

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISION DE EDUCACIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**

Sinergias y trade-offs entre servicios ecosistémicos en agroecosistemas ganaderos en el  
Valle del Río Cesar, departamento del Cesar - Colombia

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar al grado de**

**MAGISTER SCIENTIAE  
en Agroforestería y Agricultura Sostenible**

Adelina Rosa Caballero López

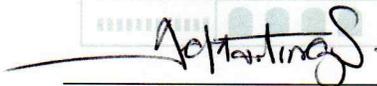
**Turrialba, Costa Rica**

**2019**

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

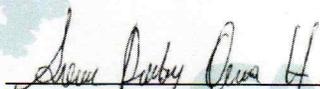
**MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA  
Y AGRICULTURA SOSTENIBLE**

**FIRMANTES:**



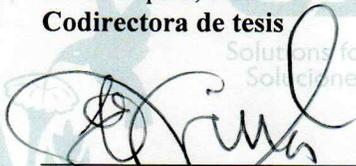
---

Alejandra Martínez, Ph.D.  
**Codirectora de tesis**



---

Sonia Ospina, Ph.D.  
**Codirectora de tesis**



---

Cristóbal Villanueva, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



---

Darwin Lombo, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



---

Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.  
**Decana Escuela de Posgrado**



---

Adelina Rosa Caballero López  
**Candidata**

## Dedicatoria

*A Dios por regalarme tantas oportunidades de crecimiento personal y familiar, y por ser el principal guía de mi vida.*

*A mi madre y mi padre, por todos los sacrificios que han hecho para formarme como ser humano. Su apoyo incondicional y amor siempre han sido mis mayores motivadores. “Mis logros son suyos”.*

*A mis hermanas, por las veces que han detenido sus sueños para que pudiera seguir adelante con los míos.*

*A mi novio, por apoyar mis metas, demostrarme que se puede amar y esperar, porque el amor es madurez y se fortalece en la comunicación diaria, aunque sea a la distancia.*

*A la familia que Dios me dio, pero también a la que me permitió elegir, por alegrarse con mis triunfos y motivarme a aprender y levantarme de los fracasos.*

*“Querer saber solamente por saber, es curiosidad; querer saber por ser conocido, es vanidad; querer saber por adquirir honras y riquezas, es torpe ganancia; querer saber por mejor servir a Dios y edificar al prójimo, es virtud” Herbert Spencer*

## **Agradecimientos**

A AGROSAVIA, más que la empresa que me abrió las puertas laboralmente, ha sido la “escuela” que me ha permitido ampliar mi visión del campo y fortalecerme profesionalmente. Por los recursos para financiar la maestría y la oportunidad para poder estudiar en CATIE.

Al CATIE, por brindarme no solo una excelente formación académica, sino la experiencia de haber aprendido de la multiculturalidad que se vive en su campus. Extrañaré el verde de sus paisajes, pero principalmente la calidez de sus funcionarios y su trato amable.

A Alejandra Martínez, por su solidaridad para enseñar, por la paciencia, dedicación y compromiso que siempre demostró con mi proceso de aprendizaje. Pero, ante todo, por motivarme a trabajar con disciplina y reconocer que en las debilidades están las oportunidades para mejorar.

A Sonia Ospina, por ser uno de mis modelos para seguir, por enseñarme a amar y aplicar la agroforestería, motivarme a estudiar la maestría y apoyar como amiga y codirectora el proceso de investigación que implicó construir y ejecutar la tesis.

A Cristóbal Villanueva y Fabián Lombo, por sus oportunas recomendaciones y siempre estar disponibles para atender mis dudas y apoyar la investigación.

Al equipo de la unidad de bioestadística y a Alejandra Ospina, por toda la colaboración en el análisis e interpretación de la información.

A lo productores que confiaron en mi trabajo y abrieron las puertas de sus fincas para que pudiera realizar la investigación.

A Jesús Pedrozo, quien me asistió con compromiso en la toma de información en campo.

A Luis Solarte, de la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV, por el apoyo en la consecución de las fincas para desarrollar la investigación.

A los compañeros de la promoción 2018-2019, por todos los momentos compartidos, por regarme un poco de sus países y por hacer parte de mi vida.

A Vanessa y Belkys, por todos los cafés compartidos, celebrar mis alegrías y apoyarme en las tristezas. Gracias por hacerme sentir en casa.

## Contenido

Dedicatoria.....	III
Agradecimientos .....	IV
Contenido.....	V
Índice de cuadros .....	VII
Índice de figuras.....	VII
Lista de acrónimos, abreviaturas y unidades .....	IX
Resumen.....	X
Abstract .....	XI
1. Introducción .....	1
2. Marco teórico.....	5
2.1. Ganadería y medio ambiente .....	5
2.2. Sistemas Silvopastoriles (SSP).....	6
2.3. Servicios ecosistémicos (SE).....	7
2.3.1. Servicios ecosistémicos en ganadería .....	8
2.3.2. Servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en SSP .....	13
2.3.3. Servicio ecosistémico de aprovisionamiento en sistemas silvopastoriles .....	14
2.4. Relaciones entre servicios ecosistémicos .....	15
3. Objetivos.....	17
3.1. Objetivo general.....	17
3.2. Objetivos específicos .....	17
4. Métodos .....	18
4.1. Área de estudio .....	18
4.2. Selección de agroecosistemas ganaderos.....	20
4.3. Selección de fincas.....	20
4.4. Diseño de muestreo.....	21
4.4.1. Repeticiones o sitios de muestreo .....	21
4.4.2. Variables evaluadas .....	22
4.4.2.1. Composición florística.....	22
4.4.2.1.1. Composición florística en vegetación herbácea.....	23

4.4.2.1.2. Composición florística en vegetación leñosa.....	24
4.4.2.2. SE Almacenamiento de carbono en biomasa aérea .....	25
4.4.2.2.1. Estimación de carbono en biomasa arbórea.....	25
4.4.2.2.2. Estimación de carbono en biomasa herbácea .....	26
4.4.2.3. SE Aprovechamiento de biomasa forrajera y madera .....	27
4.4.2.3.1. Biomasa forrajera.....	27
4.4.2.3.2. Volumen de madera (VLM) .....	27
4.5. Análisis de datos .....	28
4.5.1. Análisis de relaciones entre servicios ecosistémicos y composición florística (sinergias y trade-offs) .....	29
5.Resultados .....	30
5.1. Composición florística de la vegetación arbórea y herbácea.....	30
5.2. Cuantificación del SE de regulación: almacenamiento de carbono y el SE de aprovisionamiento: producción de biomasa forrajera y madera .....	37
5.3. Análisis de relaciones entre servicios ecosistémicos y diversidad .....	39
6. Discusiones .....	41
6.1. Composición florística de la vegetación arbórea y herbácea.....	41
6.2. Cuantificación del SE de regulación almacenamiento: de carbono y el SE de aprovisionamiento: producción de biomasa forrajera y madera .....	44
6.3. Análisis de relaciones entre servicios ecosistémicos y diversidad .....	46
7. Conclusiones .....	48
8. Recomendaciones .....	49
9. Referencias bibliográficas.....	51
10. Anexos .....	67

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Listado de Servicios Ecosistémicos provistos por los agroecosistemas .....	9
Cuadro 2. Categorías de sombra de los agroecosistemas seleccionados .....	20
Cuadro 3. Ubicación y características generales de las fincas ganaderas seleccionadas para el estudio.....	21
Cuadro 4. Valores promedios y errores estándares de los índices estimados para la vegetación herbácea y arbórea en las coberturas AGalto (20-40%), AGmedio (10-20%) y AGbajo (5-10%).....	37
Cuadro 5. Análisis de correlación de Spearman entre pares de SE e indicadores de diversidad para la vegetación arbórea y herbácea. El SE almacenamiento de carbono se expresa como carbono total en biomasa aérea (CT), el SE provisión de madera como volumen comercial (VLC), el SE provisión de biomasa forrajera, como producción de materia seca de las herbáceas (PMS), la diversidad vegetal mediante el índice Shannon para arbóreas y herbáceas ( $H'_{arb}$ y $H'_{hier}$ ). Por encima de la diagonal se presenta la significancia estadística ( $P < 0,05$ ) y por debajo los coeficientes de correlación.....	41
Cuadro 6. Estimaciones de volumen de madera en potreros con árboles dispersos en diferentes regiones tropicales de Centro América.....	46

## Índice de figuras

Fig. 1. Distribución de la vocación de los suelos en el departamento del Cesar. Fuente UPRA 2017 .....	19
Fig. 2. Mapa de ubicación ecorregión Valle del Río Cesar. Fuente Vergara 2015 .....	20
Fig. 3. Esquema de los recorridos realizados para verificación de la tipología de sombra (porcentaje cobertura arbórea) presente en los potreros seleccionados.....	22
Fig. 4. Esquema de muestreo para la colecta de información sobre la composición florística de la vegetación herbácea en potreros .....	23
Fig. 5. Pieza en forma de cruz utilizada para evaluar la composición florística de la vegetación herbácea .....	24
Fig. 6. Esquema de muestreo para composición florística de arbóreas, evaluación de almacenamiento de carbono y evaluación de aprovisionamiento (forraje herbáceo y madera) .....	25
Fig. 7. Curvas de acumulación de especies basada en individuos para los diferentes agroecosistemas. Cuadrados de color negro representan el AGalto, estrellas representan el AGmedio y el triángulo de color gris el AGbajo; las líneas punteadas son los intervalos de confianza al 95%; a) curva de acumulación para la vegetación arbóreas; b) curva de acumulación para la vegetación herbácea.....	31

Fig. 8. Curvas rango abundancia de especies para los diferentes agroecosistemas. Cuadrados de color negro representan el AGalto, estrellas representan el AGmedio y el triángulo de color gris el AGbajo; curvas más suavizadas indican mejor distribución en las abundancias de las especies. a) Curva de acumulación para la vegetación arbóreas; se indican las cinco especies de mayor abundancia en AGalto y AGmedio y las tres de AGbajo. PROJU: *Prosopis juliflora*; HANCH: *Handroanthus crysantus*; ALBSA: *Albizia saman*; BULAR: *Bulnesia arborea*; ASPOL: *Aspidosperma polinerun*; PLAPI: *Plastymiscium pinnatum*; ACAFA: *Acacia farnesiana*; MELBI: *Melicoccus bijugatus*. b) Curva de acumulación para la vegetación herbácea; se indican las dos especies de mayor abundancia en los AG. BOTPE: *Bothriochloa pertusa*; CYNLEM: *Cynodon nlemfuensis* y MELPA: *Melochia parvifolia* .....33

Fig. 9. Índice de valor de importancia (IVI) para las especies arbóreas en los agroecosistemas. a) Valores de IVI para las diez especies con mayor peso ecológico en el AGalto. b) Valores de IVI para las diez especies con mayor peso ecológico en el AGmedio. c) Valores de IVI para las especies encontradas en AGbajo. PROJU: *Prosopis juliflora*; HANCH: *Handroanthus crysantus*; ALBSA: *Albizia saman*; BULAR: *Bulnesia arborea*; ASPOL: *Aspidosperma polinerun*; PLAPI: *Plastymiscium pinnatum*; ACAFA: *Acacia farnesiana*; MELBI: *Melicoccus bijugatus*; GUAUL: *Guazuma ulmifolia*; HANBI: *Handroanthus billbergii*; CAECO: *Caesalpinia coriaria*; HAEBR: *Haematoxylon brasiletto*; ASTGR: *Astronium graveolens*. Valores altos de IVI indican mayor dominancia y contribución de las especies a la estructura de los AG. ....35

Fig. 10. Comparación de medias y errores estándares para la riqueza de especies herbáceas en las tres coberturas evaluadas. Medias con diferente letra son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). .....36

Fig. 11. Comparación de medias y errores estándares para el contenido de carbono ( $t\ ha^{-1}$ ) de en las tres coberturas evaluadas. Barra de color gris claro representa el carbono en la biomasa aérea de herbáceas (CBH), barra gris oscuro el carbono en biomasa aérea de arbóreas (CBA) y barra negra el carbono total (CT), estimado por la sumatoria de CBH y CBA. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los AG ( $P < 0,05$ ). .....38

Fig. 12. Comparación de medias y errores estándares para la producción de biomasa forrajera ( $t\ MS\ ha^{-1}$ ) en las tres coberturas evaluadas. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los AG ( $P < 0,05$ ). .....38

Fig. 13. Comparación de medias y errores estándares para volumen comercial de madera ( $m^3\ ha^{-1}$ ) en las tres coberturas evaluadas. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los AG ( $P < 0,05$ ). .....39

Fig. 14. Análisis de componentes principales para los SE evaluados e indicadores de diversidad para la vegetación arbórea y herbácea. El SE almacenamiento de carbono se expresa como carbono total en biomasa aérea (CT), el SE provisión de madera como volumen comercial (VLM), el SE provisión de biomasa forrajera, como producción de materia seca de las herbáceas (PMS), la diversidad vegetal mediante los índice de Shannon para arbóreas y herbáceas ( $H'_{arb}$  y  $H'_{hier}$ ) y se empleó como criterio de clasificación las coberturas: alta

(20-40%), media (10-20%) y baja (5-10%). Los dos ejes explican el 100% de la variabilidad en las observaciones.....40

### **Lista de acrónimos, abreviaturas y unidades**

AGROSAVIA: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

°C: Grados Celsius

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

C: Carbono

cm: centímetro

CORPOCHIVOR: Corporación Autónoma Regional de Chivor

DAP: Diámetro a la altura del pecho

DCM: Diámetro cuadrático medio

FEDEGAN: Federación Colombiana de Ganaderos

g: gramo

ha: hectárea

kg: kilogramo

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

MS: Materia seca

m: metro

PIB: Producto interno bruto

t: tonelada

t ha<sup>-1</sup> : toneladas por hectárea

UPRA: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria

## Resumen

El presente estudio evaluó la composición florística, el servicio ecosistémico (SE) de regulación: almacenamiento de carbono en biomasa aérea y el SE de aprovisionamiento: producción de forraje herbáceo y madera, además exploró las relaciones entre pares de SE y la diversidad vegetal en agroecosistemas ganaderos de la ecorregión Valle Del Río Cesar, Departamento del Cesar (Colombia). Los agroecosistemas evaluados (AG) estuvieron constituidos por pasturas naturalizadas y diferentes coberturas de árboles dispersos, estas coberturas se categorizaron como alta (20-40%), media (10-20%) y baja (5-10%). Fueron seleccionadas seis fincas localizadas en tres municipios del área de estudio y dentro de estas se verificó la tipología de sombra (porcentaje de cobertura arbórea), mediante medición con densiómetro esférico, en total fueron seleccionados 17 potreros, seis para la cobertura alta, seis para la media y cinco para la baja. La composición florística en la vegetación herbácea se evaluó en cada potrero mediante el trazado de seis transectos lineales de 50 m, utilizando el método de la cruz (Ospina et al. 2009) y para la vegetación arbórea se montaron tres parcelas temporales circulares (PC) de 1.000 m<sup>2</sup> por potrero. Las PC también se emplearon para muestrear los SE de aprovisionamiento: biomasa forrajera y madera y el SE de regulación: almacenamiento de carbono en biomasa aérea. Las relaciones entre pares de SE y la diversidad vegetal se exploraron mediante análisis de componentes principales (ACP) y correlaciones de Spearman. Para la vegetación arbórea se encontraron 28 especies pertenecientes a 15 familias y 25 géneros, de estas, cuatro familias (Bignoniaceae, Fabaceae/ Mimosoideae, Fabaceae/Caesalpinioideae y Fabaceae/Faboideae) representan el 53,57% de las especies y en la vegetación herbácea fueron registradas 66 especies, correspondientes a 51 géneros y 23 familias. Más del 50% de los individuos detectados pertenecen a las Poaceae (27,27%), Euphorbiaceae (9,09%), Fabaceae/Faboideae (7,58%), y Malvaceae (7,58%). Se identificó un patrón de dominancia en los AG, caracterizado por una alta abundancia de pocas especies, tanto en arbóreas como herbáceas; al respecto *Prosopis juliflora* y *Bothriochloa pertusa* fueron la leñosa y herbácea más dominantes. Respecto del SE almacenamiento de carbono, los ANOVA encontraron diferencias significativas en las coberturas, con mayor acumulación de carbono total (CT) en la cobertura alta ( $20,08 \pm 0,84$  t C ha<sup>-1</sup>), seguida de la media ( $7,6 \pm 0,4$  t C ha<sup>-1</sup>) y la baja ( $2,88 \pm 0,37$  t C ha<sup>-1</sup>). El valor estuvo influenciado principalmente por el carbono en la biomasa de los árboles (CBA), componente que también determinó diferencias estadísticas significativas, con superioridad en la cobertura alta. Para el SE de aprovisionamiento: producción de biomasa herbácea (PMS) y madera (VLM), también hubo diferencias estadísticas significativas, la cobertura baja fue superior en PMS ( $1,8 \pm 0,2$  t MS ha<sup>-1</sup>), pero similar a la cobertura media ( $1,68 \pm 0,19$  t MS ha<sup>-1</sup>), y estadísticamente diferentes a la alta ( $1,48 \pm 0,19$  t MS ha<sup>-1</sup>); de forma contraria, el VLM fue mayor en la cobertura alta ( $24,81 \pm 1,23$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>), seguido de la media ( $7,29 \pm 0,33$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) y la baja ( $1,6 \pm 0,25$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Finalmente, se detectaron sinergias, pero no trade-offs, entre los SE y la diversidad vegetal.

Palabras claves: adaptación, biodiversidad, ganadería semi extensiva, pasturas, resiliencia, sistemas silvopastoriles, zonas secas.

## Abstract

The present study evaluated the floristic composition, the ecosystem service (ES) of regulation: carbon storage in aerial biomass and the supply ES: production of herbaceous forage and wood, also explored the relationships between pairs of SE and plant diversity in agroecosystems farmers of the ecoregion Valle Del Río Cesar, Department of Cesar (Colombia). The agroecosystems evaluated (AG) were constituted by naturalized pastures and different dispersed tree covers, these covers were categorized as high (20-40%), medium (10-20%) and low (5-10%). Six farms located in three municipalities of the study area were selected and within these, the shade typology (percentage of tree cover) was verified, by measurement with spherical densiometer, in total 17 pastures were selected, six for high and medium coverage and Five down. The floristic composition in the herbaceous vegetation was evaluated in each pasture by drawing six linear transects of 50 m, using the cross method (Ospina et al. 2009) and three circular temporal plots (PC) were mounted for the tree vegetation. 1.000 m<sup>2</sup> per paddock. The PC was also used to sample the supplied ES: forage and wood biomass and the regulation ES: carbon storage in aerial biomass. Relationships between ES pairs and plant diversity were explored using principal component analysis (PCA) and Spearman correlations. For the tree vegetation, 28 species belonging to 15 families and 25 genera were found, of these, four families (Bignoniaceae, Fabaceae / Mimosoideae, Fabaceae / Caesalpinioideae and, Fabaceae / Faboideae) represent 53,57% of the species and in the herbaceous vegetation 66 species were registered, corresponding to 51 genera and 23 families, more than 50% of the individuals detected belong to the Poaceae (27,27%), Euphorbiaceae (9,09%), Fabaceae / Faboideae (7,58%), and Malvaceae (7,58%). A pattern of dominance was identified in the AGs, characterized by a high abundance of few species, both in arboreal and herbaceous, *Prosopis juliflora* and *Bothriochloa pertusa* were the most dominant woody and herbaceous. Regarding the carbon storage ES, the ANOVA found significant differences in the coverage, with greater accumulation of total carbon (CT) in the high coverage ( $20,08 \pm 0,84 \text{ t C ha}^{-1}$ ), followed by the average ( $7,6 \pm 0,4 \text{ t C ha}^{-1}$ ) and low ( $2,88 \pm 0,37 \text{ t C ha}^{-1}$ ), the value was mainly influenced by carbon in tree biomass (CBA), a component that It also showed significant statistical differences, with superiority in high coverage. For the supply SE: production of herbaceous biomass (PMS) and wood (VLM), there were also significant statistical differences, the low coverage was higher in PMS ( $1,8 \pm 0,2 \text{ t MS ha}^{-1}$ ), but similar to the mean coverage ( $1,68 \pm 0,19 \text{ t MS ha}^{-1}$ ), and statistically different from discharge ( $1,48 \pm 0,19 \text{ t MS ha}^{-1}$ ); on the contrary, the VLM was higher in the high coverage ( $24,81 \pm 1,23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), followed by the average ( $7,29 \pm 0,33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) and the low ( $1,6 \pm 0,25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Finally, synergies were detected, but not trade-offs, between the SE and plant diversity.

Keywords: adaptation, biodiversity, semi-extensive livestock, pastures, resilience, silvopastoral systems, dry areas.

## 1. Introducción

La producción ganadera es una de las actividades económicas de mayor importancia en Colombia y particularmente para algunos departamentos altamente dependientes de la misma. La ganadería aporta el 21,8% del PIB agropecuario, lo que equivale al 1,4 % del PIB nacional y adicionalmente genera más de 800.000 empleos directos que representan el 6% y 19% del empleo nacional y del sector agropecuario, respectivamente (FEDEGAN 2017). La producción ganadera es de gran importancia para el departamento del Cesar, ubicándose en el puesto número seis, en el nivel nacional, con base en el número de bovinos (1.357.512). La ganadería del Cesar se caracteriza por ser extensiva y del total de cabezas de ganado presentes el 40% se dedica a la producción de doble propósito, seguido de la ceba (29%), la cría (28%) y la producción de leche (3%) (FEDEGAN 2014). Debido a la importancia de esta actividad, cerca del 60% del suelo está dedicado a la producción ganadera (UPRA 2017).

Los aportes de la ganadería a los medios de vida de la población son relevantes; sin embargo, esta actividad también genera impactos negativos sobre el medio ambiente. En Colombia la conversión de bosques a áreas de ganadería y cultivos ha generado una reducción general del 18% en la biodiversidad (Moreno et al. 2016), y el impacto en la degradación de los suelos es claramente visible. MAVDT et al. (2005) informaron que el 86,9% de las áreas ganaderas localizadas en zonas secas tienen algún grado de desertificación, además el sector contribuye con el 23,8% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero que exacerban los efectos asociados al cambio climático (IDEAM et al. 2017). En este sentido, Steinfeld et al. (2006), al considerar los impactos de la ganadería extensiva, sugieren como necesidad que los costos medioambientales por unidad de producto de la ganadería se reduzcan a la mitad para evitar que la situación empeore y se necesitan estrategias que permitan conciliar la productividad ganadera, la conservación de la biodiversidad y la generación de servicios ecosistémicos (SE) (Smith et al. 2013, Reyes-González et al. 2017).

Las estrategias de manejo de los sistemas productivos ganaderos tienen efectos diferenciados sobre el ambiente. Según Dumont et al. (2013), el problema no es la ganadería *per se*, sino cómo es manejada. En este contexto, los sistemas agroforestales, específicamente los Sistemas Silvopastoriles (SSP), se convierten en una de las alternativas para mejorar la producción (leche y carne), mientras se reducen los impactos negativos sobre el medio ambiente (Gaviria-Uribe et al. 2012). Los SSP son “sistemas de producción pecuaria en donde las leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales) bajo un sistema de manejo integral” (Pezo e Ibrahim 1999). Aunque las definiciones sobre SSP son diversas, cuando han sido comparados con agroecosistemas ganaderos convencionales, sus beneficios han sido reconocidos. Así se han comprobado sus ventajas en la provisión de forraje y frutos para alimentar al ganado (Casasola et al. 2001, Mahecha 2003, Jose y Dollinger 2019), producción de madera y leña (Harvey et al. 2008, Rosa 2010, Chavarría et al. 2011, Scheelje et al. 2011), incremento en la producción de carne y leche (Betancourt et al. 2003, Fernández 2017), secuestro de carbono (Amézquita et al. 2005, Ibrahim et al. 2007, Cárdenas et al. 2018),

conservación de la biodiversidad (Harvey et al. 2008, Murgueitio et al. 2011), conservación del recurso hídrico y control de la erosión (Ríos et al. 2007).

Los componentes de los SSP (herbáceas, arbóreas, cultivos, animales, suelo, etc), combinados con las actividades de manejo que los productores ejercen, generan una serie de interacciones espaciales y temporales que derivan en SE de aprovisionamiento, regulación, apoyo y servicios culturales. La investigación de Martínez et al. (2014) en el Centro de Investigación Turipaná de AGROSAVIA es un ejemplo donde SSP constituidos por diferentes arbóreas han demostrado contenidos de fósforo ( $24-28 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo), potasio ( $1,3-1,4 \text{ cmol kg}^{-1}$  de suelo) y calcio ( $13,8-14,6 \text{ cmol kg}^{-1}$  de suelo) significativamente superiores respecto de los encontrados en las praderas con solo pasto, donde se obtuvieron valores de fósforo menores de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de suelo, contenido de potasio de  $0,8 \text{ cmol kg}^{-1}$  de suelo y calcio entre  $10,7-10,8 \text{ cmol kg}^{-1}$  de suelo. Estas evidencias informan los beneficios que pueden ofrecer los SSP para mejorar la provisión del SE de apoyo fertilidad de suelo. Sin embargo, se necesita explorar la correlación que existe entre la contribución a estas características del suelo con la producción y disponibilidad de biomasa forrajera por metro cuadrado, y esto, con la expresión en la productividad de los bienes (leche y carne), que a su vez son los de mayor relevancia para el productor.

En los agroecosistemas, incluyendo los de producción ganadera, que son gestionados con diferentes intensidades de manejo, la selección de las prácticas de manejo por implementar tiene consecuencias sobre la provisión de SE. La relación entre SE puede generar un efecto sinérgico, cuando ocurre un incremento conjunto, o puede darse un trade-off cuando la provisión de un SE se reduce por el incremento de otro (Bennett et al. 2009; Raudsepp-Hearne et al. 2010). Esto se produce como resultado de las elecciones de manejo que hacen los productores, las cuales pueden cambiar el tipo, magnitud e interacciones de los servicios proporcionados por los ecosistemas y agroecosistemas (Rodríguez et al. 2006, Rapidel et al. 2015). Además, el cambio de uso del suelo y la gestión intensiva de la tierra también son reconocidos como impulsores importantes de la alteración en la provisión de los SE (Sheng et al.2011; Bryan 2013).

Algunos estudios sobre relaciones entre SE en agroecosistemas revelan la presencia de trade-offs entre SE de aprovisionamiento y regulación, y entre SE y la conservación de la biodiversidad. Maes et al. (2012) realizaron una evaluación espacial de las relaciones entre la biodiversidad, los servicios de los ecosistemas y el estado de conservación de los hábitats protegidos en Europa, encontrando que los indicadores de la biodiversidad y la oferta agregada de servicios ecosistémicos se relacionó positivamente, pero esta relación tuvo influencia de los trade-offs espaciales entre producción de cultivos y los servicios de regulación. En la llanura de Sanjiang en China, se determinaron las relaciones entre servicios ecosistémicos de regulación (rendimiento de agua y almacenamiento de carbono), servicios de apoyo (hábitats de aves acuáticas) y servicios de aprovisionamiento (producción de alimentos), como resultado de los cambios en la cobertura del suelo durante el período de 1992 a 2012. Los resultados mostraron incrementos en el rendimiento del agua y la producción de alimentos, en contraste con la

reducción significativa de las reservas de carbono (-14%) y hábitats para las aves acuáticas (- 23%), principalmente, como consecuencia de la conversión de cobertura de humedales a tierras agrícolas (Wang et al. 2015).

