

Trabajo de grado

MACROPROYECTO:  
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PRESTADOS POR EL  
SUELO

Tema: Servicios ecosistémicos asociados al suelo en  
sistemas silvopastoriles en Colombia

Estudiante  
Diana Marcela Gutiérrez Game  
c.c 42159595

Director  
Liliana Bueno López

Especialización en Gestión Ambiental Local  
Facultad de Ciencias Ambientales  
Universidad Tecnológica de Pereira  
Pereira, 2020

# Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	1
Índice de tablas.....	3
Índice de figuras.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN.....	7
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
2 JUSTIFICACIÓN.....	9
3 OBJETIVOS.....	10
3.1 Objetivo general.....	10
3.2 Objetivos específicos.....	10
4 MARCO DE REFERENCIA.....	11
4.1 Metodología.....	11
4.2 Marco Conceptual.....	11
4.2.1 Servicios Ecosistémicos según Evaluación de Ecosistemas del Milenio.....	12
4.2.2 Servicios Ecosistémicos según Ken J. Wallace.....	14
4.2.3 Gestión Integral de Suelos en Colombia.....	17
4.2.4 Sistemas Silvopastoriles.....	17
4.3 Antecedentes.....	18
4.4 Marco Teórico.....	19
4.4.1 Uso y conflicto de suelos en Colombia.....	19
4.4.2 Ganadería en Colombia.....	21
5 RESULTADOS.....	24
5.1 Análisis cuantitativo de referencias bibliográficas.....	24
5.2 Descripción de los SE asociados al suelo en SSP y los efectos relacionados con su implementación.....	25
5.2.1 Secuestro de Carbono como SE en SSP.....	26
5.2.2 Enriquecimiento del suelo como SE en SSP.....	28
5.2.3 Conservación de la biodiversidad como SE en SSP.....	29
5.2.4 Calidad del aire y del agua como SE en SSP.....	29
5.3 Esquema final de SSP como alternativa para la gestión del suelo en agroecosistemas.....	31
6 CONCLUSIONES.....	34

7	REFERENCIAS.....	35
---	------------------	----

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Clasificación de SE y sus conexiones con los valores humano, procesos del ecosistema y bienes naturales</i> .....	15
<b>Tabla 2</b> <i>Vocación de uso del suelo en Colombia</i> .....	20
<b>Tabla 3</b> <i>Conflicto de uso del suelo colombiano</i> .....	20
<b>Tabla 4</b> <i>Análisis cuantitativo de referencias bibliográficas al final del documento</i> .....	25

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Clasificación de los servicios ecosistémicos por Evaluación de Ecosistemas del Milenio</i> .....	13
<b>Figura 2</b> <i>Participación de la ganadería en el PIB Colombia</i> .....	22
<b>Figura 3</b> <i>Suelos manejados de forma inadecuada</i> .....	26
<b>Figura 4</b> <i>Los suelos y el ciclo del carbono</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Fragmento tomado de Figura 6, Esquema de servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles</i> .....	31
<b>Figura 6</b> <i>Esquema de servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles</i> .....	33

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio es describir los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles en Colombia, estableciendo los beneficios de su implementación en agroecosistemas lo cual será de gran utilidad para productores y gestores ambientales a la hora de diseñar un sistema silvopastoril para un terreno específico.

El desarrollo de este documento se realizó con base en una revisión de la información disponible acerca de sistemas silvopastoriles y los servicios ecosistémicos que presta a los agroecosistemas, especialmente en el contexto ganadero al cual están relacionados una serie de impactos al medio ambiente.

Se construye un esquema donde se cruzan los principales impactos negativos de la actividad ganadera sobre el suelo y los principales servicios ecosistémicos que prestan los sistemas silvopastoriles. El desarrollo del esquema logra correlacionar un impacto a un servicio ecosistémico y entrega información acerca de los beneficios, indicadores para evaluarlos y algunas consideraciones a tener en cuenta en la implementación de cada uno de ellos, como estrategia de gestión a los impactos.

Al final se logra concluir que los sistemas silvopastoriles son una estrategia eficaz en la gestión ambiental de los impactos en el suelo dados los servicios ecosistémicos y beneficios que representa.

Palabras clave: Servicios ecosistémicos, sistemas silvopastoriles, agroecosistemas.

## **ABSTRACT**

The objective of this study is to describe the ecosystem services associated with the soil in silvopastoral systems in Colombia, establishing the benefits of their implementation in agroecosystems, which will be very useful for producers and environmental managers when designing a silvopastoral system for a specific terrain. .

The development of this document was carried out based on a review of the information available about silvopastoral systems and the ecosystem services they provide to agroecosystems, especially in the livestock context to which a series of impacts on the environment are related.

Ascheme is built where the main negative impacts of livestock activity on the soil and the main ecosystem services provided by silvopastoral systems intersect. The development of the schem manages to correlate an impact to an ecosystem service and provides information about the benefits, indicators to evaluate them and some considerations to take into account in the implementation of each of them, as a management strategy for the impacts.

In the end, it is possible to conclude that silvopastoral systems are an effective strategy in the environmental management of impacts on the soil given the ecosystem services and benefits it represents.

Key Words: Ecosystem services, silvopastoral systems, agroecosystems.

# INTRODUCCIÓN

La actual demanda de alimentos, que ya venía en aumento antes de la pandemia y que sin duda se aseveró en tiempos de covid-19, hace reflexionar acerca de que hoy más que nunca se debe trabajar de manera articulada para garantizar la seguridad alimentaria del país. “Los efectos de la pandemia han generado un aumento en el precio de los agroinsumos, así como problemas de transporte para sacar los productos a la venta, además de problemas de sequía y vendavales que están impactando al pequeño productor. A pesar de lo anterior, es un aliciente saber que nuestro campo tiene mano de obra disponible para la cosecha y goza de buena salud para trabajar” (J. Mahecha, 2020).

Gran parte de los actuales problemas agrarios son consecuencia del uso inadecuado de los suelos dando paso a conflictos de uso donde la ganadería y agricultura se ubican en categorías de sobreutilización y subutilización respectivamente (FAO & MADS, 2018; IGAC, 2012b), lo cual está relacionado con el aumento de actividades ganaderas en suelos con vocación agrícola (IGAC, 2013). Con este panorama, la gestión ambiental de los suelos pretende aportar al sostenimiento de la producción agropecuaria en el corto, mediano y largo plazo con el fin de garantizar la seguridad alimentaria del país.

Y es en ese punto donde los sistemas silvopastoriles cobran importancia ya que proporcionan servicios ecosistémicos encaminados a generar beneficios tanto ambientales como productivos, ganando con ellos tanto el ecosistema como los productores. A lo largo de ésta revisión bibliográfica se expondrá una ruta de entendimiento del tema, partiendo desde la base de conceptos y significado de los términos, pasando por una contextualización de la situación ganadera en Colombia, para luego llegar a la apertura individual de los principales servicios ecosistémicos asociados al suelo que proporcionan los sistemas silvopastoriles.

Todo este flujo de información es la base de un esquema construido con el fin de sintetizar los conceptos principales y condensarlos de tal manera que proporcionen al lector un entendimiento rápido y claro del mecanismo de acción del servicio ecosistémico para entregar los beneficios y de qué manera resuelve el impacto con el que está relacionado directamente.



# 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La información publicada en bases de datos científicas y documentos institucionales acerca de los servicios ecosistémicos de sistemas silvopastoriles asociados a suelos en Colombia es muy diversa. En algunos casos, está vinculada a situaciones de conflictos de uso de suelo y otras problemáticas relacionadas con la gestión ambiental, las cuales pueden repercutir en el deterioro de la calidad de suelos y por ende en los servicios ecosistémicos que estos ofrecen

(FAO & MADS, 2018; IGAC, 2012b; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Dicha diversidad de información es útil para tener una visión general del manejo y proyección de los servicios ecosistémicos en estos agroecosistemas, sin embargo, se hace necesario organizarla y analizarla con el fin de comprender la dinámica de dichos servicios en los agroecosistemas de ganadería sostenible, como son los sistemas silvopastoriles (De la Barrera et al., 2015).

Debido a la poca disponibilidad de documentos que proporcionen información sistematizada con relación a los servicios ecosistémicos de suelos en sistemas silvopastoriles en Colombia, se considera la necesidad de generar un recurso de compilación bibliográfica a través del cual sea posible aportar a los productores e investigadores, un insumo para la toma de decisiones de gestión en su agroecosistema.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Como lo menciona la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés, 2020): “La demanda y la producción mundial de productos ganaderos están aumentando rápidamente debido al crecimiento de la población, el aumento de los ingresos y los cambios en el estilo de vida y las dietas”. Así mismo, define a la ganadería como un factor clave para el desarrollo sostenible en la agricultura, que contribuye a la seguridad alimentaria, la nutrición, el alivio de la pobreza y el crecimiento económico; pero al mismo tiempo, tiene un impacto significativo en el medio ambiente, incluidos el aire, la tierra, el suelo, el agua y la biodiversidad (FAO, 2020b).

Por otra parte, la Política Nacional de Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos, define éste último término como los beneficios directos e indirectos que la humanidad recibe de la biodiversidad y que son el resultado de la interacción entre los diferentes componentes, estructuras y funciones que la constituyen (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011). Por otra parte, la FAO en su propia definición, señala que la agricultura, la ganadería, la actividad forestal y la pesca se benefician de los servicios ecosistémicos y, a su vez, los proporcionan, teniendo en cuenta que los efectos que éstos sectores producen en los servicios ecosistémicos pueden ser positivos o negativos y es mediante su gestión integral, que se pueden generar acciones que deriven en un balance entre los diferentes intereses que tiene la sociedad y la eficiencia en el uso de los recursos del suelo (FAO, 2020c; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011).

