



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Análisis de los enfoques de la sostenibilidad ambiental de sistemas agroforestales**

**Carlos Alberto Cortés Gutiérrez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales – IDEA  
Bogotá D.C, Colombia  
2023



# **Análisis de los enfoques de la sostenibilidad ambiental de sistemas agroforestales**

**Carlos Alberto Cortés Gutiérrez**

Trabajo final presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Magister en Ambiente y Desarrollo**

Director:

PhD. Luis Fernando Gómez Echeverri

Codirector:

PhD. Marco Helí Franco Valencia

Línea de Investigación:

Estudios ambientales agrarios

Grupo de Investigación:

Grupo de investigación del Instituto de Estudios Ambientales – Bogotá

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ciencias Económicas  
Instituto de Estudios Ambientales - IDEA  
Bogotá D.C, Colombia

2023



*A Mati, Ene, Alberto, Lina, Aluis, Ricardo y les  
sobris*

*La palabra sin acción es vacía. La acción sin  
la palabra es ciega. La acción y palabra sin el  
espíritu de la comunidad son la muerte.*

*(Comunidad Nasa)*



## Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.



---

Carlos Alberto Cortés Gutiérrez

Fecha 31/01/2023

## **Agradecimientos**

A la Universidad Nacional de Colombia, que abrió sus puertas a mi familia para formarnos, superarnos a nosotros mismos y ser.

Al Instituto de Estudios Ambientales, sus docentes, compañeros y compañeras por las enseñanzas, charlas, espacios de discusión y el acompañamiento directo e indirecto en este proceso.

A Luis Fernando Gómez, director de este trabajo, por su generosidad, apoyo y disposición constante para la construcción, lectura y revisión del trabajo presentado.

Al Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt por ser mi segunda universidad, en dónde he podido crecer y aprender acompañado de compañeros y compañeras brillantes.

Y lo más importante, a mi familia y amigos por su apoyo sin reservas, cariño y comprensión a lo largo de este proceso, sin el cual no sería posible este, ni ningún resultado.

## Resumen

La producción agrícola convencional ha sido caracterizada por la baja eficiencia en el uso del suelo y por contribuir al deterioro de los ecosistemas naturales, pérdida de la biodiversidad, la alteración de las dinámicas culturales y sociales, entre otros. Los sistemas agroforestales (SAF) se presentan como una alternativa a esta producción convencional y han sido destacados por preservar la multifuncionalidad, la resiliencia de los sistemas socio ecológicos e incrementar la productividad. Debido a los múltiples beneficios que ofrece, la agroforestería se ha convertido en una de las prácticas agrícolas más comunes a nivel mundial y su sostenibilidad se convierte en un elemento clave para incorporar la esfera ecológica, social, económica, cultural y ética en su adopción.

En el presente trabajo se realiza un análisis sistemático en la literatura reciente (2017 a 2022) de los problemas ambientales, criterios, indicadores, variables y enfoques empleados para la evaluación de la sostenibilidad en los artículos que abordan el tema relacionado a los SAF. Se encontró que no existe un consenso sobre los indicadores, variables o criterios para la evaluación de la sostenibilidad en los SAF; los elementos ecológicos o ecosistémicos son evaluados desde una perspectiva productiva o economicista que muestra que la visión débil de la sostenibilidad sigue dominando frente a visiones más complejas (superfuerte o socio ecosistémica); y en ocasiones la sostenibilidad es asumida como inherente a los SAF. Estos resultados demuestran que la sostenibilidad continúa siendo un concepto en debate y las metodologías para su evaluación en el contexto de los SAF se encuentran en constante reevaluación.

**Palabras clave:** Sostenibilidad; sistemas agroforestales; análisis multicriterio; evaluación de la sostenibilidad; indicadores de evaluación de la sostenibilidad; análisis bibliométrico.

## Abstract

### **Analysis of approaches to environmental sustainability of agroforestry systems**

Conventional agricultural production has been characterized by low efficiency in land use and by contributing to the deterioration of natural ecosystems, loss of biodiversity, construction of cultural and social dynamics, among others. Agroforestry systems (SAF) are presented as an alternative to this conventional production and have been highlighted for preserving multifunctionality, the resilience of socio-ecological systems and increasing productivity. Due to the multiple benefits it offers, agroforestry has become one of the most common agricultural practices worldwide and its sustainability becomes a key element to incorporate the ecological, social, economic, cultural and ethical spheres in its adoption.

In the present work, a systematic analysis is carried out in the recent literature (2017 to 2022) of the environmental problems, criteria, indicators, variables and approaches used for the evaluation of sustainability in the articles that address the topic related to the SAF. It was found that there is no consensus on the indicators, variables or criteria for the evaluation of sustainability in the SAF; the ecological or ecosystemic elements are evaluated from a productive or economic perspective that shows that the weak vision of sustainability continues to dominate compared to more complex visions (super strong or socio-ecosystemic); and sometimes sustainability is assumed as inherent to the SAF. These results show that sustainability continues to be a concept under debate and the methodologies for its evaluation in the context of the SAF are constantly being re-evaluated.

**Keywords:** Sustainability; Agroforestry systems; multi-criteria analysis; sustainability assessment; sustainability evaluation indicators; bibliometric analysis.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de abreviaturas.....</b>	<b>XIV</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1. La sostenibilidad y los sistemas agroforestales (SAF) .....</b>	<b>7</b>
1.1 Orígenes del debate sobre la sostenibilidad .....	7
1.2 La sostenibilidad .....	11
1.2.1 Sostenibilidad débil.....	14
1.2.2 Sostenibilidad fuerte .....	16
1.2.3 Sostenibilidad sistémica.....	17
1.2.4 Sostenibilidad socio ecosistémica.....	18
1.2.5 Sostenibilidad superfuerte .....	20
1.3 La Sostenibilidad en los Sistemas agroforestales.....	20
<b>2. Metodología.....</b>	<b>25</b>
2.1 Criterios de búsqueda y selección.....	26
2.1.1 Criterios de inclusión y exclusión .....	26
2.1.2 Selección de artículos.....	27
2.2 Extracción y análisis de datos .....	27
2.3 Selección de artículos .....	28
<b>3. Resultados y discusión .....</b>	<b>33</b>
3.1 Problemas ambientales abordados en las investigaciones.....	34
3.2 Criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad en los SAF.....	39
3.2.1 Criterios ecológicos-ecosistémicos .....	44
3.2.2 Criterios económicos-productivos .....	51
3.2.3 Criterios socioculturales.....	57
3.3 Enfoques de la sostenibilidad en las evaluaciones para SAF .....	61
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>71</b>
<b>A. Anexo 1: Artículos seleccionados para la revisión.....</b>	<b>74</b>
<b>B. Anexo 2: Criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad en los SAF.....</b>	<b>78</b>
<b>C. Anexo 3: Tabla resumen de artículos revisados.....</b>	<b>109</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>117</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 2-1:</b> Número de artículos publicados sobre sostenibilidad en SAF. ....	30
<b>Figura 2-2:</b> Artículos publicados para el período 2017 – 2022 seleccionados.....	32
<b>Figura 3-1:</b> Problemas ambientales identificados en las investigaciones.....	37
<b>Figura 3-2:</b> Representación gráfica de las dimensiones de la sostenibilidad. ....	40
<b>Figura 3-3:</b> Categorías de criterios empleados en las investigaciones.....	42
<b>Figura 3-4:</b> Distribución de indicadores para la dimensión ecológica - ecosistémica.....	44
<b>Figura 3-5:</b> Distribución de indicadores para la dimensión económica - productiva. ....	52
<b>Figura 3-6:</b> Distribución de indicadores para la dimensión social - cultural. ....	57
<b>Figura 3-7:</b> Enfoques de sostenibilidad en los artículos analizados (n=68). ....	65

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 2-1:</b> Criterios de inclusión y exclusión.....	26
<b>Tabla 2-2:</b> Artículos encontrados en la búsqueda (2012-2022). .....	29
<b>Tabla 2-3:</b> Artículos recuperados (2017-2022). .....	30
<b>Tabla 3-1:</b> Categorías de problemas ambientales. ....	36
<b>Tabla 3-2:</b> Relación problemas ambientales y enfoques de la sostenibilidad. ....	69
<b>Tabla 4-1:</b> Propiedades físico-químicas de los suelos.....	78
<b>Tabla 4-2:</b> Servicios ecosistémicos. ....	80
<b>Tabla 4-3:</b> Componente forestal. ....	81
<b>Tabla 4-4:</b> Usos del suelo.....	83
<b>Tabla 4-5:</b> Integralidad ambiental. ....	84
<b>Tabla 4-6:</b> Propiedades físico químicas del agua. ....	86
<b>Tabla 4-7:</b> Impacto ambiental. ....	86
<b>Tabla 4-8:</b> Resiliencia.....	87
<b>Tabla 4-9:</b> Condiciones climáticas.....	88
<b>Tabla 4-10:</b> Biodiversidad. ....	88
<b>Tabla 4-11:</b> Características biológicas. ....	89
<b>Tabla 4-12:</b> Reservas de carbono.....	90
<b>Tabla 4-13:</b> Uso del agua. ....	90
<b>Tabla 4-14:</b> Prácticas agrícolas. ....	91
<b>Tabla 4-15:</b> Comercialización. ....	93
<b>Tabla 4-16:</b> Producción agrícola.....	94
<b>Tabla 4-17:</b> Producción ganadera.....	95
<b>Tabla 4-18:</b> Indicadores económicos. ....	96
<b>Tabla 4-19:</b> Rendimientos productivos.....	97
<b>Tabla 4-20:</b> Indicadores financieros. ....	97
<b>Tabla 4-21:</b> Uso de energía. ....	98
<b>Tabla 4-22:</b> Administración y contabilidad. ....	99
<b>Tabla 4-23:</b> Seguridad y gestión. ....	99
<b>Tabla 4-24:</b> Aspectos sociales. ....	100
<b>Tabla 4-25:</b> Aspectos socio-culturales. ....	101
<b>Tabla 4-26:</b> Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.....	103
<b>Tabla 4-27:</b> Bienestar humano.....	104
<b>Tabla 4-28:</b> Aspectos políticos.....	106
<b>Tabla 4-29:</b> Medios de vida. ....	107
<b>Tabla 4-30:</b> Conflictos sociales. ....	107

## Lista de abreviaturas

### Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
--------------------	----------------

---

<i>AGB</i>	Biomasa aérea
<i>APA</i>	American Psychological Association
<i>BGB</i>	Biomasa subterránea
<i>DBO5</i>	Demanda biológica de oxígeno
<i>DQO</i>	Demanda química de oxígeno
<i>ELR</i>	Relación de carga ambiental
<i>FAO</i>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
<i>GEI</i>	Gases de efecto invernadero
<i>IPBES</i>	Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas
<i>IPCC</i>	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
<i>LER</i>	Relación de Tierra Equivalente
<i>MEA</i>	Millennium Ecosystem Assessment (Evaluación de ecosistemas del milenio)
<i>ODS</i>	Objetivos de Desarrollo del Milenio
<i>ONG</i>	Organización no gubernamental
<i>ONU</i>	Organización de las Naciones Unidas
<i>PNUMA</i>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<i>Redalyc</i>	Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
<i>SAF</i>	Sistemas Agroforestales
<i>SciELO</i>	Scientific Electronic Library Online (Biblioteca científica electrónica en línea)
<i>SOC</i>	Concentración de carbono orgánico del suelo
<i>SSEE</i>	Servicios Ecosistémicos
<i>TSS</i>	Sólidos suspendidos totales

# Introducción

Se proyecta que en el año 2050, la población mundial alcance los 9700 millones de habitantes, lo que representa un incremento de 2 mil millones de personas en comparación con la actualidad (FAO, 2017). A pesar de esto, según la FAO (2017) un 11% de la población mundial, aproximadamente 800 millones de personas, continúa padeciendo hambre, mientras que más de 2000 millones de personas carecen de micronutrientes o padecen de sobrealimentación.

Este aumento en la demanda de recursos tendrá un impacto en los ecosistemas naturales y en las poblaciones humanas y no humanas, debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la alteración de los ciclos biogeoquímicos, la contaminación del agua y del suelo, la pérdida de biodiversidad, entre otros (MEA, 2005). Como consecuencia de la variabilidad climática y los eventos climáticos extremos, como sequías, inundaciones e incendios, se espera una reducción en la producción agrícola, lo que afectará la seguridad y soberanía alimentaria, agudizando las brechas de desigualdad, especialmente en los países más vulnerables, que también son los mayores productores de alimentos (IPCC, 2022).

A nivel global la producción de alimentos es soportada en mayor medida por la producción agrícola convencional, que se caracteriza por emplear grandes extensiones de tierra para un solo cultivo, con poca diversidad y con un uso significativo de productos agroquímicos, es poco eficiente en el uso del suelo y causa problemas ambientales como la deforestación, la erosión de los suelos, la pérdida de la biodiversidad y la inseguridad alimentaria, entre otros (Adamowicz, 2022; Daly, 2013; MEA, 2005).

Los productores están en búsqueda de sistemas alternativos que maximicen la eficiencia productiva y económica, sin alterar de manera irreversible los equilibrios naturales. Entre las alternativas a la producción convencional, se presentan los sistemas agroforestales (SAF), que consisten en sistemas integrados por vegetación de bosque, cultivos y en

algunos casos producción animal, señalados como sistemas más sostenibles que los convencionales (Dagar & Tewari, 2018; Lorenz & Lal, 2018)

Los sistemas agroforestales se presentan como una alternativa imprescindible frente a la producción convencional de bienes y servicios agrícolas. Además de responder a las presiones derivadas del aumento de la población y la demanda por una mayor diversidad agroecológica, estos sistemas abordan distintos problemas técnico-productivos, tales como la necesidad de mantener tasas de rendimiento sostenibles para los agricultores, la demanda por productos de calidad, la gestión eficiente de la tierra, así como el control de plagas y enfermedades en los cultivos (Crous-Duran et al., 2019; Rodríguez, 2018).

De igual forma, en la literatura científica los SAF han sido destacados por la preservación de los servicios ecosistémicos, contribuir a mantener los nutrientes del suelo, incremento de la productividad de los cultivos y una mayor adaptabilidad o resiliencia ante el cambio climático, lo que permite aliviar la presión antrópica sobre los ecosistemas naturales (Parewa et al., 2018; Partey et al., 2017). Da Silva Araújo et al. (2022) indican que los SAF basados en la diversificación de la producción en un mismo terreno son una opción valiosa debido a la presión sobre los ecosistemas naturales y la disponibilidad de tierras.

La agroforestería es una práctica agrícola cada vez más extendida en todo el mundo debido a sus múltiples beneficios, se estima que más de 1200 millones de personas la practican, convirtiéndola en una alternativa valiosa para mejorar la eficiencia de los sistemas productivos (FAO, 2013; Rodríguez, 2018). Sin embargo, es esencial que la sostenibilidad de estos sistemas sea un objetivo principal para preservar su multifuncionalidad y resiliencia, así como para mantener las relaciones ecosistema-cultura a largo plazo.

En el contexto de las transiciones productivas, la sostenibilidad es un aspecto fundamental para abordar las problemáticas ambientales actuales que se derivan de las transformaciones no adaptativas que ocurren dentro del sistema natural, así como de los efectos de la cultura sobre el ecosistema, ambas propiedades emergentes de la naturaleza (Ángel-Maya, 2013). De acuerdo con Parewa et al. (2018) y Rodríguez (2018), para el caso específico de los sistemas agroforestales, la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas contribuye a preservar los beneficios naturales que estos sistemas proporcionan.

El diseño y la implementación de Sistemas Agroforestales (SAF) sostenibles son esenciales para garantizar que los beneficios potenciales de su adopción se tengan en cuenta desde una perspectiva compleja, que incluya la dimensión ecológica, ecosistémica, social, económica, cultural y ética (sostenibilidad super fuerte, sistémica o socioecológica) (Ben-Eli, 2018; Morandín-Ahuerma et al., 2019; Ruggerio, 2021). Esto va más allá del mantenimiento de los beneficios económicos a largo plazo (sostenibilidad débil) (Adamowicz, 2022; Daly, 2013).

No obstante, la sostenibilidad continúa siendo un tema en debate, tanto en términos teóricos y conceptuales como en las metodologías utilizadas para su medición, tal como lo ha sido en las últimas décadas (Adamowicz, 2022; Randall, 2021). Estas metodologías están en constante revisión y evolución, a medida que surgen nuevas formas de medición y se proponen nuevas perspectivas para la comprensión del concepto. La razón detrás de esto es que cada autor o grupo puede implementar diferentes metodologías de medición en cada investigación, basándose en sus intereses y valores puestos en consideración, así como los indicadores, variables, criterios y demás elementos que desean incluir en su análisis que se desprenden de una perspectiva ambiental específica (da Silva Araújo et al., 2022).

Esto también se aplica a la sostenibilidad de las prácticas agroforestales y ha sido un tema ampliamente abordado en la literatura científica. Se han utilizado múltiples criterios, variables y enfoques teóricos para evaluar el carácter sostenible de los SAF, y en algunos casos se ha considerado que la sostenibilidad es inherente a ellos (Rathore et al., 2019; Thiessen et al., 2015). Sin embargo, el estudio de los enfoques de la sostenibilidad para los SAF es fundamental desde la perspectiva ambiental, considerando que se han realizado pocas investigaciones que adopten visiones integrales de la sostenibilidad en el marco de los SAF (da Silva Araújo et al., 2022).

Como señala Noguera (2009) es esencial realizar un estudio en profundidad sobre la relación entre cultura y ecosistema para obtener alternativas ambientalmente sostenibles. Teniendo en cuenta el deterioro de los ecosistemas naturales causado por la producción convencional de bienes y servicios agrícolas, los SAF se presentan como una alternativa productiva central. Es fundamental analizar las variables, indicadores y criterios que se utilizan para evaluar la sostenibilidad de un SAF y desde la perspectiva ambiental, poder

comprender mejor qué entienden por sostenibilidad los autores y de qué manera incorporan las interrelaciones de las diferentes dimensiones del ambiente en el análisis.