Lü et al. (2012) evaluaron en la mesera de Loess, China, los cambios en uso del suelo durante el periodo 2000-2008, sobre los SE regulación del agua, conservación del suelo, secuestro de carbono y producción de grano. La conversión de tierras de cultivo a bosques y pastizales revelaron mejoras en la conservación de los suelos, mayor secuestro de carbono y producción total de granos, con disminución en el rendimiento del agua, y al respecto, las tendencias fueron atribuidas a los fuertes incentivos socioeconómicos incorporados en la política de rehabilitación ecológica.

Los trade-offs entre SE pueden ocurrir a “escala espacial”, en este caso los efectos pueden sentirse en el nivel local o en lugares alejados de donde se generan o también pueden darse en “escala temporal”; es decir, los efectos pueden ocurrir de forma relativamente rápida o lenta (Rodríguez et al. 2007). Al respecto, Felipe-Lucia et al. (2014), midieron la regulación climática, regulación del CO<sub>2</sub>, estabilidad del suelo, regulación de nutrientes, calidad del hábitat, producción de materia prima, producción de alimentos, pesca, deportes, recreación, educación y relaciones sociales en siete tipos de uso del suelo comunes en tres escalas espaciales, (parcela, municipio y paisaje), en una llanura aluvial ribereña de España. Los resultados mostraron que un tipo de uso del suelo con baja provisión de servicios por hectárea, pero con un área extensa, puede proporcionar más servicios al paisaje que un tipo de uso del suelo que suministre valores más altos por hectárea pero tenga menor extensión; es decir, que la mayoría de los SE deben administrarse principalmente en la escala de parcela; no obstante, las relaciones sociales son más relevantes para gestionar en escala municipal y de paisaje. Adicionalmente, aunque hubo una gran variedad en las interacciones de SE entre escalas, se identificaron sinergias más significativas que trade-offs, las cuales se originaron porque la provisión de SE dependía de las decisiones de gestión de la tierra dentro de un tipo de uso del suelo.

En general, en Colombia existe poca información sobre los SE generados por los agroecosistemas ganaderos. Este conocimiento es necesario para robustecer las evidencias científicas y tecnológicas para la promoción y consecuente adopción de SSP versus los sistemas ganaderos convencionales. La generación de evidencias sobre los SE entre tipologías de sistema productivo, es necesaria para demostrar el nivel de compatibilidad entre productividad ganadera y sostenibilidad ambiental del agroecosistema ganadero, y para escalar la necesidad de desarrollar mecanismos de apoyo al Sistema Nacional de Innovación Agropecuaria (SNIA) que faciliten la adopción tecnológica de los SSP por parte de productores y familias ganaderos. Igualmente es necesario identificar las interacciones entre SE de los agroecosistemas ganaderos y analizar las sinergias y trade-offs que se generan como consecuencia de estas interacciones. Esta información es útil para los tomadores de decisión, como insumo a la promoción de acciones que permitan optimizar la provisión de SE de interés para el productor y la región.

Esta investigación tiene como propósito explorar las potenciales sinergias y trade-offs entre los SE de aprovisionamiento: forraje y madera, y el SE de regulación: almacenamiento de carbono, en agroecosistemas ganaderos del trópico seco con diferente cobertura arbórea. Se analizarán individualmente los SE y la relación a pares, además se compararán los SE generados entre los diferentes agroecosistemas. Se espera que los resultados contribuyan a la comprensión sobre la importancia de implementar sistemas silvopastoriles como una alternativa para la producción ganadera sostenible, adicionalmente se espera que los resultados puedan informar procesos de toma de decisiones, que posibiliten situaciones de “ganar-ganar”, que implica generar múltiples SE, asegurando la compatibilidad y balance entre la provisión de los mismos y la productividad de los agroecosistemas ganaderos.

## **2. Marco teórico**

### **2.1. Ganadería y medio ambiente**

La ganadería es una de las actividades económicas que más aportan a la economía mundial, constituyendo el medio de subsistencia de al menos 1.300 millones de personas, representando el 40% de la producción agrícola mundial de los países desarrollados y el 20% de los países en desarrollo y ocupando aproximadamente el 30% de la superficie terrestre libre de hielo ( FAO 2018). Sin embargo, múltiples estudios han provisto evidencias sobre los impactos negativos sobre el medio ambiente, derivados del manejo inadecuado de la actividad ganadera. Algunos de ellos son los que se detallan seguidamente:

- 1) Cambios de uso de la tierra, principalmente de bosque a pastizales, con consecuencias en la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Steinfeld et al. 2006).
- 2) Contribuye al cambio climático, mediante la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), de forma directa (fermentación entérica y manejo del estiércol) o indirectamente (conversión de bosques a pastizales, producción de forrajes, etc.) (Steinfeld et al. 2006, FAO 2016, IDEAM 2017). Al respecto, se estima que la ganadería es la responsable del 14,5% de las emisiones antropogénicas de GEI (Gerber et al. 2013).
- 3) Pérdida de biodiversidad, al modificar los hábitats naturales de especies de fauna y flora, lo cual está estrechamente ligado a los procesos de deforestación y degradación de los bosques (Gerber et al. 2015, Moreno et al. 2016). Adicionalmente la ganadería extensiva por el sobrepastoreo de los animales que causa deterioro del suelo, tiene efectos sobre los organismos que habitan en él, los cuales cumplen funciones importantes como descomponedores de materia orgánica y biocontroladores de plagas y enfermedades (Zuluaga et al. 2011).
- 4) Efectos sobre el recurso agua, debido a la contaminación de las fuentes hídricas por el uso de agroquímicos para el manejo de los pastos, mal manejo del estiércol y medicamentos veterinarios (Steinfeld et al. 2006, Luzardo et al. 2014). Además la ganadería también afecta los procesos de regulación hídrica, ya que el pisoteo genera compactación, reducción de la infiltración, incremento de la escorrentía superficial y disminución de los cursos de agua ( Pinzón 1993, citado por Daza et al. 2014, Rios et al. 2007).

Teniendo en cuenta las proyecciones globales que indican la expansión de la producción ganadera intensiva y considerando que la producción extensiva o tradicional persiste por ser el principal medio de vida de muchas familias productoras, ambos sistemas requieren mayor atención e intervención (Steinfeld et al. 2006). Al respecto, la inclusión de especies arbóreas y su manejo debe ser visto como una práctica fundamental en los sistemas de producción animal para reducir los efectos negativos de la ganadería y potenciar los beneficios (Alonso 2011).

## **2.2. Sistemas Silvopastoriles (SSP)**

Dentro de la agroforestería los SSP son sistemas que combinan especies herbáceas (gramíneas y leguminosas rastreras), con leñosas arbustivas y/o árboles maderables, con fines múltiples, como la alimentación y nutrición animal, mediante la producción de forraje y frutos, la provisión de sombra, regulación hídrica, secuestro de carbono, hábitat de fauna y belleza escénica (Crespo 2008).

En América tropical los principales SSP implementados por los productores son manejo de la sucesión vegetal, cercas vivas, pasturas con alta densidad arbórea, sistemas de corte y acarreo, pastoreo de ganado en plantaciones forestales, barreras rompevientos, las pasturas en callejones de árboles y árboles dispersos en potreros (Murgueitio et al. 2008). Los árboles dispersos en potreros son el SSP que requiere menor inversión para ser establecido y manejado, pueden originarse de remanentes de bosques que han sido deforestados, otros son sembrados por los productores a partir de semilla sexual o mediante estacas y la mayoría han crecido a partir de la regeneración natural, favorecidos por la dispersión natural de las semillas, ya sea por efecto del ganado o bien de las especies de animales silvestres (Villanueva et al. 2018). El sistema proporciona beneficios ambientales y económicos, por ser refugio de especies silvestres, promover la conservación de suelos, proveer sombra, forraje, frutos y madera, y si los árboles están distribuidos en el paisaje pueden incrementar la conectividad (Harvey y Haber 1998).

Beneficios de los SSP que han sido descritos y confirmados en investigaciones y estudios son los siguientes:

1. Mejoramiento de la fertilidad de suelo: el aporte de biomasa generada por los árboles incrementa los contenidos de materia orgánica (Mahecha et al. 1999), reciclaje de nutrientes que retornan al suelo elementos como nitrógeno ( N), fósforo (P), potasio( K), calcio (Ca) y magnesio ( Mg ) presentes en la hojarasca (Crespo et al. 2000; Crespo y Fraga 2006), aumento del N por la inclusión de arbóreas leguminosas que al establecer relaciones simbióticas con microorganismos fijadores de N atmosféricos, lo convierten en aprovechable por los componentes vegetales del sistema (Ibrahim y Mora 2006; Harvey et al. 2011).
2. Impacto sobre la cantidad y calidad de forraje disponible para el ganado: los árboles en los potreros pueden mejorar la producción y calidad de la pastura, dependiendo de factores como la especie arbórea seleccionada, la densidad y el manejo. Adicionalmente la especie leñosa también puede proveer forraje y frutos, que en época seca se convierte en aporte importante para la alimentación animal (Mahecha 2003) y que al mismo tiempo optimizan la dieta (Petit 2003), digestibilidad (Sanona et al. 2007) y el control de parásitos (Hoste et al. 2006).
3. Generación de ingresos adicionales a la actividad ganadera: según Mahecha (2003), la introducción de árboles en los potreros puede proporcionar ingresos extras o reducir los costos asociados a labores de infraestructura que son decisivas en la empresa ganadera.

Dependiendo de las especies presentes y el manejo silvicultural los árboles en un SSP pueden proveer madera para aserrío o construcciones en la finca, postes para cercas vivas o eléctricas (Villanueva et al. 2018) e incluso se pueden incorporar frutales a densidades bajas y con manejo de podas para asegurar una adecuada entrada de luz para el desarrollo de la pastura (IICA et al. 2016).

4. Efecto sobre procesos de regulación hídrica: el microclima creado debajo de la copa de los árboles beneficia a las pasturas, ya que la menor temperatura disminuye la evapotranspiración y puede evitar el estrés hídrico propio del periodo seco (Villanueva et al. 2018). El uso de leñosas perennes en los agroecosistemas ganaderos tiene implicaciones sobre la dinámica del recurso hídrico, esto se evidencia en el estudio desarrollado por Ríos et al. (2007), quienes evaluaron en Costa Rica el comportamiento hidrológico en cuatro sistemas ganaderos en clima tropical subhúmedo, obteniendo una mayor escorrentía superficial y menor infiltración en pasturas nativas con sobrepastoreo (48% y 0,07 cm  $\text{hra}^{-1}$ ) en comparación con bosques secundarios jóvenes (10% y 3,54 cm  $\text{hra}^{-1}$ ), pasturas mejoradas con árboles (14% y 0,23 cm  $\text{hra}^{-1}$ ) y bancos forrajeros (5% y 0,75 cm  $\text{hra}^{-1}$ ).
5. Bienestar animal: el microclima generado por la sombra de los árboles reduce el estrés calórico producido por las altas temperaturas y la humedad, y permite que los animales continúen comiendo en horas calurosas, con mejora en la eficiencia productiva (Mahecha 2003). Un estudio realizado por Escobar et al. (2001) en el Bajo Cauca Antioqueño (Colombia), evaluó el efecto de las variables temperatura, humedad relativa e intensidad lumínica en un SSP y un sistema en monocultivo de pasturas, sobre el consumo de forraje y parámetros fisiológicos (frecuencia respiratoria y temperatura rectal) en vacas Cebú gestante, hallando mayor frecuencia respiratoria y temperatura rectal en la vacas que pastoreaban el monocultivo, además el consumo de forraje fue superior en el SSP (2,10 y 2,24 kg MS/100 kg de pesos vivo respectivamente).

### **2.3. Servicios ecosistémicos (SE)**

Los Servicios Ecosistémicos son “las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los conforman, sostienen y nutren a la vida humana” (Daily 1997), por su parte, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA por sus siglas en Inglés, 2005) los define como "los beneficios que la gente obtiene de los ecosistemas" y los clasifica en cuatro grandes categorías: (1) servicios de aprovisionamiento, en referencia a los bienes tangibles como los alimentos, agua, madera y fibras; (2) servicios de regulación, que incluye los procesos ecosistémicos complejos tales como regulación climática, regulación hídrica, regulación de plagas y enfermedades, polinización, regulación de la erosión de suelos, entre otros. Estos servicios son fundamentales para mantener condiciones ambientales favorables dentro de los agroecosistemas, que posibiliten el desarrollo de diversas actividades productivas; (3) servicios culturales, los cuales pueden ser materiales o no materiales, como los beneficios espirituales, recreativos o educativos; y (4) servicios de apoyo, que son procesos

ecológicos básicos los cuales aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de servicios de provisión, regulación y culturales; esta categoría contiene los ciclos de nutrientes, formación de suelo y la fotosíntesis.

### **2.3.1. Servicios ecosistémicos en ganadería**

Los SSP proveen SE que son proporcionados por incluir el componente arbóreo y/o arbustivo en fincas ganaderas. En el nivel de paisaje, los SSP contribuyen al aumento de la cobertura arbórea por medio de la diversidad natural (Andrade et ál. 2008, Chará et al. 2010). Para los agroecosistemas, incluidos los ganaderos, se han identificado una diversidad de SE que pueden proveer y a continuación, se muestra una recopilación de los SE que han reportado su correspondiente función ecosistémica asociada y las variables de evaluación (Cuadro 1).

Cuadro 1. Listado de Servicios Ecosistémicos provistos por los agroecosistemas

Tipo de SE	Servicios ecosistémicos	Propiedad o función ecosistémica	Posibles variables para la evaluación
Servicios de Regulación	Regulación del clima a través de secuestro biológico de carbono.	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Productividad primaria.</li> <li>●Acumulación de carbono en vegetación.</li> <li>●Acumulación de carbono en suelo.</li> <li>●Descomposición de materia orgánica.</li> </ul>	Forma y tasa de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, densidad de madera, contenido de materia seca, lignina, nitrógeno, longevidad de hojas, dureza de hojas, área foliar específica (SLA) o masa foliar por área (LMA), tasa de descomposición potencial de hojas y tallos, longitud específica de raíces.
	Regulación climática a través de intercambios de calor con la atmósfera	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Albedo y rugosidad del dosel.</li> <li>●Intercambio de calor entre vegetación y atmósfera.</li> <li>●Evapotranspiración.</li> </ul>	Forma de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, arquitectura de la copa, tamaño de la copa, textura superficial, ángulo y longevidad de las hojas, profundidad de raíces.
	Regulación climática a través de la reducción de GEI	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Productividad primaria.</li> <li>●Descomposición de materia orgánica.</li> <li>●Fijación natural de nitrógeno.</li> <li>●Modular el patrón de fermentación ruminal.</li> </ul>	Forma y tasa de crecimiento (forraje), longevidad de la planta, simbiosis raíces y bacterias nitrificantes, elementos antioxidantes de las plantas, poblaciones y actividad de micorrizas.
	Regulación y mejoramiento de la cantidad y calidad de agua disponible para consumo	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Evapotranspiración.</li> <li>●Intercepción y escurrimiento de precipitación.</li> <li>●Infiltración y retención de agua en el suelo.</li> <li>●Retención de agua en la vegetación.</li> <li>●Retención de agua en hojarasca.</li> <li>●Balance entre evaporación, infiltración y escorrentía.</li> <li>●Reducción de la compactación del suelo.</li> </ul>	Forma y tasa de crecimiento, longevidad de la planta, arquitectura de la copa, clonalidad, rugosidad del tronco, características del xilema, tamaño de la planta, ángulo y longevidad de las hojas, contenido de materia seca, lignina, nitrógeno, fósforo o compuestos tóxicos activos en hojas, presencia de cubiertas de las hojas (pelos, etc.), dureza de las hojas, área foliar específica (SLA) o masa foliar por área (LMA), tasa de descomposición potencial de hojas y tallos, arquitectura y profundidad de raíces, capacidad de infiltración edáfica, densidad aparente del suelo, humedad del suelo.
	Control de erosión hídrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>●Retención de agua y sedimentos en suelo, hojarasca y vegetación en pie.</li> <li>●Balance entre infiltración y escorrentía.</li> </ul>	Forma y tasa de crecimiento de la planta, longevidad de la planta, arquitectura de la copa, clonalidad, longevidad de hojas, contenido de materia seca, lignina y nitrógeno en hojas, tasa de descomposición potencial

			de hojas y tallos, arquitectura y profundidad de raíces y tallos subterráneos y a ras del suelo.
Regulación natural de los organismos endo y ectoparásitos del ganado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Productividad primaria.</li> <li>•Perfil fito-químicos de las arbóreas/arbustivas.</li> <li>•Relaciones bioquímicas</li> </ul>		Forma y tasa de crecimiento, longevidad de la planta, área foliar específica (SLA) o masa foliar por área (LMA), tasa de descomposición potencial de hojas y tallos, elementos fotoquímicos (forraje), compuestos tóxicos activos en hojas, presencia de cubiertas de las hojas (pelos, etc.).
Confort animal	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Albedo y rugosidad del dosel.</li> <li>•Intercambio de calor entre vegetación y atmósfera.</li> <li>•Evapotranspiración.</li> </ul>		Forma de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, arquitectura, tamaño y forma de la copa, textura superficial, ángulo y longevidad de las hojas, respiración animal, temperatura, porcentaje de sombra, densidad de copa arbórea o arbustiva.
Remoción de suelo, descompactación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Infiltración y retención de humedad del suelo.</li> <li>•Escorrentía.</li> </ul>		Forma de crecimiento, altura de la planta, tasa de descomposición potencial de hojas y tallos, arquitectura, longitud, estructura y profundidad de raíces, capacidad de infiltración edáfica, densidad aparente del suelo, humedad del suelo, aireación y porosidad del suelo, condición estructural del suelo.
Tolerancia a sequía	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Balance entre infiltración y escorrentía.</li> <li>•Retención de agua y sedimentos en suelo, hojarasca y vegetación en pie.</li> <li>•Balance entre evaporación, infiltración y escorrentía.</li> </ul>		Forma de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, arquitectura, tamaño y forma de la copa, densidad aparente del suelo, arquitectura y profundidad de raíces, capacidad de infiltración edáfica, presencia de cubiertas de las hojas (pelos, etc.), dureza de las hojas, área foliar específica (SLA) o masa foliar por área (LMA), contenido de materia seca, lignina en hojas, características del xilema.
Valor nutricional	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Descomposición.</li> <li>•Productividad primaria.</li> <li>•Perfil fito-químicos de las arbóreas/arbustivas y forrajes.</li> <li>•Relaciones bioquímicas</li> </ul>		Forma de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, arquitectura, tamaño y forma de la copa, arquitectura y profundidad de raíces, presencia de cubiertas de las hojas (pelos, etc.), dureza de las hojas, área foliar específica (SLA) o masa foliar por área (LMA), contenido de materia seca, lignina, nitrógeno, fósforo o compuestos tóxicos activos en hojas, densidad de madera, clonalidad,
Prevención de desastres por fenómenos naturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Retención de agua y sedimentos en suelo, hojarasca y vegetación en pie</li> </ul>		Arquitectura, longitud, estructura y profundidad de raíces, capacidad de infiltración edáfica, densidad aparente del suelo, humedad del suelo, aireación y

		<ul style="list-style-type: none"> <li>•Balance entre infiltración y escorrentía</li> </ul>	porosidad del suelo, velocidad del flujo sobre el terreno.
	Recolonización de la fauna regional	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hábitat para fauna.</li> <li>•Capacidad para albergar la biodiversidad.</li> <li>•Heterogeneidad genética.</li> <li>•Microhábitats.</li> <li>•Paisaje agrícola.</li> <li>•Polinización</li> </ul>	Forma de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, arquitectura de la copa, producción de frutos, tipos de coberturas vegetales recursos alimenticios, sitios de forrajeo.
	Regulación natural de poblaciones de insectos indeseados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Presencia y actividad de escarabajos estercoleros, estafilínidos e hidrofílicos, y microhymenópteros.</li> <li>•Degradación de estiércol</li> </ul>	Hábitos de nidificación, huevos y larvas de moscas depredados, pupas de moscas parasitadas, poblaciones de aves.
	Mitigación del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Alteraciones que influyan en las tasas de mortalidad y morbilidad; disminución de la seguridad alimentaria; aumento de la vulnerabilidad frente a derrumbes, inundaciones y sequías; reducción de la sostenibilidad productiva entre otros.</li> </ul>	Variabilidad climática y la ocurrencia de eventos climáticos extremos, vulnerabilidad de los agroecosistemas, índice de diversidad, nivel de intensificación.
Servicios de Aprovechamiento	Disponibilidad de frutos y distribución de semillas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Heterogeneidad genética.</li> <li>•Polinización.</li> <li>•Productividad primaria.</li> </ul>	Forma de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, arquitectura, tamaño y forma de la copa, masa de la semilla, fenología, clonalidad, producción de frutos.
	Producción de madera, combustible (leña) y fibra	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Productividad primaria neta aérea</li> <li>•Biomasa en pie.</li> </ul>	Forma y tasa de crecimiento, longevidad de la planta, altura de la planta, arquitectura de la copa, densidad de madera.
	Recursos y diversidad genética	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Heterogeneidad genética.</li> <li>•Productividad primaria.</li> </ul>	Índice de diversidad, nivel de intensificación, fenología, clonalidad,
	Producción de forraje	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Provisión de alimento para herbívoros.</li> </ul>	Forma y tasa de crecimiento, longevidad de la planta, altura de la planta, capacidad de rebrote, posición de las yemas de renuevo, longevidad de hojas, contenido de materia seca, lignina, nitrógeno, fósforo o compuestos tóxicos activos en hojas, dureza de hojas, área foliar específica (SLA) o masa foliar por área

			(LMA), simbiosis con microorganismos fijadores de nitrógenos o insectos (p, ej. hormigas protectoras).
	Productos bioquímicos y fitoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Diversidad de plantas y animales.</li> <li>•Perfil fito-químicos de las arbóreas/arbustivas y forrajes.</li> <li>•Relaciones bioquímicas</li> </ul>	Forma de crecimiento, altura de la planta, longevidad de la planta, arquitectura, tamaño y forma de la copa, área foliar específica (SLA) o masa foliar por área (LMA), tasa de descomposición potencial de hojas y tallos, elementos fotoquímicos, compuestos tóxicos activos en hojas.
	Medicinas naturales y productos farmacéuticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Perfil fito-químicos de las arbóreas/arbustivas y forrajes.</li> </ul>	Elementos fotoquímicos, compuestos tóxicos activos en hojas.
Servicios de apoyo	Fertilidad de suelos y remoción de necromasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Descomposición.</li> <li>•Ciclado de nutrientes.</li> <li>•Acumulación de materia orgánica en el suelo.</li> <li>•Infiltración y retención de humedad del suelo.</li> <li>Escorrentía.</li> </ul>	Aireación y porosidad del suelo, compactación de suelo, densidad aparente del suelo, tasa de descomposición potencial de hojas y tallos, contenido de materia seca, lignina, nitrógeno, fósforo en hojas y tallos, balance químico del suelo, meso y macro fauna edáfica, arquitectura y profundidad de raíces, capacidad de infiltración edáfica, profundidad efectiva del suelo, disponibilidad de nutrientes, pendiente.
	Conservación de suelos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Descomposición</li> <li>•Ciclado de nutrientes</li> <li>•Acumulación de materia orgánica en el suelo</li> <li>Meso y macrofauna edáfica</li> </ul>	Aireación y porosidad del suelo, compactación de suelo, profundidad efectiva, tasa de descomposición potencial de hojas y tallos, disponibilidad de nutrientes en el suelo.
Servicios culturales	Agroturismo y ecoturismo	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hábitats saludables.</li> <li>•Belleza estética de los paisajes rurales</li> </ul>	Valor estético y recreativo, región geocultural (UNESCO)
	Valores educacionales	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Heterogeneidad estructural</li> <li>•Heterogeneidad funcional.</li> <li>•Adopción de tecnologías</li> </ul>	Tasas de adopción de prácticas silvopastoriles. Implementación de buenas prácticas, réplicas de tecnologías.

**Fuente:** Pattanayak et al. 2003; Harvey et al. 2004; Murgueitio et al. 2006; Ibrahim et al. 2007; Zhang et al. 2007; Chacón y Harvey 2008; Harvey et al. 2008; Murgueitio et al. 2008; Tobar et al. 2008; Casanoves et al. 2011; Chará et al. 2010; Fahrig et al. 2011; Zuluaga et al. 2011; IPCC 2012; MADS 2012; Pradilla et al. 2012; SELVA 2012.

### 2.3.2. Servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono en SSP

Dentro de los SE de regulación, el almacenamiento de carbono (C) tiene mucha importancia debido a que sistemas con mayores tasas de secuestro están relacionados con un mayor potencial de adaptación y mitigación ante el cambio climático y en este sentido la incorporación de árboles favorece la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Vallejo et al. 2016). De aquí se deriva que los SSP se planteen como una alternativa para hacer más sostenible la ganadería (Beer et al. 2003, Hoosbeek et al. 2018).

Los agroecosistemas ganaderos, debido a la complejidad de sus componentes (suelo, planta, animal), generan interacciones que afectan el almacenamiento de carbono (Lok et al. 2013). Al estimar el almacenamiento de C en suelo y biomasa de diferentes usos de la tierra en paisajes ganaderos en Costa Rica y Nicaragua, Ibrahim et al. (2007), encontraron que en Costa Rica las plantaciones forestales de teca, pasturas mejoradas con baja y alta densidad de árboles, pastura natural con alta y baja densidad, fueron estadísticamente similares en relación con el C total acumulado; el bosque secundario presentó los mayores valores ( $297,6 \pm 72,6$  t C ha<sup>-1</sup>) y las pasturas degradadas ( $26,5 \pm 10,9$  t ha<sup>-1</sup>) fueron significativamente menores a todos los usos evaluados. En Nicaragua el bosque secundario fue el uso con mayor C almacenado, los bancos de forraje, pasturas mejoradas con alta densidad arbórea y la vegetación secundaria joven fueron similares estadísticamente y las pasturas degradadas tuvieron la menor acumulación ( $72,5 \pm 6,8$  t ha<sup>-1</sup>); aunque sin diferencias estadísticas respecto de las pasturas mejoradas sin árboles y pasturas naturales con baja densidad arbórea. Similarmente, determinaciones de almacenamiento de C en suelos en tres agroecosistemas ganaderos de Cuba, evaluados durante tres años, hallaron que a la profundidad de 0 a 15 cm estaban los mayores depósitos de C, además el SSP conformado por *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*, y el sistema constituido por la mezcla de leguminosas incrementaron el C almacenado en el tiempo (variando de 54,4 a 65,3 t ha<sup>-1</sup> y de 50,6 a 60,4 t ha<sup>-1</sup> respectivamente), mientras que en la pastura en monocultivo de *P. maximum* se redujo el C, pasando de 60,4 t ha<sup>-1</sup> en el año 1 a 43,7 t ha<sup>-1</sup> en el año 3 (Lok et al. 2013).