En Colombia, el uso pecuario del suelo ocupa el 73% de la superficie total agropecuaria. La mayor parte del área pecuaria está dedicada a pastos para la ganadería bovina, manejada en un 70% bajo sistemas de producción extensivos. Estos sistemas extensivos están caracterizados por una baja eficiencia en el uso del suelo, sumado a un gran deterioro ambiental a causa de problemas como la deforestación, las quemadas, la erosión, la pérdida de la biodiversidad y la inequidad social; factores que han hecho que la ganadería bovina sea vista como un sector productivo que atenta contra la sostenibilidad ecológica mundial. Sin embargo, el concepto puede cambiar si se enfoca bajo un sistema que contemple alternativas que permitan solucionar los problemas relacionados con su actual sistema de producción. Por lo tanto, es necesario su reconversión aprovechando las ventajas que ofrecen sistemas alternativos como los sistemas silvopastoriles (L. Mahecha, 2003), los cuales integran el uso de pasturas, árboles y animales con diferentes objetivos y estrategias de producción, contrarrestando los impactos negativos generados sobre el medio ambiente y estableciendo relaciones benéficas con el suelo (L. Mahecha et al., 2002).

De esta manera, el presente estudio pretende aportar a la comprensión de los servicios ecosistémicos del suelo en sistemas silvopastoriles en Colombia, y su vinculación con la gestión ambiental de suelos para ésta vocación de uso en particular, partiendo del uso de información secundaria.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo general**

Sintetizar la bibliografía disponible acerca de los servicios ecosistémicos asociados al suelo, en sistemas silvopastoriles en Colombia.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Describir los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles.
- Relacionar los efectos del establecimiento de sistemas silvopastoriles en la disponibilidad de servicios ecosistémicos asociados al suelo.
- Esquematizar la compilación bibliográfica relacionada con los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles.

## 4 MARCO DE REFERENCIA

### 4.1 Metodología

La ruta metodológica empleada para alcanzar los objetivos comprendió en general un proceso de contextualización con el tema y su panorama local, nacional e internacional, teniendo presente lineamientos o información proporcionada por entes gubernamentales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Sistemas nacionales de Información Ambiental y el organismo internacional especializado FAO. El flujo de búsqueda y articulación de la información enmarcó conceptos macro como son el contexto mundial de la ganadería, servicios ecosistémicos del suelo, agroecosistemas, sistemas silvopastoriles, entre otros relacionados. La plataforma utilizada fue principalmente Google Scholar, y con toda la información encontrada se logró articular el objetivo específico #1: *Describir los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles.*

Para el objetivo específico #2: *Establecer los efectos del establecimiento de sistemas silvopastoriles en la disponibilidad de servicios ecosistémicos asociados al suelo*, se integraron los conceptos de SE y SSP con el contexto de la ganadería en Colombia, su relación o impacto con el medio ambiente y la sociedad, los impactos específicos en el suelo de esta actividad, empleando como palabras claves de búsqueda: ganadería en Colombia, impactos de la ganadería en el suelo, entre otras relacionadas.

La integración de toda esta información y su vinculación con la gestión ambiental de suelos permitió dar respuesta al objetivo específico #3: *Esquematizar la compilación bibliográfica relacionada con los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles*, ya que se construyó un esquema que favorece el entendimiento de toda la información recopilada, de tal manera que se lleva al lector a identificar de manera clara los resultados del presente estudio bibliográfico.

Finalmente, al sumar el logro de cada uno de los objetivos específicos se pudo dar respuesta al objetivo general del presente trabajo el cual era *Sintetizar la bibliografía disponible acerca de los servicios ecosistémicos asociados al suelo, en sistemas silvopastoriles en Colombia.*

### 4.2 Marco Conceptual

El concepto Servicios Ecosistémicos (en adelante SE), ha sido abordado por gran diversidad de autores y la importancia de partir de la elección de un enfoque en particular, radica en que “el proceso de evaluación de los SE debe sustentarse en una clara definición y

considerando que no existe un concepto unificador, toda iniciativa en ese sentido debe identificar claramente cuáles son los componentes, aspectos o procesos que prioriza para entender en su contexto la clasificación de los servicios” (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012).

En el ejercicio de ésta revisión bibliográfica se estudian diferentes teorías, pero con el fin de aportar foco en el tema principal del trabajo, sólo se ampliará la visión de dos autores por considerar que son los que hacen más sentido con los ecosistemas agropecuarios y a pesar de tener ciertos elementos en discrepancia, cada uno aporta puntos de vista muy valiosos.

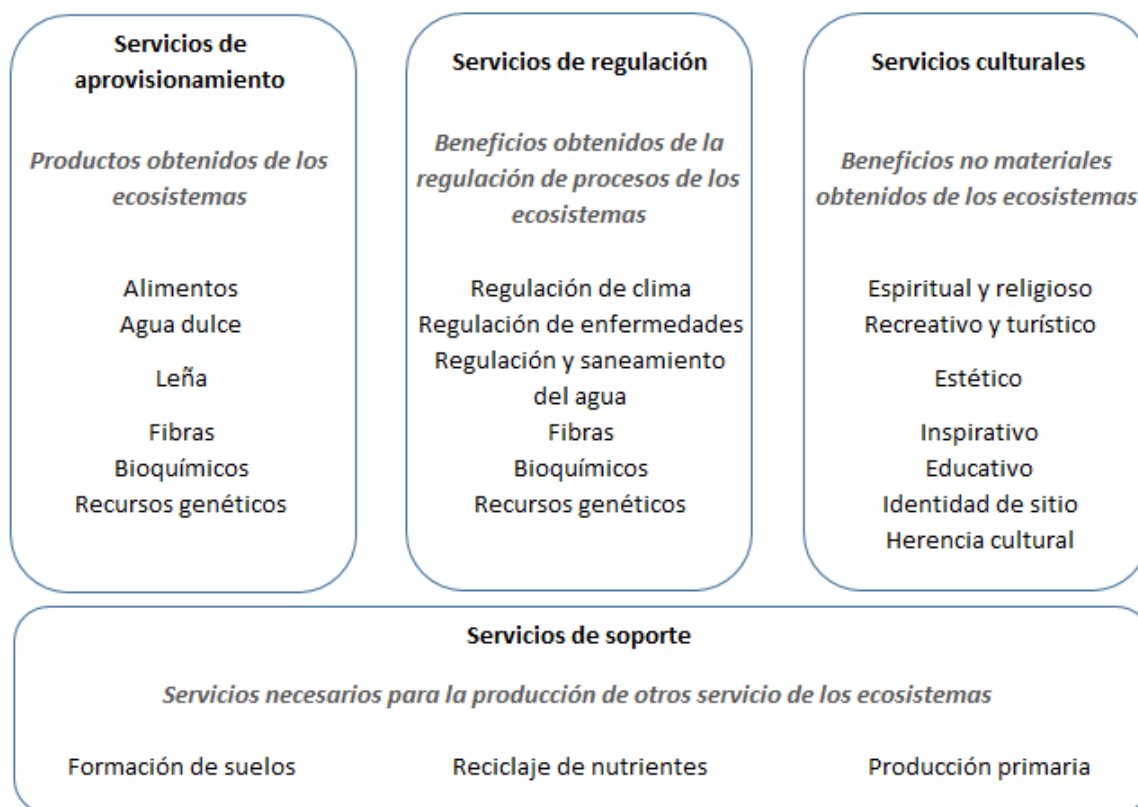
#### **4.2.1 Servicios Ecosistémicos según Evaluación de Ecosistemas del Milenio**

En el presente siglo, la iniciativa conocida como Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EEM o MA por sus siglas en inglés), promovida por la ONU, posicionó el tema de los servicios ecosistémicos en la agenda política global y se ha convertido en el principal referente sobre el tema (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012; Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo & Zuluaga, n.d.).

Este estudio, el cual fue iniciativa de la Organización de las Naciones Unidas –ONU-, determinó un antecedente fundamental en el enfoque de los servicios ecosistémicos ya que con la participación de alrededor de 1.300 científicos de diversos países y disciplinas, integró aspectos ecológicos, económicos e institucionales de los SE generando una evaluación integral sobre el impacto de los seres humanos en los ecosistemas, las consecuencias de su degradación y su efecto en el bienestar de la sociedad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a, 2005b; Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo & Zuluaga, n.d.).

La clasificación de los servicios ecosistémicos realizada por el EEM (Figura 1), ha sido considerada como referente en la investigación internacional y en los documentos políticos donde se ha aplicado el enfoque de servicios ecosistémicos (Hermann et al., 2011). Esta clasificación agrupa los servicios ecosistémicos en las siguientes categorías (Ver figura 1) (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012; Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo & Zuluaga, n.d.).

**Figura 1** Clasificación de los servicios ecosistémicos por Evaluación de Ecosistemas del Milenio



Adaptado de (Millennium Ecosystem Assessment, 2005b)

1. Servicios de provisión: son los bienes y productos materiales que se obtienen de los ecosistemas (alimentos, fibras, maderas, leña, agua, suelo, recursos genéticos, petróleo, carbón, gas).
2. Servicios de regulación: son los beneficios resultantes de la (auto) regulación de los procesos ecosistémicos (mantenimiento de la calidad del aire, el control de la erosión, la purificación del agua).
3. Servicios culturales: son los beneficios no materiales obtenidos de los ecosistemas (enriquecimiento espiritual, belleza escénica, inspiración artística e intelectual, recreación).
4. Servicios de soporte: se definen como los servicios y procesos ecológicos (de base) necesarios para la provisión y existencia de los demás servicios ecosistémicos (ciclo de nutrientes/formación de suelo, fotosíntesis/producción primaria, ciclo del agua).

Esta clasificación está diseñada desde un punto de vista antropocéntrico, lo que se convierte en la esencia del concepto, dándole importancia al bienestar que obtiene el ser humano de los ecosistemas. Ha tenido modificaciones posteriores, principalmente referente a los servicios de soporte ya que se discute si estos deben ser considerados como tales o si son los procesos asociados al funcionamiento y la integridad de los ecosistemas, es decir, la base para que existan servicios ecosistémicos. (Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M.,

Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo & Zuluaga, n.d.) Adicionalmente, otro inconveniente que presenta esta clasificación es que algunos autores consideran que en esta clasificación no es sencillo distinguir individualmente a los servicios de regulación de los de soporte, al igual que cuestionan si los procesos y funciones ecológicas se deben considerar como servicios (Fisher, Brendan; Costanza, Robert; Turner, 2009; Martín-López et al., 2007; TEEB, 2010).