Para lograr esto, es relevante realizar una revisión sistemática de la literatura reciente con el fin de identificar y analizar los elementos considerados en las investigaciones (presentes en la literatura científica) que se ocupan de evaluar la sostenibilidad para los SAF. La revisión se justifica frente a la posibilidad de identificar los elementos constitutivos que contribuyen a la sostenibilidad de los SAF desde la perspectiva de los autores, así como los problemas ambientales que motivan las evaluaciones y el enfoque de sostenibilidad utilizado. Además, la revisión puede proporcionar una visión actualizada de las tendencias y enfoques empleados en la evaluación de la sostenibilidad y enfocar futuras investigaciones relacionadas.

En este contexto, el objetivo de este trabajo es realizar un análisis de los enfoques de sostenibilidad empleados en las investigaciones de sistemas agroforestales presentes en la literatura científica reciente (2017 a 2022), a través de una revisión sistemática de artículos. Para lograr el objetivo general se han establecido los siguientes objetivos específicos: i) determinar los problemas ambientales abordados en las investigaciones de la evaluación de la sostenibilidad de sistemas agroforestales; ii) identificar los criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad referenciados en las investigaciones relacionadas; iii) identificar los elementos constituyentes de las investigaciones relacionadas con la evaluación de la sostenibilidad en sistemas agroforestales.

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos de analizar los enfoques de la sostenibilidad empleados en las investigaciones relacionadas a los sistemas agroforestales el presente documento se compone de cuatro secciones principales:

- i) Un marco teórico enfocado en los conceptos claves para el análisis (la sostenibilidad y los Sistemas Agroforestales (SAF)), en esta sección se incluye un breve contexto del origen del debate de la sostenibilidad y los cinco enfoques de la sostenibilidad: débil, fuerte, socio ecosistémico, sistémico y superfuerte, los que serán considerados para categorizar los artículos seleccionados para la revisión.

- ii) La metodología empleada para el análisis sistemático de bibliografía, las bases de datos consultadas, los criterios de inclusión y exclusión utilizados para la selección de artículos, las herramientas empleadas para la extracción y el análisis de la información, así como los artículos recuperados y seleccionados para la revisión.
- iii) Posteriormente, se presentan los resultados encontrados para la revisión: los problemas ambientales abordados en las investigaciones de los cuales surgen las evaluaciones, correspondientes al primer objetivo específico; los criterios de evaluación de la sostenibilidad para SAF considerados por los autores, clasificados en las dimensiones ecológica-ecosistémica, económica-productiva y sociocultural, consistente con el segundo objetivo específico; y la identificación de los elementos constituyentes de las investigaciones (tercer objetivo específico) para el análisis de los enfoques de la sostenibilidad empleados en las evaluaciones para SAF, empleando la de los apartados anteriores.
- iv) Por último, se exponen los principales hallazgos y conclusiones de la revisión de literatura relacionados con los principales criterios de evaluación, las categorías más recurrentes, los enfoques de la sostenibilidad predominantes en los artículos analizados y las dimensiones a las cuales obedecen las perspectivas de la sostenibilidad.

Adicionalmente, se incluyen como anexos el listado de artículos seleccionados para el análisis con su respectiva base de datos, revista en la que fue publicada e idioma del artículo; las descripciones de los criterios de evaluación de la sostenibilidad para los artículos revisados; un cuadro resumen de los resultados de los artículos revisados con la información de los problemas ambientales considerados, el número de criterios y las dimensiones de la sostenibilidad; y por último la bibliografía empleada en el trabajo citada en normas APA.



# **1. La sostenibilidad y los sistemas agroforestales (SAF)**

En este capítulo se presentará el marco teórico sobre el cual se soporta la identificación, clasificación y análisis de los criterios, elementos y enfoques de la sostenibilidad para los SAF con el fin de cumplir con los objetivos propuestos del presente trabajo. La información que se presenta es resultado de la revisión previa de literatura para los conceptos que se consideran claves para el análisis propuesto.

Con esto en mente se presenta en una primera subsección los orígenes del debate a manera de contexto en el cual aparece el concepto de sostenibilidad, su relación con los problemas ambientales y la discusión sobre el desarrollo. Posteriormente se exponen los 5 enfoques de la sostenibilidad más relevantes y vigentes dentro de la literatura académica, el origen de los términos, las críticas principales y algunos autores que estudian o soportan cada enfoque. Por último, se presenta el objeto sobre el cual los autores realizan las evaluaciones de la sostenibilidad, los sistemas agroforestales, los beneficios identificados en la literatura por su aplicación y su importancia en el contexto global.

## **1.1 Orígenes del debate sobre la sostenibilidad**

La biosfera es el sistema natural total interconectado de forma cibernética, a través del cual fluye energía, materia e información física y química gracias a la energía del sol, sistema que cuenta con funciones de control y regulación naturales (internas) y otras difusas (entre ellas específicas y externas) (Odum, 2006). Así, los ecosistemas naturales son sistemas pulsátiles y no estables, por lo cual su estabilidad dependerá del ambiente externo y a la eficiencia en estos controles internos; en otras palabras, los ecosistemas

responden gradualmente a los cambios para mantener su estructura y funcionalidad gracias a sus funciones internas (Odum, 2006).

Sin embargo, los procesos humanos generan transformaciones de materia y energía a través de la economía (subsistema del medio natural) para satisfacer sus necesidades, generando perturbaciones como la eutrofización cultural, erosión del suelo y pérdida de nutrientes, en las cuencas (drenaje), reduciendo la diversidad de organismos y cultivos, así como la selección artificial de plantas y animales para propósitos productivos (Daly, 2013; Odum, 2006).

Las preocupaciones sobre la sostenibilidad de los sistemas humanos se han centrado en aquellos recursos renovables y no renovables durante diferentes momentos de la historia de la humanidad. Desde la Revolución Industrial (finales del siglo XIX) se reemplazó el uso de combustibles a base de carbón de fuentes vegetales o leña por combustibles fósiles y con ello surge la preocupación por el agotamiento de aquellos recursos los no renovables como centrales en la sostenibilidad de los procesos económicos (Randall, 2021).

Los peligros de la depredación de los ecosistemas y de la naturaleza en general se han exacerbado desde la industrialización y principalmente, después de la Segunda Guerra Mundial con la intensificación de la producción, la urbanización y densificación de la población en el proceso de globalización de la carrera del crecimiento económico que no tenía en cuenta la degradación progresiva de los ecosistemas naturales que dio lugar a la crisis ecosistémica y civilizatoria actual (Adamowicz, 2022). Los primeros cuestionamientos a este tipo de desarrollo iniciaron en la década de 1960, con el reconocimiento de los problemas ambientales y los efectos adversos del cambio climático, fortalecido con los diferentes movimientos ecologistas, pacifistas y contraculturales (Adamowicz, 2022; Morandín-Ahuerma et al., 2019).

Una de los primeros llamados de atención sobre la problemática ambiental fue la Declaración de Estocolmo 'Solo tenemos una tierra' en la Conferencia de la ONU de 1972, mismo año de publicación del informe Meadows que hacía énfasis en 'los límites del crecimiento' siendo ambos puntos de referencia para la discusión internacional sobre los problemas socio ecosistémicos (Adamowicz, 2022; Heinberg, 2010). En el informe Meadows se presentaron, a través de herramientas de predicción, los riesgos que

acarrea el crecimiento acelerado de la economía, la población y la contaminación exponencial; situaciones que llevarían al agotamiento de los recursos, debido a que se encuentran inmersas en un mundo finito (Adamowicz, 2022; Heinberg, 2010).

En el marco de la política pública internacional se iniciaron las conversaciones globales en torno al Medio Ambiente y el Desarrollo desde las diferentes Conferencias de las Naciones Unidas y con la publicación del Informe Brundtland de 1987 'Nuestro futuro común', en donde se reconocieron las amenazas al futuro debido al deterioro de los ecosistemas naturales y su interconexión con los sistemas social y económico, además, se advirtió la tendencia al empeoramiento de estas condiciones con riesgos a escala planetaria (Brundtland, 1987; Morandín-Ahuerma et al., 2019).

En este informe, además se define la sostenibilidad como la responsabilidad moral con las generaciones futuras, en donde: *“Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias”* (Brundtland, 1987, p. 23).

En la definición de la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU, en donde se satisfacen las necesidades actuales sin poner en peligro las necesidades de las generaciones futuras, se puede observar el sesgo desarrollista que acompaña a la sostenibilidad hasta la actualidad, esta visión puede ser llamativa (en lo que radica parte de su popularidad), principalmente, por parte de las organizaciones internacionales pero que no ofrece ningún curso de acción para las acciones desde el contexto económico, político o social (Ben-Eli, 2018; Brundtland, 1987).

El principal problema radica en que, sencillamente, las llamadas 'generaciones futuras' no pueden participar de las decisiones, ni se conocen sus preferencias con la finalidad de tomar acciones concretas para garantizar esta utilidad y, por lo tanto, las preferencias no son transferibles de la generación presente a la futura (Daly, 2013). Estos problemas implican diferentes fallas metodológicas, por ejemplo, no es posible calcular a partir de modelos los aportes de las generaciones presentes o la especificación de las preferencias de las generaciones futuras, además de inconvenientes para la definición del concepto de sostenibilidad (Daly, 2013). Lo anterior contribuye a la creación de múltiples

interpretaciones y significados de la sostenibilidad, y que lo aleja de la complejidad que debería implicar el concepto dentro de un universo dinámico, lleno de incertidumbre y multivariable (Ben-Eli, 2018; Daly, 2013).

Posteriormente desde la década de 1990, la ecologización del desarrollo y de la economía se ha vuelto un tema frecuente, en el cual, la costumbre de agregar el adjetivo 'verde' en los diferentes conceptos, estrategias y políticas en diferentes niveles ha sido cada vez más habitual (Adamowicz, 2022). Los diferentes conceptos de esta ecologización buscan destacar la conexión entre el sistema económico con la biosfera y su protección, y las discusiones se centran en cómo equilibrar el desarrollo y la sostenibilidad (Adamowicz, 2022).

A pesar de ocupar el centro de diversas discusiones, la crisis ambiental ha continuado las tendencias advertidas por diferentes científicos y que han sido corroboradas por investigaciones realizadas como la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA por sus siglas en inglés), estudios de la Plataforma Intergubernamental Científico-normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) o del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), en dónde se ha demostrado ampliamente y con rigor científico el aporte de origen antrópico del cambio climático (el más estudiado de los problemas ecosistémicos) y de otras afectaciones sobre los ecosistemas naturales (Morandín-Ahuerma et al., 2019).

Los diferentes esfuerzos nacionales y globales se enmarcan en las problemáticas y amenazas derivadas de la transformación antropogénica de la naturaleza, la demanda y uso excesivo de materiales y energía empleadas en los procesos productivos que sustentan la economía (Adamowicz, 2022). Estas transformaciones ecosistémicas son categorizadas en 8 principales esferas desde la MEA (2005): i) la transformación de hábitats, entendida como la conversión del uso de la tierra de los bosques y humedales templados y tropicales; ii) la sobreexplotación de la biomasa terrestre y marina; iii) desertificación; iv) incremento de especies invasoras en diferentes ecosistemas; v) contaminación de los suelos, el agua y la atmósfera; vi) cambio climático; vii) alteración de los ciclos biogeoquímicos (agua, nitrógeno, carbono y fósforo); y viii) pérdida de biodiversidad (MEA, 2005).

A su vez estos cambios se relacionan con diferentes umbrales o límites planetarios que han sido identificados por diferentes estudios, estos puntualizan algunas problemáticas de mayor riesgo para el mantenimiento de los equilibrios planetarios como: la pérdida de integridad ecológica; la acidificación de los océanos; uso de agua dulce y de la tierra; el agotamiento del ozono estratosférico; contaminación química del medio ambiente por el uso de pesticidas, herbicidas, plásticos, metales pesados y desechos nucleares; y la carga de aerosol atmosférico (Steffen et al., 2015; Rockström et al., 2009).

Sin embargo, desde la economía se continúa considerando la infinitud de la naturaleza y el crecimiento económico sin límites, pasando por alto que el sistema económico es una parte de un sistema finito, el sistema natural (Daly, 2013). Esta omisión o ceguera intencional ha llevado a ignorar los impactos del crecimiento económico derivando en la insostenibilidad ecológica; los costos ambientales no son tenidos en cuenta, la creciente escasez de los beneficios naturales y el crecimiento antieconómico (los costos aumentan más que los beneficios) generan contaminación, disminución de servicios ecosistémicos y desde el punto de vista social, incremento de la pobreza económica o multidimensional en función de la desigualdad distributiva (Daly, 2013).

Así, la toma de decisiones debería tener en cuenta los aspectos sociales, políticos, económicos y culturales como interconectados e interdependientes, al igual que las partes físicas, los sistemas vivos y vidas no humanas del planeta, es decir, entender la realidad desde una perspectiva compleja y sistémica que no es posible reducir a un contexto simple, fragmentario, mecanicista o lineal, como es asumido desde el enfoque economicista, lo que inevitablemente ha conducido a resultados no deseados y que han agudizado las problemáticas (Ben-Eli, 2018; Daly, 2013).

## **1.2 La sostenibilidad**

Ante las diferentes problemáticas ambientales mencionadas, desde los organismos internacionales se propuso el 'desarrollo sostenible', acorde con la propuesta del Informe Brundtland (1987), como alternativa para equilibrar los componentes ambiental, social y económico, bajo la creencia de que las necesidades del presente puedan ser satisfechas sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para hacer lo mismo, y posteriormente reforzado durante la Conferencia de la Naciones Unidas Sobre el Medio

Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro (1992) (Morandín-Ahuerma et al., 2019; Naredo, 1996).

Como se expuso en el apartado anterior, directa e indirectamente la sostenibilidad se ha mantenido en el foco del debate político, científico y académico a nivel internacional desde hace más de 40 años, con la participación de académicos, científicos y hacedores de política, debido a la creciente popularidad del concepto y su adaptación al término 'desarrollo' (Morandín-Ahuerma et al., 2019).

A raíz de esto, los conceptos de sostenibilidad y el desarrollo sostenible o sustentable han sido empleados muchas veces como sinónimos, sin embargo, aún se encuentran inmersos en debates sobre su significado e implicaciones en acciones o decisiones de política, alcanzando sus puntos de mayor auge desde la década de 1990, momento desde el cuál no han dejado de aparecer nuevas alternativas, aplicaciones a nuevos campos del conocimiento e incluso, la unión con conceptos como el decrecimiento y el buen vivir, y su potencial sigue en desarrollo (Ruggerio, 2021).

Esta creciente popularidad ha abierto la puerta a la diversidad de interpretaciones ofrecidas, por lo que no ha sido posible llegar a un consenso, siendo considerado actualmente un término polisémico y en ocasiones contradictorio, difuso en su aplicación debido a su falta de operatividad (Morandín-Ahuerma et al., 2019). Además, debido a su uso en diferentes contextos en palabras de Ben-Eli (2018): "*casi ha perdido su significado*" (pp. 1) y a pesar de que gramaticalmente su uso puede ser correcto, pierde las implicaciones más profundas que se asocian a la crisis global humana y de desarrollo ocasionada por los impactos negativos de las actividades humanas (Ben-Eli, 2018).

En los diferentes espacios de política internacional, la atención se ha centrado sobre la economía verde y desarrollo sostenible y ha sido en estos espacios en donde han sido formuladas y anunciadas las acciones frente a las problemáticas ambientales como los Objetivos de Desarrollo del Milenio, anunciados en la cumbre de Río de Janeiro (2002) y que parten de la Declaración del Milenio (Adamowicz, 2022). Estos objetivos buscan la implementación de los principios del desarrollo sostenible y equilibrado durante la primera década del siglo XXI (Río + 10) y han sido implementado por la mayoría de los países a partir de agendas a 2030 basados en 17 objetivos (Adamowicz, 2022; ONU, 2019).

El creciente número de definiciones, usos en la esfera internacional y al ser mezclado con conceptos como 'crecimiento verde', 'desarrollo sostenido' y, principalmente, 'desarrollo sostenible', que buscar perseguir el crecimiento económico infinito en un mundo claramente finito (Naredo, 1996). Esto ha generado que la discusión en torno a la sostenibilidad oscile, muchas veces, entre puntos de vista antagónicos: una de las posturas parece promover la conservación de los ecosistemas en estado prístino (sostenibilidad muy fuerte) y otro centrado en la preservación del sistema económico que pierde de vista el rol de la naturaleza de provisión de servicios ecosistémicos y sumidero de residuos (sostenibilidad muy débil) (Ruggerio, 2021).

Ante las diferentes perspectivas teóricas de la sostenibilidad, Gudynas (2011) propone dividir la sostenibilidad en tres esferas: débil, en donde la naturaleza es entendida como capital natural, transable a través del mercado y dominada por la búsqueda del crecimiento material; fuerte, que junto con la débil se rige por el antropocentrismo y el conocimiento científico pero que incluye elementos de justicia social y ecológica; y súper fuerte, dentro de la cual es predominante la perspectiva biocéntrica, la pluralidad de conocimientos y en donde la justicia social y ecológica son insustituibles. Esta división es también adoptada por Ruggerio (2021) para su división de las esferas de la sostenibilidad.

Un planteamiento similar al anterior, lo presentan Luffiego y Rabadán (2000), quienes dividen la sostenibilidad en tres esferas: débil, perspectiva en donde el capital natural y humano son intercambiables; integral o fuerte, que tiene en cuenta la intersección entre lo social, lo ecológico y lo económico; y superfuerte, dominada también por la visión biocéntrica, al igual que en Gudynas (2011). Desde el punto de vista de Luffiego y Rabadán (2000), aunque la esfera fuerte puede ser utópica desde el contexto actual, es deseable, para darle rigor al término sostenibilidad y tener en cuenta las interrelaciones entre los sistemas socioeconómicos y naturales.

Por otra parte, Morandín-Ahuerma et al. (2019) plantean otro tipo de sostenibilidad el cuál denominan sostenibilidad socio-ecosistémica, mientras que Ben-Eli (2018) parte del concepto de sostenibilidad sistémica. Estas dos perspectivas se alejan de igual forma de la sostenibilidad débil y junto con el enfoque superfuerte de la sostenibilidad, presentan una crítica no solo al desarrollo convencional sino a la forma en que se entienden las

relaciones entre la sociedad y la naturaleza, estas visiones buscan un entendimiento de las interrelaciones entre los sistemas socio técnicos y naturales.