En el Bajo Cauca, Colombia, Giraldo et al. (2006), estimaron el C capturado en un SSP basado en *Acacia mangium* asociada con *Brachiaria dyctioneura* a dos densidades de árboles (169 árboles ha<sup>-1</sup> y 100 árboles ha<sup>-1</sup>) y una pastura en monocultivo, para ello consideraron el C en suelo, la biomasa aérea y biomasa radical de los árboles y pasturas, reportando cantidades de C en los SSP de 65,80 y 70,59 t ha<sup>-1</sup> para la alta y baja densidad, respectivamente, los cuales fueron muy superiores estadísticamente al obtenido en potreros sin árboles, donde se alcanzó una acumulación 38,07 t ha<sup>-1</sup>. Cabe anotar que el SSP de alta densidad registró el mayor aporte de C en el componente leñoso (42,60 y 36,22 t ha<sup>-1</sup> en alta y baja densidad); sin embargo, el C en biomasa herbácea y suelo fueron mayores en el SSP con baja densidad: por tanto el C total fue superior en este SSP.

Beer et al.(2003), al recopilar información publicada por diferentes autores, quienes evaluaron el almacenamiento de C en SSP de diferentes zonas en Costa Rica, indicaron que el C fluctuó entre 68 y 204 t ha<sup>-1</sup> donde la mayor parte se encontró en el suelo, adicionalmente se encontraron incrementos anuales entre 1,8 a 5,2 t ha<sup>-1</sup>.

Otra investigación llevada a cabo en Cuba, donde se determinó el carbono total (suelo y biomasa aérea) en una finca con potreros de pasto natural y otra con SSP, con 11 años de explotación, encontraron que el monocultivo secuestró 32 t ha<sup>-1</sup>, mientras que la opción agroforestal alcanzó las 126 t ha<sup>-1</sup>, las cuales correspondieron a 64, 38 y 24 t ha<sup>-1</sup>, en árboles, pastos y suelo respectivamente (Miranda et al. 2007).

Los resultados obtenidos en estos estudios son variables, lo cual puede deberse a que la capacidad de almacenamiento de C de un sistema está influenciado por factores como el tipo de especies herbáceas y leñosas, los arreglos espaciales, las densidades, la tolerancia de las gramíneas a la sombra, el historial de uso de suelo, el manejo del sistema y las entradas y salidas de materia orgánica (José 2009, Post y Kwon 2008).

### **2.3.3. Servicio ecosistémico de aprovisionamiento en sistemas silvopastoriles**

La mayor parte de los SSP existentes son el resultado de la conversión de bosques a áreas de pasturas, donde los productores han seleccionado y mantenido árboles (Harvey y Haber 1998), dado que identifican su potencial en la provisión de forraje y frutos, principalmente para la alimentación del ganado y otros productos como leña y madera (Manning et al. 2006, Ospina et al. 2012, Rusch et al. 2014).

Dentro de los servicios de aprovisionamiento que generan los SSP la producción de forraje ha sido el más estudiado y los resultados evidencian que en condiciones tropicales caracterizadas por una época de lluvia y otra de menor oferta hídrica, la biomasa forrajera se mantiene más estable en cantidad y calidad a lo largo del año en comparación con los sistemas de monocultivo (Mahecha 2003 y López-Vigoa et al. 2017).

Sánchez en el 2007 (citado por López-Vigoa et al. 2017), evaluó en Cuba bajo condiciones comerciales un SSP conformado por la asociación de gramíneas mejoradas *Megathyrus maximus* cv. Likoni y *Cynodon nlemfuensis* cv. Jamaicano, con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham (a una densidad de 5.556 plantas ha<sup>-1</sup>), obteniendo una producción de 28,8 t de MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> de pasto y 4,6 t de MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> de leucaena, con contenidos de proteína bruta (PB) de 9,7% y 25,2 % para la pastura y leucaena respectivamente.

La inclusión de árboles en suelos con problemas de acidez también muestra un efecto benéfico sobre la producción de forraje, tal como lo reporta Bolívar et al. (1999), quienes al evaluar la producción y calidad de la pastura en un suelo ácido con alta saturación de aluminio en el Trópico Húmedo de Panamá, en un sistema constituido por *Acacia mangium* (420 árboles ha<sup>-1</sup>) y *Brachiaria humidicola*, versus la pastura en monocultivos, encontraron una producción de

forraje de 2.562 kg MS ha<sup>-1</sup> y 1.834 kg MS ha<sup>-1</sup> y contenido de PB de 4,6% y 3,2% para el SSP y el monocultivo respectivamente.

Mahecha (2003) menciona el estudio realizado en la Reserva Natural El Hatico, Valle del Cauca (Colombia), donde se caracterizó un SSP de *Cynodon plectostachyus*, *Leucaena leucocephala* y *Prosopis juliflora* en un año con influencia del fenómeno de El niño. Los resultados mostraron una producción de pasto promedio en el sistema de 25 t MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, con producción debajo de la copa de los árboles de *P. juliflora* de 23 t MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y por fuera de la copa de 27 t MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>. Al respecto se comparó la producción promedio del SSP con la obtenida en el monocultivo de *Cynodon plectostachyus* (21 t MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) el año anterior, el cual fue fertilizado con 400 kg de urea ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y además sin influencia del fenómeno de El niño. Adicionalmente está el aporte en forraje de *L. leucocephala* que puede contribuir con 4,3 t MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> y *P. juliflora*, que proporciona frutos para alimentación del ganado (0,4 t MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>).

#### **2.4. Relaciones entre servicios ecosistémicos**

Los agroecosistemas generan SE que se relacionan de manera compleja, y como resultado de estas interacciones pueden resultar efectos negativos o positivos de un servicio sobre otro. Algunos SE pueden relacionarse positivamente; por ejemplo, mantener la calidad del suelo puede mejorar los ciclos de nutrientes, incrementar la producción primaria, regular la regulación de flujos de agua y promover el almacenamiento de carbono; no obstante, también pueden relacionarse negativamente; por ejemplo, el aumento de la producción de cultivos, puede reducir la calidad de los suelos, la regulación del agua y reducir el almacenamiento de carbono (Elmqvist et al. 2011).

El manejo de un ecosistema o agroecosistema para potenciar la obtención de un SE en particular, puede tener consecuencias negativas sobre la provisión de otros servicios. Las relaciones entre SE pueden ser sinérgicas cuando un SE interacciona con otro SE y se producen mejoras mutuas, mientras que los trade-offs se dan cuando el aumento de un SE provoca el descenso de otro SE; es decir, que se presenta una situación de ganar-perder o perder-ganar, que implica sacrificar la provisión de un SE para obtener otro (Bennett et al. 2009, Haase et al. 2012).

De orden general, los productores pueden mostrar interés directo en SE como fertilidad del suelo, polinización, control de plagas y enfermedades, dado el impacto directo sobre la obtención de mayores rendimientos de los cultivos (Elmqvist et al. 2011). Considerando lo anterior los agroecosistemas son manejados de acuerdo con los objetivos de los productores respecto de los diferentes SE, ya sean explícitos o no y en función de esto deciden el plan de manejo del sistema de producción, lo cual a su vez influye en la provisión individual de cada SE y sobre las relaciones entre ellos (Rapidel et al. 2015).

El estudio desarrollado por Tamburini et al.(2016), exploró el efecto de dos tipos de labranza (conservación y convencional), fertilización nitrogenada (0 kg N ha<sup>-1</sup> y 80 kg N ha<sup>-1</sup>) y composición del paisaje (seminatural y arables), sobre los SE de aprovisionamiento (producción

de cultivo), regulación (regulación de la calidad del agua, control de enfermedades, plagas y maleza) y apoyo (fertilidad del suelo) en cereales en el noreste de Italia, y los resultados mostraron que la gestión del suelo influyó en las relaciones entre los SE, los trade-off solo ocurrieron en condiciones de fertilización y aumentaron con la intensidad de la labranza: la opción de manejo de suelos más intensiva (fertilización bajo labranza convencional) presentó trade-offs, entre riqueza de especies de hierba y contenido de materia orgánica, parasitismo de pulgones y contenido de fósforo, incidencia de enfermedades y saturación de fósforo, control de malezas y abundancia de predadores. Se concluyó que la fertilización con nitrógeno y la labranza intensiva incrementaron la producción de cultivo, pero afectaron la provisión de los demás SE.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Analizar las sinergias y trade-offs entre servicios ecosistémicos en agroecosistemas ganaderos con diversa cobertura arbórea en la ecorregión Valle del Río Cesar, departamento de Cesar (Colombia).

#### **3.2. Objetivos específicos**

a). Evaluar la composición florística de la vegetación herbácea y arbórea en agroecosistemas ganaderos.

##### **Pregunta**

- ¿Cuál es la composición florística de la vegetación herbácea y arbórea en los agroecosistemas ganaderos estudiados?
- ¿Existe efecto de la cobertura arbórea sobre la composición florística de la vegetación herbácea en los agroecosistemas ganaderos estudiados?

b). Cuantificar el servicio ecosistémico de aprovisionamiento en la producción de forraje herbáceo y madera, y el servicio ecosistémico de regulación mediante la estimación del almacenamiento de carbono en biomasa aérea en agroecosistemas ganaderos.

##### **Preguntas**

- ¿Cuánto es el carbono almacenado en la biomasa aérea, en los agroecosistemas ganaderos estudiados?
- ¿Qué cantidad de forraje herbáceo y madera pueden generar los agroecosistemas ganaderos estudiados?

c). Analizar las relaciones entre el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de producción de forraje herbáceo y madera, y el servicio de regulación de almacenamiento de carbono y la composición florística en agroecosistemas ganaderos.

##### **Pregunta:**

- ¿Qué tipo de relación existe entre el servicio ecosistémico de aprovisionamiento de producción de forraje herbáceo y madera, servicio de regulación de almacenamiento de carbono y la composición florística en los agroecosistemas ganaderos estudiados?

## 4. Métodos

### 4.1. Área de estudio

La Región Caribe colombiana, por las condiciones climáticas y ecológicas contrastantes, se clasifica en Caribe húmedo y seco, con lo cual el departamento del Cesar es el más representativo para el Caribe seco. Presenta precipitación promedio anual entre 1.000 a 2.000 mm con régimen bimodal-tetra estacional con dos periodos de lluvia (abril-junio y agosto-noviembre), un periodo seco de larga duración (diciembre-marzo) y un periodo de reducción de las lluvias (junio-julio), determinado por la zona de confluencia intertropical, los vientos alisios del noreste y la influencia de la Sierra Nevada de Santa Marta y las Serranías de Perijá (Rangel-Ch 2009; Gobernación del Cesar y UNAL 2011). El departamento, con una extensión de 22.905 km<sup>2</sup> y una población estimada de 1.041.203 habitantes, limita al norte con los departamentos de La Guajira y Magdalena; por el sur, con Bolívar, Santander y Norte de Santander; y por el este, con Norte de Santander y la República Bolivariana de Venezuela (Gobernación de Cesar 2018). En el 2017, el Cesar contribuyó con el 2,2% del PIB nacional y su PIB *per cápita* fue de aproximadamente 6.492 dólares. Las principales actividades económicas fueron la explotación de minas y canteras, y la agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca, con una participación en el PIB departamental de 40% y 8% respectivamente (DANE 2018).

El Cesar es el segundo departamento con mayor número de bovinos de la Costa Caribe (1.357.512), cuenta con 12.597 predios y tiene orientación hacia el doble propósito; es decir, la producción conjunta de leche y de carne (FEDEGAN 2016). Produce al año 363 millones de litros de leche (995 mil litros de leche al día), de los cuales el 65,3% se comercializa de manera formal, y es el tercer departamento con los mejores niveles de formalización. Cabe anotar que el 32,8% del inventario bovino se concentra en los municipios de Valledupar, Agustín Codazzi y San Martín (FEDEGAN 2014).

La Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA 2017), ha indicado que 1.396.840 ha de la superficie del Cesar son suelos agropecuarios, de estas el 34,8% tienen vocación agrícola y 13,1% poseen características para la explotación ganadera (Fig. 1). No obstante, los conflictos de uso se evidencian en la mayor ocupación de los suelos con fines ganaderos; por tanto, aunque solo 295.819 ha son aptas para el desarrollo de la actividad, el área actual de pastoreo asciende a 1.214.14 ha (53,8% del área total del departamento) y en contraste de las 786.011 ha con propiedades agrícolas, pues solo 201.127 ha (8,9%) se emplean en agricultura.

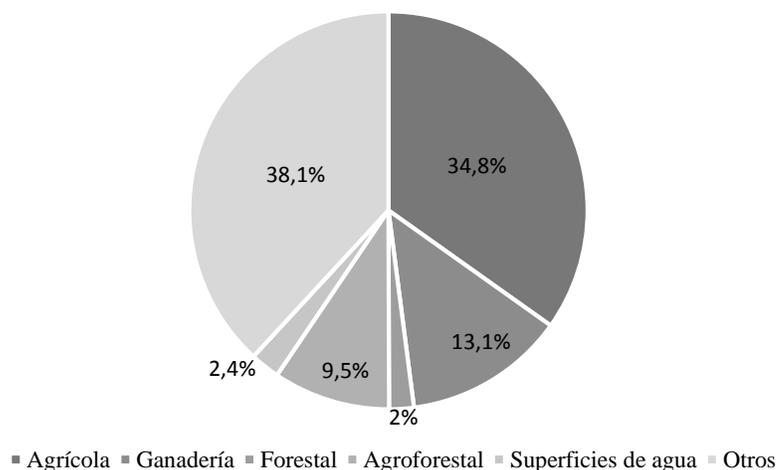


Fig. 1. Distribución de la vocación de los suelos en el departamento del Cesar. Fuente UPRA 2017

El Cesar está dividido geográfica, fisiográfica y ecológicamente en cinco ecorregiones, que representan funciones estratégicas. Estas ecorregiones corresponden así: 1) Sierra Nevada de Santa Marta, que alberga una alta diversidad de flora y fauna; 2) la Serranía del Perijá, con una función ecológica y de provisión de bienes y servicios ambientales; 3) el Valle del Río Cesar, donde se desarrolla la mayor parte de la explotación económica del departamento; 4) la Ciénaga de Zapatosa y Humedales Menores, con una función ecológica; y 5) el Valle del Río Magdalena, con función económica vinculada a la agricultura (Gobernación del Cesar y UNAL 2011).

El presente estudio se llevó a cabo en la ecorregión Valle del Río Cesar (Fig. 2) con una extensión de 5.700 km<sup>2</sup> desde el sur del departamento de la Guajira hasta la Ciénaga de Zapatosa. La ecorregión comprende los municipios de Barrancas, Fonseca, incluyendo a Distracción, San Juan del Cesar, El Molino, Villanueva y Urumita, pertenecientes al departamento de la Guajira; y los municipios de Valledupar, La Paz, San Diego, Agustín Codazzi, Becerril y Bosconia, pertenecientes al departamento del Cesar. Los usos de suelo dominantes corresponden a pastizales y fragmentos de bosques secundarios (Paternina et al. 2013). En esta ecorregión se encuentran zonas de recarga hídrica, cerca de su confluencia con los macizos montañosos (CORPOCESAR 2016) y sus suelos sustentan el desarrollo de las actividades que mayormente aportan a los medios de vida de la población, tales como la agricultura, ganadería, agroindustria y minería.

En la ecorregión se identifican tres sistemas de producción ganadera: el doble propósito con balance entre carne y leche, doble propósito con énfasis hacia la cría, y doble propósito con énfasis hacia la producción de leche. El sistema doble propósito (carne y leche) ocupa un área aproximada de 475.172 ha y se distribuye sobre las zonas de planicies aluviales, de sabanas ácidas o alcalinas y de colinas con suelos bien drenados; el sistema doble propósito con énfasis hacia la cría representa alrededor de 125.595 ha y está localizado en tierras de planicies aluviales y coluvio-aluviales, con relieve plano o ligeramente ondulado y pendientes menores al 7%, y el

sistema doble propósito con énfasis hacia la leche se distribuye en una extensión de 46.084 ha aproximadamente (Mojica et al. 2013).

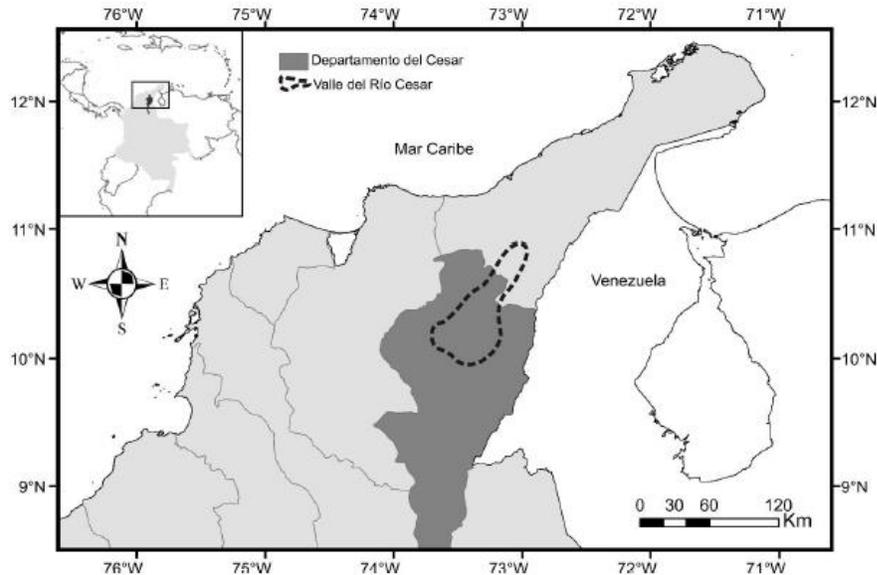


Fig. 2. Mapa de ubicación ecorregión Valle del Río Cesar. Fuente Vergara 2015

#### 4.2. Selección de agroecosistemas ganaderos

Se evaluaron agroecosistemas ganaderos representativos de la ecorregión Valle del Río Cesar. Según Vergara (2015), el principal uso del suelo en la ecorregión son los potreros sin árboles (40,3%), seguido de potreros con árboles (29,3%). Estas áreas están conformadas principalmente por pasturas naturalizadas que son una mezcla de diversas especies de pastos naturalizados y mejorados que no fueron establecidos culturalmente.

Con base en la dominancia de pasturas naturalizadas se seleccionaron agroecosistemas con pasturas naturalizadas y diferentes porcentajes de cobertura de árboles dispersos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Categorías de sombra de los agroecosistemas seleccionados

Categoría	Agroecosistema (AG)
AGbajo	5-10% de cobertura arbórea
AGmedio	10-20% de cobertura arbórea
AGalto	20-40% de cobertura arbórea

#### 4.3. Selección de fincas

El proceso de selección de fincas consideró predios donde la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA había desarrollado trabajos previamente.

Adicionalmente, se contó con el apoyo de la Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria - CIPAV, los cuales proveyeron información sobre fincas potenciales para realizar el estudio.

Con base en la información suministrada se escogieron seis fincas ganaderas localizadas en los municipios de Agustín Codazzi, San Diego y Valledupar. La selección cumplió con los siguientes criterios: 1) tenencia de la tierra legal; 2) desarrollo de ganadería bovina; 3) facilidad de acceso al predio y 4) previa autorización del productor para la realización del estudio en su propiedad. Todas las fincas seleccionadas desarrollan una ganadería bajo el sistema de doble propósito con énfasis en leche, la cual se caracteriza por ser semi extensiva; es decir, realizan periodos de rotación en época de lluvia y pastoreo continuo en época seca. En el cuadro 3 se relacionan algunas características adicionales de las fincas seleccionadas.

Cuadro 3. Ubicación y características generales de las fincas ganaderas seleccionadas para el estudio.

<b>Finca</b>	<b>Municipio</b>	<b>Corregimiento o Vereda</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Otra actividad pecuaria</b>
1	San Diego	Los Brasiles	100	118	Ovino-capricultura
2	Valledupar	La Mesa	300	105	Aves de corral
3	Valledupar	El Callao	150	114	Ovino-capricultura
4	Valledupar	Los Corazones	150	80	Ovino-capricultura
5	San Diego	Los Brasiles	132	240	Ovino-capricultura
6	Agustín Codazzi	Minguillo	106	250	NA

#### **4.4. Diseño de muestreo**

##### **4.4.1. Repeticiones o sitios de muestreo**

El proceso de selección consistió en visitar potreros que con base en la información suministrada por los productores presentaban las características de cobertura arbórea deseables, y que además se encontraban en periodos de descanso de pastoreo, de tal forma que se pudiese realizar la evaluación de la composición y producción de herbáceas. La clasificación de los potreros, respecto del porcentaje de cobertura arbórea, fue verificada utilizando un densiómetro esférico. Las mediciones se realizaron en nueve estaciones a lo largo de un recorrido en forma de zigzag

en cada uno de los potreros bajo evaluación, las lecturas fueron colectadas en dirección a los cuatro puntos cardinales (Fig. 3), para un total de 36 lecturas (9 estaciones x 4 direcciones) por potrero. El densiómetro esférico está dividido en 24 cuadros, los cuales se subdividieron en cuatro partes, para un total de 96 cuadrados, se contó el número de cuadros cubiertos por partes de árboles (ramas y/o hojas) y posteriormente se calculó el promedio general de cuadros cubiertos y se estimó la cobertura arbórea por medio de la siguiente ecuación:

$$COB = \frac{PG}{CC} \times 100 \text{ Ecuación 1.}$$

Donde,

*COB*: porcentaje de cobertura; *PG*: promedio general; *CC*: número de cuadros contados (96)

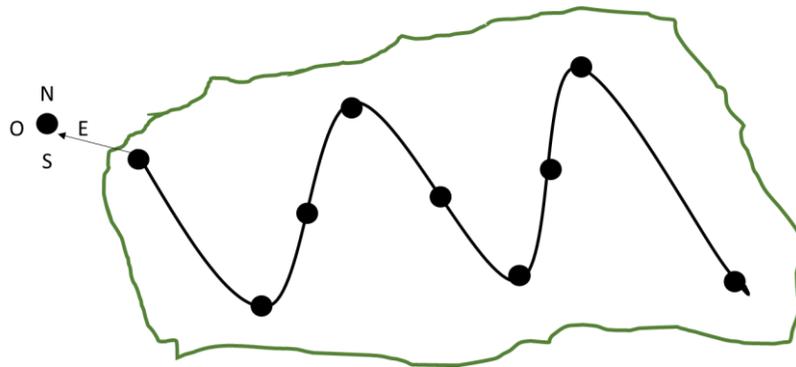


Fig. 3. Esquema de los recorridos realizados para verificación de la tipología de sombra (porcentaje cobertura arbórea) presente en los potreros seleccionados.

Las seis fincas seleccionadas contaban con la cobertura arbórea dos o intermedia y la cobertura arbórea tres o alta y cinco fincas contaron con potreros con cobertura arbórea baja. En específico fueron seleccionados seis potreros para AGmedio y AGalto y cinco para el AGbajo, para un total de 17 potreros.

#### 4.4.2. Variables evaluadas

Se midieron variables que permitieron la evaluación de lo siguiente: 1) la composición florística en vegetación herbácea y leñosa; 2) el SE de almacenamiento de carbono en biomasa aérea (biomasa herbácea y arbórea); y 3) el SE de producción de biomasa forrajera (herbácea) y madera (para leña, postes o aserrío).

##### 4.4.2.1. Composición florística

La composición florística se determinó en la vegetación herbácea y leñosa de los AG. La metodología por sitio de muestreo o repetición (n=17) se describe a continuación.

#### 4.4.2.1.1. Composición florística en vegetación herbácea

Para evaluar la composición florística en las áreas de pasto se tomó como referencia un área de 15.000 m<sup>2</sup> (150 m x 100m) por repetición y se muestreó la vegetación herbácea mediante transectos lineales, que fueron distribuidos sistemáticamente dejando una distancia de 25 m desde cada borde y manteniendo una separación entre transecto de 20 m (Fig. 4).

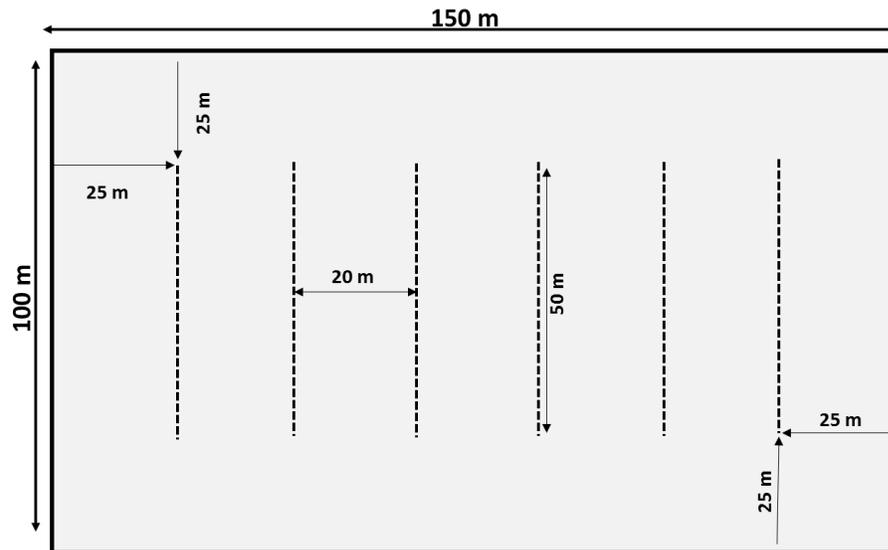


Fig. 4. Esquema de muestreo para la colecta de información sobre la composición florística de la vegetación herbácea en potreros.

El muestreo se realizó mediante el método de la cruz (Ospina et al. 2009). Los puntos de observación se determinaron utilizando una pieza en forma de cruz de 1 m x 1 m, con un punto central en el extremo de cada brazo (Fig. 5), esta fue ubicada a lo largo del transecto a intervalos de 1,5 m y en cada intervalo se registraron las especies que interceptaban cualquiera de sus partes aéreas (hojas, tallos, flores, etc.) con la proyección vertical del punto central de cada brazo de la cruz. Es decir, que por cada transecto se obtuvieron 33 puntos de observación, y en cada punto se tomaron cuatro registros (132 registros/transecto). Cada área de muestreo contó con seis transectos de 50 m, para un total de 792 registros.



Fig. 5. Pieza en forma de cruz utilizada para evaluar la composición florística de la vegetación herbácea.

Cuando no fue posible identificar las especies encontradas en campo se tomaron fotografías y muestras de las plantas para realizar el reconocimiento posterior por medio de consulta a los productores y revisión de literatura, para lo que se emplearon manuales de vegetación herbácea para trópico seco y claves taxonómicas.