#### **4.2.2 Servicios Ecosistémicos según Ken J. Wallace**

Wallace (2007), adopta la definición de SE utilizada por la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EEM), la cual los describe como “los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas” (Millennium Ecosystem Assessment, 2005a), por considerar que dicho trabajo a lo largo de todo el documento, es consistente en el uso y diferenciación de otros términos como *bien* y *servicio*. Esto último conduce a mencionar que el autor considera que otros sistemas de clasificación propuestos por autores como Westman, 1977; Daily, 1997; Costanza et al. (1997), De Groot et al. (2002), Groffman et al. (2004), Anielski y Wilson (2005), Eamus et al. (2005), MA (2005), Naiman et al. (2005), De Groot (2006), Farber et al. (2006), Boyd y Banzhaf (2007), Turner et al. (2008) (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012; K. J. Wallace, 2007) “son inadecuados debido a que mezclan los procesos (medios) para obtener los servicios ecosistémicos, con los propios servicios ecosistémicos (fin o propósito) aún en la misma categoría de clasificación, lo cual presenta problemas inherentes para los tomadores de decisiones. Además, la ambigüedad en las definiciones de los términos clave como los procesos del ecosistema, las funciones y servicios agrava esta situación” (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012; K. Wallace, 2008; K. J. Wallace, 2007).

Es por esto que Wallace desarrolló un sistema de clasificación alternativo que “propone comparaciones de los servicios ecosistémicos separando los procesos y los servicios, concibiendo a los sistemas como una continuación directa de los procesos hacia los beneficios que se derivan para el bienestar humano”... “Esta clasificación puede ser utilizada para evaluar usos alternativos de los recursos biológicos y otros recursos naturales de modo que la decisión maximice la probabilidad de que los valores humanos puedan mantenerse en el largo plazo” (Camacho Valdez & Ruiz Luna, 2012).

Con esa orientación, Wallace (2007) propone cuatro categorías de valores humanos y su asociación con los servicios ecosistémicos (Ver Tabla 1).

**Tabla 1** Clasificación de SE y sus conexiones con los valores humano, procesos del ecosistema y bienes naturales

Categoría de valor humano	Servicios ecosistémicos experimentados a un nivel humano (individual)	Ejemplos de los procesos y bienes que requieren ser manejados para derivar en servicios ecosistémicos
<p>Recursos suficientes</p> <p>Protección de depredadores/ enfermedades/parásitos</p> <p>Condiciones ambientales propicias (físicas y químicas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alimento</li> <li>▪ Oxígeno</li> <li>▪ Agua (potable)</li> <li>▪ Energía</li> <li>▪ Dispersión de enfermedades</li> <li>▪ Protección de depredadores</li> <li>▪ Protección de enfermedades y parásitos</li> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Humedad</li> <li>▪ Luz</li> <li>▪ Química</li> </ul>	<p><i>Procesos del ecosistema</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Regulación biológica</li> <li>▪ Regulación del clima</li> <li>▪ Regulación del gas</li> <li>▪ Manejo de la tierra para recreación</li> <li>▪ Regulación de nutrientes</li> <li>▪ Polinización</li> <li>▪ Formación y retención de suelos</li> </ul>
<p>Cumplimiento socio-cultural</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Satisfacción espiritual y filosófica</li> <li>▪ Recreacional</li> <li>▪ Estético</li> <li>▪ Valores de oportunidad, capacidad para evolución biológica y cultural                             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conocimiento /recursos educativos</li> <li>▪ Recursos genéticos</li> </ul> </li> </ul>	<p><i>Elementos biótico y abióticos</i></p> <p>Los procesos son manejados para proporcionar una composición y estructura particular de los elementos del ecosistema. Los elementos pueden ser descritos como bienes de los recursos naturales como por ejemplo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Biodiversidad</li> <li>▪ Tierra</li> <li>▪ Agua</li> <li>▪ Aire</li> <li>▪ Energía</li> </ul>

Fuente: Adaptada de (K. J. Wallace, 2007)

El autor define sus categorías de valores humanos de la siguiente manera:

- **Recursos adecuados:** Las necesidades básicas que sustentan la vida de las personas. Deben tener un suministro suficiente para la supervivencia y la reproducción; en circunstancias normales, tienen un umbral de cantidad inferior, pero no un umbral superior. Todos los recursos pueden expresarse en términos de la composición y estructura de los ecosistemas. Por ejemplo, los alimentos deben ser de un tipo que proporcione una nutrición adecuada y estar disponibles en cantidades suficientes en el tiempo y el espacio para satisfacer las necesidades de los seres humanos (K. J. Wallace, 2007).



- **Protección contra depredadores, enfermedades y parásitos:** La importancia de esta categoría se explica por sí misma. Sin embargo, se diferencia de otras categorías en que se relaciona con garantizar que la abundancia y distribución de organismos nocivos sea lo suficientemente baja como para que el bienestar humano no se vea amenazado. Por tanto, la categoría todavía se define en términos de la composición y estructura de los ecosistemas (K. J. Wallace, 2007).
- **Entorno físico y químico benigno:** Los organismos entran en contacto directo con una variedad de factores químicos y físicos en su entorno. La supervivencia y la reproducción dependerán generalmente de estos factores que se encuentran dentro de un rango específico. Los procesos de los ecosistemas que mantienen el entorno físico y químico humano dentro de los niveles de tolerancia de los humanos brindan esta categoría de servicio. En el caso de la energía, ésta se puede expresar de dos formas: Puede contarse como energía potencial almacenada en elementos del ecosistema, por ejemplo, como una cantidad de carbohidratos disponible para ser utilizada por uno o más organismos; o puede expresarse como una tasa de cambio, como es el caso de los procesos de los ecosistemas. Aquí se acepta la naturaleza dual de la energía, pero se la trata como un elemento abiótico de los ecosistemas para facilitar su clasificación. Claramente, esta no es una solución del todo satisfactoria, y los conceptos relevantes deben explorarse más a fondo (K. J. Wallace, 2007).
- **Realización sociocultural:** Servicios que conducen a la realización sociocultural y que están pensados como una lista indicativa y requieren un desarrollo adicional considerable. Por ejemplo, la categoría de satisfacción espiritual / filosófica reconoce que todos los humanos operan dentro de un conjunto de creencias explícitas o implícitas que establecen y explican el lugar de los humanos en el mundo y el universo, incluidos el nacimiento y la muerte; y proporcionar orientación sobre cómo debemos vivir nuestras vidas e interactuar con otras personas, otros organismos y el mundo inanimado. Se entiende la importancia de esta categoría para contribuir a una toma de decisiones eficaz, pero al mismo tiempo se reconoce que construir una única clasificación estructural de ella requiere un mayor debate, debido a que desprende en sí misma una considerable diversidad de pensamiento ambiental (Hay, 2002; K. J. Wallace, 2007).

A modo de resumen, se puede decir que el sistema de clasificación propuesto por Wallace vincula directamente los valores del ser humano con los servicios y procesos de los ecosistemas al igual que los activos naturales y socioculturales con el fin de proporcionar conceptos claros de estas relaciones y ayudar a los tomadores de decisiones en el camino de aportar bienestar al ser humano en el largo plazo (K. Wallace, 2008; K. J. Wallace, 2007) (K. J. Wallace, 2007).

### **4.2.3 Gestión Integral de Suelos en Colombia**

La biodiversidad del suelo aporta gran variedad de organismos los cuales son fundamentales para el funcionamiento adecuado de los ciclos del agua, del aire de los nutrientes, por lo que una gestión adecuada de este recurso es esencial para garantizar ecosistemas sostenibles y a su vez, la prestación de los servicios ecosistémicos que impactan el bienestar de la sociedad a nivel global (FAO, n.d.; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). Ésta adecuada gestión es necesaria también, ya que impacta directamente el resultado de las diferentes políticas públicas, que son finalmente las herramientas que ayudan a impulsar la aplicación de acciones encaminadas a obtener resultados tangibles de dicha gestión (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016; Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo & Zuluaga, n.d.).

Dicho lo anterior, en articular las diferentes políticas ambientales emitidas en Colombia radica el éxito de su implementación, algunas de ellas son: Política para la gestión sostenible del suelo, Política nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, Plan de acción nacional para la gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, Política nacional para la gestión integral del recurso hídrico, Política nacional de producción y consumo sostenible, Política de gestión ambiental urbana del 2008, Política de prevención y control de la contaminación del aire, Política ambiental para la gestión integral de residuos o desechos peligrosos, Plan nacional de adaptación al cambio climático (Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo & Zuluaga, n.d.).

Dado que una parte considerable de los problemas en los agroecosistemas es consecuencia del uso inadecuado de los suelos y a conflictos por sobreutilización y por subutilización, la expansión de actividades ganaderas en suelos con vocación agrícola y una considerable desigualdad estructural en la propiedad rural (IGAC, 2012a), la gestión ambiental de los sistemas agropecuarios cobra gran importancia (Ver figura 2) y se hace necesario abordar herramientas de gestión como la agrosilvicultura para mitigar las repercusiones negativas en aspectos sociales y productivos que conlleva a la degradación de los suelos ocasionada por ambas vocaciones de uso de suelo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

### **4.2.4 Sistemas Silvopastoriles**

Ya definidos los conceptos de definición y clasificación de SE a tener en cuenta, con el fin de articular éste concepto con el ecosistema específico del presente estudio, Sistemas Silvopastoriles (en adelante SSP), se encuentra que la literatura define a los SSP como “una modalidad de los sistemas agroforestales, donde se desarrollan árboles y pastos manejados

en forma conjunta, cuyo objetivo es incrementar la productividad de forma sostenible, supliendo además otros beneficios" (CATIE, 1994).

