación (T1: 0,28, T2: 0,31, T3: 0,25 y T4: 0,38 %), se observa que T1 y T3 presentaron resultados inferiores a los de estos autores, T2 y T4 presentaron mejor registro que el monocultivo, pero fueron inferiores a los resultados del SSP.

En AlimenTro se registró 0,32 % en P, con un rango entre 0,12 y 0,43 % (Agrosavia, 2022), T1, T2 y T3 presentaron valores por debajo de la media, T4 estuvo por encima de ella; en cuanto al intervalo en P de la plataforma, los resultados obtenidos en este trabajo, se encuentran dentro de los límites.

Los resultados de Mg en el monocultivo de esta investigación, T1: 0,24 y T2: 0,24, fueron iguales a los reportados en el monocultivo por Insuasty *et al.* (2011) de 0,24 %, pero inferiores a los 0,27 % del SSP registrado por los autores, asimismo se encontraron por debajo de los 0,27 % de la plataforma digital de AlimenTro (Agrosavia, 2022); T3 y T4 con 0,29 y T4: 0,30 % obtuvieron mejores cifras que los de Insuasty *et al.* (2011) y que la media de Pasto reportada en esta plataforma.

En cuanto a K, Insuasty *et al.* (2011) en el monocultivo reportó 2,08 y en el SSP 2,64 %, en AlimenTro se ponderó en 2,97 % (Agrosavia, 2022); y con un intervalo entre 0,52 y 3,92 %, en referencia a esta investigación, los datos colectados (T1: 2,56 T2: 2,75, T3 3,41 y T4: 3,79 %) fueron superiores a los mencionados por los autores exceptuando a T1 (2,56 %). T3 y T4 fueron superiores a la media de AlimenTro para esta variable.

Con respecto a los valores de S y Cu de Insuasty *et al.* (2011) para monocultivo (0,14 % y 5 ppm) y SSP (0,18 % y 5,25 ppm), los resultados de esta investigación fueron superiores en los cuatro tratamientos; de manera contraria los resultados para las variables Fe (monocultivo 243,25 y SSP: 245,95) y Mn (monocultivo 139,50 y SSP 116,06 ppm) reportadas por este mismo autor que fueron mayores a las de los cuatro tratamientos de este trabajo.

Por último, al comparar los resultados de Zn de este estudio (T1: 34,47, T2: 36,77, T3: 41,64 y T4: 41,97 ppm), con los de Insuasty *et al.* (2011) monocultivo 28,25 y SSP 34,65 ppm, los cuatro tratamientos presentaron mejor desempeño que los de monocultivo, T1 fue similar a la información del SSP y los demás tratamientos tuvieron mejores cifras que las reportadas para este sistema.

5.4 Valoración de Servicios Ambientales en el Arreglo Silvopastoril

En esta última sección, se da cumplimiento al objetivo específico tres: valorar los bienes y servicios ambientales generados en un arreglo silvopastoril. Los SSP son SAFs que combinan producción pecuaria con prácticas amigables con el medio ambiente para imitar la dinámica de bosques, y en ese sentido proveer SA. Vincular actividades productivas a mercados de SA podría constituir una vía para el propósito mencionado, puesto que el productor tiene opción de producir alimentos, materias y servicios a la par de ofertar beneficios para la sociedad y el planeta en su conjunto, es decir, participar como oferente de SA por los cuales los demandantes pagarían como por cualquier otro servicio en el mercado.

En ese sentido, El PSA es un mecanismo básico utilizado a nivel mundial, para generar incentivos a actores locales que los provean; dependiendo del contexto de implementación y los objetivos de sus

promotores, estos esquemas asumen diferentes características y proporcionan varias funciones (FAO, 2010).

Sobre este particular, a través de los PSA, los provisos de SA que manejan los recursos naturales son compensados por medio de incentivos económicos voluntarios pagados directa, ininterrumpidamente y a largo plazo por quienes se benefician de los servicios ecosistémicos (Wunder, 2006).

Bajo estos conceptos, en este último apartado se evaluó los SA del SSP de aliso en árboles dispersos en una pradera de *C. clandestinus*, para esto se tuvo en cuenta la población en general para estimar disposición a pagar y ganaderos para determinar su disponibilidad a aceptar, los resultados obtenidos se describen a continuación.

5.4.1 Servicios ambientales generados en el arreglo silvopastoril

Los servicios ecosistémicos presentes en el SSP de *A. acuminata* - *C. clandestinus* se encuentran dentro de tres flujos de SA clasificados en categorías de provisión, soporte y regulación según la evaluación de ecosistemas del milenio (2005).

En el Sistema existen SA tanto de interés local como de interés global. Para la comunidad internacional es relevante lo que ocurre con los ecosistemas, paisajes, especies y recursos genéticos en nuestro país, además de mitigar GEI debido a las implicaciones globales (Uribe, 2015). Sin embargo, temas como protección de microcuencas y prevención de desastres naturales, son considerados SA de interés local porque no tienen una importancia directa más allá de nuestras fronteras (Zuluaga *et al.*, 2011).

En la Tabla 14, se describe SA que proveen en general los SSP, de acuerdo a registros incluidos en diferentes fuentes bibliográficas se destacan servicios como CC, regulación del régimen hídrico, conservación de suelos, biodiversidad, belleza escénica, provisión de agua, mitigación, adaptación al

cambio climático, calidad del aire, hábitat de especies nativas, regulación de plagas, entre otros (Alonso, 2011; Montagnini *et al.*, 2015; Murgueitio *et al.*, 2016).

Tabla 14

Servicios Ambientales del SSP de Árboles Dispersos en la Región Altoandina del Municipio de Pasto, Departamento de Nariño

Servicio ambiental	Clasificación	Descripción
Aprovisionamiento	Provisión de alimento	Producción de lechería especializada
	provisión de agua	Servicio más usado por la comunidad en sus labores domésticas y pecuarias
Regulación	Calidad del aire	Actúan como sumideros de carbono (C) gracias a la fotosíntesis
	Hídrica	Retención de agua, liberación lenta y constante
	Captura de CO ₂	Actúan como sumideros de C gracias a la fotosíntesis
	Erosión	Amarre del suelo, coberturas densas del suelo, regula nutrientes
Soporte	Mantenimiento de hábitat	proporcionan espacios vitales para las plantas y los animales; conservan una diversidad de complejos procesos que sustentan los demás servicios
	Belleza escénica	Arboles es altamente valorada por mucha gente y aprovechada en ecoturismo

La selección de los servicios se realizó con base en su importancia en temas pertinentes como dependencia de comunidades en cuanto al abastecimiento del recurso hídrico, la coyuntura global ambiental por el cambio climático y el mantenimiento de productividad de suelos; igualmente, obtención de leche por familias productoras de estas zonas, las cuales han desarrollado estas actividades para el sostenimiento de la población por largos períodos de tiempo.

Asimismo, se tuvo en cuenta la necesidad en función de sustentos de tipo económico que promuevan el desarrollo de actividades amigables con el ecosistema, en consecuencia, minimicen la degradación desarrollada directa e indirectamente sobre los recursos naturales.

5.4.2 Actores clave en zona de influencia del arreglo silvopastoril

Al ser una zona suburbana influye sobre distintos actores socioeconómicos, por esta razón, el estudio se efectuó en ganaderos y ciudadanía en general; los primeros, son actores tradicionales que dependen económicamente de recursos que suministra la lechería especializada, además son quienes llevan más tiempo en esta área y permanecen en ella. Los segundos compran productos derivados de explotación del sistema ganadero, al final de la cadena productiva asumen el pago de productos lácteos y el posible coste adicional por el PSA en el SSP.

5.4.3 Disposición a pagar por generación de servicios ambientales en el arreglo silvopastoril

Manifiesta en condiciones monetarias las predilecciones particulares de la población por diferentes bienes o servicios ambientales; esta valoración económica como referencia no busca representar un coste por SA, sino, un indicador monetario hipotético del valor que tiene los bienes y servicios ecosistémicos para una persona o una comunidad, en ese contexto, se describen los resultados de encuestas a ciudadanía en general de valoración de SA identificados previamente para definir su valor.

Caracterización socioeconómica. En la primera parte de la encuesta, se determinó características socioeconómicas de la población evaluada, como el nivel educativo, edad, índices de desarrollo económico, núcleo familiar y otros hitos que se relacionan a continuación.

De la población consultada, el 45,3 % se encuentra en un rango de edad entre 41 y 50 años, seguido en forma decreciente por el grupo entre 31 y 40 años con el 25,3 %; el grupo poblacional mayor a 60 años registró menor representatividad en la muestra con el 5,3 %. En el municipio de Pasto el 74,7

% se sitúan en la zona urbana, en zona rural o fincas el 14,7 %, en la zona periurbana se ubican el 10,7 % de los encuestados.

Más del 95 % de los indagados presentan como mínimo estudios de bachillerato; el nivel de escolaridad más representativo con 41,3 % fue universitario, seguido por el bachiller y posgrado, con un 29,3 y 28 % respectivamente. En lo referente a ingresos económicos, el 40 % devengan un salario mínimo, el 28 % de uno a dos y el 13 % entre dos y tres. El núcleo familiar está compuesto en un 34,7 % por tres personas, el 26,7 % por cuatro, y el 17,3 % más de cuatro.

El 57,3% de la población cuenta con un empleo, el 29,3 % son independientes, y el 4 % pensionados, lo que les permite adquirir bienes y servicios para satisfacer necesidades básicas de la familia.