Las principales diferencias se encuentran en el origen de los términos y la manera en que se analizan las interrelaciones, sin embargo, los tres enfoques a pesar de surgir de diferentes corrientes de pensamiento tienen más puntos en común que diferencias estructurales, enfoques desde los cuales se busca reivindicar formas plurales de concebir el desarrollo y la sostenibilidad. A continuación, se presentarán algunas definiciones de los conceptos de sostenibilidad débil, fuerte, sistémica, socio ecosistémica y super fuerte.

### **1.2.1 Sostenibilidad débil**

La denominada sostenibilidad débil surge bajo la lógica de la economía neoclásica y las teorías del desarrollo basadas en el crecimiento económico sin límites, en donde, el agotamiento de los recursos no renovables no pone en riesgo el crecimiento gracias a la sustituibilidad del capital natural por otros tipos de capitales (aquellos producidos por el hombre como el físico, económico, social o financiero) o desde la esperanza tecnológica (Randall, 2021). Esta narrativa se encuentra basada en la inversión en investigación para el descubrimiento de nuevas tecnologías que permitan reemplazar las disminuciones en un tipo de capital con aumentos en otros y satisfacer las demandas humanas; para que el bienestar humano no se vea afectado en el futuro, a través del mantenimiento de los flujos de riqueza agregada (Randall, 2021).

En este contexto aparece la economía verde, una de las principales corrientes de la sostenibilidad débil, busca el aprovechamiento de los procesos biológicos naturales y la producción primaria de plantas, mediante la implementación de formas de agricultura que aprovechan más eficientemente la influencia de la energía solar para la producción de bienes y servicios con menores impactos sobre el medio natural; y de esta forma desde el desarrollo sostenible, mantener las posibilidades de satisfacer las necesidades actuales sin limitar la capacidad de satisfacer las necesidades de las generaciones futuras (Adamowicz, 2022).

Por lo anterior, la implementación de políticas enfocadas en el desarrollo sostenible se relaciona con la transición hacia una economía verde (baja en carbono, eficiente, basada

---

en la conservación de recursos, de la biodiversidad y socialmente aceptable), en donde se cree que la ecologización de las actividades productivas es una transición a la mejor gestión del desarrollo inclusivo, basado en la sostenibilidad y la restauración del equilibrio ecológico (PNUMA, 2011; Adamowicz, 2022).

A su vez, dentro de esta perspectiva débil de la sostenibilidad se encuentran las posturas relacionadas al desarrollo sostenible, economía verde, entre otras que buscan ‘sostener’ en el tiempo, acorde con la postura neoclásica de la economía, la utilidad o bienestar actual y futuro (un futuro que sea al menos tan bueno como el presente) (Daly, 2013). Además, ofrecer los rendimientos físicos (flujo de energía y materiales) y servicios biofísicos de los ecosistemas, lo que incluye la capacidad para mantener estos rendimientos para un periodo de tiempo, también llamado capital natural por algunos autores (Daly, 2013).

Particularmente desde esta visión de la producción económica se asume que la energía y la materia (medida en mercancías) circulan en un sistema cerrado y con entradas ilimitadas de recursos e infinita capacidad de sumidero para las salidas, consideradas externalidades negativas, esto a pesar de la finitud de los recursos y limitada capacidad de asimilar residuos, la cual es aceptada pero no es interiorizada en el sistema económico (Ruggerio, 2021). En este sentido, el análisis económico de este enfoque se centra en los problemas relacionados a los recursos monetarios y a mantener estables estos flujos de dinero en el tiempo, para lograr el objetivo principal del crecimiento económico sostenido o desarrollo sostenible (Costanza y Daly, 1992; Martínez y Roca, 2015).

A pesar de que, el enfoque de rendimientos le brinda al concepto de sostenibilidad la posibilidad de ser medible y transferible entre generaciones desde el rendimiento entrópico (proveniente y con destino a la naturaleza), la economía se compone también de otras dimensiones físicas diferentes a energía (estructuras disipativas como poblaciones humanas y no humanas, máquinas, edificios y artefactos) que se mantienen contra las fuerzas de la entropía por un rendimiento del medio ambiente (Daly, 2013). Se concluye entonces, que el principal problema de la sostenibilidad débil consiste en la creencia de la infinitud de los recursos y siempre ligada al sistema económico y su principal medición: ‘el crecimiento’, por lo que es necesario:

*“reconocer que “sostenible” no puede significar “para siempre”. La sostenibilidad es una forma de afirmar el valor de la longevidad y la justicia intergeneracional, al tiempo que se reconoce la mortalidad y la finitud. El desarrollo sostenible no es una religión, aunque algunos parecen tratarlo como tal”* (Daly, 2013, pp. 11).

### **1.2.2 Sostenibilidad fuerte**

Desde la perspectiva fuerte de la sostenibilidad se acepta el uso del concepto de capital natural, sin embargo, contraria a la perspectiva débil, se niega que este capital pueda ser sustituible por otros tipos de capital (aquellos hechos por el hombre como la infraestructura, máquinas, mano de obra, entre otros) (Daly, 2013). Frente a la sustituibilidad de los capitales, autores como Gudynas (2011) y Naredo (1996) afirman que existe, desde su punto de vista, una complementariedad entre los diferentes tipos de capitales. Por lo tanto, se debe garantizar la salud de los ecosistemas (como parte del capital natural) en los cuales se encuentra inserta la economía y la vida en general, esto configura la base de su crítica al desarrollo convencional (Gudynas, 2011; Naredo, 1996).

Así, desde este enfoque fuerte de la sostenibilidad se considera que la sustituibilidad de los tipos de capitales, más que ser una estrategia u oportunidad real, consiste en una hipótesis de desarrollo que no ha sido comprobada en la actualidad (Randall, 2021). Esta visión se opone a la percepción de que el ser humano y, por ende, a la economía se encuentra por fuera de la naturaleza, perspectiva fomentada en particular por la economía neoclásica (Daly, 2013). La sostenibilidad fuerte percibe a la economía como parte de la naturaleza, en donde los atributos naturales no pueden ser reemplazados, debido a la incertidumbre y complejidad asociada a los sistemas socio ecológicos (Ruggerio, 2021).

Por lo cual, consiste en la comprensión de los impactos sobre los ecosistemas y la persistencia sistemas socio ecológicos para poder revertir el deterioro sobre los sistemas naturales de la Tierra (Ruggerio, 2021). Desde la perspectiva fuerte de la sostenibilidad, el enfoque busca dar cuenta de la complejidad de los sistemas socio ecológicos; abarcar factores económicos, ecológicos, sociales y políticos; tener en cuenta la equidad intergeneracional e intrageneracional; y reconocer la retroalimentación entre los sistemas socio ecológicos y su entorno (Gudynas y Acosta, 2011).

Esta visión centra su foco en las relaciones sociedad-naturaleza y sus interrelaciones en sistemas complejos, usando herramientas de disciplinas como la Ecología Social, Humana, Urbana, la Agroecología, entre otras para el estudio de estas interrelaciones (Ruggerio, 2021). Consistente con esto, se hace necesario identificar los puntos críticos y amenazas específicas que ponen en riesgo a la sostenibilidad (por ejemplo, la capacidad de carga de los ecosistemas, los límites al crecimiento y la preservación de los valores éticos, estéticos, culturales y religiosos), más allá de las consideraciones económicas y financieras tradicionales, que permita la formulación de un marco más completo y coherente de sostenibilidad (Randall, 2021).

Bajo el contexto de la relación sociedad-naturaleza el análisis de la sostenibilidad es relevante en todas las escalas espaciales (globales, nacionales, regionales, locales o del paisaje), ya que los diferentes niveles de organización de la naturaleza de los sistemas tienen algún grado de autorregulación debido a su resiliencia, resistencia o capacidad de enfrentar choques externos (Ruggerio, 2021). Al entender el sistema como un todo, las escalas territoriales o del paisaje cobran importancia y permiten la delimitación de procesos internos o su gestión integral (Gudynas, 2011; Ruggerio, 2021).

### **1.2.3 Sostenibilidad sistémica**

La sostenibilidad sistémica se basa en el entendimiento de la salud de la biosfera, la integridad del planeta y del bienestar humano como un todo, en donde el fin último es mantener la estabilidad de los equilibrios dinámicos que surgen de las interacciones de las poblaciones humanas y la capacidad de carga del entorno natural (Ben-Eli, 2018). Esta perspectiva de la sostenibilidad surge de las disciplinas del análisis de sistemas y de la cibernética desde el entendimiento de que la sostenibilidad es el estado de equilibrio de un sistema dinámico (planeta tierra).

Esta visión propuesta por autores como Ben-Eli (2018) sostiene que existen ciertas condiciones que permanecen invariables que permiten mantener la capacidad de carga de los ecosistemas y que el equilibrio dependerá de los flujos en doble vía entre las partes que interactúan en un sistema específico. Así entonces el foco del análisis de la sostenibilidad sistémica se concentra en los resultados de las interacciones de variables específicas e identificables y en evitar los efectos adversos e irreversibles sobre el medio

del que dependen, los cuales actualmente han ocasionado diferentes problemáticas para la humanidad y para el medio natural (Ben-Eli, 2018).

El objetivo de la sostenibilidad sistémica es mantener alineadas las relaciones entre la sociedad, la economía y la capacidad de los ecosistemas naturales para regenerarse y sustentar la vida, para esto se deben mantener en equilibrio las interrelaciones entre 5 principios claves o dominios, que de acuerdo a Ben-Eli (2018) son: el material, base para regular el flujo de energía y materiales; el económico, el marco de referencia que crea y administra la riqueza; la vida, base de los comportamientos adecuados en la biosfera y con las demás especies; el social, base de las interacciones sociales; y el espiritual, orientación de valores y la base de la ética universal. Esta visión se diferencia de otras perspectivas, como el desarrollo sostenible, en que propone la necesidad de repensar los 5 principios claves para poder alcanzar soluciones reales y aplicables para los problemas ambientales (Ben-Eli, 2018).

#### **1.2.4 Sostenibilidad socio ecosistémica**

Como se ha enfatizado, el ser humano al habitar un planeta finito, tanto la producción como el consumo excesivo que sustenta el crecimiento ilimitado es inviable en el tiempo, además de los graves daños ecosistémicos que generan a largo plazo y a las condiciones de vida de las personas, lo que se traduce en un fracaso socio ecosistémico, por lo tanto, es necesario abordar el problema global desde la complejidad y a partir de cambios profundos en la actividad humana (Morandín-Ahuerma et al., 2019).

Estos cambios en la sociedad como subsistema deben estar centrados en la perspectiva de la conservación de la vida en todas sus formas y del bienestar, basados en la ética y la relación con la naturaleza y con los demás seres humanos (Morandín-Ahuerma et al., 2019). Por lo tanto, el sistema económico debe proteger la vida y no al contrario, esta reorientación de las capacidades adaptativas debe basarse en el conocimiento y los valores éticos y estéticos; desincentivar el consumo innecesario y la acumulación de bienes; y proponer una nueva perspectiva del bienestar (Morandín-Ahuerma et al., 2019).

Desde la sostenibilidad socio ecosistémica, autores como Morandín-Ahuerma y colaboradores (2019) proponen una reivindicación de las cosmovisiones campesinas e

indígenas, en dónde la relación entre la cultura y la naturaleza ocupa un lugar central. Desde algunas de estas cosmovisiones (indígenas y campesinas) la perspectiva de sostenibilidad puede tener al ecocentrismo, en donde se percibe a los seres humanos como parte de la naturaleza y ubican a esta última en el centro del análisis (Morandín-Ahuerma et al., 2019).

Esta visión del mundo posee una orientación hacia el respeto de la vida en todas sus manifestaciones (naturaleza, especies que lo habitan y semejantes); fomenta una vida en armonía con el entorno, los imaginarios creativos, amorosos y estéticos y de la espiritualidad; el consumo trasciende lo accesorio y se concentra en la satisfacción de las necesidades de subsistencia según la cultura; y redefine la relación entre los seres humanos y no humanos (Morandín-Ahuerma et al., 2019).

A partir de la noción de complejidad y conocimiento transdisciplinario se busca ampliar la noción de sostenibilidad desde conceptos como la autopoiesis (introducido Humberto Maturana y Francisco Varela) que redefine la perspectiva de los sistemas vivos y mecánicos, estos sistemas son comprendidos como unidades de procesos en continua construcción, transformación y destrucción en relaciones de retroalimentación entre los diferentes componentes dentro de sus ecosistemas; donde desde las unidades más simples a las más complejas en su conjunto estructural, forman la vida y se basan en su funcionamiento interdependiente (Varela & Maturana, 1980).

En este contexto la visión de la sostenibilidad socio ecosistémica se establece como: “*un proceso autopoiético de acoplamiento de la cultura con la estructura y función de la biosfera*” (Morandín-Ahuerma et al., 2019, pp. 11). De esta forma se entiende la sostenibilidad como la relación entre el sistema cultura como elemento vivo que incluye sus elementos constitutivos (conocimientos, creencias, política, economía, arte y la religión), la interacción entre culturas y la biosfera, formada por los ecosistemas (subsistemas) y que mantienen los procesos de control, regulación, composición química y física (Morandín-Ahuerma et al., 2019).

En este sistema los seres humanos y sus sistemas organizacionales se encuentran anidados a la biosfera en niveles espaciales y escalas que van de lo global a lo local (ecología humana), y que en diferentes gradientes se acoplan a las dinámicas de los

procesos naturales (Moradín-Ahuerma et al., 2019). El grado de coherencia determinará el nivel de sostenibilidad socio ecosistémica, no como la suma de sus partes, sino por las relaciones o propiedades emergentes que se desprenden del todo (Ángel-Maya, 2013; Moradín-Ahuerma et al., 2019).

### **1.2.5 Sostenibilidad superfuerte**

La sostenibilidad super fuerte corresponde a una corriente de pensamiento que surge desde la crítica al desarrollo sostenible y al paradigma de la sostenibilidad que acompaña a esta visión. Desde este enfoque la sostenibilidad se trata de un enfoque integral que abarca las diferentes dimensiones de la vida, teniendo en cuenta los aspectos económicos, sociales y culturales (Gudynas, 2011). Este enfoque parte de la premisa (al igual que los demás enfoques de la sostenibilidad a excepción del débil) de que el ser humano hace parte integral de la naturaleza y que, por lo tanto, la sostenibilidad busca la continuidad de la vida en todas sus expresiones, no solamente humanas (Gudynas, 2011).

Este enfoque 'super fuerte' de la sostenibilidad es consistente con nuevas corrientes como el decrecimiento, el 'Buen Vivir' o la desmaterialización de la economía, las cuales buscan la disminución del consumo de materiales y energía, y se oponen a las propuestas de desarrollo occidentales y a la visión antropocéntrica de la economía (Gudynas, 2011; Ruggiero, 2021). Estas alternativas a las ideologías de progreso tienen su raíz en las cosmovisiones de diferentes pueblos indígenas de Latinoamérica como respuesta al pensamiento occidental y propone fomentar una sociedad que abandone la obsesión por el crecimiento económico que no respeta los límites y capacidades de la naturaleza para sostener las necesidades humanas (Gudynas, 2011). Además, propone repensar las relaciones entre el ser humano y la naturaleza que permita continuar con la vida en el planeta.

## **1.3 La Sostenibilidad en los Sistemas agroforestales**

Los sistemas agroforestales (SAF de ahora en adelante) son sistemas integrados por vegetación de bosque, actividades agrícolas y en algunos casos producción animal. Dentro de los SAF coexisten dos o tres componentes básicos: árboles maderables, principalmente; sistemas de producción agrícola establecidos para la producción de alimentos (Moreno, 2007); y sistemas de producción animal de especies bovinas, caprinas,

ovinas, entre otras, los cuales pueden ser extensivos, intensivos o trashumantes (Marín et al., 2011).

Si bien los SAF han sido implementados por comunidades campesinas e indígenas durante miles de años, el término 'sistemas agroforestales' fue acuñado de manera reciente y empleado en estudios técnicos y literatura científica desde la década de 1970 por ininidad de autores, como resultado se fundaron diferentes organizaciones a nivel mundial como el Centro Internacional de Investigaciones Agroforestales (ICRAF por sus siglas en inglés) fundado en 1978 (ICRAF, 2023). Por su parte, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) empleó el término hasta la década de 1990 y lo definió como: *"un grupo de prácticas y sistemas de producción, donde la siembra de los cultivos y árboles forestales se encuentran secuencialmente y en combinación con la aplicación de prácticas de conservación de suelo"* (FAO, 1999).

Lorenz y Lal (2018) agrupan los SAF en tres grupos principales: agro silvícolas (cultivos + árboles), silvopastoriles (pastos o animales + árboles) y agrosilvopastoriles (cultivos + árboles + pasturas / animales). En algunos casos pueden ser divididos en un mayor número de categorías según la variación de los cultivos, las condiciones climáticas, factores socio ecológicos o la latitud en la que se encuentren ubicados los sistemas (Dagar & Tewari, 2018).

El mejoramiento de la eficiencia de los sistemas productivos para enfrentar los retos de la agricultura moderna, en donde la presión sobre los ecosistemas naturales y la disponibilidad de tierras hace necesaria la reevaluación de las prácticas y sistemas de cultivo empleados, los SAF basados en la diversificación de la producción en un mismo terreno, se han convertido en una alternativa importante (da Silva Araújo et al., 2022). Debido a los múltiples beneficios que ofrece, la agroforestería se ha convertido en una de las prácticas agrícolas más comunes a nivel mundial y se estima que es practicada por más 1200 millones de personas para la producción y gestión de la tierra en todo el mundo (FAO, 2013).

Estos sistemas buscan alcanzar una amplia variedad de objetivos desde lo ecológico, social y económico (Dagar & Tewari, 2018). De acuerdo a Partey y otros (2017) y Thiessen y otros (2015), dentro de los principales beneficios que aportan los SAF se encuentran:

- Favorecer la seguridad alimentaria, debido a que incrementa la variedad de fuentes de alimento al incrementar la diversidad biológica de los sistemas.
- Mejorar la provisión de servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono, disminución de la erosión, la fijación de nitrógeno en el suelo y el hábitat para especies silvestres a través de la integración entre diferentes especies de plantas y el incremento de la biodiversidad, así como el mantenimiento de la integridad y multifuncionalidad de los ecosistemas.
- Incrementar de la productividad por unidad de área debido a las mejoras en la calidad del suelo gracias al incremento de la materia orgánica en el suelo y de la capacidad de retención de agua como resultado del sombrero.
- Disminuir la dependencia de insumos agrícolas a través de la inclusión de especies de plantas para la fijación de nitrógeno, provisión de forraje, leña y de productos forestales no maderables.