Es de tener en cuenta que el objetivo global del uso de dicha metodología se da en dos etapas: Primero a corto plazo, donde se busca impactar positivamente la ganadería (alimentación, sombra, beneficios al pasto) seguido de unos objetivos a mediano y largo plazo como son producción de leña, madera y/o productos directos de los árboles. El mecanismo de funcionamiento de los sistemas silvopastoriles está dado por una modificación de los balances energético, hídrico y nutricional del sistema, la cual trae consigo resultados esperados como incremento de la producción total (mayor rendimiento de pasturas y animales) (CATIE, 1994).

Por otro lado, la combinación de sistema arbóreo, pasturas y animales puede presentarse en múltiples formas por lo cual se consideran diferentes tipos de SSP tales como cercas vivas, los bancos mixtos de forraje, las pasturas en callejones y el establecimiento de árboles frutales o maderables en las praderas (Arciniegas-Torres & Fabián Flórez-Delgado, 2018; L. Mahecha, 2003) y la aplicación de uno u otro va a depender del objetivo que tenga el productor, el tamaño y la localización de la finca, entre otros (Pezo & Ibrahim, 1998).

Los beneficios que representa la inclusión del componente arbóreo en los agroecosistemas son los que dan paso a hablar de los SE asociados al suelo en SSP, sin embargo a nivel local (país) existen algunas limitantes que no han permitido que la implementación de ellos sea el esperado (L. Mahecha, 2003). Al respecto de los SE, varios autores coinciden en mencionar que los más importantes son mejorar la fertilidad del suelo, reducir la erosión, mejorar la calidad del agua, mejorar la biodiversidad, aumentar la estética y secuestrar carbono (L. Mahecha, 2003; Pezo & Ibrahim, 1998; Shibu, 2009). Más adelante en el desarrollo del marco teórico, se profundizará en cada uno de estos SE.

### **4.3 Antecedentes**

La literatura encontrada acerca de SSP como método de gestión ambiental de agroecosistemas, está en su mayoría asociada a teoría general o a aplicaciones de un sistema arbóreo específico. Dicha revisión arroja en su gran mayoría, resultados positivos para la aplicación de SSP como estrategia de gestión de los impactos negativos en el suelo de actividades como la ganadería.

Sin embargo, pese a la existencia de estudios y casos exitosos, esto no se ve reflejado en la realidad, es decir, la implementación de los SSP en fincas, tal vez a consecuencia de falta de capital o de conocimiento de la tecnología (Aldy, Hrubovcak y Vasavada, 1998; Alonzo e Ibrahim, 2001). Por eso, más allá de nombrar dichos estudios específicos, se quiere resaltar un algunos proyectos interesantes al respecto y que buscan incentivar la

implementación de SSP para poder pasar de reconocer los beneficios que traen a realmente aplicarlos y llevar a cabo implementaciones exitosas.

Uno de ellos es el liderado por CATIE, desarrollado en Costa Rica, Nicaragua y Colombia para evaluar el PSA Pago de Servicios Ambientales como estrategia para el impulso de los SSP, entre otros usos ambientalmente sostenibles en entornos ganaderos (Gobbi e Ibrahim, 2004).

El otro proyecto a resaltar es “Ganadería Colombiana Sostenible”, liderado por FEDEGÁN que en alianza con Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (Cipav), el Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez (Fondo Acción) y The Nature Conservancy (TNC), buscan mejorar la producción del negocio ganadero a través de SSP.

Por último, el libro “Sistemas Agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales” se destaca por contener avances en los conocimientos y aplicaciones de los sistemas agroforestales de los últimos 20 años y que además de sus grandes líderes de publicación que representan instituciones tan importantes como Yale, CATIE, CIPAV, INTA y la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Misiones; reúne a numerosos co-autores en los diferentes capítulos donde se exponen valiosas experiencias en varios países de la región tropical de América Latina, alrededor del desarrollo rural sostenible (Montagnini et al., 2015).

Lo que se logra inferir de estos ejemplos es que para lograr como resultado muchas historias de éxito alrededor de la implementación de SSP, es necesario encaminar próximas investigaciones a analizar las variables que interactúan entre ellas a la hora de implementar un SSP, para poder desglosar en elementos tangibles para lograr beneficios y así usarlo como argumento para motivar y cambiar la mentalidad de los productores.

## **4.4 Marco Teórico**

### **4.4.1 Uso y conflicto de suelos en Colombia**

“Los suelos son generados y modificados por las estructuras y procesos climáticos, geológicos, geomorfológicos y ecológicos del territorio, y su estado depende, además, de los procesos sociales, económicos, culturales y políticos a que están sometidos” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016). En Colombia, su proceso de gestión para que sea sostenible se hace complejo dada la gran variedad de órdenes de suelo con que cuenta este recurso en el territorio colombiano, según estudios de conflictos de uso realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2012b; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Dicho estudio de órdenes del suelo ha permitido entender su geografía a lo largo del territorio nacional y a su vez, establecer su vocación de uso agrícola, pecuario o forestal, entre otros con el fin de zonificar y dar paso tanto a la formulación de políticas de manejo y aprovechamiento sostenible, como a los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) (IGAC / SIG-OT, 2012; IGAC, 2012b; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

Éste mismo estudio, muestra la distribución del suelo en Colombia, tanto por *vocación de uso* (Tabla 2), como por clasificación de *conflicto de uso* (Tabla 3) como se puede ver a continuación:

**Tabla 2** Vocación de uso del suelo en Colombia

VOCACIÓN DE USO DE LOS SUELOS	ÁREA DISPONIBLE POR VOCACIÓN		ÁREA USADA
	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)	ÁREA (Ha)
Forestal	64.204.294	56,23%	65.000.000
Agrícola	22.077.625	19,34%	5.000.000
Ganadera	15.192.738	13,31%	34.000.000
Conservación de suelos	6.303.503	5,52%	-
Agrosilvopastoril	4.057.776	3,55%	-
Otros	2.338.863	2,05%	-
<b>TOTAL</b>	<b>114.174.799</b>	<b>100%</b>	-

*Fuente:* IGAC, 2012

**Tabla 3** Conflicto de uso del suelo colombiano

TIPO DE CONFLICTO DE USO	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
Uso adecuado	77.176.828	67,60%
Sobreutilización	17.847.401	15,63%
Subutilización	14.946.997	13,09%
Nubes	3.980.757	3,49%
Zona urbana	222.818	0,20%
<b>TOTAL</b>	<b>114.174.801</b>	<b>100%</b>

*Fuente:* (FAO & MADS, 2018; IGAC, 2012b)

Según el IGAC (2012), la principal vocación de uso de los suelos del país es *forestal*, seguido de la vocación *agrícola* y *ganadera*. La vocación de *conservación* corresponde

principalmente a los recursos hídricos e hidrobiológicos y la vocación *agrosilvopastoril* corresponde a los usos silvopastoril o agrosilvícola (FAO & MADS, 2018). Por otro lado, relacionando el uso efectivo de las tres primeras vocaciones -que abarcan casi el 89% del territorio nacional- con la clasificación de tipos de conflicto de uso del suelo colombiano, se nota que la vocación forestal está casi equilibrada con respecto al área disponible Vs el área usada para tal fin, es decir, que presenta un *uso adecuado*; mientras que la vocación agrícola presenta un conflicto de *subutilización* de más del 70% y por el contrario, la vocación ganadera presenta un conflicto de *sobreutilización* de más del doble del área determinada para este uso en particular (FAO & MADS, 2018; IGAC, 2012b).

Dado esto, se infiere que el principal conflicto a resolver en el uso de suelos en Colombia, es el presentado por las vocaciones de uso tanto agrícola como ganadera; con lo que analizar sus impactos asociados al suelo debería ser el siguiente paso en el entendimiento de la realidad que presentan los ecosistemas expuestos a dichos usos.

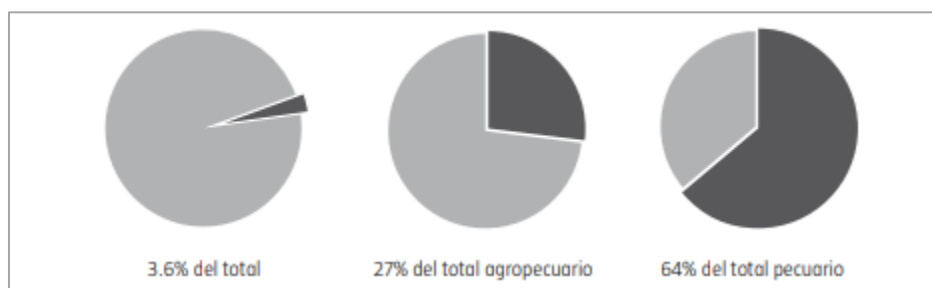
#### **4.4.2 Ganadería en Colombia**

“Hay consenso entre los historiadores sobre la importancia de la ganadería durante el siglo XIX, como factor de acumulación de capital que permitiría los posteriores procesos de industrialización y diversificación de la economía en general” (FEDEGAN, 2006). Sin embargo, ese mismo progreso de sectores modernos como la banca, las comunicaciones y los hidrocarburos, entre otros, provocaron que el sector agropecuario perdiera el peso que había tenido hasta entonces en la economía nacional y con esto, un posterior abandono por parte de la política pública, con las consecuencias ya conocidas sobre la situación social y económica del campo (FEDEGAN, 2006).

A pesar de ello, y como lo reconoce el gobierno en el documento emitido por la Dirección de Desarrollo Empresarial, *Visión Colombia II Centenario: 2019* (DNP Dirección de Desarrollo Empresarial, 2006), el sector agropecuario ha sido el mayor generador de empleo a lo largo de la historia y a su vez, la ganadería, es la actividad económica considerada como el primer generador de empleo directo del país, con una participación del 7% del total nacional, y el 25% del empleo rural (FEDEGAN, 2006).