Más del 60 % de las personas encuestadas presentan núcleos familiares con tres personas o más, de esto se concluye que al contar con niños o adolescentes dentro de sus familias, visibilizan la necesidad de tener en un futuro el mismo nivel de disponibilidad de recursos que se presentan actualmente; además el nivel de escolaridad (mínimo bachillerato) conlleva a que se conozca algunos conceptos sobre educación ambiental, consecuencias de la variabilidad climática y agotamiento de los recursos naturales, temas estratégicos que se abordan en la actualidad a nivel global, y en recintos educativos de Colombia.

Importancia de los servicios ambientales. En esta sección de la encuesta, se realizó la descripción de SA a valorar, con el propósito de contextualizar a los encuestados acerca del escenario y objetivo del ejercicio, en este caso en torno al SSP de *A. acuminata* - *C. clandestinus*. Del mismo modo, se hicieron preguntas con el propósito de sondear a la población sobre su percepción de condiciones y degradación en que se encuentra los ecosistemas. En torno a la percepción de la importancia de conservar recursos naturales para el uso y disfrute de futuras generaciones, se encontró que el 100 % de la población encuestada, considera que debe existir una abundante oferta ambiental para el mediano y

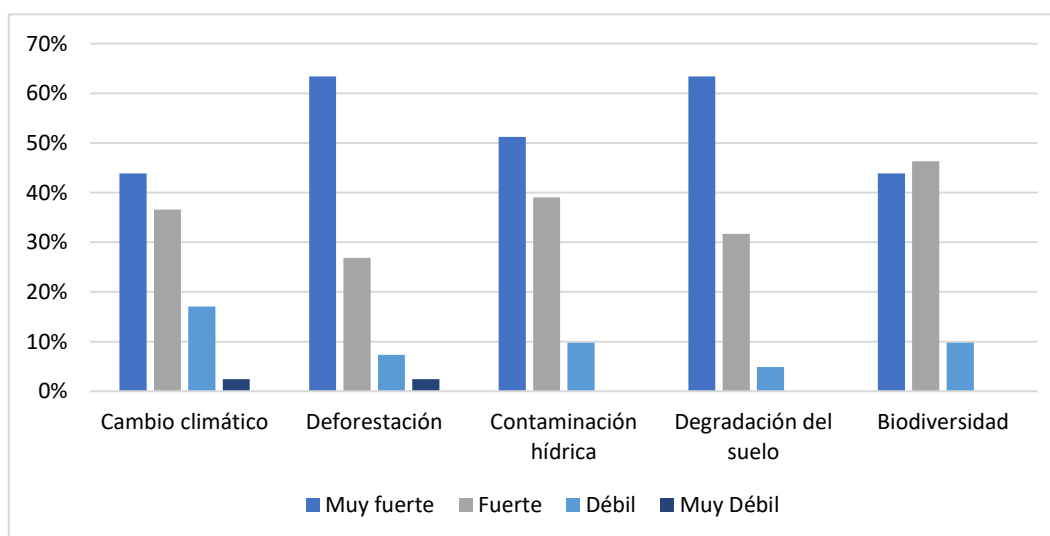
largo plazo, por consiguiente, demuestra que se acepta la importancia del manejo sostenible de recursos naturales para satisfacer necesidades básicas, y su papel en el desarrollo de un entorno saludable para la convivencia.

En el sondeo sobre el conocimiento del impacto negativo de los sistemas productivos ganaderos en los ecosistemas, el 78,7 % de los encuestados manifiestan saber que las labores desarrolladas en la ganadería afectan de forma negativa la calidad y disponibilidad de los recursos naturales, respuestas que confirman la opinión sobre el conocimiento de este tipo de impactos en la explotación ganadera extractiva.

Al indagar sobre el papel de la ganadería en el impacto en diferentes problemas ambientales actuales, que se desencadenan en paisajes agropecuarios y en el entorno general, en la Figura 8 se puede observar que más del 80 % responsabilizan a la ganadería como una de las actividades antropogénicas de mayor impacto negativo en el medio ambiente.

Figura 8

Percepción del Impacto Negativo de la Ganadería y su Influencia en Problemas Ambientales



En ese contexto los recursos bosque afectado por acciones como deforestación, y suelo por acciones degradativas, son relacionados principalmente como los más afectados por la explotación ganadera, asociada comúnmente con expansión de la frontera agropecuaria, ganadería en páramos, tumba, rosa, quema y sobre explotación del recurso suelo.

En la pregunta ¿Sabía usted que al incluir árboles en praderas además de producir alimento para el ganado, se generan SA, que son fundamentales en la mitigación de efectos negativos de actividades del hombre? El 68 % de la ciudadanía reconoció la importancia de coberturas forestales en la regulación del clima, el papel crucial que desempeñan en la recuperación de ecosistemas degradados y el amplio portafolio de SA que están asociados a ellos, que de una u otra forma impactan el entorno en que se desarrollan.

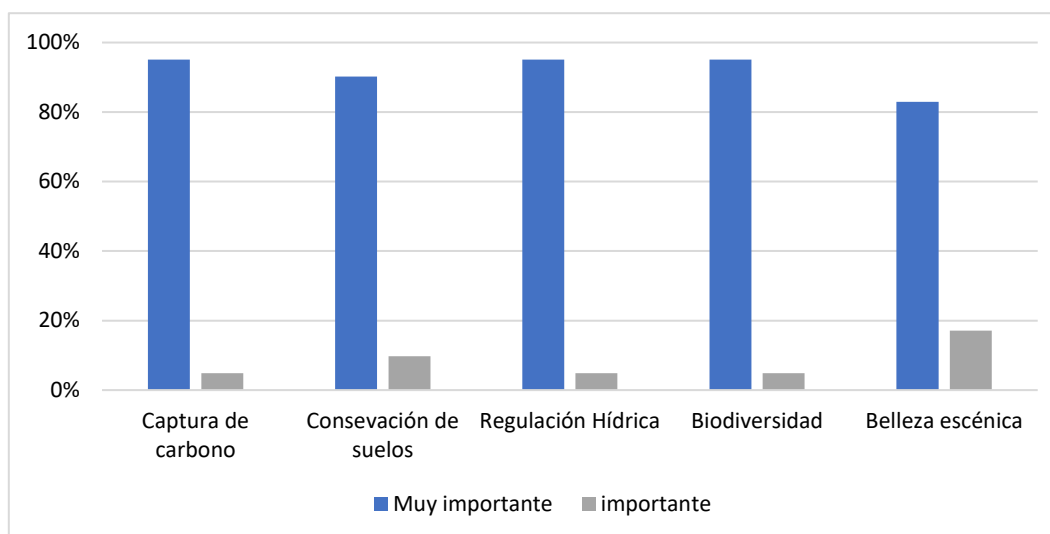
Por esto, al indagar sobre la inclusión de árboles en praderas para el establecimiento de SSP, son considerados como ejes ambientales y elementos dinamizadores de agroecosistemas, por lo cual se debe enmarcar la explotación ganadera bajo conceptos amigables con el medio ambiente.

Al final de esta sección se preguntó si incluir árboles en praderas ofrece una amplia gama de SA, y qué tan importantes son, los consultados perciben que los SA generados en el agroecosistema tienen niveles muy altos de importancia, en una escala de uno a cinco más del 95 % les confieren una calificación de cuatro a cinco a los servicios propuestos, que son parte de servicios de provisión, regulación y soporte (Figura 9).

Figura 9

Percepción de la Importancia de Árboles en 'Generación de Servicios Ambientales

Valoración de pagos por servicios ambientales. En el último apartado del cuestionario, se

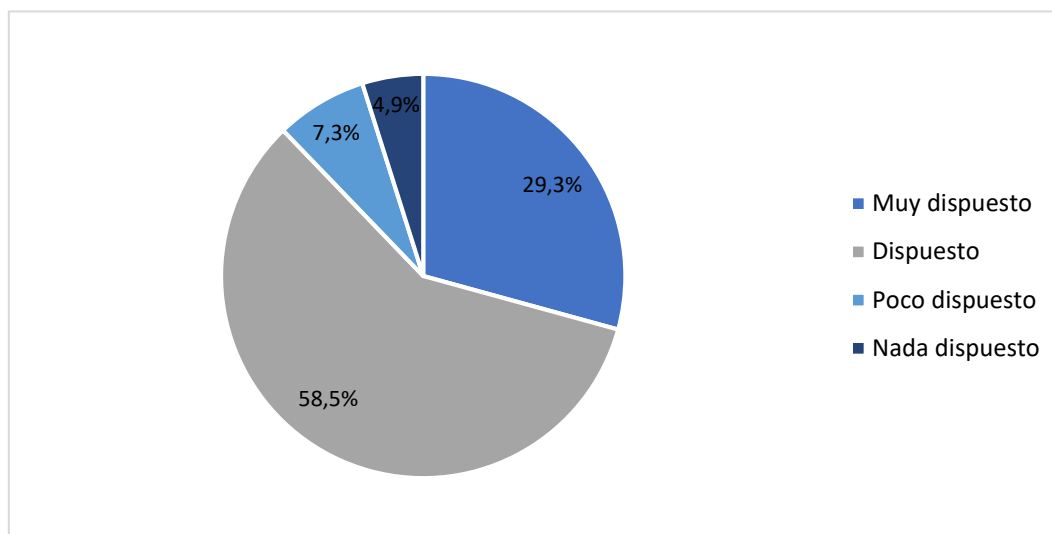


realizó la valoración de SA y se determinó la disposición de la población a pagar un incentivo para recuperar, establecer, conservar coberturas forestales proveedoras de SA en SSP, se preguntó sobre la percepción y disposición a pagar un aporte adicional por cada uno de los SA y el monto económico aproximado del aporte.