#### **4.4.2.1.2. Composición florística en vegetación leñosa**

Se establecieron parcelas de muestreo temporales de forma circular (PC) de 1.000 m<sup>2</sup> (radio de 17,84 m), ya que este tipo de parcelas ayuda a reducir el error de muestreo en sistemas con pocos individuos como los árboles dispersos en pasturas (Andrade e Ibrahim 2003). En cada repetición se localizaron tres puntos de muestreo o PC de 1.000 m<sup>2</sup> (3.000 m<sup>2</sup> en total) en dirección a la pendiente, los cuales tenían una separación de 50 metros (Cárdenas et al. 2018). Teniendo en cuenta que en su mayoría los potreros no superaban las 1,5 ha, se ubicó la parcela de referencia dejando 10 m de separación entre el extremo de la misma con el potrero o uso de suelo contiguo, y a partir de este punto se midió con cinta métrica la distancia correspondiente al radio (17,84 m). Localizado el punto central de la primera PC, se midieron 50 metros para trazar la siguiente PC (Fig. 6).

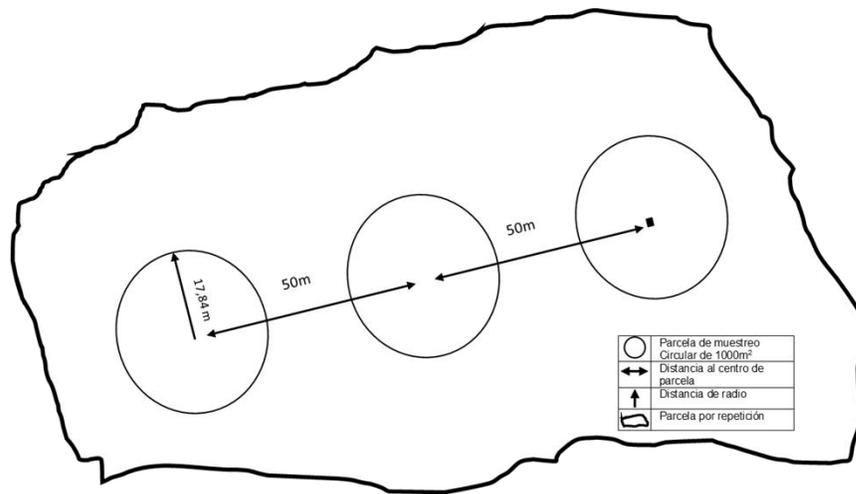


Fig. 6. Esquema de muestreo para composición florística de arbóreas, evaluación de almacenamiento de carbono y evaluación de aprovisionamiento (forraje herbáceo y madera).

En cada PC se registraron todos los árboles con diámetro a la altura del pecho (DAP) > 5,0 cm medido a una altura sobre el nivel del suelo de 1,3 m, cada individuo fue identificado con nombre común, y en los casos donde no se pudo realizar la identificación inmediata en campo, se tomaron fotografías y muestras vegetales que fueron identificadas posteriormente.

Cabe anotar que las PC también se emplearon para muestrear los SE de aprovisionamiento, biomasa forrajera y madera y el SE de regulación almacenamiento de carbono en biomasa aérea.

#### 4.4.2.2. SE Almacenamiento de carbono en biomasa aérea

Para la determinación del carbono en biomasa aérea se estimó la biomasa en la vegetación herbácea y en el componente arbóreo de los AG. El muestreo se realizó en las tres PC establecidas por repetición (Fig. 6) y la información obtenida fue extrapolada a una hectárea.

##### 4.4.2.2.1. Estimación de carbono en biomasa arbórea

En cada PC de los potreros se hizo el inventario de los árboles con  $DAP \geq 5$  cm, se midió la altura con hipsómetro laser, el DAP con cinta diamétrica. En los árboles que tenían varios ejes se calculó el diámetro cuadrático medio (DCM) (Ecuación 2)

$$DCM = \sqrt{\sum DAPn^2} \text{ Ecuación 2.}$$

Donde,

*DCM*: diámetro cuadrático medio; *DAP*: diámetro a la altura del pecho (cm); *n*: número de fustes.

Para estimación de la biomasa área presente en el componente arbóreo en cada PC se usó la ecuación alométrica para bosque seco tropical propuesta por Chave et al (2005) (Ecuación 3) y

que es ampliamente usada para estimación de biomasa en árboles en potreros en trópico seco (Chacón-León y Harvey 2013).

$$BA = \exp(-2,187 + 0,916x \ln(\rho DAP^2 H)) \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde,

*BA: biomasa aérea arbórea; DAP: diámetro a la altura del pecho (cm);  $\rho$ : densidad de madera ( $\rho = \text{g/cm}^3$ ); H: altura (m)*

Dado que no se contaba con estimación directa de  $\rho$  para las especies inventariadas, se emplearon valores de  $\rho$  reportados para bosque seco tropical de la región Caribe Colombiana (Álvarez et al. 2013). Para las arbóreas no encontradas en el documento de referencia se usaron datos reportados en otras publicaciones para zonas tropicales (Zanne et al. 2009; Carrillo et al. 2011). En el caso de no encontrar información de algunas especies se optó por usar un valor promedio de  $0,73 \text{ g/cm}^3$  del conjunto de especies encontradas en la investigación.

La biomasa por potrero fue el resultado de la sumatoria de los valores de las tres PC, esta fue convertida a carbono usando 0,5 como fracción contenida en la materia seca de leñosas (IPCC 2006). Finalmente, la cantidad de carbono por potrero fue llevado a hectárea ( $\text{t C ha}^{-1}$ ).

#### **4.4.2.2.2. Estimación de carbono en biomasa herbácea**

Para estimar la biomasa en el componente herbáceo en cada AG se utilizó un marco de  $0,25 \text{ m}^2$  ( $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ ) aplicando la metodología de doble muestreo por rango visual, desarrollado por Haydock y Shaw (1975). Cada PC de  $1.000 \text{ m}^2$  fue recorrida para seleccionar cinco sitios de referencia en función de la biomasa disponible, donde uno (1) era de menor y cinco (5) mayor biomasa, seguido se calificaron visualmente 20 sitios considerando la escala de 1 a 5, estos puntos fueron distribuidos de forma aleatoria realizando un recorrido en forma de zigzag. En cada punto de referencia se ubicó el marco de  $0,25 \text{ m}^2$  para cortar a ras de suelo y pesar en balanza de precisión la biomasa herbácea.

El procedimiento anterior se realizó para cada PC; es decir, que en total por potrero se calificaron 60 puntos. Además, se tomaron submuestras de aproximadamente 200 gramos por punto de referencia, las cuales fueron secadas en horno a  $65^\circ\text{C}$  por 48 horas o hasta que alcanzó peso constante. Inmediatamente después de retirar del horno el material vegetal se pesó para obtener el porcentaje de materia seca por submuestra.

Con el contenido de materia seca de cada submuestra, se halló la materia seca en cada punto de referencia y posteriormente se construyó un modelo de regresión lineal simple donde el peso es

la variable dependiente (Y) y la calificación asignada la variable regresora (X). La biomasa disponible fue estimada mediante la ecuación:

$$B = \bar{Y} + \beta(X - X1) \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde,

*B*: Estimación de biomasa;  $\bar{Y}$ : Promedio biomasa en las muestras reales (MS);  $\beta$ : Coeficiente de regresión; *X*: Promedio de calificación muestras visuales; *X1*: Promedio de calificación muestras reales (para el caso es 3).

El valor obtenido en cada potrero fue convertido a carbono usando 0,47 como fracción contenida en la materia seca de herbáceas (IPCC 2006). Finalmente, la cantidad de carbono por potrero fue escalado a hectárea (t ha<sup>-1</sup>).

#### **4.4.2.3. SE Aprovechamiento de biomasa forrajera y madera**

Para los AG se evaluó en cada PC de los potreros (Fig. 6) la producción de biomasa forrajera del componente herbáceo y el volumen de madera para postes, leña o aserrío.

##### **4.4.2.3.1. Biomasa forrajera**

La biomasa forrajera se estimó en un único momento, el cual correspondió con el inicio de la época seca. La ganadería en la zona se desarrolla de forma semi extensiva, el periodo de descanso promedio de los potreros en época de lluvia es de 40 días y en época seca los bovinos pastorean continuamente. Teniendo en cuenta lo anterior, la información se reportó para un periodo de recuperación del potrero de 40 días.

En la evaluación se consideró toda la biomasa herbácea en el potrero, dado que los animales se alimentan en general de las hierbas disponibles (gramíneas y no gramíneas). Los valores de biomasa forrajera se obtuvieron mediante la metodología de doble muestreo por rango visual, también usada para estimar el carbono en el componente herbáceo. La biomasa en MS estimada por potrero se extrapola a hectárea (t MS ha<sup>-1</sup>).

##### **4.4.2.3.2. Volumen de madera (VLM)**

Para VM se registró la información dasométrica de los individuos con DAP  $\geq 5$  cm, en cada PC. Las variables medidas fueron DAP, altura total y altura comercial, con la información obtenida se determinó el VM mediante la ecuación 5:

$$VLM = \frac{\pi}{4} \times DAP^2 \times h \times f \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde,

*VLM*: volumen del árbol ( $m^3$ ); *DAP*: diámetro del árbol ( $m$ ) a 1,3 m; *h*: altura del árbol ( $m$ ) y *f*: factor de forma.

Por la dificultad de hallar *f* para las especies, se utilizaron los generales planteados por Melgarejo et al. (2015), quienes asignan un valor de 0,7 cuando los fustes son rectos o ligeramente rectos, uniformes y semicilíndricos; 0,6 para fustes ligeramente curvos, medianamente irregulares o torcidos y medianamente cónica y 0,45 a los fustes cónicos, torcidos o con irregularidades.

El volumen de madera por potrero se obtuvo de la sumatoria de los VM de las tres PC, para finalmente llevarlo a valores en hectáreas ( $m^3 ha^{-1}$ ).

#### 4.5. Análisis de datos

Para estimar el número de especies esperado en cada AG, se construyeron curvas de acumulación basadas en individuos, tanto en vegetación arbórea como herbáceas. Esdto tomando en cuenta que no se registró el mismo número de individuos en los AG, se aplicó la técnica de interpolación y extrapolación de los datos, a través de la cual se llevaron todas las muestras al número máximo de individuos encontrados.

Mediante extrapolación de especies se estimó la riqueza esperada para cada AG y considerando que los datos provienen de conteos se empleó el método de Chao 1, con corrección de sesgo para muestras pequeñas. Con el valor de Chao 1 se estimó la riqueza esperada, aplicando la ecuación 6:

$$Esfuerzo\ de\ muestreo = \frac{Riqueza\ observada * 100}{Riqueza\ esperada} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Con la información de número de especies y abundancias, se construyeron curvas rango abundancia por AG, lo cual permitió visualizar qué tratamiento presentó una mayor riqueza, además permite determinar las especies dominantes por cada AG muestreado. Adicionalmente se puede hacer inferencia sobre la equitatividad, dado que curvas más suavizadas reflejan una mejor distribución de las especies en el sistema (Feinsinger 2001).

Para la vegetación arbórea se calculó el índice de valor de importancia de cada especie (IVI), que es el resultado de la suma de la abundancia, dominancia y frecuencia relativa (Mongue 1999). El índice permite explicar cómo las especies presentes contribuyen con la estructura de un ecosistema o agroecosistema.

La diversidad en los AG se estimó mediante los índices de Shannon ( $H'$ ) y Simpson ( $D'$ ). El valor de  $H'$  toma en consideración la riqueza de especies y la proporción de cada una de las especies presentes en la comunidad “x” y el valor de  $D'$  es la probabilidad de que dos individuos

sacados al azar de forma secuencial correspondan a la misma especie y está fuertemente relacionado con la abundancia (Moreno 2001). Los índices se calcularon mediante las ecuaciones 6 y 7, reportadas por Magurran (1988).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$
$$D' = \sum p_i^2$$

Ecuaciones 6 y 7

Donde,

*P<sub>i</sub>*= número de individuos de la *i*-ésima especie, dividido entre el número de individuos de la muestra

En la vegetación herbácea se realizó análisis de varianza (ANOVA) para la riqueza y los índices de *H'* y *D'*. Las ANOVA se realizaron por medio del software *InfoStat* (Di Rienzo et al. 2018), los AG fueron declarados como factores fijos y la finca como un factor aleatorio. Para las arbóreas no fue posible realizar ANOVA dado que algunos de los potreros evaluados tenían solamente una especie; por tanto, los índices no pudieron estimarse. Considerando lo anterior la información promedio de los índices se presentó en un cuadro y se interpretó de forma descriptiva.

Para determinar si existían diferencias entre AG para las variables almacenamiento de C en biomasa aérea, producción de biomasa herbácea y madera, se realizó un ANOVA, comprobando previamente los supuestos distribucionales normalidad y homogeneidad de varianzas. Los análisis se realizaron por medio del software *InfoStat* (Di Rienzo et al. 2018), los AG fueron declarados como factores fijos y la finca como un factor aleatorio, para los casos donde no se cumplió el supuesto de homogeneidad, se declararon varianzas heteroscedásticas y se estimaron los modelos, usando como criterio de decisión los valores más bajos de AIC (criterio de información de Akaike) y BIC (criterio de información bayesiano). En las ANOVA con diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), se aplicó prueba de comparación de medias LSD de Fisher.

Las curvas de rango-abundancia, curvas de acumulación y estimación de los índices de diversidad se realizaron por medio del software *Qeco* (Di Rienzo et al. 2010). Los ANOVA, y análisis de IVI fueron desarrollados por medio del software *InfoStat* (Di Rienzo et al. 2018).

#### **4.5.1. Análisis de relaciones entre servicios ecosistémicos y composición florística (sinergias y trade-offs)**

Con el objetivo de explorar las relaciones entre las coberturas arbóreas, los SE almacenamiento de carbono en biomasa aérea, provisión de biomasa forrajera y volumen de madera y la composición florística, a través del índice de diversidad de *H'*, se realizó un análisis de componentes principales (ACP).

Para probar la significación y dirección de las relaciones (sinergias o trade-offs), entre los SE almacenamiento de carbono, provisión de biomasa forrajera y madera y el índice de diversidad de H' para vegetación arbórea y herbácea se realizó un análisis de correlación de Spearman (Felipe-Lucia et al. 2014, Tamburini et al. 2016). Con base en los resultados de las correlaciones se consideró sinergia cuando el coeficiente de correlación ( $r_s$ ) fue positivo y el valor  $P < 0,05$  y un trade-off cuando  $r_s$  fue negativo y  $P < 0,05$ .

El ACP y análisis de correlación de Spearman se realizaron en el software *InfoStat* (Di Rienzo et al. 2018).

## **5.Resultados**

### **5.1. Composición florística de la vegetación arbórea y herbácea**

Se encontraron 28 especies arbóreas, pertenecientes a 15 familias y 25 géneros; de estas, 4 familias (Bignoniaceae, Fabaceae/ Mimosoideae, Fabaceae/Caesalpinioideae y Fabaceae/Faboideae) representan el 53,57% de las especies. En el total de la flora arbórea muestreada dos especies no pudieron identificarse (Anexo 1). Del total de individuos el 25,1 % tienen DAP entre 5-15 cm, el 29,5% entre 15-25 cm, un 24,3% entre 25 y 35 cm, el 8,1% entre 35 y 45 cm, el 6,9% están entre 45 y 55 cm, 3,2% entre 55-65% y 2,8% son mayores que 65 cm.

En relación con la vegetación herbácea fueron registradas 66 especies, correspondientes a 51 géneros y 23 familias. De los especímenes se identificaron 58 en el nivel de especie, 4 en el nivel de género y 4 no pudieron identificarse. Las familias que presentan mayor representación en términos de especies, incluyendo más el 51,52% de los individuos detectados, son la Poaceae (27,27%), Euphorbiaceae (9,09%), Fabaceae/Faboideae (7,58%), y Malvaceae (7,58%) (Anexo 2). Resultado similar fue encontrado en Muy Muy, Nicaragua por Zapata et al. (2013), quienes registraron 57 especies distribuidas en 22 familias y de forma contrastante Ospina et al. (2009) hallaron 158 especies en esta misma localidad.

El AGalto (20-40%) presenta la mayor riqueza de especies arbóreas ( $n=23$ ), seguido por la AGmedio (10-20%) con 18 especies y AGbajo con 7 especies. Sin embargo, y a pesar de la diferencia numérica, es importante resaltar que existe un alto grado de traslape entre los intervalos de confianza, indicando que las tres categorías de AG son similares en términos de riqueza de especies (Fig. 7a). Adicionalmente, con base en el muestreo realizado, se logró obtener una buena representación de las especies arbóreas presentes en cada una las categorías evaluadas. No obstante, las curvas de acumulación no alcanzaron la asíntota, indicando que se requiere de un esfuerzo de muestreo adicional para cubrir la riqueza total de especies presentes en estos AG. El esfuerzo o eficiencia del muestro fue de 92% para el AGalto, 66 % para AGmedio y 70% para AG1.

En las curvas de acumulación para la vegetación herbácea (Fig. 7b) se observa una riqueza de 54 especies para el AGalto (20-40%), 56 para AGmedio (10-20%) y 37 para AGbajo (5-10%), mostrando un comportamiento muy similar para los AGalto y AGmedio, con cierta variación

respecto del AGbajo. En las curvas se evidencia que la cobertura de la muestra logró capturar la mayor cantidad de las especies herbáceas presentes en estos sistemas, lo cual es confirmado por los esfuerzos de muestreo estimados, que corresponden a 91%, 88% y 91% para los AGalto, AGmedio y AGbajo respectivamente.

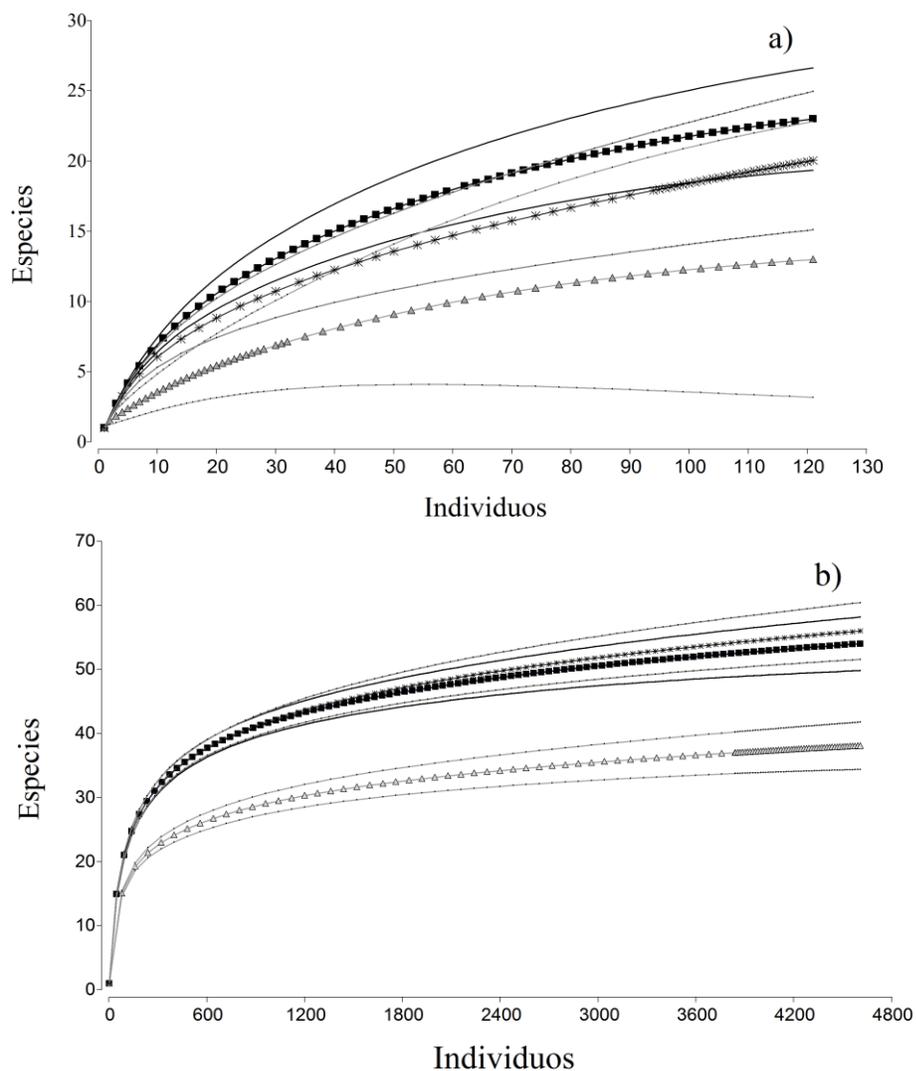


Fig. 7. Curvas de acumulación de especies basada en individuos para los diferentes agroecosistemas. Cuadrados de color negro representan el AGalto, estrellas representan el AGmedio y el triángulo de color gris el AGbajo; las líneas punteadas son los intervalos de confianza al 95%; a) curva de acumulación para la vegetación arbóreas; b) curva de acumulación para la vegetación herbácea.

La curva rango abundancia para las arbóreas (Fig. 8a), está marcada por una alta dominancia de pocas especies. Esto es particularmente evidente en los potreros con baja cobertura arbórea (AGbajo), donde *Prosopis juliflora* representa más del 70% de los individuos muestreados. En los potreros con cobertura arbórea media (AGmedio), también se observa una alta dominancia de *P. juliflora* (29,5%), seguido de *Handroanthus chrysanthus* (14,7%), *Aspidosperma polyneuron* (13,7%) y *Platymiscium pinnatum* (11,6%); es decir, que cerca del 70% de los individuos hallados pertenecen únicamente a cuatro especies. Finalmente, en los potreros con alta cobertura arbórea (AGalto) se encontró que la especie más abundante fue *H. chrysanthus* (18,2%), seguido por *P. juliflora* (15,7%), *Albizia saman* (12,4%) y *Bulnesia arborea* (11,6%), representando estas cuatro especies aproximadamente el 60% de los individuos muestreados en este AG. Con base en este análisis la distribución de las abundancias de las especies encontradas en potreros con alta cobertura arbórea (AGalto) corresponde a la más equitativa de las categorías muestreadas.

La curva de rango abundancia para las herbáceas (Fig. 8b), refleja la dominancia de pocas especies en los tres AG. La especie más abundante en los AG es la gramínea *Bothriochloa pertusa* y representa alrededor del 50% de los individuos registrados en cada cobertura. En los AGmedio y AGbajo la segunda especie mayor representada es *Cynodon nlemfuensis*, que también es una gramínea forrajera y para el AGalto *Melochia parvifolia* que pertenece a la familia de las Malvaceas.

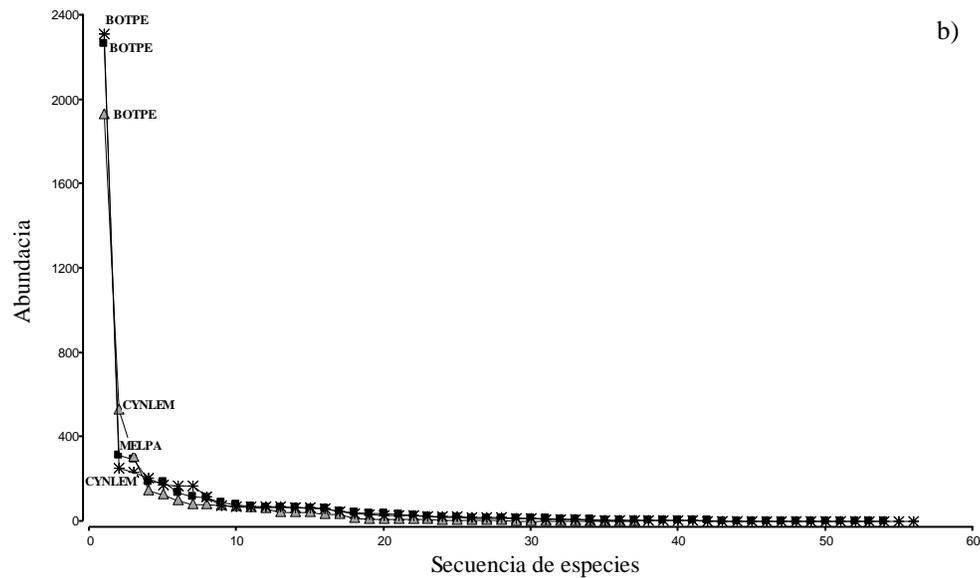
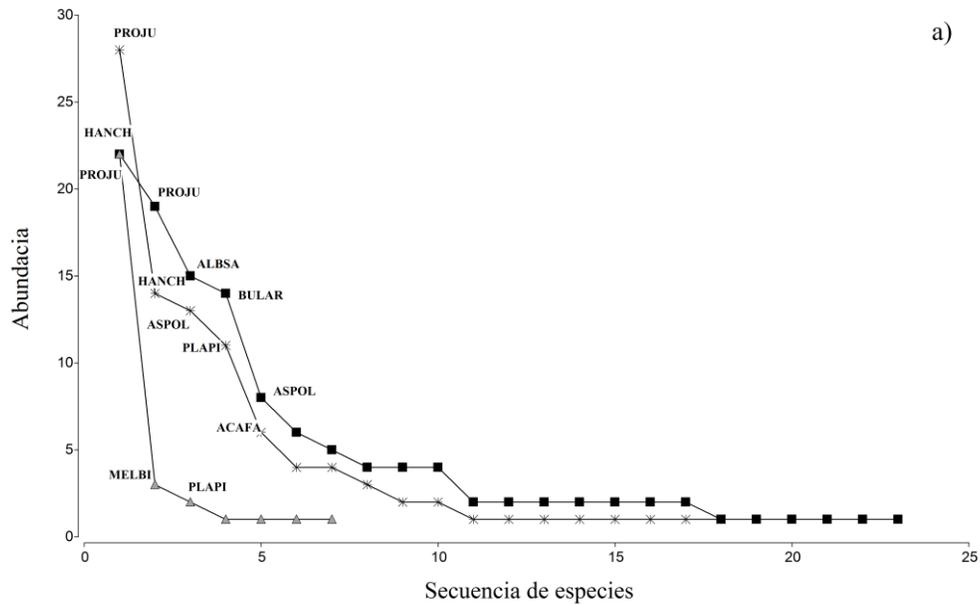


Fig. 8. Curvas rango abundancia de especies para los diferentes agroecosistemas. Cuadrados de color negro representan el AGalto, estrellas representan el AGmedio y el triángulo de color gris el AGbajo; curvas más suavizadas indican mejor distribución en las abundancias de las especies. a) Curva de acumulación para la vegetación arbórea; se indican las cinco especies de mayor abundancia en AGalto y AGmedio y las tres de AGbajo. PROJU: *Prosopis juliflora*; HANCH: *Handroanthus crysantus*; ALBSA: *Albizia saman*; BULAR: *Bulnesia arborea*; ASPOL: *Aspidosperma polinerun*; PLAPI: *Plastymiscium pinnatum*; ACAFA: *Acacia farnesiana*; MELBI: *Melicoccus bijugatus*. b) Curva de acumulación para la vegetación herbácea; se indican las dos especies de mayor abundancia en los AG. BOTPE: *Bothriochloa pertusa*; CYNLEM: *Cynodon nlemfuensis* y MELPA: *Melochia parvifolia*

Con base en los valores de IVI ( Fig. 9a ), el AGalto (20-40%) presenta la mejor distribución de las especies, las cinco arbóreas que mayor contribuyen a la estructura del AG son *Albizia saman* (ALBSA), *Handroanthus chrysanthus* (HANCH), *Prosopis juliflora* (PROJU) *Bulnesia arborea* (BULAR) y *Aspidosperma polyneuron* (ASPOL), cabe anotar que la dominancia relativa para ALBSA fue el componente que más aportó al IVI, puesto que en términos de abundancia fue la tercera especie con mayor número de individuos. ALBSA es una especie con potencial maderable, que además ofrece una amplia sombra para el ganado, su follaje y frutos tienen buenas características nutricionales que la convierten en potencial para ser incorporado en arreglos silvopastoriles (Solano 2013, Delgado et al. 2014).