En cuanto a valores productivos, cálculos deducidos a partir de estimaciones del DANE estiman que la ganadería participa con poco menos del 3,6% del PIB Nacional, representa un 27% del total del sector agropecuario y su foco bovino conserva el predominio dentro de la producción pecuaria (avicultura 36% y porcicultura 24%) (Ver figura 2) con una participación casi por partes iguales entre la producción de carne y leche lo que enmarca una contribución muy importante dentro de la economía rural colombiana por su impacto en la generación de empleo y bienestar social (FEDEGAN, 2006).

**Figura 2** Participación de la ganadería en el PIB Colombia



**Fuente:** DANE. Cálculos: FEDEGAN-Oficina De Planeación

En cuanto a su distribución geográfica, dentro de los 32 departamentos incluidos en el censo bovino, 7 representan más del 55% del hato, siendo Antioquia el departamento con el mayor número de animales, seguido de Córdoba, Casanare, Cesar, Santander, Meta y Magdalena. Existe, además, un grupo importante de departamentos con participación intermedia pero importante dentro del hato nacional (entre el 3% y el 5.7%) liderados por Cundinamarca, seguido de Caquetá, Bolívar, Sucre, Boyacá, Tolima y Arauca.

En el tema de comercio exterior, el sector vió afectado su dinamismo al perder en 2018 el status sanitario como país libre de aftosa, pero tras su recuperación en 2020 ya en el primer bimestre el instituto Colombiano Agropecuario ya había reportado más de 4.500 toneladas de carne exportada a 8 países del mundo (ASMAR, 2020; Fondo Nacional del Ganado, 2016).





## 5 RESULTADOS

Este capítulo muestra los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica, los cuales dan respuesta a cada uno de los objetivos específicos (OE) planteados:

- ✓ OE#1: Describir los SE asociados al suelo en SSP;
- ✓ OE#2: Relacionar los efectos del establecimiento de SSP en la disponibilidad de SE asociados al suelo;
- ✓ OE#3: Esquematizar la compilación bibliográfica relacionada con los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles.

Si bien los dos primeros podrían presentarse de manera individual, se desarrollarán en conjunto para lograr un entendimiento integral y sinérgico; y por último, se presenta un esquema de elaboración propia que reúne la información recopilada y que la presenta de una manera ordenada, lógica y secuencial para consolidar la comprensión aplicada de la temática expuesta.

La suma del logro de los objetivos específicos nos permite concluir que se da cumplimiento al objetivo general de sintetizar la bibliografía disponible acerca de los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles en Colombia.

### 5.1 Análisis cuantitativo de referencias bibliográficas

Teniendo en cuenta la importancia de las referencias bibliográficas en el desarrollo de un trabajo académico, y mucho más en un ejercicio de revisión bibliográfica, se consultan metodologías para exponer el resultado final de documentos empleados para la construcción del documento. Sin embargo se encuentra que no existen pautas o lineamientos estándar, sino más bien que cada institución determina los criterios de evaluación de la calidad bibliográfica.

El planeamiento de indicadores de calidad de los autores Martín, S. y Lafuente, V. (Martín & Lafuente, 2017), habla del uso de 9 indicadores para evaluar la calidad las referencias bibliográficas incluidas al final de un trabajo de revisión bibliográfica, eso en el contexto de un evaluador en el ejercicio de calificación de un trabajo académico. En este caso, por tratarse no de una evaluación o autoevaluación, sino del deseo de mostrar la información de forma cuantitativa, se toman como base sólo algunos de los criterios planteados para

construir el análisis cuantitativo, como son: Actualización, idioma, tipología y soporte, los cuales contienen ítems propios de cada criterio y se pondera su peso por ítem de acuerdo al total de referencias bibliográficas, que en este caso son 52. El resumen de la aplicación de dichos criterios y forma de cuantificación se puede ver en la Tabla 4.

**Tabla 4** Análisis cuantitativo de referencias bibliográficas al final del documento

CRITERIOS	ANÁLISIS CUANTITATIVO		
	Items	Cantidad de citas	%
1 Actualización	Años 2015-2020	13	25%
	Años 2010-2014	11	21%
	Años 2000-2009	21	40%
	Años 1994-1999	3	6%
	Sin Fecha	4	8%
	<b>Total de citas</b>	<b>52</b>	<b>100%</b>
2 Idioma	Español	36	69%
	Inglés	16	31%
	<b>Total de citas</b>	<b>52</b>	<b>100%</b>
3 Tipología	Libros	8	15%
	Capítulos de libros	1	2%
	Tesis	0	0%
	Artículos de revista	25	48%
	Blogs, redes sociales	0	0%
	Informes técnicos y de investigación	8	15%
	Políticas, leyes, normas	2	4%
	Páginas web	6	12%
	Artículos de periódico	2	4%
<b>Total de citas</b>	<b>52</b>	<b>100%</b>	
4 Soporte	Textos impresos	0	0%
	Recursos electrónicos	52	100%
	Otros	0	0%
	<b>Total de citas</b>	<b>52</b>	<b>100%</b>
5 Palabras Claves	Servicios ecosistémicos del suelo, sistemas silvopastoriles, agroecosistemas, ganadería en Colombia, impactos de la ganadería en el suelo.		
6 Cantidad total de citas	52		
7 Cumplimiento con un estilo o norma de citación	APA 7a Edición		

Fuente: Elaboración propia, adaptado de (Martín & Lafuente, 2017)

## 5.2 Descripción de los SE asociados al suelo en SSP y los efectos relacionados con su implementación

A través de toda la literatura revisada, se coincide en decir que los principales SE asociados al suelo que proveen los SSP son: secuestro de Carbono, enriquecimiento del suelo, conservación de la biodiversidad y calidad del aire y del agua (L. Mahecha, 2003; Pezo & Ibrahim, 1998; Shibu, 2009); y se puede decir que cada uno de ellos está asociado a la

solución de un impacto en específico. A continuación se desarrolla cada uno de los SE mencionados desde la descripción hasta su relación con el establecimiento de SSP, lo cual se constituye como la respuesta a los objetivos específicos #1 y #2.

### 5.2.1 Secuestro de Carbono como SE en SSP

Los gases de efecto invernadero son compuestos químicos en estado gaseoso tales como el vapor de agua, el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el Metano (CH<sub>4</sub>) y el Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) los cuales se acumulan en la atmósfera de la Tierra y al contar con la capacidad de absorber la radiación infrarroja del sol, aumentan y retienen el calor en la atmósfera; siendo el CO<sub>2</sub> el principal de ellos, el cual afecta al equilibrio de radiación del planeta, y es el gas de referencia a partir del cual se miden otros gases de efecto invernadero (Ver figura 3) (IPCC, n.d.; MADS, 2020).

**Figura 3** Suelos manejados de forma inadecuada



Fuente: Tomado de infografías FAO, 2015

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas producido de manera natural, al igual que es subproducto de la combustión en procesos relacionados con la generación de energía, emisiones de la industria por el uso de combustibles fósiles y cambios en el uso de suelos

(Ver figura 4) (IPCC, n.d.). Los sistemas agroforestales están identificados como una alternativa de capturar carbono bajo la tierra, aumentando la cantidad de carbono secuestrado en comparación con un campo de monocultivo de plantas o pastos (Raymundo et al., 2013), pero su potencial para capturarlo varía según el tipo, la composición y la edad de las especies incluidas en el sistema arbóreo así como influyen la ubicación geográfica, los factores ambientales y las prácticas de manejo (Shibu, 2009), entre las cuales se menciona la influencia de aumentar la edad de rotación de los árboles y / o arbustos.

**Figura 4** Los suelos y el ciclo del carbono



**Fuente:** Tomado de infografías FAO, 2015

Diferentes estudios coinciden en concluir que los SSP evidencian mayor captura de carbono que los sistemas tradicionales a través de mediciones de carbono orgánico tanto en suelo como en árboles; el contenido de arcilla del suelo y arboles también favorece el aumento de captura, así como la riqueza de especies y la densidad de árboles (Shibu, 2009). Así, el carbono secuestrado en los sistemas agroforestales podría venderse en los mercados de créditos de carbono donde existan tales oportunidades.

A pesar de todos estos buenos comentarios de los autores, se dice que la comparación de ellos se hace difícil dado que no hay metodologías estandarizadas y algunos resultados obtenidos han presentado alta variabilidad (Shibu, 2009). Además hay quienes ven con malos ojos esta práctica pues afirman que no se tiene gran experiencia en el almacenamiento geológico del carbono y se pueden incrementar los riesgos sísmicos. A los obstáculos ambientales se suman los económicos ya que se menciona que los proyectos se

plantearon con unas expectativas del precio de los derechos de emisión entre 20 y 30 euros la tonelada. Sin embargo el precio ha caído por debajo de los 10 euros y acercándose a los 5 euros, lo que supone que la financiación ha disminuido sensiblemente. La crisis económica y el reparto gratuito de derechos de emisión a sectores enteros (cerámica, cemento, etc.) han hecho que en 2012 haya 855 millones de derechos no utilizados, lo que podría suponer que el precio bajara aún más por debajo de los 5 euros. “Aceptar este tipo de «soluciones tecnológicas» es aceptar propuestas que únicamente tratan de esconder los problemas, sin garantía alguna de resolverlos, dejando a generaciones futuras una hipoteca ambiental más, esperando que sean ellas las que encuentren la solución adecuada” (Acción, 2013). Esta última postura pone al descubierto que es un tema en el que se debe seguir investigando.

### **5.2.2 Enriquecimiento del suelo como SE en SSP**

El suelo y sus características se ven afectados por fenómenos como la compactación y la erosión requiriendo más energía en actividades de labranza, mayores cantidades de agroquímicos y fertilizantes y al final del ejercicio todo esto se refleja en menor rendimiento agrícola. La compactación es la principal causa de degradación física del suelo, la cual es ocasionada por presión sobre el suelo, peso sobre los sistemas de rodaje y demás actividades de labranza realizadas bajo condiciones inadecuadas de humedad (tránsito durante el tiempo que el suelo permanece a una humedad cercana a la humedad crítica de compactación) (Botta et al., 2002; Cueto et al., 2009).