Con la pregunta relacionada sobre la disposición a pagar un valor adicional por L de leche de este sistema ganadero, sabiendo que en él se generan SA, como se muestra en la Figura 10, más del 80 % estuvo de acuerdo con la iniciativa, lo que puede motivar un mantenimiento de coberturas forestales existentes en praderas, y aun mediano plazo el incremento de las mismas por parte de productores ganaderos, que pueden prever los SA como un ingreso adicional a los producidos en lechería, y que además les permita usar de manera adecuada la oferta ambiental, como sucede en proyectos ganaderos desarrollados bajo el enfoque de PSA en países como Costa Rica y Nicaragua (Zuluaga *et al.*, 2011).

Figura 10

Disposición a Pagar por Generación de Servicios Ambientales en agroecosistemas

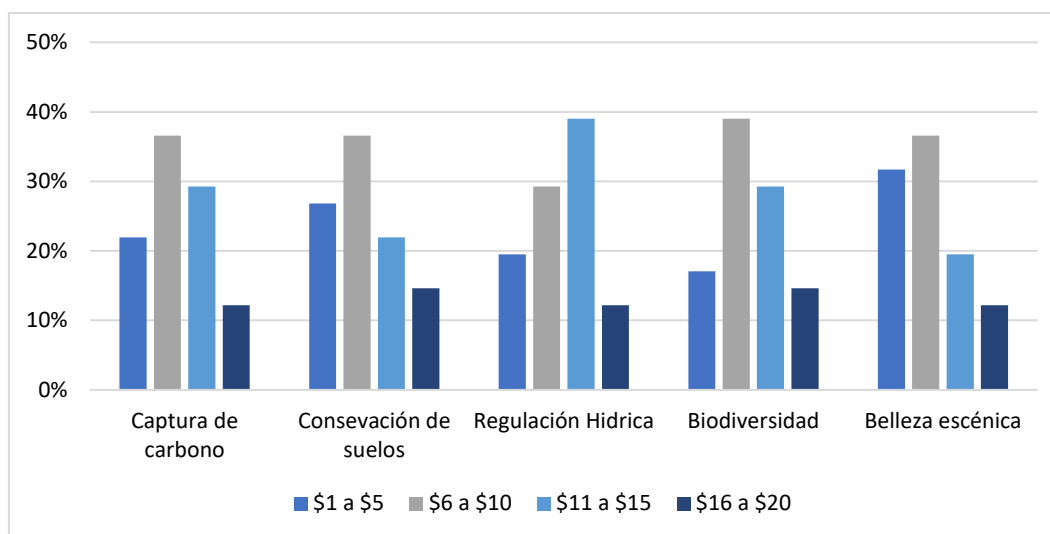


Estos resultados son importantes, debido a que más del 40 % manifiestan tener un ingreso igual o inferior al salario mínimo, por ello al realizar este tipo de aporte monetario demuestra la importancia de conservar la naturaleza, en muchos casos motivados por la variabilidad del clima actual, las sequías, inundaciones que se presentan durante las diferentes épocas del año.

De acuerdo con la respuesta sobre la disposición a pagar un coste adicional por gran parte de la población encuestada, paso seguido se determinó qué aporte estarían dispuestos a realizar dependiendo del SA que según sus conocimientos o intereses consideren más importante; como se muestra en la Figura 11 se observa los diferentes rangos en los que la población aceptaría pagar un coste adicional por cada SA ofertado.

Figura 11

Disposición de consumidores a pagar por servicios ambientales generados en un SSP de la región altoandina de Pasto, Nariño



En referencia a CC, conservación de suelos y belleza escénica el 36,6 % de los consultados están dispuestos a pagar entre seis y \$ 10; por otro lado, el 39 % le prestan mayor atención e importancia al SA regulación hídrica, ya que están dispuestos a pagar por el entre \$ 11 y \$ 15, esto debido a su condición de recurso vital e inherente a labores diarias de las personas, donde se utiliza para alimentación, aseo, labores comerciales y agropecuarias, lo que los lleva a considerar pagar un valor adicional por L de leche, para asegurar la oferta de este recurso.

Finalmente, Biodiversidad registró la disposición a pagar entre seis y \$ 10, el 39 % de los encuestados lo considera un SA relevante, hace 50 años este término no era conocido ni mucho menos importante. Después de la década de los 60, comienza a existir una preocupación global por la desaparición acelerada de ciertas especies y por la degradación de ecosistemas vitales para la vida humana (Instituto Humboldt, 2019).

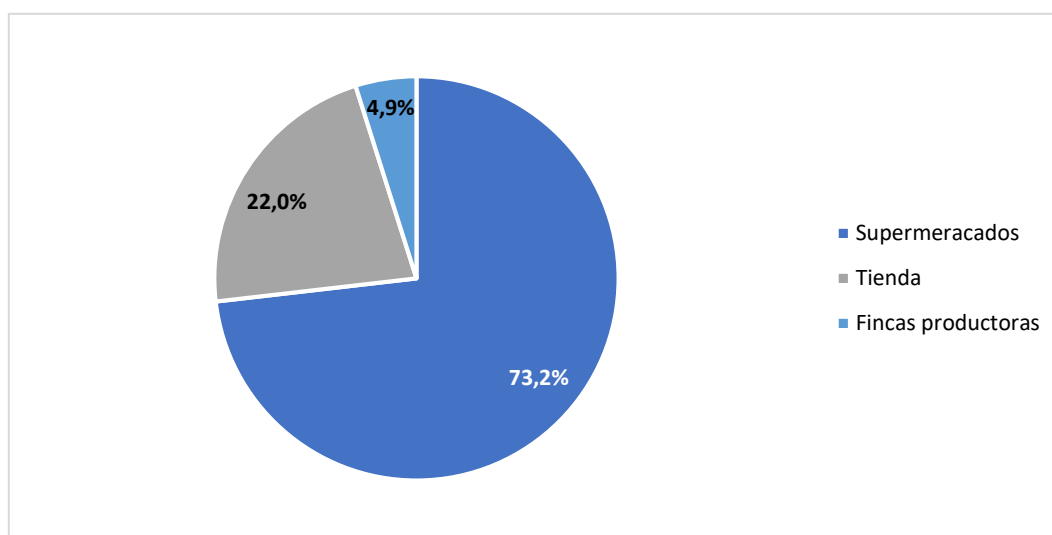
En referencia al SA de CC, el valor ponderado de acuerdo con las respuestas obtenidas se calcula en \$11,27; el de conservación y fertilidad de suelos en \$11, regulación del régimen hídrico en \$12, biodiversidad en \$11,8 y belleza escénica en \$10,3.

Al final de la encuesta, en esta investigación se determinó que un 95,2 % adquieren leche en supermercados y tiendas de barrio (Figura 12), El 48,8 % asumen que la mejor forma de hacer llegar el

incentivo por la generación de SA es a través de la distinción de productos con sellos de producción amigable con el medio ambiente, el 29,3 % a través de asociaciones y un 9,8 % están de acuerdo en utilizar plataformas digitales.

Figura 12

Lugares de Compra de Leche para Consumo de la Ciudadanía del Municipio de Pasto



5.4.4 Disposición a aceptar pago por generación de Servicios ambientales en el arreglo silvopastoril

El incentivar el PSA puede promover la adopción de prácticas de manejo sostenibles en sistemas ganaderos, entre las que se incluyen todas las prácticas y sistemas agroforestales. Lo cual puede influir en la modificación de sistemas tradicionales de explotación ganadera, su evolución hacia diversos SSP y su permanencia en el tiempo.

Este tipo de incentivo, así como la asistencia técnica que reciben los productores, son pilares que pueden incidir en la decisión de agricultores de acceder al establecimiento de coberturas forestales en sus fincas; sumado además a la posible necesidad de generar ingresos económicos adicionales, a

través del reconocimiento de un mercado de valor para los productos generados en el marco de prácticas agropecuarias sostenibles, amigables y generadoras de SA.

En tal sentido, a continuación, se describe resultados referentes a la disposición a aceptar por parte de productores de la lechería especializada del municipio de Pasto.

En la encuesta lechera para Nariño-Putumayo (FEDEGAN, 2021) de los 3773 predios rurales de la ciudad de Pasto, 1892 se dedican a lechería especializada, correspondiente al 49 % del total, con un promedio de 10,1 L leche vaca día⁻¹, para el municipio se relaciona una producción de 98784 L día⁻¹, de los cuales se comercializan 36695 a la industria, se venden 57800 a intermediarios y se utilizan 1290 para consumo. Esta información es relevante para conocer cifras productivas de la cadena láctea del municipio, su potencial para establecimiento de SSP con los cuales se busca mejorar la calidad, cantidad forrajera y generación de SA.

Caracterización socioeconómica productores. De la población consultada, el 50 % se encuentra en un rango de edad entre 31 y 40 años, seguido en forma decreciente por el grupo entre 41 y 50 años con el 25,3 %; el grupo poblacional mayor a 60 años registró menor representatividad en la muestra con el 5,3 %. Más del 70 % presentan como mínimo formación secundaria; los nivel de escolaridad más representativo fueron con 55 % bachillerato y pregrado con 15 %.