En el AGmedio (10-20%) y AGbajo (5-10%), PROJU es la especie con mayor IVI (Fig. 9b y 9c), lo que sugiere que tiene mayor capacidad de aprovechamiento de los recursos (agua, nutriente, luz, etc.), además el comportamiento de los valores es similar a lo observado en las curvas de rango abundancia; es decir, que el índice está siendo influenciado en mayor medida por el número de individuos de las especies.

En el AGmedio, las especies que continúan en importancia después de PROJU son *Aspidosperma polyneuron* (ASPOL), *Handroanthus chrysanthus* (HANCH) y *Platymiscium pinnatum* (PLAPI), lo cual es fundamental analizar desde la perspectiva de los productores, ya que son ellos los que a través del manejo en sus potreros deciden qué especies conservar. En este sentido las tres especies tienen usos maderables (Cajas-Giron y Sinclair 2001), ASPOL y PLAPI suministran sombra que se mantiene en época seca y HANCH es el árbol insignia del departamento, valorado por su majestuosidad escénica, que le aporta belleza a los paisajes ganaderos. Estos resultados son congruentes con los de Roenes y Reales (2018), los cuales determinaron la composición florística arbórea en una zona perteneciente a la ecorregión Valle Del Río Cesar y encontraron que PROJU y ALBSA fueron las especies más importantes, con IVI de 75 y 66 respectivamente.

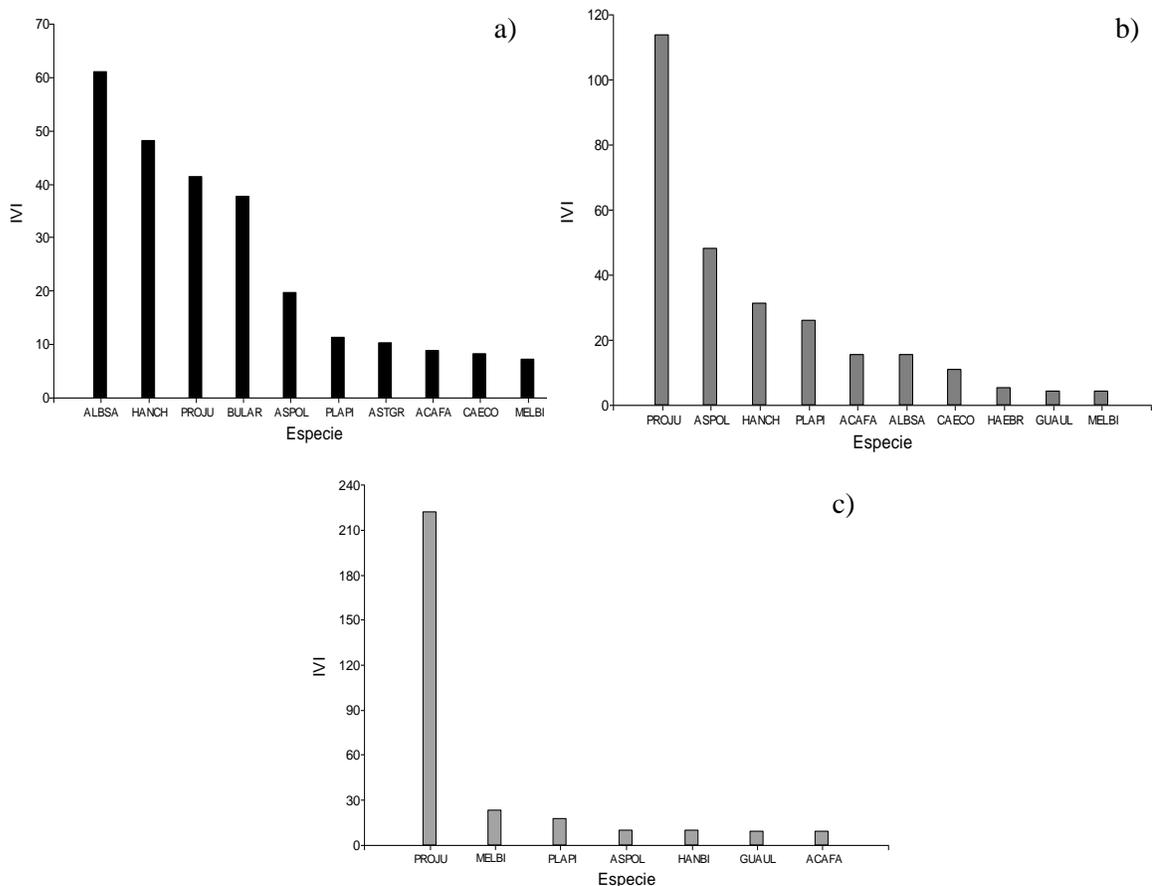


Fig. 9. Índice de valor de importancia (IVI) para las especies arbóreas en los agroecosistemas. a) Valores de IVI para las diez especies con mayor peso ecológico en el AGalto. b) Valores de IVI para las diez especies con mayor peso ecológico en el AGmedio. c) Valores de IVI para las especies encontradas en AGbajo. PROJU: *Prosopis juliflora*; HANCH: *Handroanthus crysantus*; ALBSA: *Albizia saman*; BULAR: *Bulnesia arborea*; ASPOL: *Aspidosperma polinerun*; PLAPI: *Plastymiscium pinnatum*; ACAFA: *Acacia farnesiana*; MELBI: *Melicoccus bijugatus*; GUAUL: *Guazuma ulmifolia*; HANBI: *Handroanthus billbergii*; CAECO: *Caesalpinia coriaria*; HAEBR: *Haematoxylon brasiletto*; ASTGR: *Astronium graveolens*. Valores altos de IVI indican mayor dominancia y contribución de las especies a la estructura de los AG.

Se encontraron diferencias significativas para la riqueza (S) de especies herbáceas  $P=0,0002$ , y por medio de la prueba de comparación de LSD Fisher se encontró similitud entre la riqueza de especies en las categorías de cobertura alta y media, y son estas diferentes a la riqueza encontrada en la categoría de cobertura baja (Fig. 10). El mayor número de especies herbáceas en estos potreros puede deberse al microclima generado por los árboles, el cual favorece la germinación y establecimiento de hierbas (Cajas-Girón y Sinclair 2001; Zapata et al. 2013). Respecto del índice de Shannon y Simpson el ANOVA no encontró diferencias estadísticamente significativas  $P= 0,4177$  y  $P= 0,3762$ .

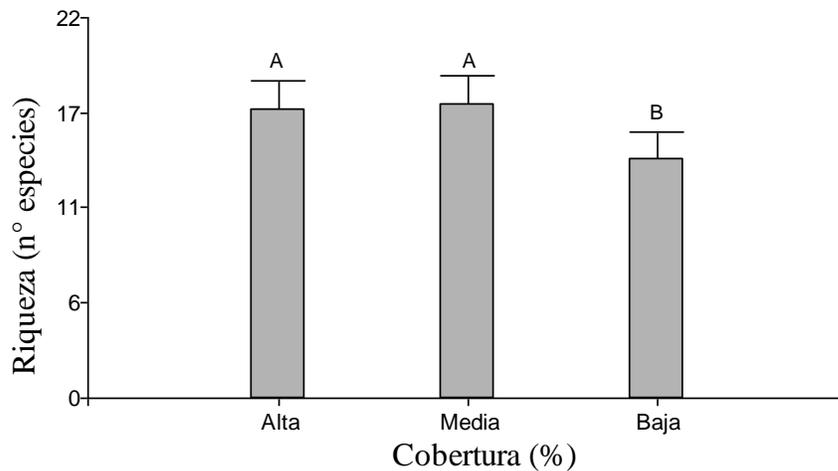


Fig. 10. Comparación de medias y errores estándares para la riqueza de especies herbáceas en las tres coberturas evaluadas. Medias con diferente letra son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ).

El cuadro 4 muestra los promedios de los índices estimados para la vegetación herbácea y arbórea, se observa que en función de la vegetación herbácea los AGmedio y AGalto, presentan valores medios del índice de Shannon, dado que son superiores a 1,5 y según Magurran (1988), este índice suele tener valores entre 1,5 y 3,5 lo cual sugiere que existe un efecto de la sombra de los árboles que beneficia la presencia de comunidades herbáceas más diversas.

El índice de Simpson es considerado una medida de dominancia; por tanto, ejerce mayor peso para su estimación las especies más abundantes, y son menos sensibles a la riqueza y en este sentido se comportan de forma inversa al índice de Shannon, su valor está entre “0” y “1”; es decir, cuanto más cerca esté del “0”, la diversidad es mayor (Magurran 2004). Los valores del índice Simpson para la vegetación herbácea confirman que los sistemas cuentan con pocas especies con altas abundancias.

Para la vegetación arbórea solo el AGmedio tiene un valor de Shannon medio, los demás están por debajo de 1,5 e indica que este nivel de cobertura permite mayor diversidad de árboles. Valores de diversidad más favorables en densidad arbórea media, también han sido informados por Villanueva-Partida et al. (2016), al evaluar en Tabasco, México, la composición florística en tres densidades de árboles dispersos. Los autores reportaron valores de 1,4; 1,7 y 1,2 en el índice de Shannon y 0,4; 0,3 y 0,4 en el índice de Simpson para la alta, media y baja densidad respectivamente.

Valores de índice de Shannon similares a los obtenidos también fueron hallados en agroecosistemas ganaderos de México por Mora et al. (2013) quienes encontraron una diversidad de  $1,21 \pm 0,06$  en Nuevo León y Aryal et al. (2019) reportaron valores de  $1,62 \pm 0,51$  y  $1,20 \pm 0,21$  en agroecosistemas con árboles dispersos en Suchiapa y Villaflores respectivamente.

Los valores de índice de Simpson fueron superiores a los reportados en otros agroecosistemas con árboles dispersos en regiones tropicales. En Guanacaste, Costa Rica, Villanueva et al. (2003), estimaron valores entre 0,1 y 0,18 y Aryal et al. (2019) hallaron valores de 0,22 en Suchiapa y 0,34 en Villaflores en México y lo cual confirma la dominancia de pocas especies en los agroecosistemas estudiados.

Cuadro 4. Valores promedios y errores estándares de los índices estimados para la vegetación herbácea y arbórea en las coberturas AGalto (20-40%), AGmedio (10-20%) y AGbajo (5-10%).

Cobertura	Índice	Hierbas		Arbóreas	
		Valor	EE	Valor	EE
AGalto	Shannon	1,66	0,16	1,40	0,23
	Simpson	0,68	0,06	0,65	0,07
AGmedio	Shannon	1,57	0,16	1,51	0,25
	Simpson	0,65	0,06	0,71	0,08
AGbajo	Shannon	1,34	0,17	0,84	0,31
	Simpson	0,56	0,06	0,5	0,1

## 5.2. Cuantificación del SE de regulación: almacenamiento de carbono y el SE de aprovisionamiento: producción de biomasa forrajera y madera

Las estimaciones del almacenamiento total de carbono (CT) en la biomasa aérea de las diferentes coberturas, muestra una acumulación en AGalto de  $20,08 \pm 0,84 \text{ t C ha}^{-1}$ , en AGmedio de  $7,6 \pm 0,40 \text{ t C ha}^{-1}$  y  $2,88 \pm 0,37 \text{ t C ha}^{-1}$  en AGbajo, y son estadísticamente diferentes ( $P < 0,05$ ). Este valor estuvo influenciado principalmente por el carbono en la biomasa de los árboles (CBA), componente que también determinó diferencias significativas, con valores de  $19,40 \pm 0,86 \text{ t C ha}^{-1}$  en el AGalto,  $6,81 \pm 0,38 \text{ t C ha}^{-1}$  en AGmedio y  $2,05 \pm 0,34 \text{ t C ha}^{-1}$  en AGbajo. Para el caso del carbono en biomasa herbácea (CBH), los AGbajo y AGalto presentaron valores similares ( $0,84 \pm 0,09$  y  $0,79 \pm 0,09 \text{ t C ha}^{-1}$ ), y difieren del AGalto ( $0,70 \pm 0,09 \text{ t C ha}^{-1}$ ), lo que confirma el efecto de las coberturas altas sobre la producción de biomasa herbácea (Fig. 11).

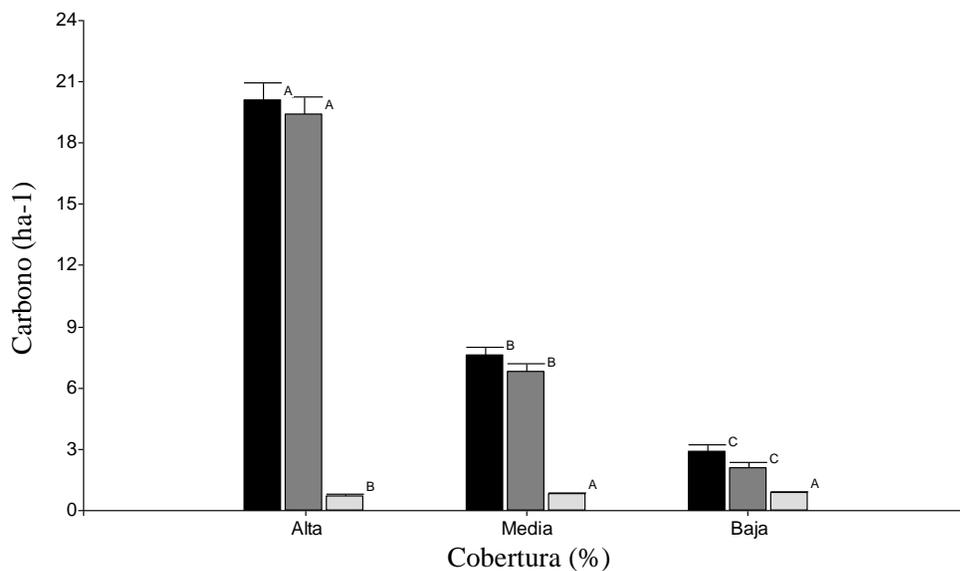


Fig. 11. Comparación de medias y errores estándares para el contenido de carbono ( $t\ ha^{-1}$ ) en las tres coberturas evaluadas. Barra de color gris claro representa el carbono en la biomasa aérea de herbáceas (CBH), barra gris oscuro el carbono en biomasa aérea de arbóreas (CBA) y barra negra el carbono total (CT), estimado por la sumatoria de CBH y CBA. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre los AG ( $P < 0,05$ ).

La producción de materia seca (PMS) de la biomasa forrajera herbácea considerando un periodo de descanso de los potreros de 40 días fue mayor en el AGbajo ( $1,8 \pm 0,2 t\ MS\ ha^{-1}$ ) y AGmedio ( $1,68 \pm 0,19 t\ MS\ ha^{-1}$ ), los cuales fueron estadísticamente diferentes al AGalto ( $1,48 \pm 0,19 t\ MS\ ha^{-1}$ ) (Fig. 12).

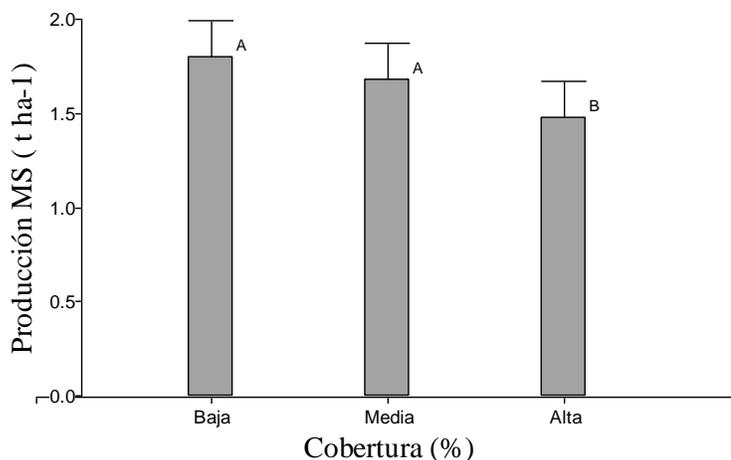


Fig. 12. Comparación de medias y errores estándares para la producción de biomasa forrajera ( $t\ MS\ ha^{-1}$ ) en las tres coberturas evaluadas. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los AG ( $P < 0,05$ ).

Las estimaciones de volumen comercial de madera (VLM) en los AG resultaron estadísticamente significativas ( $P=0,0001$ ). En este sentido, el AGalto tiene un valor promedio de  $24,81 \pm 1,23 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , el AGmedio  $7,29 \pm 0,33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y el AGbajo  $1,6 \pm 0,25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Fig. 13).

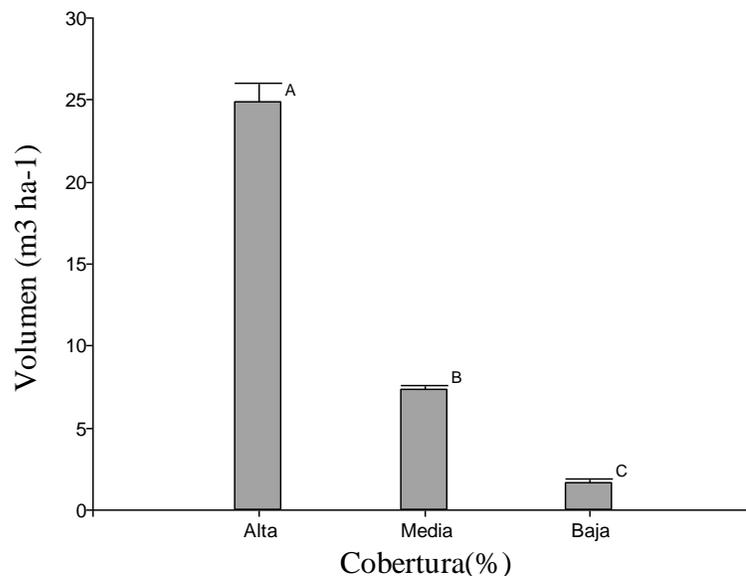


Fig. 13. Comparación de medias y errores estándares para volumen comercial de madera ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) en las tres coberturas evaluadas. Letras diferentes indican diferencias estadísticas entre los AG ( $P < 0,05$ ).

### 5.3. Análisis de relaciones entre servicios ecosistémicos y diversidad

El análisis de componentes principales (Fig.14), mostró correlación positiva entre el CT y el VLM, y entre la diversidad de árboles y herbáceas expresado mediante el índice de Shannon ( $H'_{arb}$  y  $H'_{hier}$ ). La PMS se relacionó negativamente con el CT y el VLM y además la diversidad de hierbas y arbóreas evidenció correlación con PMS. Adicionalmente, puede observarse que la cobertura alta estuvo asociada fuertemente con los mayores almacenamientos de carbono y volumen de madera y la cobertura baja con la productividad de biomasa herbácea. Finalmente, la diversidad de arbóreas y herbáceas se relaciona similarmente con las coberturas alta y media.

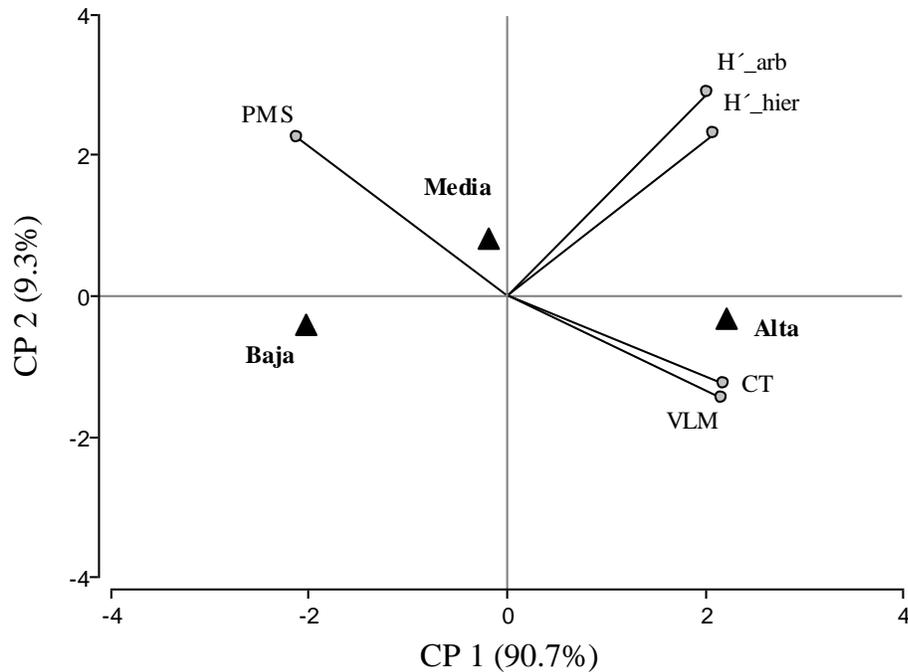


Fig. 14. Análisis de componentes principales para los SE evaluados e indicadores de diversidad para la vegetación arbórea y herbácea. El SE almacenamiento de carbono se expresa como carbono total en biomasa aérea (CT), el SE provisión de madera como volumen comercial (VLM), el SE provisión de biomasa forrajera, como producción de materia seca de las herbáceas (PMS), la diversidad vegetal mediante los índices de Shannon para arbóreas y herbáceas (H'\_arb y H'\_hier) y se empleó como criterio de clasificación las coberturas: alta (20-40%), media (10-20%) y baja (5-10%). Los dos ejes explican el 100% de la variabilidad en las observaciones.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de correlación de Spearman (cuadro 6) confirmaron las relaciones negativas de VLM y CT con PMS, sin embargo, no resultaron significativas ( $P= 0,287$  y  $P= 0,473$ ). Por otro lado, el VLM presentó una relación positiva altamente significativa con el CT ( $P= 0,0000002$ ), que dentro del contexto de la investigación reveló sinergia entre estos servicios de aprovisionamiento y regulación. La diversidad arbórea también tuvo una correlación positiva significativa con CT ( $P= 0,018$ ) y significativa discreta con VLM ( $P= 0,059$ ).

Cuadro 5. Análisis de correlación de Spearman entre pares de SE e indicadores de diversidad para la vegetación arbórea y herbácea. El SE almacenamiento de carbono se expresa como carbono total en biomasa aérea (CT), el SE provisión de madera como volumen comercial (VLC), el SE provisión de biomasa forrajera, como producción de materia seca de las herbáceas (PMS), la diversidad vegetal mediante el índice Shannon para arbóreas y herbáceas (H' arb y H' hier). Por encima de la diagonal se presenta la significancia estadística (P<0,05) y por debajo los coeficientes de correlación.

	VLM	CT	PMS	H' arb	H' hier
VLM	1	<b>0,0000002</b>	0,2876191	<b>0,0587196</b>	0,3471322
CT	<b>0,9214731</b>	1	0,4738192	<b>0,0189344</b>	0,3304205
PMS	-0,273788	-0,186389	1	0,854934	0,8479449
H' arb	<b>0,4670777</b>	<b>0,5617728</b>	-0,047971	1	0,5525514
H' hier	0,243094	0,2513796	-0,050307	0,154982	1

## 6. Discusiones

### 6.1. Composición florística de la vegetación arbórea y herbácea

El número de especies arbóreas encontradas (n=28) es similar a las 21 reportadas por Serrano et al. (2014) en trópico seco del Tolima en Colombia, las 20 y 17 especies (alta y baja cobertura) encontradas en Rivas en Nicaragua ( Sánchez et al. 2017) y las 21 y 14 halladas en Suchiapa y Villaflores en México (Aryal et al. 2019). No obstante, son inferiores a las registradas por Esquivel et al. (2009) y Chamorro et al. (2018), quienes encontraron 72 y 45 especies respectivamente en Nicaragua. Por otro lado, Carvajal-Cogollo (2014) registraron 30 y 29 especies en fragmentos grandes y pequeños de bosque seco tropical ubicados en el departamento del Cesar. La composición florística en sistemas con árboles dispersos en zonas tropicales está influenciada por diversos factores, dentro de los que se encuentran la oferta climática (precipitaciones, temperatura, etc.), propiedades de los suelos, preferencia de los productores, uso anterior del suelo, manejo de los potreros y del componente animal (Esquivel et al. 2009, Sánchez et al. 2017, Aryal et al. 2019). En consecuencia, las especies con mayor representación son las que cuentan con características funcionales que les confieren mayor adaptación (Rusch y Skarpe 2009).

En el estudio la composición de la arbóreas en los potreros puede estar relacionado con el historial de uso de estas áreas. Al respecto, en las décadas de los 60 y 70 el departamento y en especial la ecorregión Valle de Río Cesar tenía como principal actividad económica el cultivo de algodón, los altos precios del producto y las políticas de promoción originaron la deforestación de áreas boscosas para la ampliación de la frontera agrícola, que sumado a prácticas de manejo equivocadas desencadenaron procesos de degradación de los suelos (PNUD 2010; Vergara 2015). Lo anterior puede relacionarse con el número de especies halladas en el estudio, dado que después de la caída de los precios del algodón, la mayoría de los productores

dejaron de cultivar, produciéndose el abandono de estas áreas las cuales iniciaron procesos de regeneración y posteriormente se convirtieron en áreas manejadas para ganadería.

Más del 80% de los individuos inventariados se acumulan en las clases diamétricas menores de 40 cm, y con esta distribución la vegetación puede catalogarse como joven, patrones similares fueron reportados por Chacón et al. (2003) y Villanueva et al. (2003), en paisajes ganaderos del trópico subhúmedo y trópico seco de Costa Rica. Este patrón puede resultar positivo, ya que la vegetación tendría un mayor potencial para ser conservada a largo plazo, lo cual aseguraría la provisión de SE en los agroecosistemas.

Para la cobertura alta y media más del 60% de las abundancias estuvo representada por cuatro especies y en la cobertura baja más del 70% de los individuos muestreados pertenecen a *P. juliflora*. En áreas ganaderas de Nuevo León, México, Mora et al. (2013), encontraron que la especie *Prosopis laevigata* tuvo una dominancia superior al 60%. Los AG se caracterizaron por tener pocas especies con muchos individuos y mayor número de especies con menor cantidad de individuos. Este patrón en las abundancias ha sido identificado para diversos grupos taxonómicos, tanto en comunidades naturales como intervenidas (Magurran 2003). En árboles dispersos de Nicaragua y Costa Rica Harvey et al. (2011) hallaron que más de la mitad de los individuos inventariados pertenecían a menos de diez especies y Serrano et al. (2014) en trópico seco del Tolima encontraron que más del 80% de las leñosas pertenecían a cinco especies y la dominancia estuvo influenciada por la adaptación a las condiciones agroecológicas y el régimen de manejo de los potreros.