Como se mencionó en la introducción del presente trabajo, ante la creciente popularidad e implementación de los SAF como alternativa a la producción agrícola tradicional, se considera que, la evaluación de la sostenibilidad de estos sistemas debería considerarse como un elemento transversal a su aplicación (Rodríguez, 2018). Así, poseer como meta la sostenibilidad puede ayudar a la preservación de la multifuncionalidad y la resiliencia de los sistemas socio ecológicos en el tiempo y de las relaciones ecosistema-cultura (Parewa et al., 2018; Rodríguez, 2018).

Por este motivo, diferentes autores han abordado el concepto de la sostenibilidad y de los indicadores para su medición en SAF, en estas evaluaciones los conceptos y enfoques, así como las variables e indicadores empleados han variado a través del tiempo (da Silva Araújo et al., 2022; Parewa et al., 2018; Rathore et al., 2019; Sánchez, 1987). Por ejemplo, Sánchez (1987) parte de la premisa (aceptada en la literatura) de que los SAF son sostenibles y que mejoran las propiedades de los suelos en donde son aplicados, sin embargo, existe una sobre generalización de esta idea y que si bien pueden mejorar la productividad en la mayoría de casos, sus beneficios deben ser analizado de manera diferenciada para los diferentes tipos de suelo.

Conclusión similar a la presentada por da Silva Araújo et al. (2022) en donde se presenta el sesgo hacia los indicadores económicos y sociales en las evaluaciones de la sostenibilidad para estos sistemas. Sin embargo, en otras investigaciones, como se evalúa más adelante, los autores evalúan las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, a través de indicadores como el ciclado de nutrientes, la captura de carbono, producción de biomasa y la biodiversidad (Alegre et al., 2017; Castillo-Rojas, 2020; Kaba et al., 2021; Huang et al., 2021).

Adicionalmente, se describen diferentes mecanismos de la agroforestería, con el propósito determinar los diferentes beneficios para la salud, prevención de la degradación del suelo y la sostenibilidad del suelo y se llega a la conclusión de que la agroforestería posee la capacidad de proveer diferentes beneficios sobre la sostenibilidad de los suelos, siendo una alternativa frente a los sistemas convencionales, debido a que permite alcanzar seguridad alimentaria, estabilidad ecológica y mejoramiento de las condiciones económicas (empleo e ingresos) para las poblaciones que decidan implementarlos (Parewa et al., 2018; Rathore et al., 2019).



## 2. Metodología

En el presente trabajo se realizará un análisis sistemático de bibliografía basado en la cienciometría y la teoría crítica, en dónde el objeto de análisis serán los artículos presentes en la literatura científica relacionada a la producción a partir de sistemas agroforestales y la evaluación de su sostenibilidad (Guevara Patiño, 2016; Silva Araújo et al. 2022). Esta revisión sistemática se realiza en el marco de la investigación o revisión documental que busca analizar las investigaciones previas en torno al tema de investigación propuesto, para este caso en particular en la literatura científica reciente (Guevara Patiño, 2016).

Se busca identificar la postura teórica relacionada a la sostenibilidad para analizar el enfoque teórico y metodológico de los autores para realizar la evaluación de la misma (criterios, indicadores y variables empleadas), a su vez se realizarán comparaciones entre los elementos constituyentes de los diferentes textos con base en el marco teórico presentado para la sostenibilidad (Galeano, 2018; Vasilachis de Gialdino, 2006).

Se aclara que no se trata de una revisión exhaustiva del estado del arte de la sostenibilidad en los SAF, sino que se emplea la herramienta de revisión documental para analizar los enfoques de la sostenibilidad en las evaluaciones para SAF. Los lineamientos metodológicos para el trabajo, se plantean con base en las herramientas de cienciometría y revisión sistemática de bibliografía, como parte del marco de estado del arte, en particular de la revisión documental, para lo cual se toma en cuenta los trabajos realizados por Hernández-Ruiz et al. (2017), McDonag et al. (2000) y Silva Araújo et al. (2022). A continuación, se presentan los pasos del ejercicio de revisión.

## 2.1 Criterios de búsqueda y selección

Se realizará la búsqueda de artículos originales en las bases de datos 'Scopus', 'Dialnet', 'Scielo' y 'Redalyc' delimitada para el período 2012 a 2022 (hasta el mes de marzo). El rango de los años seleccionados se basa en que al tratarse de una revisión sistemática de literatura y no de una revisión histórica extensiva del tema, los últimos 10 años brindan material bibliográfico suficiente sobre la actualidad del tema y para cumplir con los objetivos propuestos del trabajo.

Para el caso de la base de datos Scopus, se empleó la ecuación booleana "Sustainab\* AND (agrofores\* OR silvopastoral)" en el título del artículo, limitando la búsqueda a artículos publicados entre 2012 y 2022. Para las bases de datos en español, se empleó la ecuación booleana (sostenib\* OR sustentab\*) AND (agroforest\* OR silvopast\*), activando los filtros de año para 2012 a 2022. Adicionalmente, se limitó la búsqueda a los artículos de revista o artículo cuando la base de datos así lo permitió, como el caso de Dialnet y Redalyc, mientras que para la base de datos de Scielo no lo permitió, por lo cual se realizó la búsqueda de manera general para todo tipo de documentos desde el motor de búsqueda.

### 2.1.1 Criterios de inclusión y exclusión

A partir de los artículos encontrados en las diferentes bases de datos consultadas se escogieron los artículos originales publicados en inglés y español teniendo en cuenta los criterios presentados en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1:** Criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos originales en español e inglés	Artículos de revisión o diferentes a artículos originales en idiomas diferentes a inglés y español
Texto completo y de libre acceso en su texto completo	Artículos duplicados o no disponibles de libre acceso en su texto completo
Artículos publicados entre 2017 a 2022	Artículos que no se ocupan directamente del tema de la sostenibilidad en sistemas agroforestales

**Fuente:** Elaboración propia

### **2.1.2 Selección de artículos**

Los criterios de elegibilidad y de exclusión se aplicarán sobre los artículos encontrados en las diferentes bases de datos. Para el caso de las bases de datos en español no se cuenta con la posibilidad el filtrado específico para los títulos de los artículos, por lo cual, se realizó la búsqueda manual en los títulos de las palabras claves: “sustentab” y “sostenib”. Esta búsqueda se realizó a través de herramientas de búsqueda manual en las hojas de cálculo de Excel desde los archivos .csv y .xls descargados directamente de estas bases de datos.

Posteriormente a la aplicación de los criterios de elegibilidad se analizaron los objetivos de investigación de los artículos recuperados, esto con el fin de identificar si los artículos se ocupan directamente del análisis de la sostenibilidad para sistemas agroforestales (tercer criterio de exclusión).

## **2.2 Extracción y análisis de datos**

Para los artículos seleccionados se extraerá directamente de los textos completos la siguiente información: problemas ambientales asociados al estudio; el método de evaluación de la sostenibilidad, los elementos, indicadores, variables y criterios tenidos en cuenta en el método de evaluación; y el enfoque de sostenibilidad evaluado en cada artículo a partir de los criterios, categorías tenidas en cuenta y el grado de complejidad del análisis (esferas de la sostenibilidad evaluadas).

A partir de los datos extraídos, se iniciará determinando cuáles son los problemas ambientales que motivan el análisis de la sostenibilidad para estos sistemas en particular; luego las metodologías aplicadas con sus respectivos criterios de evaluación; y, por último, los elementos constitutivos de la sostenibilidad que fundamenta la evaluación de los SAF, con base en los enfoques de la sostenibilidad presentados en el capítulo 1. Estos datos serán sometidos a tratamientos de datos a través de estadística descriptiva, con la finalidad de clasificarlos y agruparlos en las categorías que se consideren pertinentes.

La definición de las categorías de análisis, así como los indicadores, variables y criterios se realizará empleando la información recopilada de los artículos seleccionados, es decir, serán definidas posterior a la lectura y análisis de los artículos y de información secundaria

complementaria en caso de ser requerida. La definición de las categorías se realizará a partir de la segmentación de la información para cada elemento que se busca analizar del artículo, posteriormente esta información será compilada para determinar conglomerados o grupos que poseen características similares y teniendo en cuenta dimensiones de análisis que serán definidas para cada categoría de información (Sánchez-Martí & Ruíz-Bueno, 2018).

Posteriormente, a través de un análisis crítico de los discursos encontrados se determinarán cuáles son los elementos predominantes que constituyen el enfoque de la sostenibilidad evaluada por los autores para los sistemas agroforestales. Estos elementos constituyentes serán analizados desde diferentes enfoques de la sostenibilidad como los soportados por los estudios de Ben-Eli (2018), Gudynas (2011), Luffiego y Rabadán (2000), Morandín-Ahuerma et al. (2019), y Ruggerio (2021) presentados en el primer capítulo: sostenibilidad débil, fuerte, socioecosistémica, sistémica y superfuerte.

## **2.3 Selección de artículos**

Como resultado de la búsqueda de información en las 4 bases de datos mencionadas en la metodología, se obtuvieron datos para 1030 artículos en el período 2012 a 2022 para los cuales se recopiló información referente a autores, título del artículo, año de publicación, nombre de la publicación, volumen, páginas y el vínculo de dónde se extrajo la información.

La Tabla 2-2 muestra que de los 1030 artículos encontrados el 68% de los artículos corresponden a la base de datos Redalyc, el 13% a Dialnet, 10% a Scielo y el 9 % restante a Scopus. Sin embargo, las bases de datos en español no permiten filtrar adecuadamente los artículos para las diferentes partes del texto (título, resumen, palabras claves), por lo cual, se realizó esta búsqueda de manera manual como se describe en la metodología para los títulos (filtro 1 en la Tabla 2-2) para estas bases de datos (Dialnet, Scielo y Redalyc).

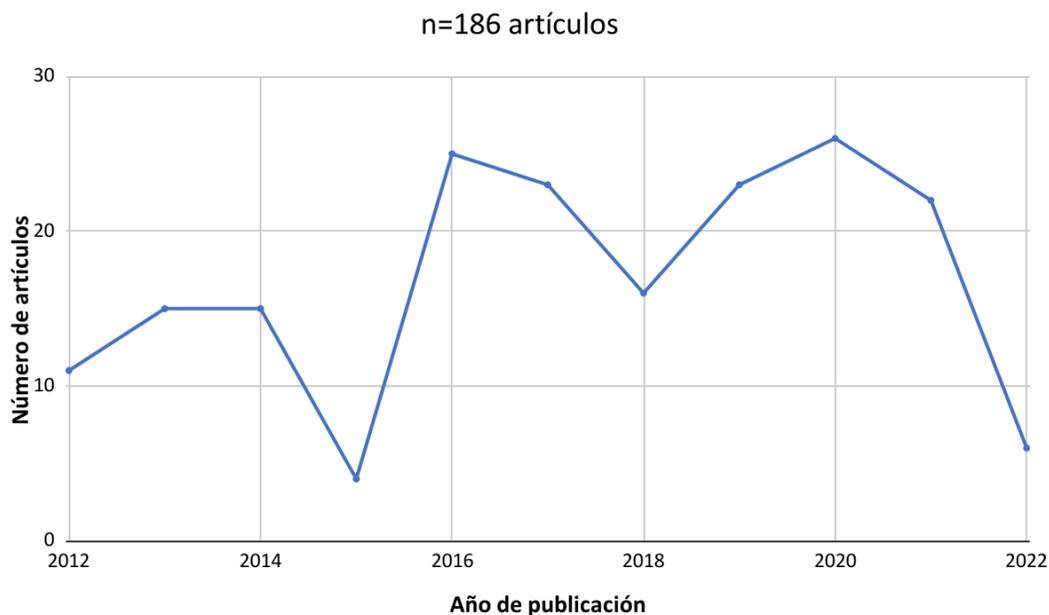
**Tabla 2-2:** Artículos encontrados en la búsqueda (2012-2022).

Base de datos	Intervalo	Artículos obtenidos búsqueda	Artículos obtenidos (filtro 1)
Scopus	2012-present	92	92
Dialnet	2012-2022	138	36
Scielo	2012-2022	102	15
Redalyc	2012-2022	698	57
Compilado (todas las bases de datos)	2012-2022	1030	200
Compilado (sin duplicados)	2012-2022	1030	186

**Fuente:** Elaboración propia

Como resultado del primer filtro, se redujo el número de artículos en un 82 % obteniendo 186 artículos para la revisión en el período 2012 a 2022, los cuáles se distribuyen a lo largo de los años como muestra la Figura 2-1. Se puede observar que para el período 2016 a 2021 se encuentran la mayoría de artículos con un promedio de más de 20 artículos publicados sobre el tema por año.

Mientras que para el período 2012 a 2016 el promedio se encuentra por debajo de 15 artículos por año, siendo los años con mayor número de artículos 2013 y 2014 y para 2015 se observó el mayor decrecimiento en la dinámica de publicaciones con 4 artículos (Figura 2-1). Por otra parte, para el año 2022 se encontraron 6 artículos, debido a que en el momento de la búsqueda (marzo de 2022) todavía transcurría el primer trimestre del año.

**Figura 2-1:** Número de artículos publicados sobre sostenibilidad en SAF.

**Fuente:** Elaboración propia

De los 186 artículos resultantes de la búsqueda para el período 2012 a 2022 se seleccionaron los artículos correspondientes al período 2017 a 2022 (hasta marzo), los cuales concentran el 56 % del total de artículos de la búsqueda y al tratarse de los artículos más recientes permiten hacer la revisión del estado actual del tema de interés. Como resultado (Tabla 2-3) se obtuvieron 116 artículos luego de eliminar los artículos duplicados, artículos y se procedió a la recuperación de los textos completos, de los cuales se lograron recuperar 103 (89 %) relacionados con el tema de interés.

**Tabla 2-3:** Artículos recuperados (2017-2022).

Base de datos	Intervalo	Tipo de documento	Artículos obtenidos
Scopus	2017-presente	Artículo	72
Dialnet	2017-2022	Artículo de revista	22
Scielo	2017-2022	Artículo	7
Redalyc	2017-2022	NA	28
<b>Compilados bases de datos</b>	2017-2022	Artículos	116
<b>Artículos completos recuperados</b>	2017-2022	Artículos	103

**Fuente:** Elaboración propia

Con los 103 artículos completos recuperados se procedió a analizar el objetivo de investigación planteado con la finalidad de identificar los artículos con los cuales se trabajarán los objetivos propuestos en el marco de la investigación, es decir, aquellos artículos que abordan directamente el análisis de la sostenibilidad ambiental. Como resultado para el periodo 2017 – 2022 (en curso) se seleccionaron 68 artículos para la revisión, los cuales pueden ser detallados en el Anexo 1: Artículos seleccionados para la revisión.

Se encontró que el 67 % de los artículos se encuentran escritos en idioma inglés (45 artículos), mientras que el 33 % estaban en español, se aclara que se excluyeron aquellos artículos escritos en un idioma diferente a estos dos como se describió en esta misma sección metodológica. En cuanto a las bases de datos más representativas en los artículos seleccionados, se encontró que Scopus tenía el 63% del total de artículos (43 artículos), seguido por Redalyc con el 16% (11 artículos) y Dialnet con el 12% (8 artículos). Además, se encontraron 6 artículos que estaban en más de una base de datos.

Además, se identificó que las revistas (*Journals*) con mayor representatividad para los artículos seleccionados fueron *Land*, una revista internacional e interdisciplinaria que publica investigaciones sobre las relaciones entre la tierra y otros componentes de los ecosistemas como el agua, la energía y la biodiversidad, con 6 artículos (8,82% del total). *Agroforestry Systems*, una revista científica internacional dedicada a publicar investigaciones originales relacionadas con SAF, y *Sustainability*, una revista transdisciplinaria dedicada a la publicación de artículos sobre la sostenibilidad y sus dimensiones, tuvieron cada un 5 artículo seleccionado (7,35% del total).

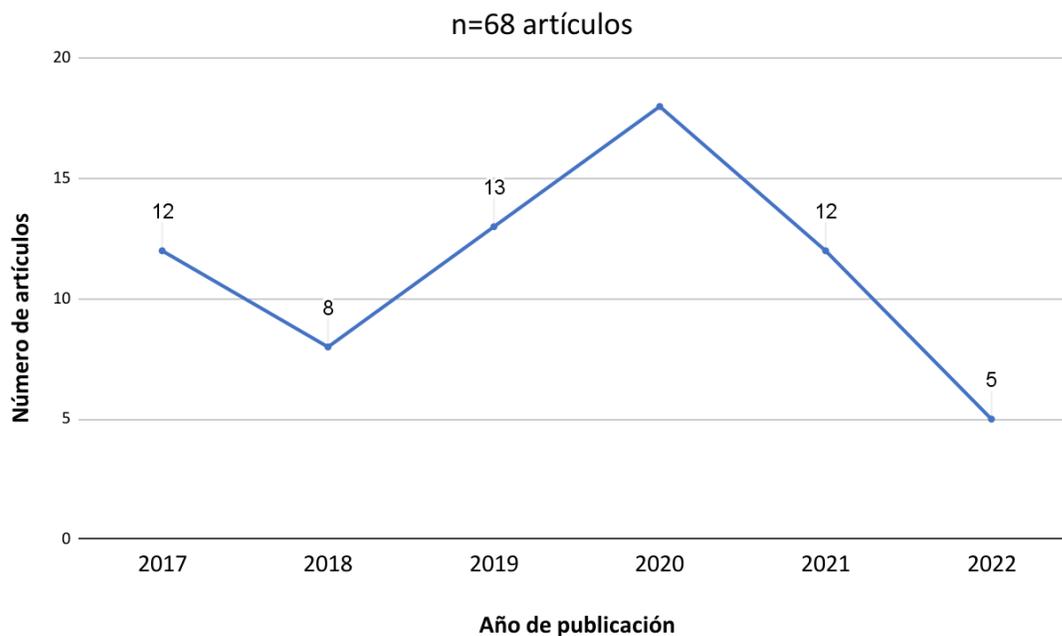
Es relevante mencionar la Revista Ciencia e Investigación (*Journal of Science and Research*), donde se publicaron 3 artículos de los seleccionados, una revista electrónica de difusión científica de la Universidad Técnica de Babahoyo Ecuador, así como las revistas *Sustainability Science* (artículos sobre las relaciones sociedad-naturaleza) y *Forests* (publicación de artículos sobre forestería y ecología forestal), ambas con 2 artículos seleccionados para la revisión.