El 100 % de los productores consultados hacen parte de alguna asociación, las cuales se encuentran vinculadas a procesos de capacitación, provisión de insumos y nuevas tecnologías para mejorar su sistema productivo, hacerlo de manera sostenible y con menor impacto negativo en el medio ambiente; la asociatividad les ha permitido el manejo con buenas prácticas ganaderas de sus productos y contar con centros de acopio de leche, y venta a empresas mayoristas y cooperativas del departamento de Nariño, con quienes pactan el valor de su leche dependiendo de la calidad.

Con respecto a tenencia predios, más del 80 % son dueños de sus fincas, el 47,91 % cuentan con un área dedicada a ganadería de una a tres ha, el 42,79 entre cuatro a seis, y el 9,30 10 ha. El 88,57 %

realiza fertilización de praderas, de los cuales el 80 % lo hace entre 30 y 90 días. El 44,44 % efectúa fertilización mixta, el 40 % con compuestos químicos, el 11,11 % no fertiliza y el 4,44 % fertilización orgánica.

Sistema ganadero. En cuanto al hato ganadero, el 37,78 % posee entre seis a diez animales; el 22,22 % de 11 a 15, el 15,56 % entre uno a cinco, el 8,89 % de 16 a 20, y el 2,22 % poseen 35, 40 y 60 animales; con respecto al número de animales en ordeño, el 62,22 % tienen entre una y cinco vacas, el 20 % de seis a 10, el 8,89 % 11 a 15, el 4,44 % de 16 a 20 y el 2,7 % 20 a 25, los cuales son suplementados en un 100 % en su alimentación.

La producción de L leche día por animal en un 15,56 % se encuentra en cuatro, el 13,33 % produce 10, el 11,11 % de los animales genera 15, el 8,89 %, nueve y 11 L; por último, el 6,67 % tiene un promedio de seis, 12 y 14 L leche vaca día⁻¹.

Estos productores en sus fincas en un 64,86 % no cuentan con asistencia técnica veterinaria, el 18,92 la tiene ocasionalmente y solo el 16,22 % presenta acompañamiento continuo para sus animales. El 100 % realiza un ordeño manual.

Valoración servicios ambientales. En cuanto a la pregunta ¿Sabía usted que al incluir árboles en praderas además de producir alimento para animales, se generan servicios ambientales, y que estos son fundamentales en la mitigación de los efectos negativos de las actividades del hombre?, el 83,3 % respondió afirmativamente; la vinculación de asociaciones de productores lecheros a proyectos encaminados a sostenibilidad de recursos naturales en sistemas ganaderos, asociado con una mayor competitividad en el sistema.

El contar con actores como Agrosavia, SAGAN y algunos actores locales, les ha permitido conocer que el no contar con unas buenas prácticas ganaderas y ambientalmente sostenibles puede influir en la calidad de su producto, y degradación continua de su oferta ambiental.

En cuanto a la pregunta ¿Conoce fincas donde se usen árboles para alimentación bovina ? Todos los encuestados respondieron sí, y al indagar sobre la presencia de árboles en la finca, el 66,6 % manifestaron contar con bastantes árboles en sus fincas a manera de cercas vivas, cortinas rompevientos, o como árboles dispersos en potreros. El 33,3 % manifestó tener algunos árboles como linderos y separación de lotes, y el 16 % manifestó no contar con especies forestales en sus predios.

De las personas que afirmaron tener árboles en sus fincas, el 16,7 % obtiene forraje para el ganado, el 16,67 los utiliza para cercas, linderos y cortinas sin uso forrajero, el 33,33 % para sombra y protección, y el 33,33 además de sombra y protección también les da un uso forrajero.

Con relación a la pregunta ¿Qué tan dispuesto estaría a aceptar un pago adicional en pesos (\$), por mantener o establecer árboles en praderas o cercas, sabiendo que con ellos se generan servicios ambientales? El 83,3 % estaría muy dispuesto a realizarlo, el 16,7 % estaría dispuesto. Asumen en un 83,3 % que el valor por L de leche que aceptarían para el pago por mantenimiento o incremento de coberturas forestales y generación de servicios ambientales debe ser de \$100, y el 16,7 % \$60, para un valor ponderado de \$ 93 por L, y propondrían a la asociación que integran como plataforma de pago para el coste adicional.

5.4.5 Valor concertado de pago por servicios ambientales en el arreglo silvopastoril

Por último, el valor total de L de leche teniendo en cuenta los valores tanto de disposición a dar, y recibir, se concertó en \$ 68,4; el ingreso mensual dependerá de la producción de cada uno de los sistemas pecuarios en el que se generen los servicios ambientales.

6 Conclusiones

La opacidad de la especie forestal *A. acuminata*, presentó una relación directamente proporcional con el índice de área foliar de la copa, y está ligada a variables dasométricas del dosel como altura, longitud, área y porcentaje de copa.

El 65 % de opacidad del dosel de *A acuminata*, y el tiempo de 45 días entre corte de las pasturas en un arreglo de árboles dispersos asociados a una pradera de kikuyo, mejoró el rendimiento en Forraje verde y materia seca de la pastura y optimizó la composición nutricional de *C. clandestinus*.

Más del 90 % de los consumidores encuestados, están dispuestos a pagar por la generación de servicios ambientales enmarcados en la producción de leche en un sistema silvopastoril; debido a la coyuntura climática global, consideran que los servicios de Regulación del Régimen Hídrico, Captura de Carbono y Biodiversidad son los más importantes y por los cuales están dispuestos a pagar un mayor aporte económico en relación con los demás servicios.

El arreglo silvopastoril de árboles dispersos de *A acuminata* y *C clandestinus* es una opción de producción pecuaria sostenible, que mejora la productividad de la pastura, genera servicios ambientales, y permite la conservación y recuperación de recursos naturales, además, se considera una alternativa de ingresos adicionales, al comercializar servicios ambientales, productos diferenciados por sus prácticas de manejo ecológicas, o productos forestales no maderables.

7 Recomendaciones

Caracterizar el porcentaje de sombra e intensidad luminosa que proyecta el dosel de especies forestales nativas usadas en arreglos silvopastoriles de la región altoandina nariñense.

Evaluar el efecto de la sombra y luminosidad de especies forestales establecidas en arreglos silvopastoriles, sobre diferentes especies forrajeras herbáceas de las cuencas lecheras de la región altoandina nariñense.

Evaluar el efecto de la productividad de la oferta forrajera generada bajo diferentes porcentajes de sombra, sobre la calidad de leche obtenida en los sistemas de lechería especializada de la región altoandina nariñense.

Evaluar las diferentes plataformas de pagos de servicios ambientales y su accesibilidad a productores agropecuarios.

8 Bibliografía

- Abud, M. J., Gaudenti Borra, M. C., Orticochea Dell'Acqua, V., & Puig Ferrés, V. M. (2011). *Evaluación estivo-otoñal de mezclas forrajeras*.
- Agrosavia. (2022). *AlimenTro - Agrosavia*. <https://alimentro.agrosavia.co/Home/Index?ReturnUrl=%2F>
- Aguilar, J. M. E., Solorio-Sánchez, F. J., Hernández-Daumás, S., Huerta-Lwanga, E., & Macario-Mendoza, P. A. (2011). Interacciones radicales y aéreas en la asociación agroforestal cedro-limón-chaya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 441–451.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a9.pdf>
- Aguirre Mendoza, Z. H., Gaona Ochoa, T. G., Granda Moser, V., & Carrión González, J. C. (2019). Sobrevivencia, mortalidad y crecimiento de tres especies forestales plantadas en matorral andino en el sur del Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(3), 325–340.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2310-34692019000300325&script=sci_arttext&tlng=en
- Alarcón, M. A. (2017). *Producción y manejo de forrajes*. Universidad Veracruzana.
<https://www.uv.mx/pozarica/cba/files/2017/09/26-Manual-de-practicas-de-produccion-y-manejo-de-forrajes.pdf>
- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45, 10.
https://www.researchgate.net/publication/325607644_Los_sistemas_silvopastoriles_y_su_contribucion_al_medio_ambiente
- Alonso, J., Febles, G., Ruiz, T., & Achang, G. (2006). Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40, 503–511.

http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7141/Evaluacion_de_disenos_de_sistemas_silvopastoriles.pdf;jsessionid=387CF358B2307A0CABE2F73BA2A657BE?sequence=1

Altieri, M. (1999). Agroecología Bases científicas para una agricultura sustentable. In Norman-Comunidad (Ed.), *Agroecología Bases científicas para una agricultura sustentable* (Vol. 7).

<http://agroeco.org/wp-content/uploads/2010/10/Libro-Agroecologia.pdf>

Andrade, M. (2006). *Evaluación de técnicas de manejo para mejorar la utilización del pasto kikuyo (Pennisetum clandestinum Hochst. Ex Chiov) en la producción de ganado lechero en Costa Rica* [Universidad de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/5871>

Andrade, Segura, M. A., Canal, D. S., Feria, M., Alvarado, J. J., Marín, L. M., Pachón, D., & Gómez, M. J. (2014). The carbon footprint of coffee productive chains in Tolima, Colombia. 53-66 p. M. Oelberman (Ed.). *Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation*. In *Sustainable agroecosystems in climate change mitigation*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-788-2_3

Arango, J., Cardona Naranjo, F., López Herrera, A., Correa Londoño, G., & Echeverri Zuluaga, J. J. (2017). Variación de caracteres morfológicos del pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus*) en el trópico alto de Antioquia. *Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 12(1), 44–52. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.12.1.4>

Arciniegas, S. P., & Flórez, D. F. (2018). Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Ciencia y Agricultura*, 15(2), 107–116. <https://doi.org/10.19053/01228420.v15.2>

Arias, D. (2005). Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. *Revista Forestal Mesoamerica Kurú*, 2(5), pág. 19-32.