El IVI en las tres coberturas evaluadas confirma la importancia ecológica de *P. juliflora* en los agroecosistemas ganaderos, su amplia presencia puede ser el resultado de la dispersión por endozoocoria, dado que los bovinos (también ovinos y caprinos), consumen sus frutos como estrategia para complementar la alimentación en época seca y distribuyen las semillas a través de las heces; sumado a esto, tiene alta capacidad de colonizar áreas degradadas y con baja oferta hídrica (Valencia-Duarte et al. 2012).

La dominancia de PROJU es general en los paisajes del departamento del Cesar, y es reportada como una especie importante no solo en agroecosistemas ganaderos; sino además en relictos de bosque seco tropical (Carvajal-Cogollo 2014). *P. juliflora* o trupillo como es conocido por los productores, es un árbol resistente a la sequía, con una alta capacidad fotosintética, asociada al buen aprovechamiento del agua y su capacidad para fijar nitrógeno (Golubov et al. 2001), produce frutos de buen valor nutritivo y palatabilidad en época seca, además la madera puede emplearse para postes, construcciones rurales, leña, etc. (Ribaski 2001). Adicionalmente, un estudio desarrollado por Serrano et al. (2014b), encontró que el dosel de *P. juliflora* presentó un alto porcentaje (48%) de transmisión de radiación fotosintéticamente activa (RAFA); por tanto, la generación de menor sombra al estrato herbáceo permite que tenga potencial para ser incluida en SSP. En climas tropicales secos se considera que las especies de *Prosopis* representan una alternativa de desarrollo agropecuario sostenible, ya que pueden utilizarse en la recuperación de

suelos con problemas de salinidad y baja capacidad de almacenamiento de agua (Mesa y Osuna 2003).

La dominancia de *P. juliflora*, las características de adaptación a zonas secas y en estado de degradación y sus usos multipropósitos la hacen una especie potencial para hacer frente al cambio climático; no obstante, esta misma capacidad competitiva frente a otras especies arbóreas puede tener implicaciones sobre procesos de simplificación de los agroecosistemas, con consecuencias sobre la generación de servicios ecosistémicos, reducción de la estabilidad y resiliencia de los agroecosistemas (Tschardt et al. 2005). Al respecto, Moreno et al. (2016), informan que en Colombia la expansión de áreas de pastura está generando un proceso de homogenización biótica, en el que dominan especies generalistas, lo cual pone en riesgo la diversidad de funciones ecosistémicas.

En el nivel general, además de *P. juliflora*, *A. saman*, y *H. chrysanthus*, también presentan altos IVI, lo que refleja su dominancia en los agroecosistemas. Estas especies se caracterizan por ser pioneras y tolerar la presión de manejo que implica la actividad ganadera, además de tener usos múltiples (forraje, madera, sombra, etc). También debe resaltarse que en los potreros con cobertura media y alta, *A. polyneuron* y *B. arborea*, estuvieron muy representadas, lo cual es importante dado que estas especies están catalogadas en el libro rojo de especies de Colombia como en peligro de extinción (EN), debido principalmente a que su mayor distribución se encuentra en localidades consideradas como altamente extractoras de madera (Cárdenas et al. 2007). Al respecto, los productores manifiestan estar dispuestos a conservarlas y aunque reconocen sus propiedades forestales, expresan que solo aprovechan la madera de los árboles en sus fincas (esencialmente para postes), cuando estos se encuentran en mal estado sanitario y en caso de requerir y no tener árboles en mal estado, prefieren comprar los postes necesarios. Esta actitud frente al aprovechamiento de la madera se debe a que valoran más los demás servicios que los árboles pueden proporcionar y en relación con esto, Cajas-Girón y Sinclair (2001) informaron que en la Región Caribe de Colombia el mantenimiento de ciertas especies en las fincas estaba influenciado por sus propiedades multipropósitos; sin embargo la principal característica valorada y que determinaba la preferencia de los productores era la sombra que generaban en los potreros, lo cual sugiere que reconocen la importancia de la cobertura arbórea para el sostenimiento de la actividad ganadera.

En la vegetación herbácea la alta dominancia de *B. pertusa* encontrada en los AG concuerda con lo reportado por Mojica et al. (2013), quienes encontraron un 43,7% de ocupación de la gramínea en pastizales en el departamento del Cesar. La amplia distribución de esta especie naturalizada en potreros del Caribe Seco Colombiano, está influenciada por su facilidad de adaptación, que se debe a las características morfológicas, tales como forma de crecimiento menudo y tupido, presencia de raíces fuertes y rústicas, hojas planas y lanceoladas, además de capacidad para colonizar en ambientes con condiciones climáticas desfavorables para el desarrollo de otras especies gramíneas (Piñeres et al. 2009).

*B. pertusa* es una gramínea abundante y por tanto importante como recurso forrajero en la región; sin embargo, uno de los mayores limitantes es que en época seca su disponibilidad disminuye considerablemente. Cajas-Girón et al. (2004), reportaron para el Caribe colombiano, reducciones hasta del 83% bajo condiciones de sequía; por tanto, contar con potreros donde aproximadamente el 50% de las abundancias de herbáceas están distribuidas en un mayor número de especies, puede interpretarse como una estrategia que permite mejorar la resiliencia de los pastizales y pasturas. Lo anterior, también se justifica en la opinión de los productores, que manifiestan en época seca, los animales continúan pastoreando de forma continua, aun cuando el pasto escasea, pero aprovechando los rebrotes de la vegetación herbácea no gramínea y los frutos provistos por los árboles, que en su mayoría fructifican en esa época.

Algunos estudios indican que existe relación entre riqueza y estabilidad temporal de la producción en los pastizales, asociado a que un mayor número de especies aporta un conjunto más amplio de rasgos adaptativos (Ospina et al. 2012), y riqueza con resiliencia que les confiere capacidad para sobreponerse a cambios o perturbaciones, tales como los largos periodos de sequía (Van Ruijven y Berendse 2010, Vogel et al. 2012). En este sentido, el estudio desarrollado por Sternberg et al. (2000), encontró en condiciones de clima mediterráneo que potreros manejados bajo algunos periodos de pastoreo continuo pueden albergar comunidades herbáceas diversas que amplían la oferta de forraje en el periodo de estacionalidad de las lluvias. No obstante, manejar la ganadería bajo pastoreo permanente todo el año puede afectar la composición florística y diversidad de las especies, dado que el consumo selectivo de ganado hacia ciertas especies puede reducir su vigor y abundancia, favoreciendo el establecimiento de las más tolerantes al pastoreo, pero de menor consumo y calidad nutricional (Augustine y McNaughton 1998, Rusch y Sharpe 2009).

Dentro de los factores que modifican la composición de la vegetación herbácea en los pastizales se encuentran las condiciones climáticas, la estacionalidad de las lluvias, las condiciones edáficas, el manejo de los potreros y el régimen de pastoreo (Sternberg et al. 2000, Ospina et al. 2009, Rusch y Skarpe 2009).

## **6.2. Cuantificación del SE de regulación almacenamiento: de carbono y el SE de aprovisionamiento: producción de biomasa forrajera y madera**

En el estudio de carácter general el carbono almacenado en la biomasa aérea está entre 20,08 y 2,88 t C ha<sup>-1</sup>, lo cual es consistente con los hallazgos encontrados en otras zonas tropicales. En Nicaragua, Ruiz et al. (2004) encontraron contenidos de carbono en biomasa herbácea y leñosa de  $9,2 \pm 3,0$  t C ha<sup>-1</sup> en agroecosistemas con pasturas nativas con densidad de 100 árboles por hectárea y  $15 \pm 3,6$  t C ha<sup>-1</sup>, para pasturas mejoradas con densidad de 110 árboles por hectárea. Ibrahim et al. (2007), estimaron el carbono en biomasa aérea arbórea en potreros, obteniendo valores de 7,09 t C ha<sup>-1</sup> y 4,83 t C ha<sup>-1</sup> en pasturas mejoradas y degradadas con árboles en Costa Rica; además, valores de 9,44 t C ha<sup>-1</sup>, 9 t C ha<sup>-1</sup> y 11,9 t C ha<sup>-1</sup> para pasturas degradadas, mejoradas con alta densidad arbórea y naturales con baja densidad arbórea en Nicaragua. Por su parte, Cárdenas et al. (2018), hallaron una acumulación de carbono en la biomasa aérea leñosa

de 6,3 t C ha<sup>-1</sup> en pasturas con alta densidad de árboles (más de 30 individuos adultos por hectárea) y 1,2 t C ha<sup>-1</sup> en pasturas degradadas con pocos árboles.

En Colombia Giraldo et al. (2006) en un SSP conformado por *Acacia magium* y *Brachiaria dyctioneura*, con dos densidades de árboles (169 y 110 árboles por hectárea), estimaron el carbono en los diferentes componentes del sistema y encontraron 35,5 t C ha<sup>-1</sup> en la biomasa arbórea y 0,63 t C ha<sup>-1</sup> en la herbácea para la densidad alta y en relación con la densidad baja, el carbono en los árboles fue de 30,2 t C ha<sup>-1</sup> y 1,21 t C ha<sup>-1</sup> en la biomasa de las hierbas. Cabe anotar que la información de C en biomasa herbácea es el resultado de un solo muestreo, realizado a inicios de la época seca; por tanto, pudo haber efecto del momento de muestreo y es necesario contar con evaluaciones durante diferentes épocas del año para obtener resultados más robustos. Sin embargo, los valores de C en biomasa herbácea guardan relación con los obtenidos en el estudio citado, en los cuales se evidencia una clara disminución de la cantidad de C, en la medida que se incrementa la cobertura de árboles y puede estar asociado a la menor producción de follaje como respuesta a la competencia por recursos (especialmente luz) que ejercen los árboles sobre la vegetación herbácea.

Teniendo en cuenta que *B. pertusa* fue la especie dominante en estos agroecosistemas, los resultados de producción de biomasa forrajera se comparan con los obtenidos en potreros monofíticos de la herbácea. Al respecto, en Colombia se reportan producciones de MS que oscilan entre 1-4 t ha<sup>-1</sup> (Peters et al. 2011). Por su parte, Mojica et al (2013), estimaron la biomasa de *B. pertusa* en la ecorregión Valle Del Rio Cesar, obteniendo una producción de 0,7 y 0,5 t MS ha<sup>-1</sup> en época lluviosa y seca. Estos valores están por debajo de los hallados en el presente estudio, lo cual puede deberse a que la biomasa forrajera evaluada corresponde a la mezcla de herbáceas presentes en los potreros, puesto que los bovinos en pastoreo se alimentan de las hierbas (gramíneas y no gramíneas) disponibles.

En un estudio desarrollado en trópico seco del departamento del Tolima, donde se determinó la producción de MS de *B. pertusa* en potreros en monocultivo y con presencia de la arbórea *Leucaena leucocephala*, se encontró una producción de 1,82 y 0,91 t MS ha<sup>-1</sup> respectivamente (Piñeros et al. 2011). En esta misma región, otros autores al determinar la productividad del componente herbáceo constituido principalmente por *B. pertusa*, en diferentes coberturas arbóreas, hallaron diferencias estadísticas significativas, con superioridad en la MS disponible en los porcentajes de cobertura menores (Serrano et al. 2014). Estos resultados respaldan los obtenidos en la presente investigación, al mostrar el efecto que pueden ejercer los árboles en la productividad de biomasa herbácea, lo cual podría explicarse con lo reportado por Pezo e Ibrahim, (1999) quienes plantean que las especies de pastos tropicales (C4) tienen un crecimiento heterogéneo en función de la sombra y sumado a ello *B. pertusa* presenta poca tolerancia a la misma (Peters et al. 2011).

Esquivel et al. (2005) evaluaron el efecto de la cobertura arbórea en la disponibilidad de pastos en Guanacaste (Costa Rica), al inicio de la época de lluvias e inicio y final de la época seca, encontrando que la disponibilidad de forraje fue superior a inicio de la época de lluvias y en términos generales la MS aumentó al incrementarse la cobertura de 0-15%. A partir de este

porcentaje se presentó disminución en la disponibilidad, además el aumento observado fue más marcado en la época seca, lo cual sugiere que hubo efecto favorable de la sombra generada por los árboles sobre el crecimiento de las pasturas.

Para VLM los resultados obtenidos son altamente variables; no obstante, la presencia de individuos de gran tamaño y diámetro, en la cobertura alta fueron determinantes para la obtención de los mismos. Los volúmenes de madera hallados son comparables con los estimados en potreros con árboles dispersos en regiones tropicales de Centro América. Los valores calculados y sus referencias se relacionan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Estimaciones de volumen de madera en potreros con árboles dispersos en diferentes regiones tropicales de Centro América.

<b>País/ Región</b>	<b>Volumen de madera (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Fuente</b>
Nicaragua/Rivas	0,5 ±0,2 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	López et al. 2006
Nicaragua/ Matiguás	1,7 ±0,2 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	López et al. 2006
Belice / San Ignacio	15,27 ±3,51 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Rosa 2010
Honduras/ Copan	13,02 ±0,2 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Chavarría et al. 2011
Costa Rica/ Esparza	14,3 ±1,17 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Scheelje et al. 2011

### **6.3. Análisis de relaciones entre servicios ecosistémicos y diversidad**

Los análisis entre pares de SE y la diversidad no determinaron relaciones negativas significativas, lo que permite inferir que, bajo las condiciones de evaluación, los agroecosistemas con árboles dispersos generan mayores beneficios múltiples en términos productivos y ambientales.

Sinergias entre biodiversidad vegetal y almacenamiento de carbono, también fueron hallados por Mora et al.(2016), quienes al evaluar los SE disponibilidad de forraje, stock de carbono en biomasa aérea y la riqueza de árboles en bosque maduro, bosque secundario y pasturas, a escala de parcela y paisaje en una zona de bosque seco tropical de México, encontraron que la riqueza y el stock de carbono se correlacionaron de forma positiva (  $r=0,87$ ,  $P <0,001$  ). En los municipios de El Tuma y Waslala en Nicaragua, se analizó la relación entre carbono almacenado en la biomasa aérea del componente leñoso y la diversidad (expresado en términos de riqueza), en seis usos de suelo, dentro de los que se encontraban pasturas con árboles, obteniendo correlaciones positivas y significativas ( $P<0,001$ ; Caicedo 2016).

En la Amazonia de Bolivia, Cardozo et al. (2018) cuantificaron el carbono almacenado en la biomasa aérea y la diversidad de especies arbóreas en sistemas agroforestales tradicionales, obteniendo una relación positiva significativa ( $r^2 = 0,74$ ;  $P < 0,001$ ). Por otro lado, Kirby y Potvin (2007) exploraron las relaciones entre las reservas de carbono en la biomasa aérea y la diversidad arbórea en bosque primario intervenido, sistemas agroforestales tradicionales (patios productivos o a campo abierto) y pastizales con árboles, en una zona de bosque húmedo tropical en Panamá, reportando ausencia de relación para los dos primeros usos de suelo y correlación positiva significativa en los pastizales ( $r=0,68$ ;  $P=0,046$ ), lo cual puede deberse a que un menor número de especies en pastizales permite que al ser agregada una nueva especie (e individuo), se produzca un rápido aumento en la biomasa del agroecosistema.

Cabe anotar que los servicios de regulación por estar asociados con procesos y funciones de los ecosistemas y agroecosistemas, en su mayoría se relacionan de forma positiva con la biodiversidad (Mace et al. 2012, Harrison et al. 2014).

La relación sinérgica con alta significancia estadística ( $r=0,92$ ), encontrada entre VLM y CT, puede deberse a que la mayor contribución de este servicio estuvo dada por la biomasa del componente arbóreo, ya que en un nivel general aportó más del 70% del carbono. Sinergia entre volumen de madera y carbono almacenado en biomasa de árboles, también fue reportado en un estudio desarrollado en bosques del sur de China, donde se obtuvo una relación positiva y altamente significativa en todas las escalas espaciales evaluadas (Dai et al. 2017).

En el estudio, una mayor diversidad de árboles también se asocia positivamente con el incremento en el servicio de aprovisionamiento VLM, lo cual puede estar influenciado por el interés de los productores de conservar la cobertura arbórea de sus potreros, indistintamente de los usos maderables de las especies, ya que reconocen los beneficios que le proporcionan a la actividad ganadera. La actitud de los productores es opuesta a la informada por Kirby y Potvin (2007), quienes encontraron que el valor económico de las especies preferidas (*Anacardium excelsum*, *Hyeronima alchorneoides*, *Guarea grandifolia*, *Cedrela odorata*, *Platymiscium pinnatum*, *Tabebuia rosea*, *Pachira quinata* y *Tectona grandis*), las hacían más vulnerables al aprovechamiento forestal, lo cual tuvo implicaciones sobre la diversidad arbórea presente en los usos de suelo estudiados.

Para bosques naturales en escala global se desarrolló un estudio que reveló una relación cóncava positiva de la biodiversidad con la productividad (volumen), lo cual demuestra que la pérdida continua de diversidad conllevaría a la reducción acelerada de la productividad neta de los bosques, con consecuencias directas sobre el almacenamiento de carbono (Fraser et al. 2015). La aceptación de la biodiversidad como fundamental para el correcto funcionamiento de los ecosistemas naturales ha tomado fuerza; por otro lado, su papel en el mantenimiento de la estabilidad de los agroecosistemas no es tan claro (Sans 2007); no obstante, la relación sinérgica entre productividad de madera y diversidad, puede deberse a la complementariedad que genera el contar con varias especies en los potreros, ya que sus diferentes características pueden generar

mayor eficiencia en el aprovechamiento conjunto de los recursos (agua, nutrientes, luz, etc.) disponibles (Salgado-Negret 2015).

Finalmente, el SE producción de biomasa herbácea se correlacionó negativamente con la diversidad de árboles, el CT y el VLM, sin que fuera estadísticamente significativo ( $P > 0,05$ ); por tanto, no se puede afirmar que existe trade-offs. En una zona de clima mediterráneo en Italia, con precipitaciones inferiores a los 700 mm (año), se evaluó la producción de biomasa en pastizales con árboles dispersos durante tres años y se encontraron trade-offs asociados a la presencia de árboles, lo cual fue explicado por la competencia por nutrientes, agua y radiación que ejercen los árboles sobre las herbáceas (Seddaiu et al. 2018).

Huxman et al. (2004) y Zapata et al. (2013), indicaron que la estacionalidad de las lluvias es uno de los factores que más afecta la producción de forraje y Ospina et al. (2012) encontraron que en climas drásticamente y estacionalmente secos la productividad neta de pastizales naturalizados y establecidos (pasturas mejoradas), está relacionado con la frecuencia de los eventos de lluvia y la uniformidad en la distribución de las precipitaciones. En este sentido, es necesario contar con información de producción de MS en diferentes épocas del año, incluyendo las de mayor disponibilidad de agua, para informar con certeza sobre el tipo de relaciones generadas con este SE en los tipos de agroecosistemas estudiados.

## **7. Conclusiones**

En un nivel general, *P. juliflora* fue la arbórea dominante en los agroecosistemas ganaderos estudiados en el Valle del Río Cesar. Su dominancia parece estar influenciada por los múltiples usos que ofrece, lo cual permite que tenga un alto valor ecológico y de importancia para los productores. Al respecto, el entendimiento de las características deseables de *P. juliflora*, incluyendo las que le confieren mayor potencial de adaptación a las condiciones agroecológicas del área de estudio, es fundamental para identificar otras especies, que proporcionen beneficios adicionales y complementarios, para incorporar a los agroecosistemas ganaderos e incrementar la diversidad arbórea de los potreros. Esto es importante porque podría contribuir a la generación de una mayor oferta agregada de SE tanto en el nivel de las fincas como del paisaje.

En los agroecosistemas evaluados y bajo las condiciones del área de estudio *B. pertusa* fue la especie herbácea dominante, la cual es una pastura naturalizada competitiva, de fácil propagación y amplia distribución; pero con limitantes debido a la drástica reducción de su disponibilidad en época seca, sumado a la poca tolerancia a la sombra. En este sentido, en términos productivos y ecológicos es necesario identificar otras especies herbáceas con mayor tolerancia a la disminución del recurso hídrico y a la sombra, además de plantear estrategias de establecimiento en los potreros que ayuden a ampliar la oferta forrajera y con ello aumentar los niveles de productividad de estos agroecosistemas.

El potencial de los agroecosistemas ganaderos varió en su capacidad para almacenar carbono y producir madera, dependiendo de la cobertura arbórea, y como se esperaba, la cobertura alta presentó los mayores valores en estos SE, como resultado de la presencia de los árboles.

Bajo las condiciones de evaluación se detectaron sinergias y los trade-offs no fueron estadísticamente evidenciados; por tanto, los agroecosistemas ganaderos estudiados tienen potencial para generar SE de almacenamiento de carbono y producción de madera, además de conservar diversidad florística. Sin embargo, de manera particular es posible incrementar su capacidad de producción de forraje, a través del manejo de la cobertura arbórea en los potreros, y mediante labores silviculturales que permitan reducir el efecto de la sombra sobre el estrato herbáceo, sin afectar la densidad arbórea de los sistemas y los SE generados por los árboles. Adicionalmente, pueden promoverse otras estrategias como el establecimiento de cercas vivas, bancos de forraje y áreas de bosque para mejorar el potencial de las fincas y su contribución en la generación de SE a escala del paisaje.

## **8. Recomendaciones**

Considerando el patrón de dominancia de pocas especies mostrado en la composición arbórea y para evitar que se acentúen los procesos de simplificación en los agroecosistemas, se recomienda controlar la entrada de los animales en época de fructificación a los potreros donde se evidencie mayor homogenización de la vegetación arbórea, dado que estos tienen alta contribución en la dispersión de las semillas, proteger la regeneración natural de arbóreas de interés ecológicos y productivo para el productor; implementar o ampliar el área de cercas vivas empleando especies nativas, conservar parches de bosque dentro de la finca, donde sea posible alojar una mayor diversidad florística; pero también que promueva el incremento de la diversidad faunística asociada a estos paisajes.

Teniendo en cuenta que el muestreo de las herbáceas se realizó en un solo momento, es necesario desarrollar evaluaciones en diferentes épocas del año para cubrir la variabilidad en la oferta de herbáceas asociada principalmente a la disponibilidad de agua. Esto es importante para verificar si los patrones observados en composición de las herbáceas y la disponibilidad de forraje de los agroecosistemas cambian o son consistentes.

Para la optimización en la provisión de los servicios ecosistémicos evaluados y sus relaciones sinérgicas en los agroecosistemas con árboles dispersos, se sugiere realizar estudios piloto donde se evalúen diferentes prácticas de manejo, tales como las podas para la regulación de la sombra, en combinación con el establecimiento o repoblamiento de pasturas naturales y mejoradas que tenga toleración a la sombra. Lo anterior puede constituirse en una oferta tecnológica que AGROSAVIA puede entregar a los productores ganaderos de la región.

Los resultados obtenidos son importantes como punto de partida para estudios futuros y en este sentido AGROSAVIA puede ser un impulsor de investigaciones que se desarrollen en un

periodo de tiempo más amplio. Por ejemplo, donde se monitoreara la contribución de los agroecosistemas ganaderos característicos de las diferentes regiones del país sobre la generación de servicios ecosistémicos, su impacto sobre la biodiversidad y las relaciones derivadas de las interacciones que ocurren entre ellos, como resultado de decisiones de gestión que realizan los productores y en los que también es indispensable considerar el componente animal, dado su efecto modificador de los procesos ecológicos y productivos que ocurren en los agroecosistemas.

Desarrollar análisis financieros de estos sistemas y su contribución agregada a la rentabilidad de la empresa ganadera, dado que es necesario que el productor se informe sobre los beneficios en términos monetarios de la ganadería con manejo del componente arbóreo, lo cual también puede impactar de forma positiva la decisión de adopción de los sistemas silvopastoriles.

Considerando que las fincas ganaderas del área de estudio se caracterizan por tener potreros con árboles y pastos naturalizadas, es importante evaluar las ventajas comparativas sobre la calidad de la carne y leche, derivadas de la alimentación con dietas basadas en este tipo de pasturas, complementada con frutos de árboles versus fincas donde la alimentación está basada en pasturas mejoradas.

Otras necesidades de investigación están relacionadas con estudios de suelos para determinar el efecto de los árboles sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y su relación con la productividad de los agroecosistemas.

## 9. Referencias bibliográficas

- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. (en línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(2):107-115. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193022245001>
- Álvarez, E; Benítez, D; Velásquez, C; Cogollo, A. 2013. Densidad básica del fuste de árboles del bosque seco en la costa Caribe de Colombia. (en línea). *Intrópica*; Volumen 8, enero-diciembre de 2013 DO - 10.21676/23897864.729:s.p. Disponible en <http://revistas.unimagdalena.edu.co/index.php/intropica/article/view/729>
- Amézquita, M; Ibrahim, M; Llanderal, T; Buurman, P; Amézquita, E. 2005. Carbon Sequestration in Pastures, Silvo-Pastoral Systems and Forests in Four Regions of the Latin American Tropics. Co-published simultaneously in *Journal of Sustainable Forestry* (Food Products Press, an imprint of The Haworth Press, Inc.) 21(1):31-49
- Andrade, H; Ibrahim, M. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas*. Vol 10 N° 39 -40. 109 – 116 p.
- Aryal, DR; Gómez-González, RR; Hernández-Nuriasmú, R; Morales-Ruiz, DE. 2019. Carbon stocks and tree diversity in scattered tree silvopastoral systems in Chiapas, Mexico. (en línea). *Agroforestry Systems* 93(1):213-227. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0310-y>
- Augustine, DJ; McNaughton, SJ. 1998. Ungulate effects on the functional species compositions of plant communities: Herbivore selectivity and plant tolerance. *Journal of Wildlife Management* 62:1165-1183.
- Beer, J; Harvey, C; Ibrahim, M; Harmand, J-M; Somarriba, E; Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. s.l., s.e. 80-87 p.
- Bennett, EM; Peterson, GD; Gordon, GL. 2009. Understanding relationships among multiple ecosystem services. (en línea). *Ecology Letters* 12(12):1394-1404. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>
- Betancourt, K; Ibrahim, M; Harvey, C; Vargas, B. 2003. Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 47-51
- Bolívar, D; Ibrahim, M; Jiménez, F. 1999. Producción de *Brachiaria humidicola* Bajo un Sistema Silvopastoril con *Acacia mangium* en el Trópico Húmedo. CATIE, Costa Rica. En: *Memorias VI Seminario Internacional sobre sistemas agropecuarios sostenibles*. 28-30 de octubre 1999. Realizado por la Fundación CIPAV y FAO. Cali, Colombia.
- Bryan, BA. 2013. Incentives, land use, and ecosystem services: Synthesizing complex linkages. (en línea). *Environmental Science & Policy* 27:124-134. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901112002389>

- Caicedo, W. 2016. Diversidad y almacenamiento de carbono, en dos sitios con diferente grado de intensificación de uso de suelo de Nicaragua. Tesis Mag, Sc. Turrialaba, Costa Rica, CATIE. 89p.
- Cajas-Girón, Y; Martínez, J; Sánchez, C; Panza, B. 2004. Desarrollo e implementación de estrategias tecnológicas para mejorar la productividad y sostenibilidad de sistemas ganaderos de doble propósito en las Sabanas de Córdoba y Sucre. Documento de Trabajo No. 4. Montería, Colombia: Corpoica.
- Cajas-Girón, YS; Sinclair, FL. 2001. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. (en línea). *Agroforestry Systems* 53(2):215-225. Disponible en <https://doi.org/10.1023/A:1013384706085>
- Cárdenas L., D. & N.R. Salinas (eds.). 2007. Libro rojo de plantas de Colombia. Volumen 4. Especies maderables amenazadas: Primera parte. Serie libros rojos de especies amenazadas de Colombia. Bogotá, Colombia. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI – Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 232 p.
- Cárdenas, A; Moliner, A; Hontoria, C; Ibrahim, M. 2018. Ecological structure and carbon storage in traditional silvopastoral systems in Nicaragua. (en línea). *Agroforestry Systems* :s.p. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0234-6>
- Cardozo, Ernesto Gómez, Rousseau, Guillaume Xavier, Celentano, Danielle, Salazar, Heriberto Fariñas, & Gehring, Christoph. (2018). Efecto de la riqueza de especies y estructura de la vegetación en el almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales de la Amazonía, Bolivia. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1481-1495. <https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32489>
- Carrillo, Nañez, Garza, Foroughbakhch, Sandoval. 2011. Physical and mechanical wood properties of 14 timber species from Northeast Mexico. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences, 68 (4), pp.675-679. <10.1007/s13595-011-0083-1>. <hal-00930816>
- Carvajal-Cogollo JE. Evaluación A Múltiples Escalas de los Efectos de la Transformación del Paisaje Sobre los Ensamblajes de Reptiles en Localidades de la Región Caribe Colombiana (Tesis doctorado). 2014 Bogotá: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia p. 136.
- Casanoves F; Pla L; Di Rienzo J. 2011. Valoración y análisis de la diversidad funcional y su relación con los servicios ecosistémicos. CATIE. Informe Técnico no. 384. Turrialba, Costa Rica. 105 p.
- Casasola, F; Ibrahim, M; Harvey, C; Kleinn, C. 2001. Caracterización y productividad de sistemas silvopastoriles tradicionales en Moropotenté, Estelí Nicaragua. *Revista Agroforestería en las Américas* 10 (30): 17-20.
- Chacón, M, Harvey, C.A; Delgado D. 2003. Diversidad arbórea y almacenamiento de carbono en un paisaje fragmentado del bosque húmedo de la zona atlántica de Costa Rica (en línea). Turrialba. C.R. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), Consultado 29 de enero de 2003. Disponible en <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2154e/A2154e.pdf>.