En este mismo sentido, la carga y el pisoteo que trae consigo el pastoreo aporta a la compactación de los suelos y con ello una modificación importante en la relación suelo:agua:aire, afectando adicionalmente la diversidad biológica del ecosistema (Siavosh et al., 2000).

Los árboles en sistemas silvopastoriles tienen funciones de protección del suelo tales como disminuir los efectos directos del sol, el agua y el viento (Lok, 2010). La adición de hojarasca, raíces y tallos pueden aportar a una modificación de las características físicas del suelo e incrementar los valores de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de N, P y K, lo que mejora la fertilidad del suelo y por ende incrementa la productividad y calidad de pasturas. (Alonso, n.d.; Lok, 2010).

Cuando los SSP incorporan árboles y cultivos capaces de fijar biológicamente el nitrógeno (N) y aún algunos que no, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo mejoran al agregar una cantidad significativa de materia orgánica por encima y por debajo del suelo y liberar y reciclar nutrientes en los sistemas agroforestales. En estudios realizados se evidenció que la transferencia de nitrógeno aumentó al disminuir la distancia entre los árboles y los cultivos, al igual que mayor estabilidad de los agregados, del carbono, del nitrógeno y la actividad enzimática del suelo (Shibu, 2009).

### **5.2.3 Conservación de la biodiversidad como SE en SSP**

Los seres humanos estamos impactando negativamente a la biodiversidad de nuestro planeta, lo cual está provocando graves cambios y pérdidas a nivel ambiental. La creciente preocupación por cubrir la demanda de alimentos y bioenergía hace que llevemos a un punto de insostenibilidad a las prácticas agrícolas y procesos de urbanización, que si no son controlados a tiempo traerán consecuencias devastadoras y para este fin es clave el aprovechamiento de los servicios ecosistémicos para buscar el camino de la sostenibilidad (FAO, 2020a).

Los SSP, con su integración del manejo de árboles y la producción de ganado, se posicionan como una alternativa viable para mantener y conservar la biodiversidad en paisajes dominados por pasturas ya que estudios recientes indican que una significativa porción de la biodiversidad original puede ser mantenida dentro de pasturas, si estas son diseñadas y manejadas apropiadamente (Ibrahim & Mora, 2006).

Los impactos negativos de la deforestación y la fragmentación de hábitat pueden mitigarse a través de los SSP ya que éstos proveen estructuras, hábitat y recursos que facilitan la persistencia de algunas especies de plantas y animales. Tienden a tener una alta diversidad genética y a incorporar una amplia variedad de especies de árboles, arbustos y pastos, al igual que una amplia variedad de animales (insectos, pájaros, murciélagos y otros mamíferos) que pueden ser usados como alimento, sombrero, o protección de predadores o condiciones microclimáticas adversas. Así mismo, los SSP pueden actuar como fuente alternativas de madera, leña y otros subproductos del bosque, ayudando con esto a reducir la presión sobre el hábitat de bosques naturales remanentes y su biodiversidad. Y por último pero no menos importante, se ha de tener en cuenta que la capacidad potencial de un SSP para conservar la biodiversidad en un ecosistema puede variar dependiendo la localización y en general del diseño y tipo de SSP a implementar, al igual que del manejo de dicho sistema (Ibrahim & Mora, 2006; L. Mahecha, 2003; Shibu, 2009).

### **5.2.4 Calidad del aire y del agua como SE en SSP**

El efecto de factores ambientales como altas temperaturas en el ambiente, intensa radiación directa e indirecta y humedad, producen estrés calórico en los animales. A pesar de que los animales han desarrollado mecanismos de regulación de la temperatura corporal, en los bovinos, bajo estrés, no se conservan esos mecanismos de regulación. Una de las consecuencias del aumento de la temperatura corporal, es la reducción de apetito y por ende la disminución de su eficiencia productiva. Para evitar estos efectos, la implementación de sistemas silvopastoriles se presenta como una opción adecuada ya que al proveer sombra a los animales, está protegiéndolos de factores climáticos especialmente en sitios donde la temperatura supere los 25°C (L. Mahecha, 2003; Roca, 2011).

Se han realizado estudios encaminados a cuantificar los efectos del micro ambiente generado por los SSP, es decir, los cambios en parámetros ambientales como temperatura, humedad relativa e intensidad de luz. Se encontró que durante épocas secas, en ecosistemas intervenidos por SSP comparado con animales en monocultivo, aumentó el consumo de forraje y disminuyeron constantes fisiológicas como la frecuencia respiratoria y temperatura rectal de los animales (B Escobar, B Hernandez, LA Giraldo, 2001). En este mismo sentido, los resultados obtenidos en producción de carne y leche han sido satisfactorios, teniendo en cuenta que el aumento de la variable productiva va a depender del tipo de sistema silvopastoril aplicado (L Mahecha, C V Durán, M Rosales, 2001; L Mahecha, JF Arroyave, 2001; L. Mahecha, 2003).

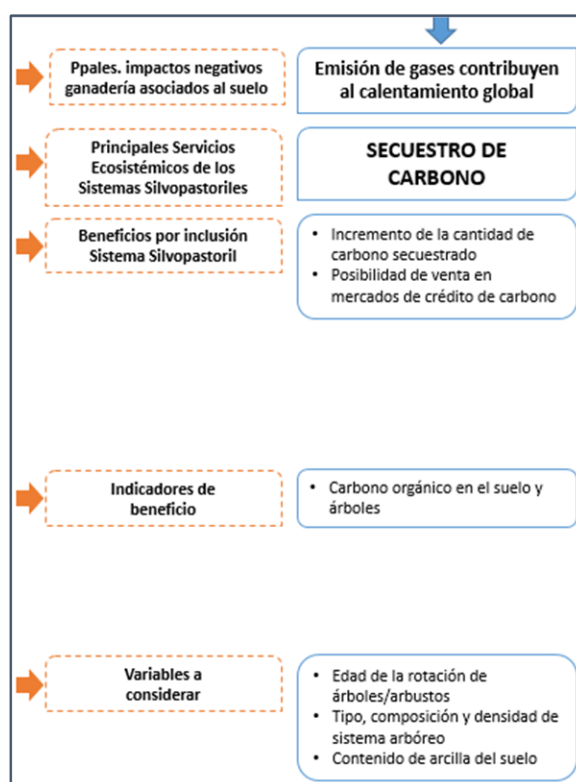
Con respecto a la relación entre la aplicación de SSP y las mejoras en la calidad del agua en agroecosistemas, se tienen muchas evidencias que los refieren como una estrategia efectiva para suministrar agua limpia. “En los sistemas agrícolas convencionales, los cultivos absorben menos de la mitad del fertilizante de fósforo y nitrógeno aplicado. En consecuencia, el exceso de fertilizante se elimina de los campos agrícolas a través de la escorrentía superficial o se filtra al suministro de agua subterránea, lo que contamina las fuentes de agua y disminuye la calidad del agua” (Shibu, 2009). El mecanismo de acción para mejorar la calidad del agua consiste en la instalación de un tipo de SSP conocido como amortiguador ribereño, el cual ayuda a limpiar el agua de escorrentía al reducir su velocidad, promoviendo la infiltración, la deposición de sedimentos y la retención de nutrientes y con esto, evitando que lleguen a las fuentes hídricas. El beneficio de purificación de agua no sólo se ve en las fuentes hídricas sino también en el agua subterránea ya que los amortiguadores, al bajar la velocidad de la escorrentía, alcanzan a absorber el exceso de nutrientes antes de que lleguen a ella (Shibu, 2009). De igual manera, la calidad del agua subterránea puede ser mejorada a través de sistemas de raíces profundas ya que actúan como una "red de seguridad" por medio de la cual el exceso de nutrientes que se ha filtrado debajo de la zona de raíces de los cultivos es absorbido por las raíces de los árboles. Aquí se da un proceso de reciclaje de nutrientes ya que llegan de nuevo al sistema a través del recambio de raíces y el desprendimiento de hojarasca, aumentando la eficiencia del uso de nutrientes del sistema (M. van Noordwijk, G. Lauson, K. Hairiah, 1996). A modo de ejemplo, una evidencia a nivel de lo hablado acerca de la absorción de nutrientes es la que se encontró en un sistema silvopastoril en Florida, EE. UU., donde monitorearon las concentraciones de fósforo en el suelo y pastos y se concluyó que las asociaciones silvopastoriles mejoraron la retención de nutrientes del suelo y redujeron el transporte de nutrientes en el agua superficial y subterránea (Kumar & Nair, 2006; Nair et al., 2007; Shibu, 2009).

### 5.3 Esquema final de SSP como alternativa para la gestión del suelo en agroecosistemas

Relacionar los conceptos desarrollados en el punto anterior le da paso a la construcción de un esquema de elaboración propia, basado en los diferentes estudios con SSP específicos y con el cual se pretende entregar una mayor claridad acerca del mecanismo de acción de esos SE sobre los impactos de la actividad ganadera y así ser fuente de entendimiento para gestores y productores para la posterior gestión ambiental y toma de decisiones. Dicho esquema responde al objetivo específico #3.