- Ariza, C., Mayorga, O., Mojica, B., Parra, D., & Afanador-Tellez, G. (2018). Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 26(1), 44–52. <https://doi.org/10.1177/0967033517746900>
- Atta, K. (1993). Trees and shrubs as secondary components of pasture. *XVII International Grassland Congress*, 2045–2052. <https://doi.org/10.1542/peds.2006-2099>
- Auld, B., Mead, E., & Medd, R. (1992). *Weeds: An Illustrated Botanical Guide to the Weeds of Australia* -. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dKCV3RzS6LwC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Auld,+B.A.+and+Medd+R.W.+1992.+Weeds.+An+illustrated+botanical+guide+to+the+weeds+of+Australia.+&ots=sdRQCCjibJ&sig=DcqYkdtAygEAart5RITQlpZMyoA#v=onepage&q=Auld%2C+B.A.+and+Medd+R.W.>
- Aulestia; Edgar, Jiménez; Leticia, Quizhpe; José, & Capa; Daniel. (2018). *Alnus acuminata* kunth: una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 64–74. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/495>
- Avellaneda, Y. A., & Mancipe, E. A. (2020). Effect of regrowth period on morphological development and chemical composition of kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*) in Colombian ' s highlands. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 15(2), 23–37. <https://doi.org/10.21615/cesmvz.15.2.2>
- Barragán, W., & Cajas, Y. (2019). Cambios bromatológicos y estructurales en *Megathyrus maximus* bajo cuatro arreglos silvopastoriles. *Ciencia Tecnología Agropecuaria*, 20(2), 245–258. https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num2_art1458
- Barragán, W., Mahecha, L., & Cajas, Y. (2015). Variables Fisiológicas-Metabólicas De Estrés Calórico. *Agronomía Mesoamericana*, 26, 211–223. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v26n02_211.pdf
- Becerra, A., Menoyo, E., Lett, I., & Li, C. Y. (2009). *Alnus acuminata* in dual symbiosis with *Frankia* and two different ectomycorrhizal fungi (*Alpova austroalnicola* and *Alpova diplophloeus*) growing in

soilless growth medium. *Symbiosis*, 47(2), 85–92. <https://doi.org/10.1007/BF03182291>

Bernal, R., Gradstein, R., & Celis, M. (2019). *Catálogo de plantas y líquenes de Colombia* (Instituto de Ciencias Naturales (ed.)). Universidad Nacional de Colombia.

<http://catalogoplantasyliquenes.unal.edu.co/es/como-citar/>

Brozek, S., & Wanic, T. (2002). Impact of forest litter of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench, *Alnus viridis* (Chaix) Lam. et DC, *Abies alba* Mill., and *Fagus sylvatica* L. on chosen soil properties. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 5(1).

Calzada, J. M., Enríquez Quiroz, Javier Francisco Hernández Garay, A., Ortega Jiménez, E., & Mendoza-Pedroza, S. I. (2014). Growth analysis of maralfalfa grass (*Pennisetum* sp.) in a warm humid climate. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(2), 247–260.

<http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v5n2/v5n2a9.pdf>

Camargo, A. (2013). *Mecanismos de pago por Servicios Ambientales: Estudio de caso Cerro Bravo, Antioquia* [Escuela De Ingeniería De Antioquia].
https://repository.eia.edu.co/bitstream/handle/11190/1926/CamargoAlejandro_2013_MecanismosPagoServicios.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes, potenciales y alternativas para producir forraje*.

Caro, C., & Torres, M. (2015). Ecosystem Services as support for the Management of socio- ecological systems : application in agroecosystems. *Orinoquía*, 19, 237–252.

<http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v19n2/v19n2a11.pdf>

Carranza, C. A., & Ledesma, M. (2009). Bases para el manejo de sistemas silvopastoriles. *XIII Congreso Forestal Mundial*, 9. <https://docer.com.ar/doc/e5n58v>

Carulla, J., & Ortega, E. (2016). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades.

Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 24(2), 83–87.

https://www.researchgate.net/publication/317017699_Sistemas_de_produccion_lechera_en_Colombia_Retos_y_oportunidades

Castaño, K., Chará, J., Giraldo, C., & Calle, Z. (2019). *Manejo integrado de insectos herbívoros en sistemas ganaderos sostenibles* (CIPAV (ed.); 1st ed.). https://cipav.org.co/sdm_downloads/manejo-integrado-insectos-herbivoros-sistemas-ganaderos-sostenibles/

Castro, E., Cardona, J. L., Hernández, F., Avellaneda, Y., & Valenzuela, M. (2019). Evaluation of three *Lolium perenne* L. cultivars with dairy cows, in the high tropic of Nariño-Colombia. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 161–170. <https://doi.org/http://orcid.org/0000-0001-9841-8242>

Catie. (1986). *Sistemas Agroforestales: Principios y Aplicaciones en los Trópicos*.

Chemisquy, A., Giussani, L., Scataglini, M. A., Kellogg, E. A., Morrone, O., Prieto, A. M., Corredor Sanchez, G., Jesús, J. De, Martínez, V., Milena, A., Alarcón, S., Augusto, E., El, A. Y., Molina, M., Arango Gaviria, J., Echeverri Zuluaga, J., López Herrera, A., Jiménez, F., Muschler, R., ... Ibrahim, M. (2018). Competencia por luz en sistemas silvopastoriles. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 18(2), 21–23. <https://doi.org/10.22463/0122820x.1834>

Clavero, T., & Suárez, J. (2006). Limitations in the adoption of silvopastoral systems in Latin America. *Pastos y Forrajes*, 29(3), 307–317. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121691008>

CONAFOR. (2015). *Alnus acuminata* H.B.K. 12.

[http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/882Alnus acuminata.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/882Alnus%20acuminata.pdf)

Coomes, D. A., & Allen, R. B. (2007). Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, 95(5), 1084–1097. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2007.01280.x>

Córdoba, E., & Hernández, S. (2003). Competencia por luz en sistemas silvopastoriles. *Revista*

Ecofronteras, 18, 21–23.

https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/938/1/0000294191_documento.pdf

Correa, J., Pabón, R., & Carulla, F. (2008). Nutritional value of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov.) for milk production in Colombia: A review. I. Chemical composition, ruminal and posruminal digestibility. *Livestock Research for Rural Development*, 20.

<https://lrrd.cipav.org.co/lrrd20/4/corra20059.htm>

Cristeche, E., & Penna, J. (2008). Métodos de valoración económica de los servicios ambientales. *INTA*, 3, 58. <https://observatorioambiental.contraloria.gov.co/Shared Documents/2 Sesión - 16 de julio 2019/LECTURAS/1. METODOS DE VALORACION/CRISTECHE 2008 Metodos de VEA.pdf>

CVC. (2022, January 22). *El Fenómeno de La Niña persistirá hasta casi la mitad del año*.

<https://www.cvc.gov.co/boletin-prensa-007-2022>

Cyamweshi, A. R., Kuyah, S., Mukuralinda, A., & Muthuri, C. W. (2021). Potential of *Alnus acuminata* based agroforestry for carbon sequestration and other ecosystem services in Rwanda. *Agroforestry Systems*, 1–11.

DANE. (2019). Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA). In *Boletín Técnico* (Issue 1).

<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuaria/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>

De Gracia, M. (2015). *Guía para el análisis bromatológico de muestras de forrajes*. <https://msdegraciag-ciencianimal.com/Folleto de Laboratorio.pdf>

Del Pozo, P. (2019). Los sistemas Silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: Experiencias de su aplicación en Cuba. *Cuadernos de Agroecología*, 14.

<http://cadernos.aba-agroecologia.org.br/index.php/cadernos/article/view/2539>

Díaz, A. (2019). *Identificación, aspectos morfológicos y fenológicos de las especies forestales nativas en el valle de Cajamarca* [Universidad de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/493>

Díaz, G., Lencinas, J. D., & Del Valle, H. (2014). Introducción a la fotografía hemisférica en ciencias forestales. *Madera y Bosques*, 20(1), 109–117. <https://doi.org/10.21829/myb.2014.201180>

Dietl, W., Fernández, F., & Venegas, C. (2009). *su flora y vegetación Manejo sostenible de Praderas*, (I. de I. Agropecuarias (ed.)). <http://www.lrrd.org/lrrd19/7/mahe19094.htm>

Enslin, A., Rutten, G., Pommer, U., Zimmermann, R., Hemp, A., & Fischer, M. (2015). Effects of elevation and land use on the biomass of trees, shrubs and herbs at Mount Kilimanjaro. *Ecosphere*, 6(3), 1–15. <https://doi.org/10.1890/ES14-00492.1>

Escobar, L. D., Guatusmal-Gelpud, C., Meneses-Buitrago, D. H., Cardona-Iglesias, J. L., & Castro-Rincón, E. (2019). Evaluation of arboreal and shrub strata in a silvopastoral system in Colombian high Andean tropics. *Agronomy Mesoamerican*, 30(3), 803–819. <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35645>

Escobar, L., & Erazo, C. (2006). Valoración económica de los servicios ambientales del Bosque de Yotoco : Una estimación comparativa de valoración contingente y coste de viaje. *Gestión y Ambiente*, 9, 15. <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169421183002.pdf>

Escobar, M. (2018). *Efecto de la madurez del pasto Kikuyo (Cenchrus clandestinus Hochst. ex Chiov.) sobre la producción de biomasa y la composición nutricional en diferentes altitudes de la provincia de Ubaté* [Universidad Nacional de Colombia]. <http://bdigital.unal.edu.co/70587/1/1020742060201811.pdf>

Escobar, M., Navas, A., Medina, C., Corrales, J., Tenjo, A., & Borrás, L. (2020). Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico

alto colombiano. *Livestock Research for Rural Development*, 32(April), 23.