- Chacón, C; Harvey, C. 2008. Contribución de las cercas vivas a la estructura y conectividad de un paisaje fragmentado en Río Frío, Costa Rica. En: Harvey, C. y Saenz, J. (Eds.) Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica, Santo Domingo de Heredia, Costa Rica. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO) 225–250
- Chacón-León, M; Harvey, C. 2013. Reservas de Biomasa de Árboles Dispersos En Potreros y Mitigación al Cambio Climático. *Agronomía Mesoamericana* (en línea). 24(1):17-26. Consultado 16 de enero de 2019. Disponible <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43726204002>> ISSN
- Chamorro, M; Campos, R; González, A. 2018. Caracterización de árboles dispersos en pasturas en fincas ganaderas del departamento de Rivas, Nicaragua (en línea). *Revista Forestal del Perú*. 33: 133-146. Consultado 22 jul 2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v33i2.1226>
- Chará, J; Solarte, A; Giraldo, C; Zuluaga, A; Murgueitio, E; Walschburger, T. & León, J. 2010. Evaluación ambiental Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. CIPAV, Cali.
- Chavarría, A; Detlefsen, G; Ibrahim, M; Galloway, G. de Camino, R. 2011. Análisis de la productividad y la contribución financiera del componente arbóreo en pequeñas y medianas fincas ganaderas de la subcuenca del río Copán, Honduras. *Agroforestería en las Américas* 48:146-156p. Turrialba, Costa Rica.
- Chave, J; Andalo, C; Brown, S; Cairns, M; Q Chambers, J; Eamus, D; Fölster, H; Fromard, F; Higuchi, N; Kira, T; Lescure, J-P; Nelson, B; Ogawa, H; Puig, H; Riera, B; Yamakura, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*. 87-99 p. Consultado 06 marz. 2019. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- CORPOCESAR (Corporación Autónoma Regional del Cesar, Colombia). 2016. Plan de Acción Institucional 2016-2019: “Agua PARA el Desarrollo Sostenible” (en línea). Valledupar, Colombia. 240 p. Consultado 12 agos. 2018. Disponible en <https://www.corpocesar.gov.co/files/1.%20PAI%202016-2019.pdf>
- CORPOCHIVOR (Corporación Autónoma Regional de Chivor, Colombia); MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia). 2009. Ganadería ecológica, prácticas sostenibles para la reconversión ambiental de la ganadería. Garagoa, Boyacá
- Crespo, G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. (en línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42(4):329-335. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015490001>
- Crespo, G; Fraga, S. 2006. Avances en el reciclaje de los nutrientes en sistemas silvopastoriles. IV Congreso Latinoamericano de Agroforestería para la producción pecuaria sostenible. Cuba. Sección Curso-Taller. 5. p

- Crespo, G; Rodríguez, I; Fraga, S. 2000. Estudio de la acumulación de hojarasca y nutrientes retornados al suelo en las especies *Albizia lebbek* (L) Benth y *Cajanus cajan* (L.) Millsp. IV Taller Internacional Silvopastoril «Los árboles y arbustos en la ganadería tropical». Indio Hatuey, Cuba. p. 4
- Dai, E. F., Wang, X. L., Zhu, J. J., & Xi, W. M. (2017). Quantifying ecosystem service trade-offs for plantation forest management to benefit provisioning and regulating services. *Ecology and evolution*, 7(19), 7807–7821. doi:10.1002/ece3.3286
- Daily, GC. 1997. Introduction: What are ecosystem services. Island Press, Washington, D.C.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Colombia). 2018. Producto Interno Bruto Departamental: Cuentas Departamentales (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado 14 agos. 2018. Disponible en [https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B\\_2015/pres\\_dpital\\_2017\\_preliminar.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/departamentales/B_2015/pres_dpital_2017_preliminar.pdf)
- Daza, M; Hernández Flórez, F; Alba Triana, F. 2014. Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia. s.l., s.e. 7189-7200 p.
- Delgado, D.; Herrera, R.; Cairo, J.; Orta, Y. 2014. *Samanea saman*, árbol multipropósito con potencialidades como alimento alternativo para animales de interés productivo. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48(3):205-212.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Pla, L; Vilchez, S; Di Rienzo, MJ. 2010. Qeco-Quantitative ecology software: A collaborative approach. *Revista Latinoamericana de Conservación* (1):73-75.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dumont, B; Fortun-Lamothe, L; Jouven, M; Thomas, M; Tichit, M. 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal* 7p.
- Elmqvist, T; Tuwendal, M; Krshnaswamy, J; Hylander, K. 2011. Managing trade-offs in ecosystems services. UNDP, Division of Environmental Policy Implementation Working Paper 4. 17p. Consultado 22 sep 2018. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/7e60/9c66401bef7ecdc0f411cca9723be1d0843d.pdf>
- Escobar, B; Hernández, B; Giraldo, LA; Mahecha, L. 2001. Efecto de la sombra arbórea sobre los hábitos de pastoreo y el consumo de vacas Cebú en Caucasia, Antioquia. En: Memorias VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias. Universidad de Antioquia, Medellín, 8 y 9 de noviembre de 2001.
- Esquivel, MJ; Harvey, C; Finegan, B; Casanoves, F; Skarpe, C; Nieuwenhuyse, A. 2009. Regeneración natural de árboles y arbustos en potreros activos de Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* (47):76-84

- Esquivel, H; Ibrahim, M; Harvey, C; Benjamin, T; Rojas Molina, J; Mohammed, I; Andrade, H; Pineda, N; Pérez, E; Vásquez, F. 2005. Árboles dispersos en potreros y su efecto en la disponibilidad y composición de la pastura. *In* Congreso sobre Sistemas Silvopastoriles Intensivos (2004, Mérida, México). 214-223 p.
- Fahrig, L; Baudry, J; Brotons, L; Burel, FG; Crist, TO; Fuller, RJ; Sirami, C. 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology letters*, 14(2), 101– 12. doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01559.x
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2016. El Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación: Cambio Climático. Agricultura y Seguridad Alimentaria (en línea). Roma, Italia. Consultado 10 de julio. Disponible <http://www.fao.org/3/a-i6030s.pdf>. 214 p
- FAO (Food and Agriculture Organization, Italia). 2018. World Livestock: Transforming the livestock sector through the Sustainable Development Goals. Rome, Italia. 16 p.
- FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos, Colombia). 2014. Foro Ganadería Regional Visión 2014 -2018: Bases para la formulación del plan de acción 2014 – 2018 para el mejoramiento de la Ganadería del departamento del Cesar. (en línea). Valledupar, Colombia. 67 p. Consultado 14 agos. 2018. Disponible en [file:///C:/Users/WINDOWS%207/Downloads/3.PlanCesarFINAL%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/WINDOWS%207/Downloads/3.PlanCesarFINAL%20(3).pdf)
- FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos, Colombia). 2017. Inventario ganadero. Bogotá, Colombia. (Tabla de datos). Consultado 10 may. 2018. Disponible en <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/inventario-ganadero>
- FEDEGAN (Federación Colombiana de Ganaderos, Colombia). 2018. Cifras de referencia del sector ganadero colombiano. Bogotá, Colombia. 38 p. (Documentos de estadística). Consultado 10 may. 2018. Disponible en <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/documentos-de-estadistica>
- Feinsinger, P. 2001. Designing field studies for biodiversity conservation. (en línea). Island Press(ed.). Washington. 212 p. Disponible en <https://books.google.co.cr/books?hl=es&lr=&id=Bxa8BwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR2&ots>
- Felipe-Lucia, MR; Comín, FA; Bennett, EM. 2014. Interactions among ecosystem services across land uses in a floodplain agroecosystem. *Ecology and Society* 19(1)
- Fernández, A. 2017. Producción de carne y leche bovina en sistemas silvopastoriles: Aprovechamiento de especies arbóreas, arbustivas y forrajeras (gramíneas y leguminosas perennes) de clima templado-frío, tropical y subtropical (en línea). Bordenave, Buenos Aires, INTA. 196 p. Consultado 13 agos. 2018. Disponible en [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_bordenave\\_produccion\\_de\\_carne\\_y\\_leche\\_bovina\\_en\\_sistemas\\_silvopastoriles.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_bordenave_produccion_de_carne_y_leche_bovina_en_sistemas_silvopastoriles.pdf)
- Fraser, LH; Pither, J; Jentsch, A; Sternberg, M; Zobel, M; Askarizadeh, D; Bartha, S; Beierkuhnlein, C; Bennett, JA; Bittel, A; Boldgiv, B; Boldrini, II; Bork, E; Brown, L;

- Cabido, M; Cahill, J; Carlyle, CN; Campetella, G; Chelli, S; Cohen, O; Csergo, A-M; Díaz, S; Enrico, L; Ensing, D; Fidelis, A; Fridley, JD; Foster, B; Garris, H; Goheen, JR; Henry, HAL; Hohn, M; Jouri, MH; Klironomos, J; Koorem, K; Lawrence-Lodge, R; Long, R; Manning, P; Mitchell, R; Moora, M; Müller, SC; Nabinger, C; Naseri, K; Overbeck, GE; Palmer, TM; Parsons, S; Pesek, M; Pillar, VD; Pringle, RM; Roccaforte, K; Schmidt, A; Shang, Z; Stahlmann, R; Stotz, GC; Sugiyama, S; Szentes, S; Thompson, D; Tungalag, R; Undrakhbold, S; van Rooyen, M; Wellstein, C; Wilson, JB; Zupo, T. 2015. Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness. (en línea). *Science* 349(6245):302 LP-305. Disponible en <http://science.sciencemag.org/content/349/6245/302.abstract>
- Gaviria-Uribe, X; Sossa Sánchez, C; Montoya, C; Chará, J; J Lopera, J; P Córdoba, C; Barahona Rosales, R. 2012. Producción de Carne Bovina en Sistemas Silvopastoriles Intensivos en el Trópico Bajo Colombiano. *In* Congreso Latinoamericano De Sistemas Agroforestales Para La Producción Animal Sostenible (7). 2012. Brasil. Consultado 15 agos 2018. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/262936613>
- Gerber, PJ; Mottet, A; Opio, CI; Falcucci, A; Teillard, F. 2015. Environmental impacts of beef production: Review of challenges and perspectives for durability. (en línea). *Meat Science* 109:2-12. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174015300139>
- Gerber, PJ; Steinfeld, H; Henderson, B; Mottet, A; Opio, C; Dijkman, J; Falcucci, A; Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock A global assessment of emissions and mitigation opportunities.
- Giraldo, LA; Zapata, M; Montoya, E. 2006. Estimación de la captura y flujo de carbono en silvopastoreo de *Acacia mangium* asociada con *Brachiaria dictioneura* en Colombia. (en línea). *Pastos y Forrajes* 29(4):421-435. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269121676005>
- Gobernación de Cesar y UNAL (Universidad Nacional de Colombia, Colombia). 2011. Plan Estratégico Regional de Ciencia, Tecnología e Innovación-PERCTI. Valledupar, Colombia. 669 p. Consultado 14 agos. 2018. Disponible en: <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/paginas/pedcti-cesar.pdf>
- Gobernación del Cesar. 2018. Departamento de Cesar (en línea, sitio web). Valledupar, Colombia. Consultado 14 agos. 2018. Disponible en <http://cesar.gov.co/d/index.php/es/mainmeneldpto/mendeppe>
- Golubov, J., Mandujano, M. y Eguiarte, L. (2001). The Paradox of Mesquites (*Prosopis* spp.): Invading Species of Biodiversity Enhancers (en línea). *In* Boletín de la Sociedad Botánica de México. 69, p 21-28. Consultado 19 agos. 2018. Disponible [https://www.researchgate.net/publication/26604116\\_The\\_Paradox\\_of\\_Mesquites\\_Prosopis\\_SPPIInvading\\_Especies\\_or\\_Biodiversity\\_Enhancers](https://www.researchgate.net/publication/26604116_The_Paradox_of_Mesquites_Prosopis_SPPIInvading_Especies_or_Biodiversity_Enhancers)
- Haase, D; Schwarz, N; Strohbach, M; Kröll, F; Seppelt, R. 2012. Synergies, Trade-offs, and Losses of Ecosystem Services in Urban Regions: An Integrated Multiscale Framework Applied to the Leipzig-Halle Region, Germany. (en línea). *Ecology and Society* 17:s.p. Disponible en <http://hdl.handle.net/10535/8567>

- Harrison, P., Berry, P., Simpson, G., Haslett, J., Blicharska, M., Bucur, M., Dunford, R., Egoh, B., GarciaLlorente, M., Geamăană, N., Geertsema, W., Lommelen, E., Meiresonne, L., Turkelboom, F., 2014. Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services* **9**, 191–203. doi:10.1016/j.ecoser.2014.05.006.
- Harvey, C; Villanueva, C; Esquivel, H; Gómez, R; Ibrahim, M; Martínez, J; Muñoz, D; Restrepo, C; Villacís, J; Sáenz, J; Sinclair, F. 2011. Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecology and Management* **261**(10):1664-1674.
- Harvey, CA; González, JA. 2007. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation* **16**(8): 2257–2292.
- Harvey, CA; Haber, WA. 1998. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. *Agroforestry Systems* **44**(1):37-68.
- Harvey, CA; Tucker, NIJ; Estrada, A. 2004. Live fences, isolated trees and windbreaks - tools for conserving biodiversity in fragmented tropical landscapes. PP. 261-289 en *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Washington, D.C. Island Press. Harvey, C., 2006. La conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles. En: *Memorias de una conferencia electrónica “Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales”*. (Eds. M. Ibrahim, J. Mora y M. Rosales). CATIE, Turrialba, Costa Rica. p.
- Harvey, CA; Villanueva, C; Ibrahim, M; Gómez, R; López, M; Kunth, S; Sinclair, FL. 2008. Productores, árboles y producción ganadera en paisajes de América Central: Implicaciones para la conservación de la biodiversidad. In: C Harvey, CA; Sáenz, J. (Eds). *Evaluación y Conservación de la Biodiversidad en Agropaisaje de Mesoamérica*. INBio. Costa Rica. p.97-22
- Haydock, KP; Shaw, NH.1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of experimental Agriculture and Animal Husbandry*. **15**(76): 662-670.
- Hoosbeek, MR; Remme, RP; Rusch, GM. 2018. Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. *Agroforestry Systems* **92**(2):263-273
- Huxman, TE; Smith, MD; Fay, PA; Knapp, AK; Shaw, MR; Loik, ME; Smith, SD; Tissue, DT; Zak, JC; Weltzin, JF; Pockman, WT; Sala, OE; Haddad, BM; Harte, J; Koch, GW; Schwinning, S; Small, EE; Williams, DG. 2004. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. (en línea). *Nature* **429**(6992):651-654. Disponible en <https://doi.org/10.1038/nature02561>
- Ibrahim, M; Chacón, M; Cuartas, C; Naranjo, J; Ponce, G; Vega, P; Casasola, F; Rojas, J. 2007. Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa aérea en sistemas de uso de la tierra en paisajes ganaderos de Colombia, Costa Rica y Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. N°. 45: 27–36 p

- Ibrahim, M; Mora, J. 2006. Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios. En: Memorias de una conferencia electrónica "Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios ambientales". (Eds. M. Ibrahim, J. Mora y M. Rosales). CATIE. Turrialba, Costa Rica. p. 10.
- Ibrahim, M; Villanueva, CP; Casasola, F. 2007. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y rehabilitación ecológica de paisajes ganaderos en Centro América. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 15(1): 73–87.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia). 2010. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (en línea). Bogotá, Colombia. 407 p. Consultado 06 agos 2018. Disponible en <http://www.minambiente.gov.co/index.php/comunicaciones-nacionales-de-cambio-climatico/segunda-comunicacion#documentos>.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia), CORPOCESAR (Corporación Autónoma Regional del Cesar, Colombia). 2007. Plan de acción regional (par) para la lucha contra la desertificación y la sequía en el Departamento del Cesar, con énfasis en la región del río Cesar. Convenio 172 de 2004. Bogotá, Colombia. 90 p.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia); PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia); MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia); DNP (Departamento Nacional de Planeación, Colombia), Cancillería. 2017. Acciones de Mitigación en Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. Colombia; Bogotá D.C. 128 P.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, República Dominicana), Ministerio de Agricultura, República Dominicana, USDA (United States Department of Agriculture, United States of America), Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo, (República Dominicana). 2016. Santo Domingo, República Dominicana. 35 p. Consultado 21 agos. 2018. Disponible <http://www.iica.int/sites/default/files/publications/files/2017/BVE17068935pdf>
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, US). 2006. Grassland in IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, chapter 6, volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Eds, Louis Verchot, Thelma Krug , Rodel D. Lasco , Stephen Ogle, and John Raison, Yue Li , Daniel L. Martino, Brian G. McConkey , and Pete Smith. Japan. Consultado 16 agos. 2018. Disponible en [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4\\_Volume4/V4\\_06\\_Ch6\\_Grassland.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_06_Ch6_Grassland.pdf)
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, US). 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (T. F. S. Field, C.B., V. Barros, S. K. A.

- Jose, S. 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview (en línea). *Agroforestry Systems*, 76(1), 1-10. Disponible en doi:<http://dx.doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Jose, S; Dollinger, J. 2019. Silvopasture: a sustainable livestock production system. (en línea). *Agroforestry Systems* 93(1):1-9. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8>
- Kirby, KR; Potvin, C. 2007. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. (en línea). *Forest Ecology and Management* 246(2):208-221. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707002903>
- Lok, S; Fraga, S; Noda, A; García, M. 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. (en línea). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 47(1):75-82. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193028545014>
- López, F; López, M; Gómez, R; Harvey, C; Villanueva, C; Gobbi, J; Ibrahim, M; Sinclair, F. 2006. Cobertura arbórea y rentabilidad de fincas ganaderas en Rivas y Matiguás, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas*. N° 45: 101-108p. Turrialba, Costa Rica.
- López-Vigoa, O; Sánchez-Santana, T; Iglesias-Gómez, JM; Lamela-López, L; Soca-Pérez, M; Arece-García, J; Milera-Rodríguez, M de la C. 2017. Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. s.l., scielocu. 83-95 p.
- Lü, Y; Fu, B; Feng, X; Zeng, Y; Liu, Y; Chang, R; Sun, G; Wu, B. 2012. A Policy-Driven Large Scale Ecological Restoration: Quantifying Ecosystem Services Changes in the Loess Plateau of China. (en línea). *PLoS ONE* 7(2):e31782. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3280995/>
- Luzardo OP, Henríquez LA, Zumbado M, Boada LD. 2014. Impacto de las instalaciones ganaderas sobre la calidad y seguridad del agua subterránea. *Revista de Toxicología* (en línea) 31(1): 39-46. Consultado 15 de julio de 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91932798005>> ISSN 0212-7113
- Mace, G.M., Norris, K., Fitter, A.H., 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology & Evolution* 27(1), 19–26. doi:10.1016/j.tree.2011.08.006.
- MADS (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia). 2012. Política Nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (PNGIBSE). Bogotá D.C.: Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosInstitucional/asuntos\\_internacionales/060\\_312\\_direccion\\_bosques\\_biodiversidad.pdf](http://www.minambiente.gov.co/documentos/DocumentosInstitucional/asuntos_internacionales/060_312_direccion_bosques_biodiversidad.pdf)
- Maes, J; Paracchini, ML; Zulian, G; Dunbar, MB; Alkemade, R. 2012. Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in

- Europe. (en línea). *Biological Conservation* 155:1-12. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320712002856>
- Magurran, A. 2004. *Measuring biological diversity*. Oxford, Backwell Science Ltd. 248 p.
- Magurran, A. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, Princeton University. 179 p.
- Mahecha, L. 2003. Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. (en línea). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 16(1):11-18. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295026121002>
- Mahecha, L; Rosales, M; Molina, CH. 1999. Experiencias de un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala*, *Cynodon plectostachius* y *Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca. En: *Agroforestería para la producción animal en América Latina. Estudio FAO sobre Producción y Sanidad Animal*. 143 Eds. M.
- Manning, AD; Fischer, J; Lindenmayer, DB. 2006. Scattered trees are keystone structures - implications for conservation. *Biological Conservation* 132(3):311-321
- Martínez, J; Cajas, YS; León, JD; Osorio, NW. 2014. Silvopastoral Systems Enhance Soil Quality in Grasslands of Colombia. *Applied and Environmental Soil Science*. Vol 2014, Article ID 359736, 8 p.
- MAVDT ( Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Colombia); UNCCD (Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación, Alemania); PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia); MADR ( Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Colombia); DNP( Departamento Nacional de Planeación, Colombia); IDEAM(Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia); IGAC(Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Colombia);CORPOICA( Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia); Ministerio de Relaciones exteriores, Corporaciones.2005. Plan de Acción Nacional: Lucha contra la desertificación y la sequía en Colombia. Colombia. 138 p.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Informe de síntesis (Borrador final). Un informe de la evaluación de los ecosistemas del milenio. Washington, DC: World Resources Institute (WRI), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 43 p.
- Mesa,S; Osuna, E. 2003. Estudio Dasométrico del Mezquite en la Zona de Las Pocitas. INIFAP( Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México). México. 56 p.
- Miranda, T; Machado, R; Machado, H; Duquesne, P. 2007. Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica.: Estudio de caso. *Pastos y Forrajes* 30:483p

- Mojica, J; Castro, E; Silva, J; Hortúa, H; García, L. 2013. Producción y calidad composicional de la leche en función de la alimentación en ganaderías doble propósito del Departamento del Cesar. Bogotá (Colombia): CORPOICA, 2013. 72 p.
- Mongue, AM. 1999. Estudio de la dinámica del bosque seco tropical a través de parcelas permanentes de muestreo en el Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica. Cartago, CR, TEC-OET. 65 p
- Mora, A; Pérez, J; Rodríguez, E; Rubio-Camacho, E; Yerena, J; González, M. 2013. Efecto de la ganadería en la composición y diversidad arbórea y arbustiva del matorral espinoso tamaulipeco (en línea). *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. México. 124-137 p. Consultada 10 de julio de 2019. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/257823501\\_Efecto\\_de\\_la\\_ganaderia\\_en\\_la\\_composicion\\_y\\_diversidad\\_arborea\\_y\\_arbustiva\\_del\\_matorral\\_espinoso\\_tamaulipeco](https://www.researchgate.net/publication/257823501_Efecto_de_la_ganaderia_en_la_composicion_y_diversidad_arborea_y_arbustiva_del_matorral_espinoso_tamaulipeco)
- Mora, F; Balvanera, P; Garcia-Frapolli, E; Castillo, A; Trilleras, JM; Cohen-Salgado, D; Salmeron, O. 2016. Trade-offs between ecosystem services and alternative pathways toward sustainability in a tropical dry forest region. (en línea). *Ecology and Society* 21(4): Consultada 25 agosto de 2018. Disponible en <https://www.ecologyandsociety.org/vol21/iss4/art45/>
- Moreno, C. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales&Tesis SEA. ORCYTUNESCO SEA (ed.). Zaragoza. 84 p.
- Moreno, L. A; Andrade, G. I; Ruíz-Contreras, L. F. (Eds.). 2016. Biodiversidad 2016: Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, D. C., Colombia. 106 p.
- 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
- Murgueitio, E; Cuartas, C; Naranjo, J (eds). 2008. Ganadería del futuro: Investigación para el desarrollo. Fundación CIPAV. Cali, Colombia. 490p.
- Murgueitio, E; Cuéllar, P; Ibrahim, M; Gobbi, J; Cuartas, CA; Naranjo, JF; Zapata, A; Mejía, CE; Zuluaga, AF; Casasola, F. 2006. Adopción de sistemas agroforestales pecuarios. *Pastos y Forrajes* 29: 365-382.
- Ospina, S; Rusch, G; Ibrahim, M; Finegan, B; Casanoves, F. 2009. Composición de los pastizales seminaturales en el sistema silvopastoril de Muy Muy, Nicaragua. *Agroforestería en Las Américas* 47: 68-83.
- Ospina, S; Rusch, GM; Pezo, D; Casanoves, F; Sinclair, FL. 2012. More Stable Productivity of Semi Natural Grasslands than Sown Pastures in a Seasonally Dry Climate. (en línea). *PLOS ONE* 7(5):e35555. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0035555>
- Paternina, A; Carvajal-Cogollo, JE; Medina-Rangel, G. 2013. Anfibios de las ciénagas del Departamento del Cesar.