Es interesante destacar que los 45 artículos restantes (66% del total) se publicaron en diferentes revistas. Aunque las revistas más reconocidas en el tema ocupan un lugar

importante en el estudio de la sostenibilidad, se encontraron 51 revistas científicas diferentes que abordan el tema de la sostenibilidad para los SAF desde perspectivas diversas, no solo desde los círculos que se ocupan directamente de la sostenibilidad o de los SAF.

Los 68 artículos seleccionados se distribuyen como muestra la Figura 2-2, los artículos abordan el tema del análisis de sostenibilidad en sistemas agroforestales, por lo cual, se tomarán estos artículos como base para la identificación de los problemas ambientales, los elementos constituyentes del análisis de la sostenibilidad y los enfoques empleados en estos análisis.

**Figura 2-2:** Artículos publicados para el período 2017 – 2022 seleccionados.



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.Resultados y discusión**

En este capítulo se presentan los hallazgos más importantes de la revisión realizada en relación a los enfoques de sostenibilidad empleados en las evaluaciones para SAF. Para poder llegar a determinar el enfoque de cada uno de los autores se empezó por identificar los problemas ambientales abordados en las investigaciones, luego los criterios de evaluación de la sostenibilidad para SAF considerados por los autores y por último los elementos constituyentes de las investigaciones. De esta forma en este capítulo se concentra el desarrollo de los 3 objetivos específicos y del objetivo general de la revisión propuesta por el presente trabajo.

Para la construcción de este capítulo se tuvieron en cuenta los conceptos desarrollados durante el capítulo 1, las problemáticas enunciadas en la introducción, así como las dimensiones, enfoques y categorías de análisis presentadas hasta el momento. La discusión será presentada a lo largo del capítulo, en donde los resultados entablarán un dialogo para identificar los puntos fuertes y débiles de las diferentes evaluaciones de la sostenibilidad para SAF analizadas.

Asimismo, los resultados obtenidos en esta revisión se esperan sean de utilidad para futuras investigaciones, para la selección de criterios de evaluación de la sostenibilidad, identificación de desafíos para su implementación y analizar forma en que los autores enfrentan los diferentes problemas ambientales actuales desde la implementación de los SAF como alternativa productiva.

### **3.1 Problemas ambientales abordados en las investigaciones**

Partiendo de una visión compleja de lo ambiental (relaciones ecosistema-cultura), se consideran problemas ambientales como aquellas transformaciones no adaptativas de la cultura sobre el medio natural, en dónde, las dimensiones consideradas trascienden los elementos físicos o biológicos, sino que son transversales al sistema social y a la cultura (el paradigma tecnológico, organizaciones humanas y símbolos) (Ángel-Maya, 2013; Noguera, 2009).

En otras palabras, si bien todas las transformaciones o actividades humanas generan algún impacto ambiental (entendiendo lo ambiental desde la complejidad), son aquellas transformaciones con efectos negativos sobre el medio natural (impactos ambientales) conllevan a problemas ambientales. A su vez estos efectos negativos sobre el medio natural, en muchas ocasiones generan como resultado nuevos problemas ambientales, los cuales pueden verse reflejados sobre el subsistema social, económico, cultural o ecológico.

Teniendo en cuenta lo anterior, para los 68 artículos completos recuperados y seleccionados se realizó la identificación de los problemas ambientales de acuerdo al primer objetivo específico del presente trabajo. Para determinar el problema ambiental se hizo una revisión y extracción de párrafos textuales de las secciones introductorias y en algunos casos los resúmenes de los artículos.

Con los apartados extraídos se procedió a identificar los problemas ambientales abordados en las investigaciones, en esta revisión y análisis de datos también se incluyen algunos impactos ambientales asociados debido a que en algunos artículos no se hace explícito el problema ambiental o no se encuentra detallado, por lo cual para la identificación también se tuvieron en cuenta los impactos o consecuencias que se relacionan con el problema ambiental.

Se encontraron en la revisión 30 problemas ambientales e impactos relacionados para los 68 artículos seleccionados para la revisión, los cuales se presentan a continuación:

- Problema técnico productivo

- Cambio climático
- Variabilidad climática (incremento de la temperatura, sequías)
- Incremento en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero
- Deforestación por presiones antrópicas
- Incendios forestales
- Pérdida de cobertura vegetal
- Desertificación
- Degradación de suelos y erosión
- Contaminación de suelos
- Contaminación de fuentes hídricas
- Deterioro o fragmentación de los ecosistemas naturales
- Destrucción de hábitats naturales de especies de interés
- Abandono rural y abandono de tierras
- Desplazamiento de comunidades indígenas
- Conflictos por la tenencia de la tierra
- Pérdida de valores culturales o alteraciones en los sistemas sociales
- Pobreza
- Crecimiento poblacional
- Pandemia SARS-CoV-2
- Deterioro en la salud humana o animal
- Disminución en la participación social
- Pérdida de la biodiversidad
- Disminución en la oferta de biomasa
- Disminución en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos
- Inseguridad alimentaria
- Desabastecimiento de materiales y recursos
- Incremento en la demanda humana por recursos naturales
- Incremento de precios (alimentos, materiales, insumos)
- Cambio en el uso del suelo y expansión de la frontera agrícola

Posteriormente, estos problemas e impactos ambientales asociados fueron agrupados en 10 categorías de problemas ambientales (ver Tabla 3-1) principales con la finalidad de cumplir con el objetivo específico, facilitar el cálculo de estadísticas descriptivas y el análisis de los hallazgos más relevantes. Se aclara que cada uno de los artículos puede

tener más de un problema ambiental asociado y esto se puede comprobar al realizar la sumatoria del número de artículos asociados a las categorías de problemas ambientales, lo que da como resultado 197 y un promedio de 2,89 problemas ambientales por artículo.

**Tabla 3-1:** Categorías de problemas ambientales.

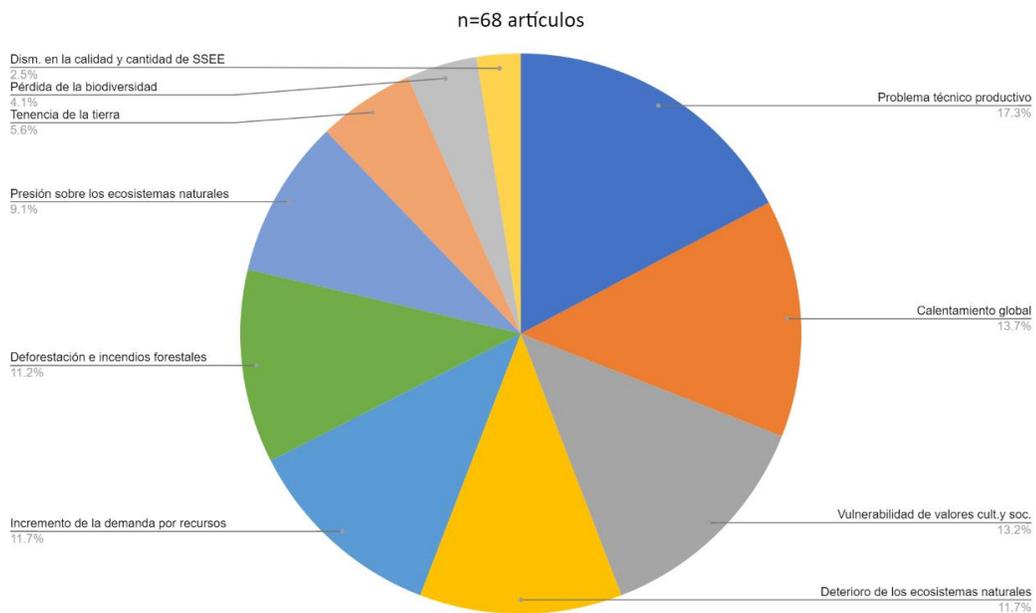
Problema ambiental	Descripción o categorías agrupadas	Número de artículos
Problema técnico productivo	Problemática relacionada a la productividad de cultivos; rendimiento por hectárea de los cultivos; el manejo y administración de recursos o insumos; y la articulación de la ciencia y la tecnología con la producción	34
Calentamiento global	Problemas asociados al incremento de la temperatura a nivel mundial; períodos de variabilidad climática y sus efectos relacionados como sequías o inundaciones; y el incremento de las emisiones de los Gases de Efecto invernadero (GEI)	27
Vulnerabilidad de valores culturales y sociales	Pérdida o alteración de los valores culturales, medios y modos de vida, así como alteraciones en la dinámica poblacional, la participación ciudadana de las comunidades que habitan los territorios y el incremento de la pobreza que se relaciona a estas alteraciones	26
Deterioro de los ecosistemas naturales	Degradación o fragmentación de los ecosistemas naturales por la acción humana relacionada a la contaminación de suelos y contaminación de fuentes hídricas que lleva a la destrucción de hábitats de especies de interés	23
Incremento de la demanda por recursos	Incremento de la demanda de recursos naturales como materiales, alimentos e insumos necesarios para las sociedades humanas relacionados estrechamente con los sistemas productivos y ecosistemas naturales. Los incrementos pueden derivar en la inseguridad alimentaria, incremento de los precios o el desabastecimiento	23
Deforestación e incendios forestales	Pérdida de la cobertura vegetal boscosa tanto por acción humana como por aspectos naturales como los incendios forestales que puede llevar a la desertificación de los ecosistemas	22
Presión sobre los ecosistemas naturales	Modificaciones en el uso o vocación del suelo por factores como la expansión de la frontera de producción agropecuaria incrementando la presión sobre los ecosistemas naturales	18
Tenencia de la tierra	Conflictos generados por la propiedad de la tierra asociado al abandono de las poblaciones rurales de sus territorios y el desplazamiento forzado de comunidades campesinas o indígenas	11

Problema ambiental	Descripción o categorías agrupadas	Número de artículos
Pérdida de la biodiversidad	Disminución o pérdida de la diversidad biológica de seres vivos en el planeta derivada de la presión de los seres humanos sobre los ecosistemas naturales	8
Disminución en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos	Disminución en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos o beneficios que provee la naturaleza a los seres humanos	5

**Fuente:** Elaboración propia

En la Figura 3-1 se puede observar la distribución de los diferentes problemas ambientales que fueron identificados en los artículos seleccionados para la revisión (68 artículos). Los porcentajes fueron calculados sobre la sumatoria total de los problemas ambientales tenidos en cuenta (197). Los problemas técnico productivos fueron los más recurrentes con el diecisiete por ciento (17 %) con respecto al total de recurrencias para las categorías de problemas ambientales; seguido por el cambio climático con el catorce (14 %) y la vulnerabilidad de valores culturales y sociales con 13 %; el deterioro de los ecosistemas naturales y el incremento de la demanda por recursos ambos con el 12 %; la deforestación y los incendios forestales (11 %); y la presión sobre los ecosistemas naturales con el 9 %.

**Figura 3-1:** Problemas ambientales identificados en las investigaciones.



**Fuente:** Elaboración propia

Se evidencia que los problemas relacionados a la producción como la disminución en los rendimientos de cultivos, el incremento de enfermedades en los cultivos, el manejo de los sistemas y el incremento de la demanda humana por recursos motivan en gran medida el estudio de la sostenibilidad de los SAF (presente en el 50 % de los artículos analizados).

Por otra parte, las preocupaciones frente al cómo pueden afectar a los SAF los cambios en los ecosistemas naturales (deterioro, presiones, la deforestación o incendios forestales) y presiones externas como el calentamiento global ocupan un lugar central dentro de las motivaciones para emprender evaluaciones de la sostenibilidad para SAF, representando en su conjunto el 46 % del total. Lo anterior contrasta con la poca representatividad de problemas ambientales como la tenencia de la tierra, la pérdida de la biodiversidad o la disminución en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos, los cuales suman en conjunto 12 % del total.

De manera preliminar para los estudios de la sostenibilidad se puede identificar que los artículos analizados no otorgan un papel fundamental a las problemáticas relacionadas con la integralidad, multifuncionalidad o biodiversidad de los ecosistemas relacionados con los sistemas que analizan. Se evidencia entonces que los cambios en los ecosistemas naturales cobran importancia, desde la perspectiva de una parte importante de los autores que hacen parte de la revisión, en la medida en que afectan los sistemas productivos o económicos y su relación directa con la capacidad del sistema natural para mantener constantes los rendimientos físicos de alimentos y materias primas que los sustentan.

Lo anterior corresponde al enfoque utilitarista de la economía, basada en una visión extractivista o productivista que determina la relación entre los grupos humanos y los ecosistemas naturales, la cual es promovida desde el paradigma del desarrollo sostenible, la economía o crecimiento verde, entre otros (Adamowicz, 2022; Daly, 2013). Estos conceptos han sido promovidos desde los organismos internacionales y se reflejan en las evaluaciones de la sostenibilidad que son realizadas bajo este paradigma (Ben-Eli, 2017; Ruggerio, 2021).

La ecologización de la economía busca establecer lazos entre las ciencias naturales y las ciencias sociales para incluir una visión inter y transdisciplinaria para enfrentar las problemáticas económicas, sociales y ecosistémicas desde una visión más holística del

conocimiento (Odum, 2006; Adamowicz, 2022). Esta visión de los impactos humanos se puede constatar en la preocupación de los diferentes autores por el cambio climático, incendios forestales, el deterioro y presión sobre los ecosistemas naturales, así como en las afectaciones sobre los valores sociales y culturales.

### **3.2 Criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad en los SAF**

Posterior a determinar los problemas ambientales para los 68 artículos seleccionados se realizó la identificación de los criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad en los SAF analizados. La extracción de información para identificar los criterios se realizó a partir de las secciones metodológicas y de resultados de los diferentes artículos que fueron seleccionados. En un primer acercamiento se sistematizó información para 603 indicadores y variables empleadas por los diferentes autores en 6 dimensiones principales: económica, productiva, ecológica, ecosistémica, social y cultural.

De manera inicial, es necesario aclarar que ante el volumen de información se hace necesario categorizar y agrupar información para realizar su análisis. Por lo tanto, se partió de la información recopilada para variables (características o propiedades de medición cuantitativas o cualitativas) e indicadores (medidas de representación de variables no medibles de manera directa) y se empleó la categoría de criterio para agrupar variables e indicadores (Espinoza, F., 2019). Esta categoría se considera un elemento general y armonizador empleado por los diferentes autores de los artículos revisados, con la finalidad de evaluar el desempeño de los SAF con respecto a la sostenibilidad dentro de los modelos propuestos.

Para este proceso se analizó el listado inicial de 603 variables e indicadores empleados por los autores para evaluar la sostenibilidad en SAF y se procedió a agruparlos para las 6 categorías generales definidas. Posteriormente para la agrupación de variables e indicadores, se procedió a identificar las similitudes y se encontró que en una amplia variedad de estos en algunos casos eran el mismo criterio de evaluación, simplemente expresado en diferentes palabras o con diferentes nombres. Por lo cual, fueron agregados y organizados a manera de clústeres para facilitar el proceso de definición y análisis de los criterios de evaluación.

Antes de iniciar con el análisis de los resultados para este proceso se mostrarán las 6 dimensiones principales en las cuales se categorizaron los criterios de evaluación de la sostenibilidad para SAF. En la Figura 3-2 se pueden observar las 6 dimensiones, las cuales fueron agrupadas en 3 siguiendo a Ruggerio (2021) y para fines del análisis que se realizará, las cuales reflejan 3 esferas de análisis: dimensión de la producción humana (económica y productiva); dimensión relaciones humana (sociales y culturales); y la dimensión natural (ecológico y ecosistémica).

Estas 6 dimensiones o esferas (agrupadas en 3) representan la complejidad inherente a los sistemas agroforestales o productivos en general, los cuales se encuentran interrelacionados a través de flujos de energía, materiales e información, que se retroalimentan en el tiempo y generan propiedades emergentes a partir de las interacciones desde la esfera multidimensional (Ruggerio, 2021).

**Figura 3-2:** Representación gráfica de las dimensiones de la sostenibilidad.



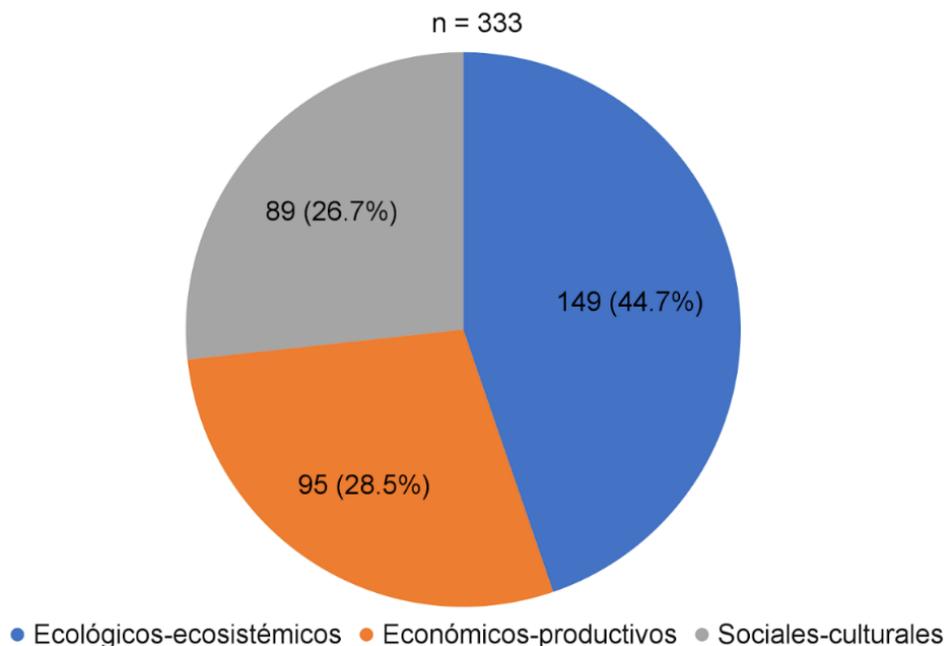
**Fuente:** Adaptado de Ruggerio (2021)

Los diferentes elementos de las dimensiones consideradas poseen criterios de medición propios, sin embargo, al estar inmersos en un único gran sistema, estas categorías

retroalimentan el resto de dimensiones. Por ejemplo, las prácticas que determinan el uso del suelo o energía parten de la esfera o subsistema cultural, pero poseen fines económicos dentro del sistema, los cuales a su vez se relacionan con los servicios ecosistémicos (SSEE) o beneficios de la naturaleza que los proveen, regulan y sostienen en el tiempo, luego se ven reflejados en impactos ambientales positivos o negativos específicos, que luego pasan a retroalimentar las esferas económicas-productivas y sociales-culturales.