[https://www.researchgate.net/profile/Claudia-Medina-](https://www.researchgate.net/profile/Claudia-Medina-10/publication/340998749_Efecto_de_practicas_agroecologicas_sobre_caracteristicas_del_suelo_en_un_sistema_de_lecheria_especializada_del_tropico_alto_colombiano/links/5ea91120a6fdcc705097830a/Efecto-de-pr)

[10/publication/340998749_Efecto_de_practicas_agroecologicas_sobre_caracteristicas_del_suelo_en_un_sistema_de_lecheria_especializada_del_tropico_alto_colombiano/links/5ea91120a6fdcc705097830a/Efecto-de-pr](https://www.researchgate.net/profile/Claudia-Medina-10/publication/340998749_Efecto_de_practicas_agroecologicas_sobre_caracteristicas_del_suelo_en_un_sistema_de_lecheria_especializada_del_tropico_alto_colombiano/links/5ea91120a6fdcc705097830a/Efecto-de-pr)

Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. (2005). *Los ecosistemas y el bienestar humano: humedales y agua. informe de síntesis*.

<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>

FAO. (2001). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. In *FAO*. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>

FAO. (2010). *Informe de Política 8. Pago por Servicios Ambientales*.

<http://www.fao.org/3/az124s/az124s.pdf>

Farfán, F. (2014). *Agroforestería y sistemas agroforestales con café*. Cenicafé.

[https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforestería_y_sistemas_agroforestales_con_café.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/Agroforesteria_y_sistemas_agroforestales_con_cafe.pdf)

FEDEGAN. (2018). Cifras de referencia del sector ganadero colombiano. *Fedegan*, 49.

<https://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>

FEDEGAN. (2021). *Encuesta de Leche (Producción Diaria) - Departamento de Nariño - Año 2021*.

<https://www.fedegan.org.co/estadisticas/estadisticas>

Fernandez, A. (2017). *Producción de carne y leche bovina en sistemas silvopastoriles* (Ediciones INTA (ed.); 1st ed.).

https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/7668/INTA_CRBsAsSur_EEABorde

nave_FernandezMayer_A_Produccion_de_carne_y_leche_bovina_en_sistemas_silvopastoriles.pdf
?sequence=1&isAllowed=y

Foss. (2018). El análisis de la fibra en el pienso animal. *Analytics beyond Measure*, 32.

https://www.google.com/search?q=Fibra+detergente+acido+pdf+&sxsrf=AOaemvL_PqsohF0RJHTuBO_AnTPhrkwvyQ%3A1635828336824&source=hp&ei=cMKAYZK7MlyCwbkPiOCRAk&iflsig=ALs-wAMAAAAAYDQgF9rBhgppEslmNWsSg5KpAUluu8l&oq=Fibra+detergente+acido+pdf+&gs_lcp=Cgnd3Mtd2l

Franco, L. H., Calero, D., & Durán, C. V. (2005). Manejo y utilización de forrajes tropicales multipropósito.

In *Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira*.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/5052/1/9789584411754.pdf>

Fraser, D., Sharp, P., Ahmad, N., Morris, B., & Trethowan, R. (2017). Abiotic stress tolerance of kikuyu

(*Cenchrus clandestinus*) and some related grasses and potential of kikuyu for agricultural and

urban environments. *Crop and Pasture Science*, 68(3), 285–296. <https://doi.org/10.1071/CP15380>

Gabbarini, L. A. (2016). *Interacciones tempranas y señales de reconocimiento en la simbiosis entre*

Frankia y plantas actinorrhizas [Universidad Nacional de Quilmes].

<https://doi.org/10.1201/9781420039887.ch2>

García, L. (2003). Plant-plant interactions in tropical agriculture. *Tropical Agroecosystems*, 11–58.

[https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781420039887-5/plant-plant-](https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781420039887-5/plant-plant-interactions-tropical-agriculture-john-vandermeer)

[interactions-tropical-agriculture-john-vandermeer](https://www.taylorfrancis.com/chapters/mono/10.1201/9781420039887-5/plant-plant-interactions-tropical-agriculture-john-vandermeer)

Garcia, R., Couto, L., Andrade, C., & Tsukamoto Filho, A. (2003). Sistemas Silvopastoris na região Sudeste:

A Experiência da CMM. *Seminário de Sistemas Agroflorestais e Desenvolvimento Sustentável:*

Opção de Sustentabilidade Para Áreas Tropicais e Subtropicais, 173–187.

- Gherbin, P., De Franchi, A. S., Monteleone, M., & Rivelli, A. R. (2007). Adaptability and productivity of some warm-season pasture species in a Mediterranean environment. *Grass and Forage Science*, 62(1), 78–86. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2007.00566.x>
- Giraldo, L., & Bolívar, D. (1999). *Evaluación de un Sistema Silvopastoril de Acacia decurrens Asociada con Pasto kikuyo Pennisetum clandestinum, en Clima Frío de Colombia para la investigación y desarrollo de sistemas silvopastoriles*. [http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6692/1/20061127115335_Sistema silvopastoril acacia decurrens y kikuyo.pdf](http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6692/1/20061127115335_Sistema%20silvopastoril%20acacia%20decurrens%20y%20kikuyo.pdf)
- Giraldo, L. P., Chará, J., Zúñiga, M. del C., Pedraza, G. X., & Chará-Serna, A. M. (2011). Efectos de los corredores ribereños sobre características bióticas y abióticas de quebradas ganaderas en la cuenca del río La Vieja, Colombia. In Congreso Colombiana de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica (Ed.), *La restauración ecológica en la práctica: Memorias I Congreso Colombiana de Restauración Ecológica y II Simposio Nacional de Experiencias en Restauración Ecológica*. Santafé de Bogotá (pp. 583–591).
- Hernández, M., & Guenni, O. (2008). Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Tropical*, 26(4), 439–453. https://www.researchgate.net/publication/262782799_Produccion_de_biomasa_y_calidad_nutricional_del_estrato_graminoide_en_un_sistema_silvopastoril_dominado_por_saman_Samanea_saman_Jacq_Merr
- Holdridge, L. R. (1978). Ecología basadas en zonas de vida. In IICA (Ed.), *Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas IICA*. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- Holmann, F. J., Rivas, L., Carulla, J. E., Giraldo, L. A., Guzman, S., Martinez, M., Rivera, B., Medina, A.,

- Farrow, A., Rivas Rios, L., Carulla, J. E., Giraldo, L. A., Guzmán Pérez, S., Martínez, M., Rivera, B., Medina, A., & Farrow, A. (2003). Evolución de los Sistemas de Producción de Leche en el Trópico Latinoamericano y su interrelación con los Mercados: Un Análisis del Caso Colombiano. *Carta Fedegan (Colombia)*, 0986, (78):51-62. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/88920>
- Humphreys, L. (1994). *Tropical pastures: their role in sustainable agriculture* (p. 430). Longman Scientific and Technical/John Wiley and Sons, Inc., New York, USA.
- <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19946798549>
- ICA. (2021). *Censo Pecuario Nacional*. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018>
- ICRAF. (2003). *Centro Mundial de Agroforestería (ICRAF)*. <http://outputs.worldagroforestry.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=34638>
- IDEAM. (2018). *Promedios Mensuales De Brillo Solar Para Todas Las Estaciones Del País (Horas De Sol Al Día)*. 1. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM. (2020). Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)*, 1. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM. (2022a, March 2). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- IDEAM. (2022b, March 22). *Tiempo y Clima*. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/tiempo-clima>
- IGAC. (2004). Estudio General De Suelos Y Zonificación De Tierras Departamento De Nariño. In *Lo Floc* (Vol. 0, Issue 65).
- https://www.academia.edu/38164592/Estudio_General_de_suelos_y_zonificación_de_tierras_del

_departamento_de_Nariño

IGAC. (2014). *Instructivo Códigos para los levantamientos de suelos*. 92.

<http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/I40100-06-14.V1Codigos para los levantamientos de suelos.pdf>

IICA. (2016). *Establecimiento y uso de Sistemas Silvopastoriles en República Dominicana*. 35.

<file:///C:/Users/luisd/Downloads/BVE17068935e.pdf>

Instituto Humboldt. (2019). *La biodiversidad y los servicios ecosistémicos*. Instituto Humboldt.

<http://www.humboldt.org.co/es/biodiversidad/que-es-la-biodiversidad>

Insuasty, E. (2011). *Efecto del arreglo silvopastoril aliso (Alnus acuminata kunth) y kikuyo (Pennisetum clandestinum H.) sobre el comportamiento productivo en novillas Holstein en el Altiplano del departamento de Nariño* (Issue 9) [Universidad de Nariño].