A continuación se presenta el flujo adecuado de lectura de dicho esquema, que es de izquierda a derecha en filas, cruzándose de arriba abajo con el desarrollo de cada tema. A modo de ejemplo se muestra el método de lectura correcta con el primer tema:

**Figura 5** Fragmento tomado de Figura 6, Esquema de servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles



**Nota:** Fragmento tomado como ejemplo de lectura del esquema completo



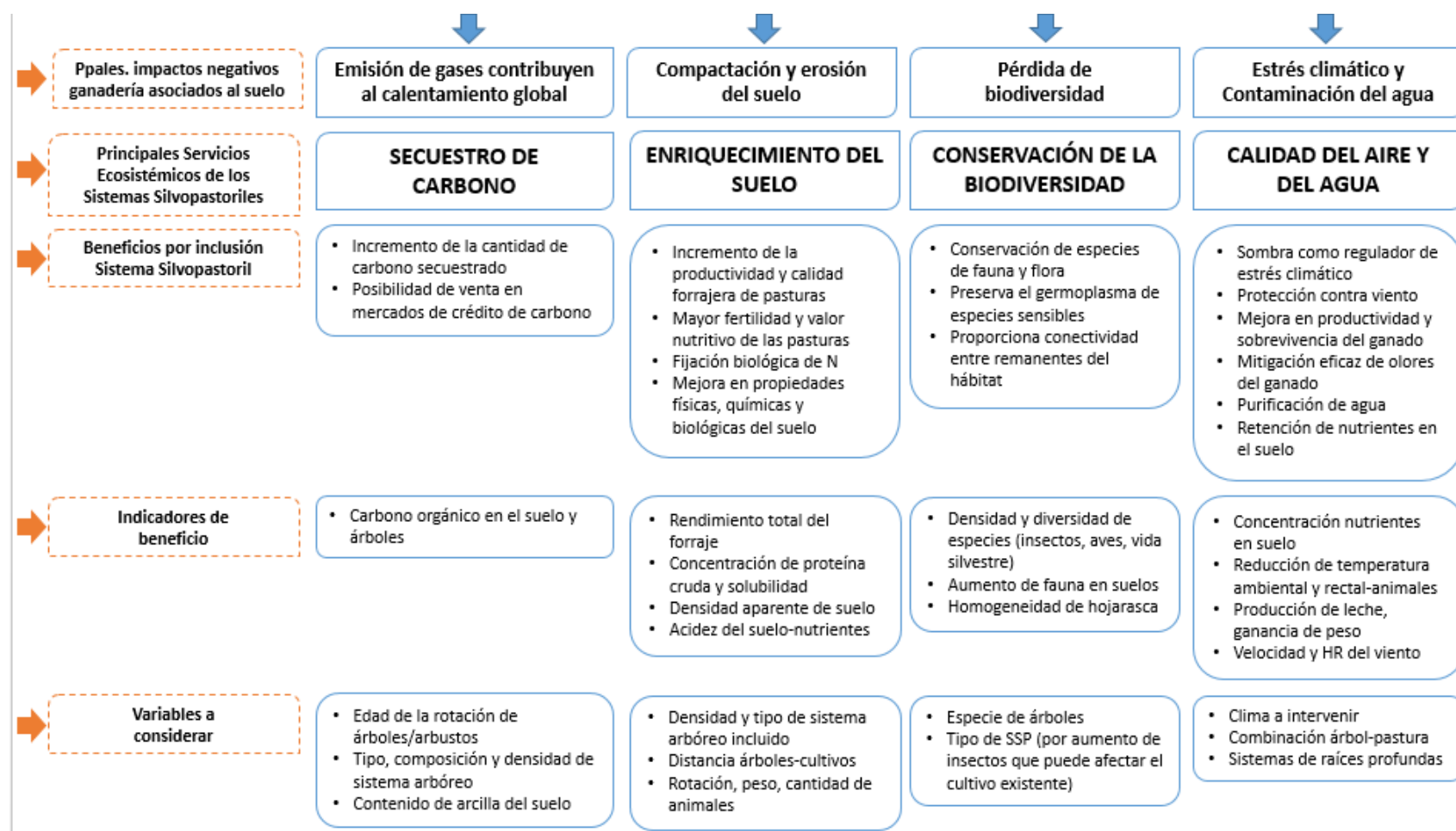
Uno de los principales impactos negativos de la ganadería en el suelo es la emisión de gases que contribuyen al calentamiento global. Dicho impacto puede relacionarse directamente con uno de los principales SE de los SSP -Secuestro de Carbono- para su gestión. Para este escenario en particular, los beneficios de la inclusión de un SSP son el incremento de la cantidad de carbono secuestrado y a su vez, la posibilidad de venta de ese carbono en mercados de crédito. Para poder hacer tangibles los beneficios, es necesario llevarlos a una medida, es decir, cuantificarlos, y a eso se refieren los “indicadores de beneficio” los cuales en algunos casos pueden ser lógicos, pero en otros casos no tanto y pensando en el papel de gestor frente a un productor que no está convencido o motivado a “montarse” en un cambio ambiental, ésta es la mejor manera de argumentarle el por qué. En este caso, medir el carbono orgánico en suelo y árboles será la información que nos lleve a cuantificar el beneficio de haber incluido el SSP.

Por último, se habla de unas variables a considerar. Y es que a lo largo de toda la revisión bibliográfica se encontraron muchos estudios particulares, por ejemplo, con la aplicación específica de un tipo de sistema arbóreo, en un ecosistema en particular, o se encuentra que una condición especial influye en uno u otro resultado. Dado que este esquema se realiza con la intención de llevar a lo general todas las particularidades encontradas en la bibliografía, el ítem de “variables a considerar” pretende dar una guía sobre puntos clave a tener en cuenta a la hora de empezar a construir el SSP a la medida del ecosistema estudiado y dar visibilidad de que éstos aspectos pueden ser determinantes en la consecución de resultados. A lo que va directamente este punto, es a alertar acerca de que la inclusión de un SSP no es una fórmula que se pueda aplicar como una receta mágica para la gestión ambiental de los impactos que se quieran mitigar, sino más bien, un análisis concienzudo de todas las variables que estén en juego y que pueden influir en los resultados y beneficios para el productor, según el ecosistema.

Resolviendo este punto en el ejemplo, quiere decir que la cantidad de carbono secuestrado, que será cuantificado a través de análisis fisicoquímico de carbono orgánico va a depender de variables como la edad de la rotación de árboles o arbustos incluidos en el SSP, el tipo, composición y densidad del sistema arbóreo y para el caso particular del carbono, varios estudios encontraron que el contenido de arcilla del suelo influye directamente en la cantidad de carbono secuestrado en suelos.

De ésta manera se ilustra al lector sobre el flujo de lectura del esquema y la manera en que fue pensada su construcción, con el fin de aportar una visión integral y generalizada para abordar las problemáticas encontradas a la hora de aplicar gestión ambiental a partir de la inclusión de un SSP.

**Figura 6** Esquema de servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles



**Fuente:** Elaboración propia basada en bibliografía de este documento

## 6 CONCLUSIONES

- Se logra sintetizar la bibliografía disponible acerca de los servicios ecosistémicos asociados al suelo en sistemas silvopastoriles en Colombia, a través del uso de 52 citas bibliográficas de autores relevantes en la materia y con información que abarca tanto trabajos actuales como otros que sentaron bases para que los avances en conocimiento y aplicación fueran posibles.
- La literatura disponible consultada, indica que los sistemas silvopastoriles representan una estrategia valiosa y eficaz para el sector ganadero en Colombia y la gestión ambiental de todos los impactos a los que se ven sometidos los ecosistemas con la práctica de actividades agropecuarias.
- Los sistemas silvopastoriles ofrecen estrategias comprobadas para aplicar la gestión ambiental de suelos a través de los servicios ecosistémicos que brinda, como el secuestro de carbono, el enriquecimiento del suelo, conservación de la biodiversidad y mejora de la calidad del aire y el agua.
- A través de la gestión ambiental de los principales servicios ecosistémicos ofrecidos por los sistemas silvopastoriles es posible mitigar los impactos ambientales generados por la actividad ganadera, generando no sólo el alivio ambiental de los agroecosistemas sino también beneficios para el productor.
- Al diseñar un sistema silvopastoril para un agroecosistema en particular, es muy importante tener en cuenta que los beneficios que pueda ofrecer van a estar influenciados por componentes del sistema a implementar, como lo son el tipo y densidad del sistema arbóreo, su susceptibilidad al tipo de suelo, a las condiciones climáticas, entre otros. La participación activa de los productores es fundamental para construir el diseño.
- Profundizar en la interacción de los componentes actuales del ecosistema a intervenir y los componentes del sistema silvopastoril a introducir, puede contribuir a que el diseño de gestión ambiental sea más preciso y arroje mejores resultados y esto, a su vez, se convierte en una herramienta para motivar a más productores a implementar sistemas silvopastoriles en sus tierras.
- El esquema final le aporta al gestor ambiental una visión integral de los beneficios e implicaciones de adoptar un sistema silvopastoril, tanto a nivel ambiental como a nivel económico, por lo que podría convertirse en una herramienta útil a la hora de abordar una comunicación con el productor y motivarlo a su implementación.