Por lo tanto, si bien se hace una división con fines prácticos en las 6 esferas mencionadas, las diferentes dimensiones trascienden la esfera en dónde han sido categorizadas, sin embargo, esto es realizado para facilitar el análisis de la información recopilada en los diferentes artículos. Ejemplos más puntuales pueden ser los ODS de las Naciones Unidas, los cuales fueron categorizados en la esfera sociocultural pero que tiene en cuenta objetivos ecosistémicos o económicos, de igual forma el componente forestal o el uso del agua, los cuales podrían ser categorizados en la dimensión social, cultural o económica al estar relacionados con las actividades humanas.

Como resultado se obtuvieron 333 variables o indicadores diferentes empleados para la evaluación de la sostenibilidad en SAF y las 6 dimensiones descritas (agrupadas en 3 grupos) y se distribuyen como muestra la Figura 3-3: i) 149 criterios ecológicos-ecosistémicos; ii) 95 criterios económicos-productivos; iii) 89 criterios sociales-culturales. Se encontró entonces que los criterios ecológicos-ecosistémicos son los de mayor frecuencia de aplicación, siendo el casi 45 % del total de criterios identificados, seguidos por los criterios económicos-productivos con el 28 % del total y muy de cerca por los sociales-culturales con 27 % de los 333 criterios identificados.

**Figura 3-3:** Categorías de criterios empleados en las investigaciones.

**Fuente:** Elaboración propia

Al calcular la recurrencia de las 333 variables e indicadores se encontró que estos fueron identificados un total de 1359 en los 68 artículos, es decir, que en promedio los 68 artículos revisados emplean un promedio de 20 indicadores. Teniendo en cuenta la recurrencia total de los criterios, su distribución para el total de dimensiones no se diferencia mucho (menos del 3 % en todos los casos) con respecto al número de criterios (ver Figura 3-3): el 46,2 % de criterios aplicados corresponden a la dimensión de criterios ecológicos-ecosistémicos, un total de 628 veces frente al total de 1359; el 30,5 % criterios económico-productivos, 414 veces del total; y el 23,3 % a la dimensión de criterios sociales-culturales, identificados un total de 317.

Lo que muestra que los criterios ecológicos-ecosistémicos no solo fueron los más identificados, sino que, en promedio cada artículo revisado estaría aplicando más de 9 criterios de esta dimensión frente a solamente 6 criterios de la dimensión económica-productiva y más de 4 criterios de la dimensión social-cultural, sin embargo, como se puede observar en la tabla resumen de los resultados (ver Anexo 3: Tabla resumen de artículos revisados) la cantidad de criterios identificados para cada artículo varía entre 1 y 51

criterios empleados. De igual forma, para el total de artículos analizados se encontró que el 91,2 % (62 de 68) emplean al menos 1 criterio de la dimensión ecológica-ecosistémica; el 75 % (51) de los artículos tienen en cuenta criterios económicos y productivos; mientras que sólo el 54,4 % de los artículos emplean variables o indicadores de la dimensión sociocultural (37).

Por lo tanto, para los artículos analizados en la revisión la esfera o dimensión ecológica y ecosistémica ocupa un lugar relevante dentro del análisis, la cual duplica en el total a la esfera social y cultural, mucho menos empleada en las evaluaciones de la sostenibilidad para SAF. Sin embargo, como se abordará más adelante, muchos de los criterios ecológicos poseen un enfoque hacia el mercado, la producción o no son analizados a profundidad, por lo que la variedad o recurrencia de estos criterios no se ve reflejada en una visión más compleja de los sistemas agroforestales evaluados.

Se identificó que la categoría de criterios más recurrente fueron las propiedades fisicoquímicas del suelo, para las cuales fueron identificados un total de 25 criterios, los cuales fueron empleados un 147 veces dentro del total de artículos revisados; seguida por el uso del suelo mencionados 116 veces para los 19 criterios identificados; y por los aspectos sociales, en donde, los 19 criterios identificados fueron empleados un total de 113 veces dentro de los artículos de la revisión.

Por otra parte, las categorías con menor recurrencia para los artículos analizados fueron: el uso del agua (6 veces para los 4 criterios identificados), la resiliencia (12 para los 7 criterios identificadas), y el uso de energía y conflictos sociales (13 veces para los 6 y 4 criterios identificados respectivamente). Otro hallazgo relevante son las variables más empleadas: el rendimiento productivo de los cultivos se identificó un total de 23 veces, es decir, este criterio de evaluación fue tenido en cuenta en el 34 % de los artículos analizados, seguido por 3 criterios presentes en 16 de los artículos (24 %): la concentración de materia orgánica en el suelo, la diversidad de la producción agrícola y la capacitación y educación agraria.

Se encontró que 70 de los criterios identificados fueron empleados, cada uno, solamente para 1 artículo dentro de la revisión (21 % del total de criterios); 68 de los criterios en 2 artículos de la revisión, cada uno (20 % de los indicadores identificados); y 56 criterios en

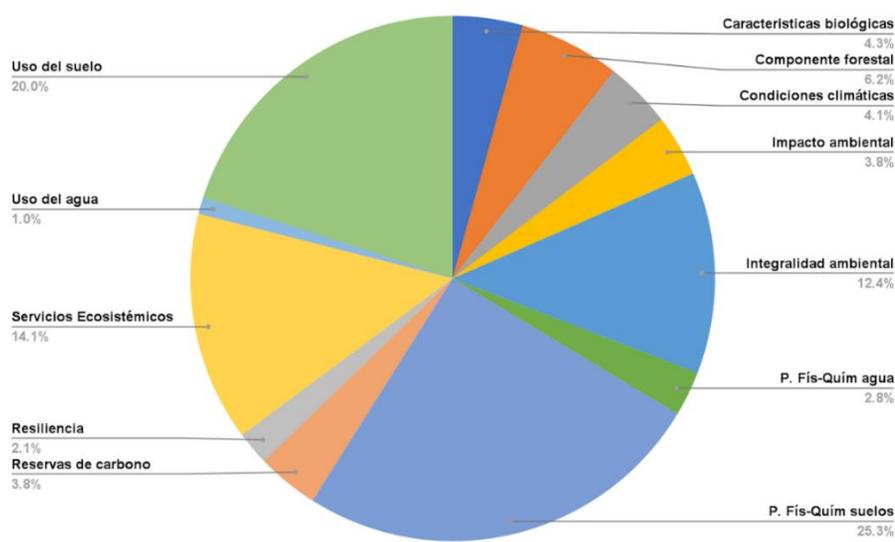
3 artículos diferentes cada una (17 %). Por lo tanto, de manera preliminar se puede concluir que no existe un consenso sobre los indicadores, variables o criterios para la evaluación de la sostenibilidad, en dónde el 58 % de los criterios identificados durante el ejercicio solo son empleados en un máximo de 3 artículos.

Por último, para el total de indicadores o variables empleadas se obtuvo un promedio de 20 criterios por artículo. Sin embargo, algunos artículos sólo emplearon 1 criterios para el análisis de la sostenibilidad como Cid Aguayo et al. (2019) o Leal et al. (2019); y, por otra parte, algunos emplearon 50 o más indicadores, variables o criterios como el caso de las evaluaciones realizadas por Phondani et al. (2020), Heredia-R et al. (2020) y Medina Litardo et al. (2020).

### 3.2.1 Criterios ecológicos-ecosistémicos

Para la dimensión ecológica se identificaron 242 variables o indicadores que fueron resumidos en 149 diferentes y agrupados en 13 categorías: Biodiversidad, características biológicas, componente forestal, condiciones climáticas, impacto ambiental, integralidad ambiental, propiedades físico-químicas del agua y suelos, reservas de carbono, resiliencia, servicios ecosistémicos (SSEE), uso del agua y del suelo. En la Figura 3-4 se observa la distribución de las categorías para el total de artículos analizados.

**Figura 3-4:** Distribución de indicadores para la dimensión ecológica - ecosistémica.



**Fuente:** Elaboración propia

La categoría que más se aplica para la evaluación de la sostenibilidad de los SAF para la esfera ecológica-ecosistémica son las propiedades físico-químicas que ocupan el 25 %, seguido por los usos del suelo con el 20 %, por lo cual, el suelo es el componente más recurrente concentrando el 45 % del total, los usos y propiedades del suelo se relacionan estrechamente como la productividad o rendimientos de los sistemas.

Lo anterior denota una visión utilitarista del medio natural o seminatural, en dónde las características de los suelos que soportan directamente la producción agrícola y sus rendimientos, son principales para la evaluación de la sostenibilidad de los SAF, mientras que otras categorías como el uso del agua (1 %), la resiliencia (2,1 %), las propiedades del agua (2,8 %) o los impactos ambientales (3,8 %) ocupan un lugar secundario, las cuales se esperaría que tuvieran un rol más importante dentro de las evaluaciones ya no afectan los rendimientos de la producción directamente.

Además, a pesar de que los indicadores y variables relacionadas a las propiedades físico-químicas de los suelos poseen la mayor cantidad de criterios de evaluación dentro de esta dimensión sobre el total de criterios encontrados, se identificó la aplicación de criterios de esta categoría en 31 artículos de los 68 analizados (46 % del total). Por otra parte, los criterios de la categoría de uso del suelo son empleados en 37 artículos (54 % del total) siendo la categoría con mayor presencia en los artículos analizados en la revisión para esta dimensión. A continuación, son descritas cada una de las categorías de criterios ecológicos-ecosistémicos, así como cada una de las variables o indicadores identificados.

### **Propiedades físico-químicas de los suelos**

*“La calidad del suelo varía y los suelos responden de manera diferente, dependiendo de los insumos de gestión. Los elementos de la calidad del suelo incluyen propiedades físicas, químicas y biológicas. La calidad del suelo tiene características inherentes y dinámicas”* (FAO, 2023, párr. 1). Estos elementos se relacionan estrechamente con la productividad de los suelos, la producción de biomasa y las reservas de carbono, además el conocimiento de estas propiedades permite una mejor disposición de los diferentes usos del suelo (incluyendo los SAF), además permite una mejor gestión de los requerimientos de nutrientes del suelo y de alimentación para animales (Andreotti et al., 2020; Cardoso et al., 2017).

En este contexto, los indicadores más recurrentes dentro de la esfera ecológica-ecosistémica fueron las propiedades físico químicas de los suelos, se encontraron 25 criterios de evaluación (descritos en la Tabla 4-1) cuyo objetivo es reflejar las características, condiciones y calidad del suelo, las cuales son determinadas tanto por las características biológicas como por las:

- Propiedades físicas como la humedad, densidad aparente, resistencia mecánica, pendiente, textura, estructura del suelo, porosidad, erosión, almacenamiento de agua, drenaje y color.
- Propiedades químicas como el pH del suelo, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC), la concentración de materia orgánica o carbono orgánico, la concentración y disponibilidad de nutrientes como el fósforo, nitrógeno, azufre, sulfatos y la suma de bases, saturación de aluminio, absorción o el ciclo de nutrientes.

### **Servicios Ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son la variedad de beneficios que la naturaleza aporta a las personas, entendiendo estos beneficios como bienes o servicios que los ecosistemas aportan, los cuales pueden ser positivos o negativos, estos beneficios son evaluados desde una visión antropocéntrica y normalmente se clasifican en aquellos servicios o beneficios de provisión, regulación, apoyo o culturales.

Sin embargo, estas categorías dependen de las relaciones de las personas y la naturaleza que se encuentran mediadas por las preferencias y valores relacionales específicos (IPBES, 2022). Para la categoría de servicios ecosistémicos (SSEE) o beneficios de la naturaleza se identificaron 23 criterios de evaluación, los cuales son descritos en la Tabla 4-2.

### **Componente forestal**

Las plantaciones forestales de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) son: *“aquellas formaciones forestales sembradas en el contexto de un proceso de forestación o reforestación. Estas pueden ser especies*

*introducidas o indígenas*” (FAO, 2002). La mezcla del componente forestal con cultivos se emplea de manera convencional para cortar el viento o para sombrío en cultivos que así lo requiera, además estos árboles ayudan regular la escorrentía en terrenos llanos y en pendiente, proteger las tierras cultivables de la erosión eólica e hídrica (Korneeva, 2022).

Los beneficios para los sistemas productivos derivados de la diversificación de especies han sido medidos especialmente desde la productividad de los sistemas, los beneficios relacionados con la extracción de madera y más recientemente con el mejoramiento de la sostenibilidad (dimensiones ecológicas y socioeconómicas) que permitan a su vez mejorar la administración y gestión de los SAF (Leal et al., 2019).

A través del estudio de los diferentes componentes relacionados al componente forestal, las comunidades locales y los responsables de la toma de decisiones pueden contribuir a la conservación de los bosques y sus funciones en el ecosistema y la complementariedad con los cultivos agrícolas o producción ganadera (Ali & Mattsson, 2019). Para este componente se identificaron 21 criterios relacionados que son descritos en la Tabla 4-3.

### **Uso del suelo**

La medición espacial del uso y de las coberturas del suelo permite identificar la disposición de los terrenos, la superficie destinada a cada uno de los usos (agrícolas, conservación, pasturas, ganadería, otros), con la finalidad de proponer estrategias que puedan mejorar la seguridad alimentaria, los ingresos económicos, el acceso a los mercados o nuevas oportunidades comerciales (Sahle et al., 2022).

Asimismo, una mejor gestión del uso del suelo puede ayudar a la disminución de la degradación ambiental, la diversificación de la producción y estrategias para disminuir la presión y un mejor aprovechamiento de la tierra disponible (Ashiagbor et al., 2020; van Noordwijk et al., 2020). Para los diferentes usos del suelo se identificaron 19 indicadores, variables o indicadores que son descritos en la Tabla 4-4.

### **Integralidad ambiental**

Como respuesta a los diferentes desafíos a escala global que se derivan del incremento poblacional o el cambio climático, se hace necesaria la implementación de prácticas

productivas para la conservación de la integridad ambiental (Hanisch et al., 2019). Esto se refiere a la preservación de aquellos sistemas que son esenciales para el sustento de la vida en los ecosistemas como la atmósfera, el agua, la tierra, la biodiversidad, materiales y energía, entre otros.

De esta forma, a la vez que se minimizan los impactos negativos y se mejoran los resultados ambientales positivos, para esto se realizan a través de la implementación de prácticas de preservación y mejoramiento de la eficiencia (Pérez-Lombardini et al., 2021; Weiler et al., 2019). Para esta categoría se identificaron 17 criterios de evaluación, los cuales son descritos en la Tabla 4-5.

### **Propiedades Físico-Químicas del agua**

Para la planificación de los SAF se requiere la protección de los cuerpos de agua, uno de los recursos esenciales para la producción y para la fauna circundante, la gestión del agua requiere del diagnóstico periódico de las propiedades físico químicas del agua en las diferentes cuencas y cauces, la protección de la vegetación cercana para el mantenimiento de las características óptimas fauna (aérea, terrestre, y acuática) que existe en esta zona de transición vegetal (Zambrano et al., 2020).

Estas evaluaciones tienen en cuenta la concentración de materia orgánica y nutrientes, los sólidos en suspensión, pH, conductividad eléctrica, la demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de oxígeno (DBO5); estas propiedades permiten medir la calidad del agua para su uso o en otros casos para determinar las medidas necesarias para su reutilización en un contexto de escasez del recurso (El Moussaoui et al., 2019). En la Tabla 4-6 se encuentra la descripción de los 8 criterios tenidos en cuenta para la presente categoría identificados en los artículos revisados.

### **Impacto ambiental**

Como se ha abordado en diferentes momentos del documento, las actividades humanas generan impactos en el medio natural, transformaciones como la expansión de las fronteras productivas, prácticas de cultivo inadecuadas (monocultivos extensivos, introducción de especies exóticas), entre otras, pueden generar problemas sobre la

fertilidad, estructura del suelo, pérdida de la biodiversidad, disminución de la resiliencia, variabilidad climática o disminución en la productividad o rendimiento de las cosechas (Barrientos et al., 2017).

Con la finalidad de plantear medidas para la mitigación de los impactos se requieren los diagnósticos para determinar la escala de los mismos, tanto sobre los ecosistemas como sobre las actividades humanas (pérdidas económicas por la pérdida de productividad, efectos sobre la salud humana o costos de reposición) (Cardoso et al., 2017). En esta categoría se identificaron 7 criterios de evaluación que son descritos en la Tabla 4-7.

### **Resiliencia**

La evaluación de la resiliencia de los SAF es un estudio en sí mismo, sin embargo, sus vínculos con la sostenibilidad son de gran relevancia, la resiliencia se entiende como aquellos equilibrios dinámicos, en donde, el sistema mantiene sus propiedades inherentes frente a impactos externos mediante la adaptación con pequeñas variaciones en la producción y rendimientos relacionados (no únicamente económicos) (Albarracín-Zaidiza et al., 2019; Osuna-Ceja et al., 2019).

Este nivel de equilibrio que permite la resiliencia de los agroecosistemas debe ser evaluada en diferentes escenarios como el cambio climático o choques exógenos y frente a diferentes esferas como lo puede ser la producción (pérdida productiva, vida productiva, rendimientos), la seguridad alimentaria o los medios de vida (Waldron et al., 2017). Se identificaron 7 criterios de evaluación relacionados a la resiliencia de los SAF, estos son descritos en la Tabla 4-8.

### **Condiciones climáticas**

Las condiciones del microclima relacionado a los SAF como la temperatura (alta, baja), humedad, punto de rocío, velocidad del viento, índice de calor, entre otras, permite la gestión de los sistemas: los requerimientos de agua para los cultivos o animales, especies sembradas que se encuentren adaptadas a las condiciones y comparar históricamente los cambios como resultado de la variabilidad climática (los cuales son cada vez más impredecibles) para la adaptación al cambio climático y la evaluación de las amenazas

(Marques Filho et al., 2017; Phondani et al., 2020). Se identificaron 6 criterios relacionados a las condiciones climáticas (ver Tabla 4-9).