<http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/bibliotecavirtual/viewer.aspx?&var=84683>

Insuasty, E., Apráez, E., & Navia, F. (2011). Efecto del arreglo silvopastoril aliso (*Alnus acuminata* K.) y kikuyo (*Pennisetum clandestinum* H.) sobre el comportamiento productivo en novillas Holstein en el altiplano del departamento de Nariño. *Agroforestería Neotropical*, 1(1), 36.

<http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/13/13>

Jose, S., Gillespie, A. R., Seifert, J. R., & Biehle, D. J. (2000). Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA; 2. Competition for water. *Agroforestry Systems*, 48(1), 41–59. <https://doi.org/10.1023/A:1006289322392>

Khumalo, T. P. (2015). *Genetic identification of Kikuyo Grass (Pennisetum clandestinum) cultivars by RAPS and ISSR techniques* [University Of Kwazulu-Natal]. [https://ukzn-](https://ukzn-dspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/12589/Khumalo_Thobeka_Philile_2015.pdf?sequence)

[dspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/12589/Khumalo_Thobeka_Philile_2015.pdf?sequence](https://ukzn-dspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/12589/Khumalo_Thobeka_Philile_2015.pdf?sequence)

=1&isAllowed=y

Lopes Ramos de Oliveira, F., Cabacinha, C. D., Santos, L. D. T., Barroso, D. G., Santos, A. dos, Brant, M. C., & Sampaio, R. A. (2015). Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. *Cerne*, 21, 227–233.
<https://doi.org/10.1590/01047760201521021489>

Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 16, 11–18.
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323847>

Mantilla, D., & Ramírez, N. (2015). *Efecto de la intensidad lumínica y precipitación sobre el crecimiento del pasto Brachiaria brizantha cv. Toledo en piedemonte llanero* [Universidad de La Salle].
<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1203&context=zootecnia>

Martín, B., & Montes, C. (2010). Funciones y servicios de los ecosistemas: una herramienta para la gestión de los espacios naturales. *Guía Científica de Urdaibai. UNESCO*, 21.
<http://www.ecomilenio.es/wp-content/uploads/2010/10/Funciones-y-servicios-de-los-ecosistemas.pdf>

Mears, P. T. (1970). Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) as a pasture grass. *Tropical Grasslands*, 4(2), 139.
[https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Historic/Tropical Grasslands Journal archive/titles only/early vol pdfs/Vol 4 No 2/Vol 4%5B2%5D 3 Mears 139-152.pdf](https://www.tropicalgrasslands.info/public/journals/4/Historic/Tropical%20Grasslands%20Journal%20archive/titles%20only/early%20vol%20pdfs/Vol%204%20No%202/Vol%204%20No%202%20Mears%20139-152.pdf)

Medina, M., Velásquez Restrepo, J. O., & Pinzón Sarmiento, L. M. (2012). Aliso en Simbiosis Dual con Frankia y Endomicorrizas y Respuesta a Boro en un Andisol Alder in Dual Symbiosis with Frankia and Endomycorrhizae and Response at Boron in an Andisol. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 65(1), 6467–6476. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a17.pdf>

- Mejía, M. G. (1990). Fenología: Fundamentos y métodos. In *Semillas Forestales Tropicales* (pp. 65–79).
- Mendiburu, F. (2021). *Package ‘agricolae.’* <https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/agricolae.pdf>
- Mendieta, M., & Rocha, L. R. (2007). *Sistemas agroforestales* (Universidad Nacional Agraria (ed.)). Universidad Nacional Agraria.
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf
- Mendoza, Y. (2018). *Árboles dispersos para el diseño de tecnologías silvopastoriles en ranchos ganaderos de la Huasteca Potosina* [Chapingo].
<http://repositorio.chapingo.edu.mx:8080/bitstream/handle/20.500.12098/546/mcads-moyc-18.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Merchant, I., & Solano, J. J. (2016). Las praderas, sus asociaciones y características : una revisión. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 2(1), 1–11.
<http://revistas.uaem.mx/index.php/agricolaypecuaria/article/view/73>
- Ministerio de Agricultura y desarrollo Rural de Colombia. (2012). Agroforestería : una opción para la sustentabilidad agropecuaria. *Boletín Bimensual Insumos y Factores Asociados a La Producción Agropecuaria*, 1–3.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_diciembre_2012.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Normativa de PSA - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://www.minambiente.gov.co/negocios-verdes/normativa-de-psa/>
- Mitchell, R., & Carson, R. (2013). *Using surveys to value public goods the contingent valuation method*. Prensa Rff. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315060569>

- Mojica, J., Castro, E., León, J., Cárdenas, E., Pabón, M., & Carulla, J. (2009). Efecto de la oferta de pasto kikuyo y ensilaje de avena sobre la producción y calidad composicional de la leche bovina. *Ciencia y Tecnología Agorpecuaria*, 10(1), 81–90. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945026008>
- Molina Genera, M. R. (2018). *Altura de defoliación y recuperación de la pastura Kikuyo (Cenchrus clandestinus) en la provincia de Ubaté* [Universidad Nacional de Colombia]. <http://bdigital.unal.edu.co/70587/1/1020742060201811.pdf>
- Molina, M., Medina S., M., & Orozco, H. (2006). El efecto de la interacción Frankia - micorrizas - micronutrientes en el establecimiento de árboles Aliso (*Alnus acuminata*) en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 19, 39–48. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v65n1/v65n1a17.pdf>
- Montagnini, F., Fanzeres, A., & Guimaraes da Vinga, S. (1994). Studies on ecological restoration in forests of the Atlantic coast of Bahia, Brazil. *Yvyrareta*, 5(5), 9–23. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=GREYLIT.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=012742>
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibi, B. (2015). *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (CIPAV (ed.); 1st ed.). <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7124>
- Morán, Y., Portillo, M., Burbano, H., Vélez, J., Ruiz, H., & Navia, J. (2012). Efecto de la incorporación de hojarasca de especies arbóreas sobre el CO₂, pH y Fósforo en un suelo Vitric Haplustand. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 29(2), 16–25. <http://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/453>
- Mottet, A., de Haan, C., Falcucci, A., Tempio, G., Opio, C., & Gerber, P. (2017). Livestock: On our plates or

eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security*, 14(January), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>

Muñoz, D., Navia, J. F., & Solarte, J. G. (2018). El conocimiento local en los sistemas Silvopastoriles tradicionales: Experiencias de investigación en la región andina. In Universidad de Nariño (Ed.), *El conocimiento local en los sistemas Silvopastoriles tradicionales: Experiencias de investigación en la región andina*. <https://doi.org/10.22267/lib.udn.003>

Murgueitio, E., Barahona Rosales, R., Flores Estrada, M. X., Chará Orozco, J. D., & Rivera Herrera, J. E. (2016). Es Posible Enfrentar el Cambio Climático y Producir más Leche y Carne con Sistemas Silvopastoriles Intensivos. *Ceiba*, 54(1), 23–30. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v54i1.2774>

Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654–1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>

Murgueitio, E., Solarte, A., Uribe, F., Zapata, C., & Rivera, J. (2013). Agroforestería Pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26, 313–316. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324845>

Nahed-Toral, J., Sanchez-Muñoz, B., Mena, Y., Ruiz-Rojas, J., Aguilar-Jimenez, R., Castel, J. M., De Asis Ruiz, F., Orantes-Zebadua, M., Manzur-Cruz, A., Cruz-Lopez, J., & Delgadillo-Puga, C. (2013). Feasibility of converting agrosilvopastoral systems of dairy cattle to the organic production model in southeastern Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 43(February 2021), 136–145. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.019>

Nair, P. K. R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 3, 97–128.

<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00122638>

Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, 19, 10.

<http://www.scielo.org.co/pdf/rmv/n19/n19a10.pdf>

Navas, A., Aragón Henao, L. F., & Triana Valenzuela, J. F. (2020). Efecto del componente arbóreo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutricional de una pradera mixta en trópico alto. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(41), 71–82. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss41.7>

Noreña, J. M. (2009). Metodologías para la evaluación de praderas de kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hochst. Ex chiov. *Despertar Lechero*, 31, 20–33.

http://temaspastos.weebly.com/uploads/8/7/6/0/8760901/rehabilitacion_de_praderas_degradadas_de_kikuyo_con_equipos_de_labranza_vertical_ok.pdf

Obispo, N., Espinoza, Y., Gil, J., Ovalles, F., Cabrera, E., & Pérez, M. (2013). Relación de la sombra en el potrero con el rendimiento, calidad del forraje y ganancia diaria de peso en novillos. *Revista Científica*, 23(6), 531–536. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/37931>

Ospina, C., Hernandez, R., Gomez, D., Godoy, J., Aristizabal, F., Patiño, J., & Medina, J. (2005). El Aliso o Cerezo. In *Colombia* (Vol. 1). <https://www.cenicafe.org/es/publications/aliso.pdf>

Paniagua-Zambrana, N. Y., Bussmann, R. W., & Romero, C. (2020). *Alnus acuminata* Kunth B etulaceae. *Ethnobotany of the Andes*, 171–175. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-28933-1_16.pdf

Pedroza, E., & Pérez, Y. (2020). *Estructuración de una propuesta de pago por servicios ambientales en el páramo el Verjón, Bogotá-Colombia* (Vol. 21, Issue 1) [Universidad Cooperativa de Colombia]. https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/20169/2/2020_Servicios_Ambientales_Verj

ón.pdf

Pérez, G., Domínguez, M., Martínez, P., & Etchevers, J. (2012). Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera Bosques*, 18(1), 7–24.