## 7 REFERENCIAS

1. Acción, E. en. (2013). *Captura y almacenamiento del carbono*. <https://www.ecologistasenaccion.org/22923/captura-y-almacenamiento-del-carbono/>
2. Alonso, J. (n.d.). *Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente*.
3. Arciniegas-Torres, S. P., & Fabián Flórez-Delgado, D. (2018). Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Cien. Agri.*, 15(2), 107–116. <http://doi.org/10.19053/01228420.v15.2>
4. ASMAR, S. (2020). *En 2020 Colombia ya exportó más de 4500 toneladas de carne bovina a ocho países*. <https://www.agronegocios.co/ganaderia/en-2020-colombia-ya-exporto-mas-de-4500-toneladas-de-carne-bovina-a-ocho-paises-del-mundo-2978593#:~:text=Ganadería-,En 2020%2C Colombia ya exportó más de 4.500 toneladas,carne bovina a ocho países&text=Durante los dos primeros meses,a los US%2418 millones>.
5. B Escobar, B Hernandez, LA Giraldo, L. M. (2001). Efecto de la sombra arbórea sobre los hábitos de pastoreo y el consumo de vacas Cebú en Cauca, Antioquia. En Memorias VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias. *Universidad de Antioquia*.
6. Botta, G. F., Jorajuria, D., & Draghi, L. M. (2002). Influence of the axle load, tyre size and configuration on the compaction of a freshly tilled clayey soil. *Journal of Terramechanics*, 39(1), 47–54. [https://doi.org/10.1016/S0022-4898\(02\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0022-4898(02)00003-4)
7. Camacho Valdez, V., & Ruiz Luna, A. (2012). Marco Conceptual Y Clasificación De Los Servicios Ecosistémicos. *Bio Ciencias*, 1, 3–15. <http://revistabiociencias.uan.mx/index.php/BIOCIENCIAS/article/view/19/17>
8. CATIE. (1994). *Tecnologías productivas para sistemas agrosilvopecuarios de ladera con sequía estacional*. [https://books.google.es/books?id=FBURAQAIAAJ&printsec=copyright&hl=es&source=gbs\\_pub\\_info\\_r#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=FBURAQAIAAJ&printsec=copyright&hl=es&source=gbs_pub_info_r#v=onepage&q&f=false)
9. Cueto, O. G., Iglesias Coronel, C. E., & Herrera Suárez, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola Analysis of the factors that cause soil compaction. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18, 57–63.
10. De la Barrera, F., Bachmann-Vargas, P., & Tironi, A. (2015). La investigación de servicios ecosistémicos en Chile: una revisión sistemática. *Investigaciones Geográficas*, 18(50), 3. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2015.41171>
11. DNP Dirección de Desarrollo Empresarial. (2006). *Visión Colombia II Centenario*.
12. FAO. (n.d.). *La biodiversidad del suelo*. Portal de Suelos de La FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/es/>
13. FAO. (2020a). *Biodiversidad*. <http://www.fao.org/biodiversity/overview/es/>
14. FAO. (2020b). *La ganadería y el medio ambiente*. <http://www.fao.org/livestock-environment/es/>
15. FAO. (2020c). *Servicios ecosistémicos y biodiversidad*. <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/es/>
16. FAO, & MADS. (2018). *Guía de las buenas prácticas para gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. <http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/>

- suelo/Guia\_de\_buenas\_practicas\_para\_la\_gestion\_y\_uso\_sostenible\_de\_los\_suelos\_en\_areas\_rurales.pdf
17. FEDEGAN. (2006). *Plan estratégico de la ganadería colombiana 2019*.
  18. Fisher, Brendan; Costanza, Robert; Turner, R. K. M. P. (2009). *Defining and classifying ecosystem services for decision making*.  
<http://hdl.handle.net/10419/80264>
  19. Fondo Nacional del Ganado. (2016). Balance y perspectivas del sector ganadero colombiano. *Fng*, 1–19.
  20. Hay, P. R. (2002). *Main currents in western environmental thought*.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=bzV1obaQ7fYC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Main+Currents+in+Western+Environmental+Thought&ots=SShKJRT43X&sig=Heqyjpw5PQwDhu11CV8TsAnx3xY#v=onepage&q=Main+Currents+in+Western+Environmental+Thought&f=false>
  21. Hermann, A., Schleifer, S., & Wrбка, T. (2011). The concept of ecosystem services regarding landscape research: A review. *Living Reviews in Landscape Research*, 5(1), 1–37. <https://doi.org/10.12942/lrlr-2011-1>
  22. Ibrahim, M., & Mora, J. (2006). Potencialidades de los sistemas silvopastoriles para la generación de servicios. In *Potencialidades de los Sistemas Silvopastoriles para la Generación de Servicios Ambientales*.  
<http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/51746.pdf#page=28>
  23. IGAC. (2012a). Distribución de la propiedad rural en Colombia. *Coyuntura Agropecuaria (Colombia)*, 1, 199–225.
  24. IGAC. (2012b). *Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano Escala 1:100.000*.
  25. IGAC / SIG-OT. (2012). *Identificación de información necesaria para el ordenamiento territorial*.
  26. IPCC. (n.d.). *Glossary Intergovernmental Panel on Climate Change*.  
<http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/ipcc-glossary.pdf>
  27. Kumar, B. M., & Nair, P. K. R. (2006). Tropical Homegardens. In *Advances* (Vol. 129, Issue October).
  28. L Mahecha, C V Durán, M Rosales, G. M. C. H. (2001). Browsing time and milk production of Lucerna cows in a silvopastoral system in different seasons of the year. In: International Symposium on silvopastoral systems. Second Congress on Agroforestry and livestock production in Latin America. *Mahecha L, Durán C V, Rosales M, Molina C H. Grazing*.
  29. L Mahecha, JF Arroyave, M. M. (2001). *Evaluación de la ceba de novillos Cebú en sistemas silvopastoriles de Eucalyptus tereticornis y Panicum maximum, en la Reforestadora San Sebastián: I. Época Seca. En: Memorias VI Encuentro Nacional de Investigadores de las Ciencias Pecuarias*.
  30. Lok, S. (2010). Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(4), 333–344.
  31. M. van Noordwijk, G. Lauson, K. Hairiah, J. W. (1996). Root distribution of trees and crops. Competition and/or complementary. In *Tree-Crop interaction, Agroforestry in a changing climate*.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=qy0ZCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA221&ots=r7NFB0eT6o&sig=zGjM6TzK0WgsTPkULrjAeV297e4#v=onepage&q&f=false>

32. MADS. (2020). *Plantilla cambio climático. Gases Efecto Invernadero*.  
<https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/462-plantilla-cambio-climatico-18>
33. Mahecha, J. (2020, April 21). EL ABASTECIMIENTO DE ALIMENTOS EN TIEMPOS DE COVID-19. *Noticias FAO*.  
<https://nacionesunidas.org.co/noticias/actualidad-colombia/el-abastecimiento-de-alimentos-en-tiempos-de-covid-19/>
34. Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación e la ganadería colombiana. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 16(1), 18.
35. Mahecha, L., Gallego, L., & Peláez, F. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev. Colomb. Cienc. Pecu*, 15, 213–225.
36. Martín-López, B., Montes, C., & Benayas, J. (2007). Influence of user characteristics on valuation of ecosystem services in Doñana Natural Protected Area (south-west Spain). *Environmental Conservation*, 34(3), 215–224.  
<https://doi.org/10.1017/S0376892907004067>
37. Martín, S. G., & Lafuente, V. (2017). Referencias bibliográficas: Indicadores para su evaluación en trabajos científicos. *Investigacion Bibliotecologica*, 31(71), 151–180. <https://doi.org/10.22201/iibi.0187358xp.2017.71.57814>
38. Millennium Ecosystem Assessment. (2005a). Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. In *Choice Reviews Online* (Vol. 41, Issue 08, pp. 41-4645-41–4645). <https://doi.org/10.5860/choice.41-4645>
39. Millennium Ecosystem Assessment. (2005b). *ECOSYSTEMS AND HUMAN WELL-BEING: Synthesis*.
40. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (PNGIBSE)*.
41. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). Política para la Gestión Sostenible del Suelo. In *Política para la Gestión Sostenible del Suelo*.  
[http://www.andi.com.co/Uploads/Política\\_para\\_la\\_gestión\\_sostenible\\_del\\_suelo\\_FINAL.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Política_para_la_gestión_sostenible_del_suelo_FINAL.pdf)
42. Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. In *Revista de Ciencias Ambientales* (Vol. 3, Issue 1). [https://doi.org/10.15359/rca.3\\_4-1.6](https://doi.org/10.15359/rca.3_4-1.6)
43. Nair, V. D., Nair, P. K. R., Kalmbacher, R. S., & Ezenwa, I. V. (2007). Reducing nutrient loss from farms through silvopastoral practices in coarse-textured soils of Florida, USA. *Ecological Engineering*, 29(2), 192–199.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2006.07.003>
44. Pezo, D., & Ibrahim, M. (1998). *Sistemas Silvopastoriles módulo de enseñanza agroforestal No. 2*.  
[https://books.google.es/books?id=\\_pYOAQAIAAJ&printsec=frontcover&dq=editions:ISBN9977573328&hl=es&auth=1wd9JUYear7BrE7hzcw0YyljACZYGHDXfmJrZfYb6PDIHIUQMV7EUUdqR9Qr4LsskGFZQ.#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=_pYOAQAIAAJ&printsec=frontcover&dq=editions:ISBN9977573328&hl=es&auth=1wd9JUYear7BrE7hzcw0YyljACZYGHDXfmJrZfYb6PDIHIUQMV7EUUdqR9Qr4LsskGFZQ.#v=onepage&q&f=false)
45. Raymundo, J., Velasco, V., Arturo, V., Rodríguez-ortiz, G., Arturo, V., & Velasco, V. (2013). *CARBON SEQUESTRATION BY Inga jinicuil Schltl*.

- <https://www.ecologistasenaccion.org/22923/captura-y-almacenamiento-del-carbono/>
46. Rincón-Ruíz, A., Echeverry-Duque, M., Piñeros, A. M., Tapia, C. H., David, A., Arias-Arévalo, P. y, & Zuluaga, P. A. (n.d.). *Valoración integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos*.
  47. Roca, A. J. (2011). *Efecto del estrés calórico en el bienestar animal, una revisión en tiempo de cambio climático*. 82, 15–25.
  48. Shibu, J. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview. *Agroforestry Systems*, 76(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
  49. Siavosh, S., Juan Manuel, R., & María Elena, G. (2000). Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia EFECTO DE LA GANADERÍA SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO. *Agroforestería Para La Producción Animal En Latinoamérica*, 77–95. <http://www.fao.org/ag/AGa/AGAP/FRG/AGROFOR1/siavosh6.pdf>
  50. TEEB. (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*.
  51. Wallace, K. (2008). Ecosystem services: Multiple classifications or confusion? *Biological Conservation*, 141(2), 353–354. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.12.014>
  52. Wallace, K. J. (2007). Classification of ecosystem services: Problems and solutions. *Biological Conservation*, 139(3–4), 235–246. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.07.015>