### **Biodiversidad**

La biodiversidad asociada a los SAF (agrobiodiversidad) y en el ecosistema asociado se relaciona con: la biodiversidad cultivada (componente forestal, árboles y arbustos); cultivos (granos, leguminosas, tubérculos, frutas, hortalizas, pastos, plantas medicinales, aromáticas o condimentarias); componente animal (ganadería y especies menores); otras especies; plantas silvestres y animales salvajes (aves, reptiles, anfibios, mamíferos, invertebrados) (Córdova et al., 2018; Damianidis et al., 2021).

Un SAF genéticamente más diverso posee mayores alternativas socioeconómicas y mejores condiciones ecológicas al poseer una mayor composición de vegetación (relacionada con usos e importancia económica), biomasa disponible por hectárea, biodiversidad temporal y espacial (Silvianingsih et al., 2021; Tschora & Cherubini, 2020). Se identificaron 5 criterios considerados por los autores para la evaluación de la sostenibilidad en SAF para los artículos revisados (ver Tabla 4-10).

### **Características biológicas**

Las características morfológicas o relacionadas con la fenología reproductiva de las especies que se relacionan con las especies de plantas permite el relacionamiento y reconocimiento de aquellas con mayor potencial de uso dentro de los SAF, estas especies pueden ser aquellas con mejor tasa de crecimiento, desarrollo de frutos o flores maduros o inmaduras de manera simultáneas, así como las características morfológicas para identificar los beneficios para atracción de otras especies o el biocontrol (Rangel Marquina et al., 2017; Reis et al., 2021). Para esta categoría se encontraron 4 características biológicas empleadas como criterios de evaluación de la sostenibilidad dentro de los artículos revisados, las cuales son descritas en la Tabla 4-11.

### **Reservas de carbono**

Los SAF han sido reconocidos por sus beneficios para la reducción de emisiones de GEI mediante la reducción de las áreas dedicadas a cultivos, disminución en el uso de

agroquímicos e insumos sin afectar los rendimientos, las cuales han sido comparadas con sistemas convencionales de producción de alimentos junto con los balances de carbono (Crous-Duran et al., 2019; Torres-Alcívar et al., 2019).

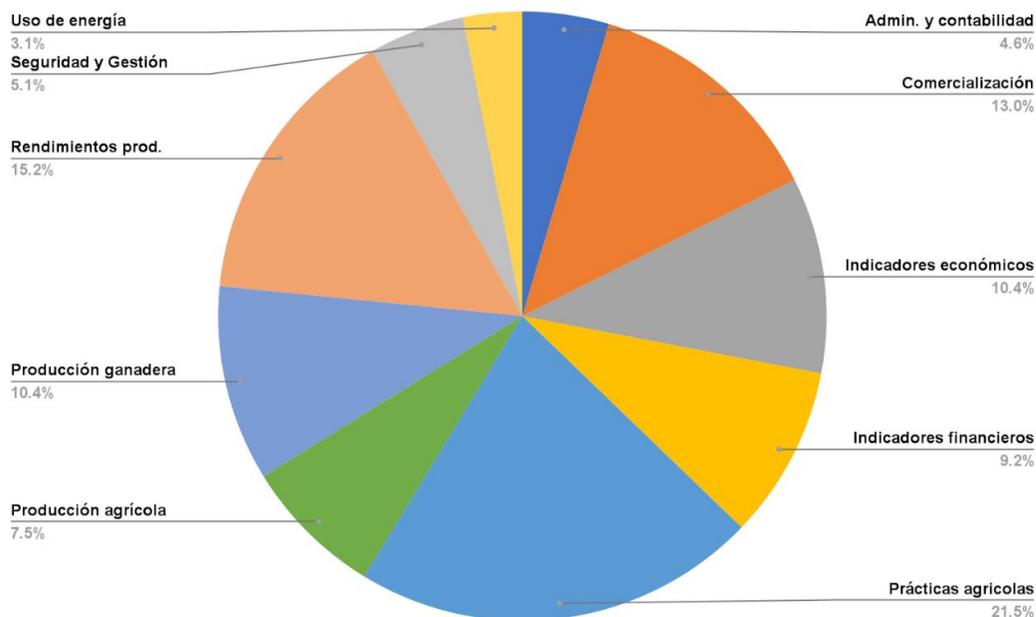
Adicionalmente, el potencial de captura y acumulación de carbono en las diferentes partes de la planta (a través de la biomasa) y por hectárea del componente forestal representa una alternativa de generación de ingresos para quienes implementen estos sistemas (Ahirwal et al., 2022; Marques Filho et al., 2017). Se encontraron 4 criterios relacionados a las reservas y a la captura de carbono, las cuales se describen en la Tabla 4-12.

### **Uso del agua**

Como se mencionó anteriormente, el recurso hídrico es uno de los puntos críticos dentro de la gestión de los SAF, por lo cual el uso, gestión, abastecimiento, intensidad del uso del mismo, así como el control de los potenciales riesgos para su calidad son de vital importancia para garantizar la producción y eficiencia dentro de los sistemas y para las comunidades cercanas a los mismos (Heredia-R et al., 2020; Nicli et al., 2019). Se identificaron 3 criterios de evaluación relacionados al uso del agua y son descritos en la Tabla 4-13.

### **3.2.2 Criterios económicos-productivos**

Para la dimensión económica se identificaron 200 variables o indicadores los cuales fueron resumidos para obtener un total de 95 criterios de evaluación diferentes y fueron agrupados en 10 categorías: administración y contabilidad, comercialización, indicadores económicos y financieros, prácticas agrícolas, producción agrícola y ganadera, rendimientos productivos, seguridad y gestión y uso de energía. Para el total de variables e indicadores de esta categoría para los artículos analizados se distribuyeron como se muestra en la Figura 3-5.

**Figura 3-5:** Distribución de indicadores para la dimensión económica - productiva.

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede observar en la figura anterior que las prácticas agrícolas (21,5 %), los rendimientos productivos (15,2 %) y la comercialización (13 %), las cuales suman casi el 50 % del total de las veces que se emplearon los 95 criterios identificados. Se destaca que la categoría de rendimientos productivos a pesar de solo contar con 8 indicadores o variables, estas son tenidas en cuenta para el 46 % de los artículos analizados (31 artículos); seguidos por los criterios relacionados a la comercialización considerados dentro de 26 artículos (38 % del total); muy de cerca, los indicadores económicos fueron tenidos en cuenta en el 37 % de los casos (25 artículos); y por último, los criterios de evaluación de la categoría prácticas agrícolas fueron considerados en 23 artículos, es decir, en el 34 % de los artículos revisados.

A continuación, al igual que para la dimensión anterior se describen las categorías y criterios considerados por los diferentes autores relacionados con la dimensión económica-productiva.

### **Prácticas agrícolas**

La variedad de prácticas agrícolas puede ser tanta como sistemas productivos, sin embargo para el presente trabajo, se tienen en cuenta las prácticas que van desde el establecimiento de los cultivos (labranza, selección de especies, sistema de riego, disposición de los cultivos), mantenimiento (manejo integrado de plagas, restitución de nutrientes intensidad del uso, podas, deshierbe), cosecha (tiempo necesario, requerimientos de mano de obra y materiales), transporte o disposición y manejo de residuos (asignación final a la envases y residuos) (Belleze et al., 2017; Nyberg et al., 2020).

Así como la conservación o rehabilitación de tierras (natural, asistida, enriquecimiento), así como las diferentes herramientas y maquinaria empleada, la adaptación a nuevas tecnologías o paquetes de prácticas innovadoras, la evaluación de amenazas (Phondani et al., 2020; Ramírez Gil, 2017). Se identificaron 24 criterios en total, lo que la convierte en la categoría con el conjunto más amplio dentro de esta dimensión (Tabla 4-14).

### **Comercialización**

El eslabón de la comercialización incluye todas las estrategias que se relacionan a la venta de bienes y servicios derivados de los SAF como los ingresos mensuales, la dependencia de insumos externos relacionados, la diversificación de productos o de vías o canales de comercialización (Andrade Alvarado, 2017; Ramírez Gil, 2017).

Estos componentes se relacionan directamente con el eslabón de producción que determina la oferta y por el eslabón de consumo que determina la demanda por los diferentes productos o servicios, la cual es influenciada por la calidad y transparencia de la información entregada al mercado, precios y en algunos casos o nichos de mercado las certificaciones o contribuciones sociales o ambientales que se relacionen con la producción (Hanisch et al., 2019; Peña et al., 2018). Para el eslabón de comercialización se identificaron 13 criterios relacionados, los cuales son descritos en la Tabla 4-15.

## **Producción agrícola**

Los sistemas de producción agrícola son ecosistemas a los cuales el ser humano ha realizado múltiples modificaciones dentro de los componentes bióticos y abióticos, normalmente, con la finalidad de obtener beneficios económicos, preservar la seguridad alimentaria de las poblaciones humanas, mejorar la productividad a través de la siembra de uno o varias especies de plantas (Lehmann et al., 2020; Moreno, 2007). Estos sistemas, normalmente son medidos a través de algunos indicadores económicos como los costos de producción (insumos agrícolas, manos de obra, maquinaria) o rendimientos económicos que determinarán el nivel de producción de la unidad productiva evaluada (Bravo-Medina et al., 2017; Tschopp et al., 2022).

Sin embargo, algunos autores también incluyen variables relacionadas con la diversificación productiva la cual se puede relacionar con la biodiversidad, la importancia del cultivo o relación con los proveedores como aproximaciones más plurales desde la gobernanza o el diseño funcional (Schaffer et al., 2019). Para la producción agrícola se identificaron 11 criterios de evaluación que son descritos en la Tabla 4-16.

## **Producción ganadera**

Los sistemas de producción animal son aquellos sistemas en el cual interactúan animales (bovinos, caprinos, ovinos, entre otros) con extensiones de terreno cubiertas, estos sistemas pueden ser extensivos, intensivos o trashumantes (rotación de potreros), lo que cambiará los niveles de productividad, los impactos sobre los ecosistemas (erosión del suelo, contaminación del agua, suelo y aire) y sobre el bienestar animal (Escribano et al., 2018; Marín et al., 2011).

El manejo de este componente depende de la producción de alimento para la nutrición de los animales (especies forrajeras, digestibilidad, valor nutritivo), la genética y conservación de razas con mejor tasa de adaptación a las condiciones, los servicios de apoyo (vacunación, monitoreo y atención de salud por parte de médicos veterinarios) y de las prácticas de manejo (modalidad del pastoreo, períodos de pastoreo, sistemas silvopastoriles) (Phondani et al., 2020; Rusdy, 2020).

Por otra parte, el manejo de estos sistemas dependerá de la cantidad de animales, la extensión del terreno, el propósito de la producción (leche, carne, genética), edades de los animales, disposición de potreros, entre otros factores (Medina Litardo et al., 2020; Schaffer et al., 2019). Para esta categoría se encontraron 9 criterios de evaluación, los cuales son descritos en la Tabla 4-17.

### **Indicadores económicos**

Es necesario aclarar que diferentes categorías de la dimensión económica han sido separados para una mejor descripción de los diferentes indicadores y variables, por lo que en esta categoría se tienen en cuenta algunos criterios generales como el análisis de la cadena de valor (diferentes eslabones desde la provisión de la materia prima hasta el consumo), el contexto económico, la vulnerabilidad económica o los ingresos económicos (Parthiban et al., 2021; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020).

De igual manera se tienen en consideración las relaciones al interior del sistema económico, que a su vez se relacionan con el entorno macroeconómico de los SAF y que se encuentran interconectados con las demás esferas del desarrollo económico (Parthiban et al., 2021; Sobalbarro-Figueroa et al., 2020). Para esta esfera se identificaron 9 criterios de evaluación empleados por los autores y se describen brevemente en la Tabla 4-18.

### **Rendimientos productivos**

Los rendimientos productivos se relacionan tanto con los elementos de la productividad de las especies como con el desempeño en la esfera económica, por lo tanto, los indicadores de esta esfera abordan la producción de biomasa o la producción por hectárea como la diferencia entre los costos de producción y los beneficios que se generan a partir de la comercialización de los productos derivados de los sistemas de producción (Ali & Mattsson, 2019; Wartenberg et al., 2018).

Estos rendimientos se ven directamente afectados por la eficiencia productiva o comercial que depende del manejo de los sistemas que se relaciona con el uso de materias primas, la salud de los cultivos, la integralidad del ecosistema en el que se encuentra inserto el sistema, la intensidad de la producción y factores externos como la precipitación, el acceso

a los mercados, entre otras (Arciniegas-Torres & Flórez-Delgado, 2018; (Yadav et al., 2021). Se identificaron 8 criterios relacionados a los rendimientos productivos, los cuales son descritos en la Tabla 4-19.

### **Indicadores financieros**

Los indicadores financieros se emplean para determinar el tiempo de retorno de las inversiones realizadas y los flujos de caja para la toma de decisiones de producción, inversión o endeudamiento, se asocian con el rendimiento de las ventas luego de descontar los diferentes costos para determinar los márgenes de utilidad y la liquidez disponible por la unidad productiva, puede ser un punto de atracción para posibles inversores o fuentes de financiamiento (Ramírez Gil, 2017; Sun et al., 2017). Se identificaron 7 criterios de evaluación financieros, los cuales son descritos en la Tabla 4-20.

### **Uso de energía**

La dimensión del uso de la energía se relaciona tanto con la gestión energética, como con la intensidad de energía que es utilizada en la producción de los SAF, esta energía puede provenir de fuentes de energía convencionales (fósiles, carbón, gas) o de fuentes alternativas (eólica, solar, hidroeléctrica, geotérmica) (De La Hoz Maestre et al., 2021; Smith et al., 2022).

Por otra parte, el uso de energía y las fuentes de energía puede ser relacionado con la sostenibilidad del sistema según el rendimiento energético que relaciona la inversión de energía, el impacto generado, la renovabilidad, la dependencia energética y la carga ambiental (Arango et al., 2017). Para esta dimensión se identificaron 6 criterios tenidas en cuenta por los autores para su cálculo, las cuales son descritas en la Tabla 4-21.

### **Administración y contabilidad**

Las funciones contables y administrativas se relacionan a las estrategias para la dirección y control de las actividades productivas, estas funciones buscan el registro de los costos, inventarios, balances y demás estadísticas empresariales que permiten y facilitan la toma de decisiones por parte de los responsables de la planificación, organización, dirección y control para el uso y manejo de los recursos humanos y financieros disponibles para el cumplimiento de las obligaciones contraídas, la administración de la calidad y la

cooperación con otros (González et al., 2019; Heredia-R et al., 2020). Para esta categoría se identificaron 4 criterios, los cuales son descritos en la Tabla 4-22.

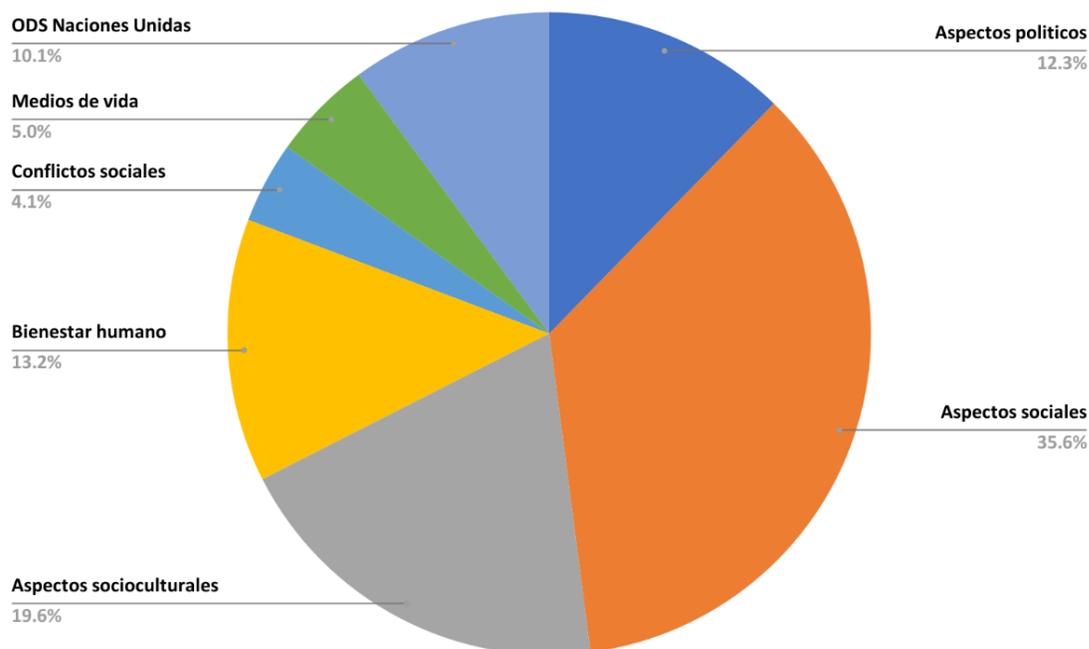
### **Seguridad y Gestión**

Las funciones de seguridad y de gestión se relacionan con las acciones que se realizan desde las empresas o unidades productivas para garantizar el bienestar, salud física y mental de los trabajadores; el control de riesgos y accidentes; el nivel de salarios y las horas laborales; los derechos laborales y las buenas relaciones; así como la protección de activos físicos desde una visión holística de la gestión (González et al., 2019; Weiler et al., 2019). En esta categoría se identificaron 4 criterios que son descritos en la Tabla 4-23.

### **3.2.3 Criterios socioculturales**

Como se ha mencionado anteriormente, las relaciones de las diferentes dimensiones de la cultura con el ecosistema, dan lugar a lo ambiental, siendo las dimensiones de la cultura la plataforma instrumental a través de la cual el ser humano se adapta al medio físico (ecosistemas) (Ángel-Maya, 2013). Estas adaptaciones son realizadas desde la plataforma tecnológica (sistemas e instrumentos físicos), la organización humana (relaciones sociales, económicas y políticas) y la estructura simbólica (concepciones filosóficas, éticas, nociones científicas y mitología) (Ángel-Maya, 2013).