<https://doi.org/10.21829/myb.2012.181511>

Pérez, Y., Reyes, R., & Ríos, C. (2017). Variables dasométricas relacionadas con la productividad de *Acacia mangium* Willd. *Revista Centro Agrícola*, 44(2), 14–21.

<http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-44-2017/numero-2-2017/897-variables-dasometricas-relacionadas-con-la-productividad-de-acacia-mangium-willd>

Peri, P. L., Moot, D. J., & McNeil, D. L. (2005). Modelling photosynthetic efficiency (α) for the light-response curve of cocksfoot leaves grown under temperate field conditions. *European Journal of Agronomy*, 22(3), 277–292. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.04.002>

Pezo, D., & Ibrahim, M. (1998). Sistemas silvopastoriles: Módulo de Enseñanza Agroforestal No. 2. In *Catie, Gtz.*

http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4024/Sistemas_silvopastoriles.pdf;jsessionid=DDC42CBA38E04A49841DC3598AD962C0?sequence=1

Pinilla-Suárez, J. C. (2009). Modelos de crecimiento para *Eucalyptus globulus* en monte bajo entre las regiones de Valparaíso y los Lagos. *Ciencia & Investigación Forestal*, 15(2), 207–234.

<https://doi.org/10.52904/0718-4646.2009.323>

Pizzio, R., Bendersky, D., Barbera, P., & Maidana, E. (2021). *Caracterización y manejo de los pastizales del centro de La Pampa* (I. E. E. A. Mercedes (ed.)).

<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/8899>

Portillo, P. A., Meneses, D. H., Morales, S. P., Cadena, M., & Castro, E. (2019). Evaluación y selección de

especies forrajeras de gramíneas y leguminosas en Nariño , Colombia Evaluation and selection of forage grass and legume species in Nariño , Colombia. *Pastos y Forrajes*, 42(2), 93–103.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000200093

Promis, A., & Cruz, G. (2009). Fotografías Hemisféricas : un método para estimar estructuras del dosel arbóreo e iluminación en el interior del bosque. *Revista Bosque Nativo*, 44(Agosto 2014), 12–15.
https://www.researchgate.net/publication/236798313_Fotografias_Hemisfericas_un_metodo_para_estimar_structuras_del_dosel_arboreo_e_iluminacion_en_el_interior_del_bosque

R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. <https://www.r-project.org/>.

Ramírez, R., Lara Bueno, A., Uribe Gómez, M., Cruz León, A., Rodríguez Trejo, D. A., & Valencia Trejo, G. M. (2020). Comportamiento forrajero del estrato herbáceo en diferentes densidades arbóreas de selva baja caducifolia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 881–893.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2467>

Rivera, J. E., Molina, I., Chará, J., Murgueitio, E., & Barahona, R. (2017). Intensive silvopastoral systems with *Leucaena leucocephala*(Lam.) de Wit: productive alternative in the tropic in view of the climate change. *Pastos y Forrajes*, 40(3), 159–170.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03942017000300001&lng=es&nrm=iso&tlng=en

Rodríguez, M., & Barrera, D. (2007). *Evaluación de variables de establecimiento de ssp de sombra y ramoneo con Acacia decurrens, Acacia melanoxylon), y Alnus acuminata, en bosque seco montano bajo y su efecto sobre el suelo y la calidad de la pastura*. 177.
<https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/171>

- Romahn-Hernández, L. F., Rodríguez-Trejo, D. A., Villanueva-Morales, A., Monterroso-Rivas, A. I., & Pérez-Hernández, M. de J. (2020). Rango altitudinal: factor de vigor forestal y determinante en la regeneración natural del oyamel. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 8(22). <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.72751>
- Romero, L. (2008). Pasturas templadas y tropicales. *XXI Curso Internacional de Lechería Ara Profesionales de América Latina*, 20, 37–60.
- Rúa, M. (2010). ¿Cómo aforar un potrero para pastorear correctamente? *Sitio Argentino de Producción Animal*, 1–18. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo_sistemas/139-AFORAR_POTRERO.pdf
- Sanchez, B. (2021). Efecto del sistema silvopastoril con *Alnus acuminata* en el valor agronómico y nutricional del *Pennisetum clandestinum*. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(3), 09. <https://doi.org/10.25127/ucni.v3i3.630>
- Sánchez, L., Amado, G. M., Criollo Campos, P. J., Carvajal Salcedo, T., Roa Triana, J., Cuesta Peralta, A., Conde Pulgarín, A., Umaña Arboleda, A., Bernal, L. M., & Barreto de Escobar, L. (2009). *El Aliso (Alnus acuminata H.B.K.) Como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano* (1st ed.). https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13489/44241_56519.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sanchez, L., & Villaneda, E. (2009). Renovación y manejo de praderas de leche especializada en el trópico alto colombiano. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 1–24. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12867>
- Sandoya, V., Saura-Mas, S., Granzow-de la Cerda, I., Arellano, G., Macía, M. J., Tello, J. S., & Lloret, F.

(2021). Contribution of species abundance and frequency to aboveground forest biomass along an Andean elevation gradient. *Forest Ecology and Management*, 479, 118549.

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118549>

Santana, M. O., & Díaz, C. A. (1999). Metodologías de evaluación de pasturas. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 48–56.

<https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/35618/METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE PASTURAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sarria, P., Builes, A., Restrepo, C., & Murgueitio, E. (2008). Evaluación de la producción y calidad de kikuyo *Pennisetum clandestinum* asociado con árboles de aliso *Alnus acuminata* en los Andes Centrales, Antioquia. *El Libro: Ganadería Del Futuro (Investigación Para El Desarrollo). Capítulo*, 17.

<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/19105?locale-attribute=es>

Secretaría de Agricultura Y Desarrollo Rural De Nariño. (2017). *Consolidado Agropecuario de Nariño 2017*.

Silicuana, N., Ponce, S. V., Vargas, G., & Miranda, R. (2018). Evaluación de la fertilidad del suelo en parcelas con dos diferentes manejos de hacer agricultura (sistema agroforestal sucesional y sistema convencional) en zona semiarida en la provincia Tapacarí - Cochabamba. *Apthapi*, 4(1), 962–970. <http://www.ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/195>

Silva, A., Garay, S., & Gómez, A. (2017). Impacto de *Alnus acuminata* Kunth en los flujos de N₂O y calidad del pasto *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. *Colombia Forestal*, 21(1), 47–57.

<https://doi.org/10.14483/2256201X.11629>

Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Naciones Unidas.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1

Vallejo, A., & Zapata, F. (2020, January). *Kikuyo - Pennisetum clandestinum Hochst. ex Chiov. - Forestal Maderero*. DFM Directorio Forestal Maderero.

<https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/kikuyo-pennisetum-clandestinum-hochst-ex-chiov.html>

Vallejo, V. E., Arbeli, Z., Terán, W., Lorenz, N., Dick, R. P., & Roldan, F. (2012). Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 150, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.022>

Vargas, J., Pabón, M., & Carulla, J. (2014). Producción de metano in vitro en mezcla de gramíneas-leguminosas del tropico alto colombiano. *Archivos de Zootecnia*, 63, 397–407.
<https://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v63n243/articulo1.pdf>

Vargas, J., Sierra, A., Mancipe, E., & Avellaneda, Y. (2018). Kikuyu, present grass in ruminant production systems in tropic Colombian highlands. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 13(2), 137–156.
<https://doi.org/10.21615/4558>

Vílchez, B., Chazdon, R., & Redondo Brenes, Á. (2004). Fenología reproductiva de cinco especies forestales del Bosque Secundario Tropical. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(2), 1–10.
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/568>

Villalobos, L., & WingChing, R. (2020). Los pastos estrella africana, kikuyo y “rye grass” en Cartago, Costa Rica: biomasa, composición botánica y nutrientes. *UNED Research Journal*, 12(1), e2811.
<https://doi.org/10.22458/urj.v12i1.2811>

Vogan, P., & Sage, R. (2012). Effects of low atmospheric CO₂ and elevated temperature during growth

on the gas exchange responses of C3, C3–C4 intermediate, and C4 species from three evolutionary lineages of C4 photosynthesis. *Oecologia*, 169, 341–352.

Weather Atlas. (2020). *Información detallada del clima y previsión meteorológica mensual | Weather Atlas*. https://www.weather-atlas.com/es/colombia/pasto-clima#rainfall_days

Wong, C., & Wilson, J. (1980). Effects of shading on the growth and nitrogen content of green panic and siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31(2), 269–285. <https://doi.org/10.1071/AR9800269>

World Flora Online. (2021). *Alnus acuminata Kunth*. <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000944034#synonyms>

Wunder, S. (2006). *Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales* (Vol. 42, Issue 42). Centro Internacional de Investigación Forestal. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/CIFOR-PESSpanish.pdf>

Young, A. (1997). *Agroforestry for soil management*. CAB International in association with the International Centre for Research in Agroforestry.

Zapata, A., & Silva, B. E. (2020). *Sistemas silvopastoriles: aspectos teóricos y prácticos CARDER, CIPAV* (CIPAV (ed.); Segunda). <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-silvopastoriles-aspectos-teoricos-y-practicos.pdf>

Zuluaga, A. F., Giraldo, C., & Chará, J. (2011). *Servicios ambientales que proveen los Sistemas Silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad*. <http://ganaderiacolombianasostenible.co/web/wp-content/uploads/2015/04/4.-Servicios-Ambientales.pdf>