- Pattanayak, SK; Mercer, DE; Sills, E; Yang, JC. 2003. Taking stock of agroforestry adoption studies. *Agroforestry Systems* 57: 173-186., SJ. 2001. Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica. Tesis de grado para optar al título de especialista en Ingeniería Ambiental. Universidad Industrial de Santander - Escuela de Ingeniería Química.
- Peters, M; Franco, L; Schmidt, A; Hincapie, B. 2011. Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del trópico americano. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ); Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GIZ), Cali, CO. vii, 212 p.. (Publicación CIAT no. 374)
- Pezo, D. Ibrahim, M. 1999. Sistemas silvopastoriles. Proyecto Agroforestal CATIE/ GTZ. Turrialba, Costa Rica. p. 276
- Piñeros, R., Tobar, V., & Mora Delgado, J. 2011. Evaluación agronómica y zootécnica del pasto Colosoana (*Bothriochloa pertusa*) en el trópico seco del Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1), 36.40.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia). 2010. Cesar: Análisis de la conflictividad. 64p. Bogotá, Colombia.
- Post, WN; Kwon, KC. 2008. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. (en línea). *Global Change Biology* 6(3):317-327. Disponible en <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
- Pradilla, G; Bayly, NJ; Andrade, GI; Gómez, C. 2012. Paisajes agrícolas, agroecosistemas y conservación de las especies migratorias en Colombia. Pp. 12 – 60. En: Agroecosistemas beneficiosos para las especies migratorias de Colombia. Gómez, C. y J. M. Díaz (Eds). Informe final del Convenio 044 del 2012 entre SELVA: Investigación para la Conservación en el Neotrópico y la UPRA (Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá, Colombia.
- Rangel-Ch. J. 2009. Colombia diversidad biótica VIII. Media y baja montaña de la serranía de Perijá (en línea) Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 708p. Consultado 12 agos. 2018. Disponible en <http://www.uneditorial.net/pdf/TomoVIII.pdf>
- Rapidel, B; Ripoche, A; Allinne, C; Metay, A; Deheuvels, O; Lamanda, N; Blazy, JM; Valdés-Gómez, H; Gary, C. 2015. Analysis of ecosystem services trade-offs to design agroecosystems with perennial crops. *Agronomy for Sustainable Development* 35(4):1373-1390
- Raudsepp-Hearne, C; Peterson, GD; Bennett, EM. 2010. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. (en línea). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(11):5242 LP-5247. Disponible en <http://www.pnas.org/content/107/11/5242>.

- Reyes-González, J; Escobedo, J; Buitrago, I. 2017. Foro de Ganadería Sustentable en Territorios de Montaña: Retos y oportunidades de los sistemas silvopastoriles en Áreas Protegidas (en línea). México. 97 p. Consultado 10 agost. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/315831731\\_Foro\\_de\\_Ganaderia\\_Sustentable\\_en\\_Territorios\\_de\\_Montana\\_Retos\\_y\\_oportunidades\\_de\\_los\\_sistemas\\_silvopastoriles\\_en\\_Areas\\_Protegidas](https://www.researchgate.net/publication/315831731_Foro_de_Ganaderia_Sustentable_en_Territorios_de_Montana_Retos_y_oportunidades_de_los_sistemas_silvopastoriles_en_Areas_Protegidas)
- Ribaski, J. 2001. Potencial de Algarrobo (*Prosopis juliflora*) en sistemas silvopastoriles en el semiárido de Brasil (en línea). in Memorias de la segunda conferencia electrónica. Centro de Investigación Forestal Colombo, Paraná, Brasil: 2000, 2001. Consultado 10 agos. 2018. Disponible <http://www.fao.org/docrep/006/Y4435S/y4435s0c.htm>
- Ríos, N; Cárdenas, A; Andrade, H; Ibrahim, M; Jiménez, F; Sancho, F; Ramírez, E; Reyes, B; Woo, A. 2007. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería Américas* 45: 66-71.
- Rodríguez, JP; Beard Jr., TD; Bennett, EM; Cumming, GS; Cork, SJ; Agard, J; Dobson, AP; Peterson, GD. 2006. Trade-offs across space, time, and ecosystem services. (en línea). *Ecology and Society* 11(1):s.p. Disponible en <http://pubs.er.usgs.gov/publication/70030244>
- Roenes, G; Reales, J. 2018. Importancia de los cobertores vegetales transformados para la sustentabilidad ganadera en el noreste del Cesar, Colombia. *Revista Colombiana De Ciencia Animal - RECIA*, 10(1), 51-60. <https://doi.org/10.24188/recia.v10.n1.2018.545>
- Rosa, A; Detlefsen, G; Ibrahim, M; de Camino, R; Galloway, G. 2010. Aprovechamiento del recurso maderable en sistemas silvopastoriles de Belice (en línea). *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60:91-98. Consultado 20 jun 2019. Disponible en <http://www.sidalc.net/repdoc/A7410e/A7410e.pdf>
- Ruiz, A; Ibrahim, M; Locatelli, B; Andrade, H; Beer, J. 2004. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. *Agroforestería en la Américas*. N° 41-42: 16-21. Turrialba, Costa Rica.
- Rusch, G; Skarpe, C. 2009. Procesos ecológicos asociados con el pastoreo y su aplicación en sistemas silvopastoriles. *Agroforestería en las Américas* (47):12-19
- Rusch, GM; Zapata, PC; Casanoves, F; Casals, P; Ibrahim, M; DeClerck, F. 2014. Determinants of grassland primary production in seasonally-dry silvopastoral systems in Central America. *Agroforestry Systems* 88(3):517-526
- Salgado-Negret, B., Paz, H. 2015. Escalando de los rasgos funcionales a procesos poblacionales, comunitarios y ecosistémicos. pp 12-35. En: Salgado-Negret, B. (ed). *La ecología funcional como aproximación al estudio, manejo y conservación de la biodiversidad: protocolos y aplicaciones*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C. Colombia. 236 pp.
- Sánchez, D; López, M; Medina, A; Gómez, R; Harvey, C; Vilchez Mendoza, S; Hernández, B; López, F; Joya, M; Sinclair, F; Kunth, S. 2017. Importancia ecológica y socioeconómica

de la cobertura arbórea en un paisaje fragmentado de bosque seco de Belen, Rivas, Nicaragua. 17 p.

- Sans, F. X., La diversidad de los agroecosistemas. Ecosistemas [en línea] 2007, 16 [Fecha de consulta: 21 de junio de 2019] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016106>> ISSN 1132-6344
- Scheelje, M; Ibrahim, M; Detlefsen, G; Pomareda, C; Sepúlveda, C. 2011. Beneficios financieros del aprovechamiento maderable sostenible en sistemas silvopastoriles de Esparza, Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. N° 48: 137-145p. Turrialba, Costa Rica.
- Seddaiu, G; Bagella, S; Pulina, A; Cappai, C; Salis, L; Rossetti, I; Lai, R; Roggero, PP. 2018. Mediterranean cork oak wooded grasslands: synergies and trade-offs between plant diversity, pasture production and soil carbon. (en línea). *Agroforestry Systems* 92(4):893-908. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0225-7>
- SELVA. 2012. Agroecosistemas beneficiosos para las especies migratorias de Colombia. Gómez, C. y J. M. Díaz (Eds). Informe final del Convenio 044 del 2012 entre SELVA: Investigación para la Conservación en el Neotrópico y la UPRA (Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios) del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 165 pp. Bogotá, Colombia.
- Serrano, J; Mora–Delgado, J; Piñeros, R. 2014. Biomasa forrajera bajo diferentes densidades de cobertura arbórea en una pastura del valle cálido del Magdalena Tolimense (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencia Animal*. 7(1): 73–81. Colombia.
- Serrano, J; Andrade, H; Mora–Delgado, J. 2014. Caracterización de la Cobertura arbórea en una pastura del trópico seco en Tolima, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*. 21(1): 99-110. Costa Rica.
- Sheng, W; Ren, S; Yu, G; Fang, H; Jiang, C; Zhang, M. 2011. Patterns and driving factors of WUE and NUE in natural forest ecosystems along the North-South Transect of Eastern China. (en línea). *Journal of Geographical Sciences* 21(4):651-665. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0870-5>
- Smith, J; Pearce, BD; Wolfe, MS. 2013. Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? (en línea). *Renewable Agriculture and Food Systems* 28(1):80-92. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/article/reconciling-productivity-witprotection-of-the-environment-is-temperate-agroforestry-the-answer/>
- Solano, H. 2013. El algarrobo o samán, excelente alternativa ganadera. *Ecología con Asocebu*. 2013 abril. Disponible en: URL: <http://ecologiasocebu.blogspot.com.co/2013/04/el-algarrobo-o-saman-excelente.html>.
- Steinfeld, H; Gerber, P; Wassenaar, T; Castel, V; Rosales, M; Haan, C de. 2006. La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones. Roma, Italia., Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 493 p.

- Sternberg, M; Gutman, M; Perevolotsky, A; Ungar, ED; Kigel, J. 2000. Vegetation response to grazing management in a Mediterranean herbaceous community: a functional group approach. (en línea). *Journal of Applied Ecology* 37(2):224-237. Disponible en <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00491.x>
- Tamburini, G; Simone, S de; Sigura, M; Boscutti, F; Marini, L. 2016. Soil management shapes ecosystem service provision and trade-offs in agricultural landscapes. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences* 283(1837):20161369
- Tobar, D; Ibrahim, M. 2008. Valor de los sistemas silvopastoriles para conservar la biodiversidad en fincas y paisajes ganaderos en América Central. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Tscharntke, T; Klein, AM; Kruess, A; Steffan-Dewenter, I; Thies, C. 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity – ecosystem service management. (en línea). *Ecology Letters* 8(8):857-874. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x>
- UPRA (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, Colombia). 2017. Departamento del Cesar. In Redición de cuentas (1, 2018, Bogotá, Colombia). Bogotá, Colombia. 9 p. Consultado 10 may. 2018. Disponible en <https://sites.google.com/a/upra.gov.co/presentaciones-upra/departamental/cesar>
- Valencia-Duarte, J., Trujillo Ortiz, L., & Vargas Ríos, O. 2012. Dinámica de la vegetación en un enclave semiárido del río Chicamocha, Colombia. EN *Biota Colombiana*, 13(2). doi:<https://doi.org/10.21068/bc.v13i2.262>
- Vallejo C, Chacón M, Cifuentes M. 2016. Sinergias entre adaptación y mitigación del cambio climático (SAM) en los sectores agrícola y forestal: Concepto y propuesta de acción. 1 ed. Turrialba, Costa Rica. 41p. (Serie técnica/ CATIE N° 79).
- Van Ruijven, J; Berendse, F. 2010. Diversity enhances community recovery, but not resistance, after drought. (en línea). *Journal of Ecology* 98(1):81-86. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01603.x>
- Vergara, J. 2015. Caracterización de la degradación y los cambios de usos de suelo en fincas ganaderas y su relación con la diversidad de aves en el Valle del Río Cesar, Colombia (Tesis de Maestría) (en línea). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Consultado 15 agos. 2018. Disponible [http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7203/Caracterizaci\\_on\\_de\\_la\\_degradacion.pdf?sequence=1](http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/7203/Caracterizaci_on_de_la_degradacion.pdf?sequence=1)
- Villanueva, C; Casasola Coto, F; Detlefsen, G. 2018. Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y en la generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. 1 ed. 61 p. (Boletín técnico, N° 87).
- Villanueva, C; Ibrahim, M; Harvey, C; Esquive, H. 2003. Tipologías de fincas con ganadería bovina y cobertura arbórea en pasturas en el trópico seco de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* Vol. 10 N° 39-402003. 16 p.

- Villanueva-Partida, C; Casanova-Lugo, F; Villanueva-López, G; González-Valdivia, N; Oros-Ortega, I; Díaz-Echeverría, V. 2016. Influence of the density of scattered trees in pastures on the structure and species composition of tree and grass cover in southern Tabasco, Mexico. (en línea). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 232:1-8. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880916303887>
- Vogel, A; Scherer-Lorenzen, M; Weigelt, A. 2012. Grassland Resistance and Resilience after Drought Depends on Management Intensity and Species Richness. (en línea). *PLOS ONE* 7(5):e36992. Disponible en <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036992>
- Wang, Z; Mao, D; Li, L; Jia, M; Dong, Z; Miao, Z; Ren, C; Song, C. 2015. Quantifying changes in multiple ecosystem services during 1992–2012 in the Sanjiang Plain of China. (en línea). *Science of The Total Environment* 514:119-130. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715000108>
- Zanne, A; Lopez-Gonzalez, G; Coomes, D; Ilic, J; Jansen, S; Lewis, S; Miller, R; Swenson, N; Wiemann, M; Chave, J. 2009. Global wood density database (en línea). Consultada 01 mar 2019 Disponible en <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.
- Zapata, P; Rusch, G; Ibrahim, M; DeClerk, F; Casanoves, F; Beer, J. 2013. Influencia de los árboles en la vegetación herbácea de sistemas ganaderos del trópico seco de Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* N° 50 30:36 p
- Zhang, W; Ricketts, TH; Kremen, C; Carney, K; Swinton, SM. 2007. Ecosystem services and disservices to agriculture. *Ecological Economics*, 64(2), 253–260. doi:10.1016/j.ecolecon.2007.02.024
- Zuluaga, AF; Giraldo, C; Chará, J. 2011. Servicios ambientales que proveen los sistemas silvopastoriles y los beneficios para la biodiversidad. Manual 4, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. GEF, BANCO MUNDIAL, FEDEGAN, CIPAV, FONDO ACCION, TNC. Bogotá, Colombia. 36p

## 10. Anexos

### Anexo 1. Listado de especies arbóreas e índice de valor de importancia ecológica (IVI) para las coberturas alta, media y baja

Cobertura	Especie	Abundancia absoluta	Abundancia relativa	Frecuencia relativa	Dominancia relativa	IVI
Baja	<i>Prosopis juliflora</i>	22	71,0	55,6	95,3	<b>221,8</b>
Baja	<i>Acacia farnesiana</i>	1	3,2	5,6	0,0	8,8
Baja	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	1	3,2	5,6	1,1	9,9
Baja	<i>Platymiscium pinnatum</i>	2	6,5	11,1	0,1	17,7
Baja	<i>Guazuma ulmifolia</i>	1	3,2	5,6	0,1	8,9
Baja	<i>Melicoccus bijugatus</i>	3	9,7	11,1	2,5	23,2
Baja	<i>Handroanthus billbergii</i>	1	3,2	5,6	0,9	9,6
Total		31	100,0	100,0	100,0	300,0
Media	<i>Prosopis juliflora</i>	28	29,5	20,4	63,8	<b>113,7</b>
Media	<i>Acacia farnesiana</i>	6	6,3	8,2	1,1	15,6
Media	<i>Abizia saman</i>	4	4,2	8,2	3,1	15,5
Media	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	3	3,2	2,0	0,2	5,4
Media	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	14	14,7	10,2	6,2	31,2
Media	<i>Senna atomaria</i>	1	1,1	2,0	0,0	3,1
Media	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	13	13,7	14,3	20,2	<b>48,1</b>
Media	<i>Platymiscium pinnatum</i>	11	11,6	10,2	4,0	25,8
Media	<i>Caesalpinia coriaria</i>	4	4,2	6,1	0,6	10,9
Media	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	2,1	2,0	0,0	4,2
Media	<i>Bulnesia arborea</i>	1	1,1	2,0	0,1	3,2
Media	<i>Trichilia hirta</i>	1	1,1	2,0	0,0	3,1
Media	<i>Melicoccus bijugatus</i>	2	2,1	2,0	0,0	4,2
Media	<i>Gliricidia sepium</i>	1	1,1	2,0	0,1	3,2
Media	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1	1,1	2,0	0,4	3,5
Media	<i>Tabebuia rosea</i>	1	1,1	2,0	0,0	3,1
Media	<i>Poeppegia procera</i>	1	1,1	2,0	0,0	3,1
Media	<i>Myrospermum frutescens</i>	1	1,1	2,0	0,1	3,1
Total		95	100,0	100,0	100,0	300,0
Alta	<i>Acacia farnesiana</i>	4	3,3	4,9	0,6	8,8
Alta	<i>Abizia saman</i>	15	12,4	8,2	40,4	<b>61,0</b>
Alta	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	1	0,8	1,6	0,1	2,6
Alta	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	22	18,2	13,1	16,8	<b>48,1</b>
Alta	<i>Aspidosperma polyneuron</i>	8	6,6	9,8	3,3	19,7
Alta	<i>Platymiscium pinnatum</i>	6	5,0	3,3	3,1	11,3
Alta	<i>Caesalpinia coriaria</i>	5	4,1	3,3	0,7	8,1
Alta	<i>Guazuma ulmifolia</i>	2	1,7	3,3	0,5	5,4
Alta	<i>Pereskia guamacho</i>	2	1,7	3,3	0,2	5,1
Alta	<i>Psidium guajava</i>	2	1,7	1,6	0,1	3,4

Alta	<i>Bulnesia arborea</i>	14	11,6	11,5	14,6	37,6
Alta	<i>Astronium graveolens</i>	4	3,3	4,9	2,0	10,2
Alta	<i>Melicoccus bijugatus</i>	4	3,3	3,3	0,6	7,1
Alta	<i>Handroanthus billbergii</i>	2	1,7	3,3	0,0	4,9
Alta	<i>Crescentia cujete</i>	1	0,8	1,6	0,0	2,5
Alta	<i>Prosopis juliflora</i>	19	15,7	9,8	15,8	<b>41,3</b>
Alta	<i>Cordia alba</i>	1	0,8	1,6	0,0	2,5
Alta	<i>Triplaris americana</i>	1	0,8	1,6	0,1	2,5
Alta	<i>Poepigia procera</i>	1	0,8	1,6	0,2	2,7
Alta	<i>Myrospermum frutescens</i>	2	1,7	3,3	0,3	5,2
Alta	<i>Ziziphus thyrsoflora</i>	2	1,7	1,6	0,5	3,8
Alta	Sp1	2	1,7	1,6	0,1	3,4
Alta	Sp2	1	0,8	1,6	0,0	2,5
Total		121	100,0	100,0	100,0	300,0

**Anexo 2. Listado de especies herbáceas y valores de abundancia absoluta y relativa en las coberturas alta, media y baja**

Especies	Abundancia absoluta por cobertura			Abundancia relativa por cobertura		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
<b>Total general</b>	4608	4608	3840	0	0	0
<i>Bothriochloa pertusa</i>	<b>2264</b>	<b>2311</b>	<b>1928</b>	<b>49,13</b>	<b>50,15</b>	<b>50,21</b>
<i>Melochia parviflora</i>	<b>311</b>	<b>204</b>	<b>305</b>	<b>6,75</b>	<b>4,43</b>	<b>7,94</b>
<i>Megathyrsus maximus</i>	293	166	75	6,36	3,60	1,95
<i>Cynodon nlemfuensis</i>	<b>187</b>	<b>252</b>	<b>527</b>	<b>4,06</b>	<b>5,47</b>	<b>13,72</b>
<i>Bouteloua aristidoides</i>	186	232	59	4,04	5,03	1,54
<i>Petiveria alliacea</i>	137	36	41	2,97	0,78	1,07
<i>Bastardia viscosa</i>	115	166	15	2,50	3,60	0,39
<i>Waltheria indica</i>	111	117	1	2,41	2,54	0,03
<i>Desmodium tortuosum</i>	91	72	143	1,97	1,56	3,72
SP3	78	74	70	1,69	1,61	1,82
<i>Achyranthes aspera</i>	72	174	96	1,56	3,78	2,50
<i>Euphorbia heterophylla</i>	66	23	9	1,43	0,50	0,23
<i>Gomphrena serrata</i>	65	64	65	1,41	1,39	1,69
<i>Paspalum notatum</i>	64	0	0	1,39	0	0
<i>Sida acuta</i>	62	27	43	1,35	0,59	1,12

<i>Panicum fasciculatum</i>	61	62	1	1,32	1,35	0,03
<i>Physalis angulata</i>	49	5	0	1,06	0,11	0
<i>SP1</i>	41	2	2	0,89	0,04	0,05
<i>Commelina erecta</i>	39	4	0	0,85	0,09	0
<i>Boerhavia erecta</i>	36	46	9	0,78	1,00	0,23
<i>Priva lappulacea</i>	31	0	0	0,67	0	0
<i>Sporolobus sp</i>	26	0	0	0,56	0	0
<i>Eleusine tristachya</i>	25	34	124	0,54	0,74	3,23
<i>Elytraria imbricata</i>	18	13	0	0,39	0,28	0
<i>Euphorbia prostrata</i>	17	70	1	0,37	1,52	0,03
<i>Cyperus diffusus</i>	15	29	0	0,33	0,63	0
<i>Heliotropium angiospermum</i>	15	20	1	0,33	0,43	0,03
<i>Mimosa pudica</i>	14	23	40	0,30	0,50	1,04
<i>Cynodon dactylon</i>	13	0	0	0,28	0	0
<i>Euphorbia hirta</i>	13	13	0	0,28	0,28	0
<i>Tridax procumbens</i>	12	1	0	0,26	0,02	0
<i>Cucumis melo</i>	11	0	0	0,24	0	0
<i>Digitaria sanguinalis</i>	11	71	79	0,24	1,54	2,06
<i>Senna obtusifolia</i>	8	17	34	0,17	0,37	0,89
<i>Vicia sp</i>	7	1	0	0,15	0,02	0
<i>Phyllanthus niruri</i>	6	0	0	0,13	0	0
<i>Alysicarpus vaginalis</i>	5	72	79	0,11	1,56	2,06
<i>Cleome viscosa</i>	5	4	0	0,11	0,09	0
<i>Cyperus esculentus</i>	3	1	6	0,07	0,02	0,16
<i>Heliotropium indicum</i>	3	8	11	0,07	0,17	0,29
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	3	22	2	0,07	0,48	0,05
<i>Momordica charantia</i>	3	1	3	0,07	0,02	0,08
<i>Funastrum clausum</i>	2	21	5	0,04	0,46	0,13
<i>Leptochloa filiformis</i>	2	0	0	0,04	0	0

<i>Sida rhombifolia</i>	2	0	0	0,04	0	0
SP4	2	2	0	0,04	0,04	0
<i>Andropogon gayunus</i>	1	7	7	0,02	0,15	0,18
<i>Calopogonium mucunoides</i>	1	4	0	0,02	0,09	0
<i>Cnidoscolus urens</i>	1	4	0	0,02	0,09	0
<i>Euphorbia hypericifolia</i>	1	0	0	0,02	0	0
<i>Portulaca oleracea</i>	1	1	0	0,02	0,02	0
<i>Ruellia tuberosa</i>	1	64	35	0,02	1,39	0,91
<i>Setaria sp1</i>	1	1	1	0,02	0,02	0,03
SP2	1	0	0	0,02	0	0
<i>Paspalum virgatum</i>	0	2	0	0	0,04	0
<i>Amaranthus spinosus</i>	0	8	8	0	0,17	0,21
<i>Calotropis procera</i>	0	1	0	0	0,02	0
<i>Chamaecrista nictitans</i>	0	2	0	0	0,04	0
<i>Desmodium canum</i>	0	0	2	0	0	0,05
<i>Echinochloa colonum</i>	0	5	3	0	0,11	0,08
<i>Eleusine indica</i>	0	11	0	0	0,24	0
<i>Evolvulus nummularius</i>	0	1	0	0	0,02	0
<i>Ipomoea purpurea</i>	0	2	0	0	0,04	0
<i>Jatropha gossypifolia</i>	0	29	9	0	0,63	0,23
<i>Rottboellia cochinchinensis</i>	0	1	1	0	0,02	0,03
<i>Setaria sp2</i>	0	5	0	0	0,11	0

### Anexo 3. Análisis de varianza (ANOVA) para las variables evaluadas en las coberturas alta, media y baja

#### ANOVA para riqueza en vegetación herbácea

#### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	98.66	102.49	-43.33	0.02	0.13	0.60

AIC y BIC menores implica mejor

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	86.41	<0.0001
Cobertura	2	9	23.93	0.0002

### S - Medias ajustadas y errores estándares

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Cobertura	Medias	E.E.	
Media	17.01	1.68	A
Alta	16.71	1.66	A
Baja	13.82	1.60	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### ANOVA para Índice de Shannon en vegetación herbácea

#### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	28.50	31.69	-9.25	0.39	0.12	0.12

AIC y BIC menores implica mejor

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	264.93	<0.0001
Cobertura	2	9	0.96	0.4177

### ANOVA para Índice de Simpson en vegetación herbácea

#### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	-0.74	2.46	5.37	0.14	0.13	0.13

AIC y BIC menores implica mejor

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	363.96	<0.0001
Cobertura	2	9	1.09	0.3762

## ANOVA para Carbono en biomasa aérea arbórea - CBA (ton ha<sup>-1</sup>)

### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	59.72	63.55	-23.86	0.37	0.96	0.98

*AIC y BIC menores implica mejor*

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	207.97	<0.0001
Cobertura	2	9	269.53	<0.0001

### Medias ajustadas y errores estándares

*LSD Fisher (Alfa=0.05)*

*Procedimiento de corrección de p-valores: No*

Cobertura	Medias	E.E.	
Alta	19.40	0.86	A
Media	6.81	0.38	B
Baja	2.05	0.34	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

## ANOVA para Carbono en biomasa aérea de herbáceas-CBH (ton ha<sup>-1</sup>)

### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	-9.52	-6.32	9.76	0.05	0.05	0.97

*AIC y BIC menores implica mejor*

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	74.02	<0.0001
Cobertura	2	9	12.40	0.0026

### Medias ajustadas y errores estándares

*LSD Fisher (Alfa=0.05)*

*Procedimiento de corrección de p-valores: No*

Cobertura	Medias	E.E.	
Baja	0.84	0.09	A
Media	0.79	0.09	A
Alta	0.70	0.09	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

## ANOVA para Carbono total-CT (ton ha<sup>-1</sup>)

### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	60.40	64.23	-24.20	0.36	0.96	0.98

*AIC y BIC menores implica mejor*

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	255.42	<0.0001
Cobertura	2	9	270.58	<0.0001

### Medias ajustadas y errores estándares

*LSD Fisher (Alfa=0.05)*

*Procedimiento de corrección de p-valores: No*

Cobertura	Medias	E.E.	
Alta	20.08	0.84	A
Media	7.60	0.40	B
Baja	2.88	0.37	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

## ANOVA para producción de materia seca de herbácea-PMS (ton ha<sup>-1</sup>)

### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	11.12	14.31	-0.56	0.10	0.05	0.97

*AIC y BIC menores implica mejor*

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	73.42	<0.0001
Cobertura	2	9	13.72	0.0018

### Medias ajustadas y errores estándares

*LSD Fisher (Alfa=0.05)*

*Procedimiento de corrección de p-valores: No*

Cobertura	Medias	E.E.	
Baja	1.80	0.20	A
Media	1.68	0.19	A
Alta	1.48	0.19	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

## ANOVA para Volumen de madera-VLM ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )

### Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
17	61.16	65.00	-24.58	0.42	0.97	0.97

*AIC y BIC menores implica mejor*

### Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	9	333.31	<0.0001
Cobertura	2	9	262.43	<0.0001

### Medias ajustadas y errores estándares

*LSD Fisher (Alfa=0.05)*

*Procedimiento de corrección de p-valores: No*

Cobertura	Medias	E.E.	
Alta	24.81	1.23	A
Media	7.29	0.33	B
Baja	1.60	0.25	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*