Para la dimensión social y cultural se identificaron 161 variables o indicadores que fueron resumidas en 89 diferentes criterios de evaluación y posteriormente, agrupados en 7 categorías: aspectos políticos, sociales, socioculturales, bienestar humano, conflictos sociales, medios de vida y Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Para el total de variables e indicadores de esta categoría identificadas en los artículos analizados, se distribuyen como muestra la Figura 3-6.

**Figura 3-6:** Distribución de indicadores para la dimensión social - cultural.

**Fuente:** Elaboración propia

Se puede observar en la Figura 3-6 que los aspectos sociales (35,6 %) y socioculturales (19,6 %) concentran el 55,2 % del total de recurrencias para esta dimensión y además el 41,5 % del total de criterios identificados. Consistente con lo anterior, se encontró que el 35 % de los artículos analizados tiene al menos en cuenta uno de los indicadores o criterios de la categoría de aspectos sociales (24 artículos) y el 25 % al menos un aspecto de la categoría sociocultural (17 artículos). A continuación, se describen las categorías y los criterios de evaluación considerados por los diferentes autores relacionados con la esfera social y cultural para SAF.

### Aspectos sociales

Los aspectos sociales pueden ser evaluados a nivel individual o familiar como a nivel de una comunidad o grupo social, los diferentes aspectos sociales permiten aproximarse a la manera en cómo viven las personas relacionadas con su entorno y su relacionamiento con las demás personas (Barrezueta Unda & Paz-González, 2018).

Los indicadores más frecuentes se relacionan con calidad de vida (condiciones de vivienda, salud, cobertura sanitaria y de servicios básicos), conocimiento (acceso y calidad de la educación), integración social y familiar a organizaciones sociales y en la toma de decisiones y algunas variables poblacionales relacionadas (González et al., 2018; Van Noordwijk, 2021). Se identificaron en total 19 criterios dentro de los artículos revisados, los cuales son descritos en la Tabla 4-24.

### **Aspectos socioculturales**

Dentro de esta categoría se presentan aquellos elementos analizados por los autores que son transversales a la esfera social y cultural como: el funcionamiento de la organización y gestión (distribución de tareas, fuerza de trabajo, número de personas); la gobernanza (jerarquías, participación en la toma de decisiones); la diversidad cultural; justicia intergeneracional; entre otras (Bravo-Medina et al., 2017; Espinoza-Guzmán et al., 2018).

Las diferentes categorías relacionadas con los sistemas de gobernanza, así como formas de organización, parten de las capacidades de las comunidades y trascienden a la forma en se toman las decisiones, las relaciones con la naturaleza, favoreciendo o limitando la autoorganización de las mismas (Castañeda-Ccori et al., 2020). Para esta categoría se identificaron 18 criterios de evaluación que son descritos en la Tabla 4-25.

### **ODS Naciones Unidas**

Como se ha mencionado, en el contexto internacional los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas han sido adoptados para aproximarse a la sostenibilidad de los países, a escala de los SAF los ODS tienen implicaciones para la gestión al tratarse de metas globales en dónde todos los sectores deben contribuir a su cumplimiento por parte de los Estados miembros de las ONU para 2030 (Flinzberger et al., 2020).

Para cumplir con los objetivos se requiere de la cooperación entre las diferentes organizaciones nacionales e internacionales para la implementación de las estrategias en el contexto local, lo que podría incentivar la aplicación de los SAF ante la esperanza de que estos sistemas contribuyan a diferentes objetivos globales desde la producción de

alimentos y el mantenimiento de la integralidad ecológica (Sahle et al., 2022; Goparaju et al., 2020).

Al menos 15 de los 17 ODS interactúan significativamente con la producción agrícola, por lo tanto, se hace necesaria la gestión integrada de los usos del suelo, el desarrollo de alternativas tecnológicas para garantizar los beneficios de la naturaleza en el tiempo mediante la reorientación de los recursos financieros y humanos desde la planificación del desarrollo de lo global a lo local (von Noordwijk et al., 2018). Se identificaron 18 indicadores (17 ODS y un indicador general) relacionados con los objetivos propuestos por la ONU los cuales son resumidos en la Tabla 4-26.

### **Bienestar humano**

El bienestar social al ser una categoría contextual puede ser abordado desde diferentes visiones, sin embargo, existen algunas categorías básicas que permiten a los seres humanos el desarrollo libre de sus capacidades como lo son: la equidad, el acceso al conocimiento, garantías para la diversidad cultural, suficiente alimento y agua, así como las condiciones económicas y relaciones sociales, las cuales serán determinantes para las relaciones con su entorno y a nivel personal (De La Hoz Maestre et al., 2021; Flinzberger et al., 2020). Los 13 indicadores identificados se describen brevemente en la Tabla 4-27.

### **Aspectos políticos**

El desarrollo de cualquier actividad económica dentro de una sociedad se encuentra limitadas o favorecidas por existencia un marco político y sus respectivos aspectos legales e institucionales, para el caso de los SAF no es la excepción, por lo tanto, el relacionamiento de las unidades productivas con las instituciones (Santiago-Freijanes et al., 2021).

La integración de los SAF y las instituciones es deseable para el desarrollo de políticas públicas (análisis institucional, normativo, social, económico o ecológico) para el fomento de estas prácticas a nivel local, garantizar los derechos de propiedad y la participación, apoyar la resolución de conflictos y la creación de incentivos para su aplicación (Pérez-Lombardini et al., 2021; Santiago-Freijanes et al., 2021). Se identificaron 10 criterios relacionados a los aspectos políticos los cuales son descritos en la Tabla 4-28.

### **Medios de vida**

El enfoque de medios de vida permite establecer los vínculos entre las actividades y prácticas desarrolladas por las personas (medios de subsistencia) y su relación con el medio natural (formas de habitar el territorio), esto bajo el enfoque del análisis de capitales (físico, natural, humano, político, social y espiritual) (Ellis y Allison, 2001).

Este análisis busca identificar en el tiempo las variaciones en los capitales que sustentan la vida de las personas, su vulnerabilidad frente a cambios o choques externos y las estrategias para enfrentar estas variaciones (diversificación agrícola, inversiones de capital, silvicultura subsidiada, intensificación agrícola) que determinan la resiliencia de los medios de vida (Ngaji et al., 2021; Nicli et al., 2019). Se identificaron 7 criterios relacionados a los medios de vida en los artículos revisados y son descritos en la Tabla 4-29.

### **Conflictos sociales**

Los conflictos sociales entre los diferentes grupos humanos (por ejemplo, agricultores y ganaderos) pueden producirse por diferentes circunstancias o motivos como el acceso a recursos (tierras de cultivo, recursos hídricos), diferencias culturales, políticas o económicas y que pueden ser exacerbadas por la degradación de los ecosistemas que sustentan la producción o actividades humanas y que generan impactos sobre la productividad, pérdida de cosechas, inseguridad alimentaria, bajos ingresos económicos, disminución en la fertilidad del suelo, entre otras (Awazi & Avana-Tientcheu, 2020; Biscaia et al., 2020). Se identificaron 4 criterios que se relacionan con conflictos sociales en los artículos revisados (ver Tabla 4-30).

## **3.3 Enfoques de la sostenibilidad en las evaluaciones para SAF**

Hasta el momento se han determinado los problemas ambientales abordados en las investigaciones, así como los indicadores, variables y criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad para SAF. Los resultados de las secciones anteriores servirán de insumo para identificar los elementos constituyentes de las investigaciones en relación con las evaluaciones de la sostenibilidad revisadas, para así cumplir con el

objetivo general del trabajo de analizar los diferentes enfoques de sostenibilidad que son empleados para los SAF.

Para el análisis del tipo de sostenibilidad tenida en cuenta por los autores de los artículos seleccionados en el análisis de literatura, se tomarán en cuenta los 6 enfoques presentados en el capítulo 1: sostenibilidad débil, fuerte, súper fuerte, socio ecosistémica y sistémica. Teniendo en cuenta estos enfoques se analizaron los diferentes criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad y principalmente, las secciones de resultados, discusión y conclusiones de los artículos que hacen parte de la revisión.

En estas secciones se identificaron los elementos determinantes presentados por los autores, es decir, los indicadores, variables o criterios tenidos en cuenta para la evaluación, sus ponderaciones específicas (cuando estas son presentadas) y cuáles de las dimensiones empleadas en el apartado anterior (ecológica, ecosistémica, económica, productiva, social, cultural) son tenidas en cuenta para establecer si el o los SAF evaluados eran sostenibles o no. Posteriormente, a partir de la información recopilada y las categorías analizadas se clasificó el enfoque de la sostenibilidad en las evaluaciones para SAF teniendo en cuenta las siguientes 3 categorías de clasificación:

***i) Artículos con un enfoque débil de la sostenibilidad***

Enfoque de la sostenibilidad cercano a las visiones del desarrollo sostenible o a la economía verde, en donde se busca “sostener” en el tiempo los rendimientos de los cultivos, los beneficios derivados de los SAF y principalmente la utilidad económica para quienes los implementan con un claro enfoque hacia el mercado (Costanza y Daly, 1992; Daly, 2013; Martínez y Roca, 2015; Ruggerio, 2021).

En este enfoque se identifican aquellos artículos que centran su mirada en alguna o algunas de las dimensiones (económica, productiva, social, cultural, ecológica o ecosistémica) pero no en su conjunto. En otras palabras, los artículos de esta categoría pueden enfocarse en los elementos biofísicos, rendimientos económicos, bienestar social, productividad, fertilidad del suelo, sin embargo, en el momento de determinar si un SAF es sostenible o no, no se tienen en cuenta con igual importancia los diferentes elementos o dimensiones.

**ii) Artículos con un enfoque fuerte de la sostenibilidad**

Aquellos artículos que en su evaluación incluyen elementos de las diferentes dimensiones: social, cultural, económica, productiva, ecológica o ecosistémica, en donde las dimensiones son complementarias entre sí pero que no se identifica un análisis de las interrelaciones entre estos diferentes elementos. En otras palabras, desde esta categoría se busca identificar los artículos en los cuales se analizan los diferentes elementos y dimensiones de la sostenibilidad, pero su estudio se realiza como elementos separados entre sí (Gudynas, 2011; Naredo, 1996; Ruggerio, 2021).

**iii) Artículos con un enfoque súper fuerte, sistémica o socio ecosistémica de la sostenibilidad**

Los artículos en los cuales se observe un entendimiento complejo de los sistemas, la comprensión como un todo de la salud de la biosfera, la integralidad del planeta y del bienestar humano (Ben-Eli, 2018). Estos tres enfoques son ubicados en una sola categoría al considerarse como visiones afines con un entendimiento común desde la complejidad y la perspectiva sistémica de las relaciones entre las actividades humanas, los sistemas productivos y los ecosistemas naturales.

Desde esta categoría se busca identificar aquellos artículos que en la evaluación de la sostenibilidad de los SAF otorguen un lugar principal a los equilibrios dinámicos y las interrelaciones entre los sistemas para la determinar si un sistema es sostenible o no, para esto deben incorporar el análisis de las diferentes dimensiones mencionadas. Estos elementos pueden ser la capacidad de los ecosistemas naturales para regenerarse y sustentar la vida; el entendimiento de la sociedad y la economía como subsistema que proteja la vida; la reorientación de las capacidades adaptativas basadas en el conocimiento y los valores éticos y estéticos; la orientación hacia el respeto de la vida en todas sus manifestaciones (perspectiva biocéntrica); una vida en armonía con el entorno, entre otras (Gudynas, 2011; Morandín-Ahuerma et al., 2019).

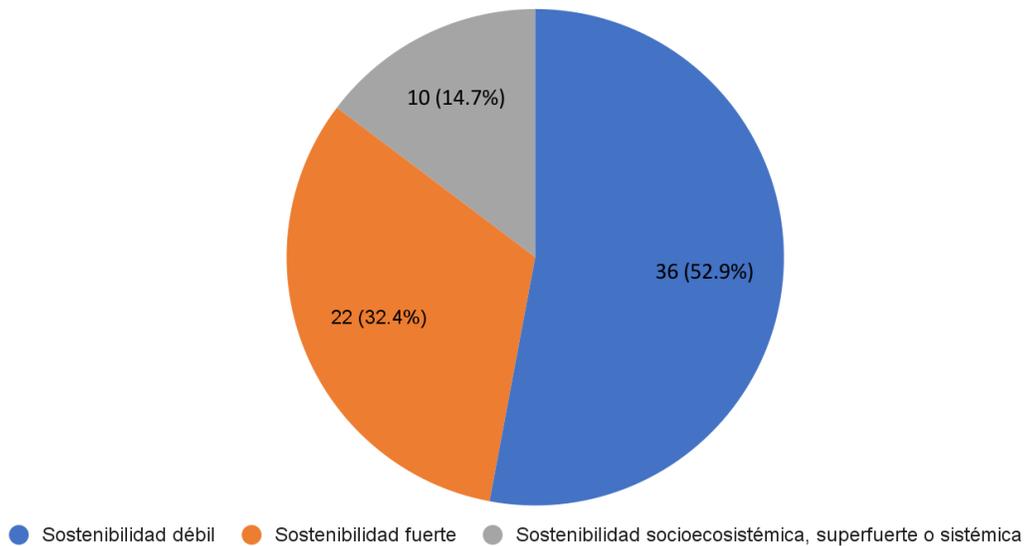
Teniendo en cuenta las tres categorías anteriores se determinó qué enfoque de la sostenibilidad tuvieron en cuenta los autores, proceso para el cuál se tuvieron en cuenta los diferentes determinantes de la evaluación (número de dimensiones consideradas, criterios de evaluación y ponderaciones empleadas), los cuales son una aproximación a la

complejidad del análisis. Más allá de hacer un conteo de los diferentes determinantes, a partir de un análisis crítico se evaluó la forma en que estos determinantes interactuaban dentro de las evaluaciones de la sostenibilidad, su grado de importancia para afirmar que un SAF es sostenible o no y las interrelaciones entre los diferentes criterios con los enfoques de la sostenibilidad considerados en el presente trabajo.

Lo anterior cobra sentido en la medida en que para algunos de los artículos analizados se pudo evidenciar que, a pesar de que se tenían en cuenta un conjunto plural de criterios de evaluación y se consideraban diferentes dimensiones, al momento de concluir y determinar la sostenibilidad de los sistemas, la perspectiva productiva (por ejemplo, la capacidad de producción o rendimientos de los cultivos) es un eje transversal en la evaluación de la sostenibilidad. En otras palabras, los principales determinantes para la sostenibilidad de los SAF son aquellos que pueden ser traducidos a beneficios económicos, reducción de costos o mejora en los precios de mercado para quiénes los implementan.

Por ejemplo, De La Hoz Maestre et al. (2021) y Cardoso et al. (2017) abordan la evaluación de la sostenibilidad teniendo en cuenta las dimensiones de indicadores ecológicos-ecosistémicos, económicos-productivos y sociales-culturales, sin embargo, en el momento de determinar la sostenibilidad de los SAF se basan en las ganancias en productividad, los beneficios sociales y de las propiedades de los suelos desde la perspectiva productiva. La perspectiva del ambiente, en ambos casos, no responde a una visión compleja, sino que es planteada desde lo económico y el utilitarismo, como resultado no se consideran las correlaciones entre de las diferentes categorías.

Considerando las 3 categorías propuestas y los criterios para la clasificación de los diferentes enfoques, los 68 artículos revisados que abordan el tema de la sostenibilidad para los SAF, fueron clasificados como se muestra en la Figura 3-7. Se encontró que más de la mitad de artículos, 36 artículos (52,9 %) abordan la evaluación de la sostenibilidad desde el enfoque débil de la sostenibilidad; seguido por el 32,4 % (22 artículos) que evalúan la sostenibilidad desde el enfoque fuerte; y tan sólo 10 artículos (14,7 % del total) lo hacen desde una perspectiva sistémica, superfuerte o socio ecosistémica de la sostenibilidad.

**Figura 3-7:** Enfoques de sostenibilidad en los artículos analizados (n=68).

**Fuente:** Elaboración propia

En línea con lo mencionado anteriormente, se debe aclarar, que, así como el número de dimensiones tenidas en cuenta dentro del análisis no determina el tipo o enfoque de la sostenibilidad en los diferentes artículos revisados, de igual forma, el número de indicadores incorporados para la evaluación de la sostenibilidad tampoco determina el tipo de sostenibilidad. A pesar de que, algunos artículos sólo tienen en cuenta una única variable para la evaluación de la sostenibilidad, como por ejemplo Cid Aguayo et al. (2019), Leal et al. (2019), ambas relacionadas con indicadores ecológicos desde una perspectiva económica, lo que corresponde claramente a la esfera débil o entendimiento de la sostenibilidad débil.

En el caso contrario extremo, las evaluaciones de la sostenibilidad para SAF que más indicadores o variables incorporan: Phondani et al. (2020) con 50, Heredia-R et al. (2020) y Medina Litardo et al. (2020) con 51 cada uno, si bien pertenecen a la esfera de la sostenibilidad fuerte no poseen un entendimiento complejo de los sistemas socioecológicos como para ser clasificados en la esfera sistémica, socio ecosistémica o super fuerte de la sostenibilidad.

Para el caso de Heredia-R et al. (2020) se encontró la inclusión de una gran variedad de criterios de evaluación de la sostenibilidad, en el momento de determinar la sostenibilidad de los SAF se realiza desde la perspectiva productiva, es decir, las variables e indicadores sociales o ecológicos ocupan un lugar secundario mientras que la productividad animal y la viabilidad económica es central para afirmar que el sistema es sostenible.

Asimismo, Medina Litardo et al. (2020) presenta una amplia variedad de criterios para la evaluación, sin embargo, la mayoría de estos se encuentran enfocados en la producción y en identificar características del suelo, los componentes de los sistemas (especies forestales, pasturas), producción animal y servicios ambientales que ofertan los SAF que pueden beneficiar la producción. De esta forma, es con base en estos criterios se determina el nivel de sostenibilidad de los sistemas, dejando de lado las dimensiones social y cultural, a pesar que inicialmente si se incluyen algunas en el análisis.

Por otra parte, Phondani et al. (2020) presenta en la evaluación diferentes niveles de información productiva (social y económica) para el mejoramiento de la gestión en el territorio pensando en la gestión de los sistemas agrícolas y ganaderos que incluyen componente forestal. Los determinantes de la sostenibilidad se centran en los insumos de política para generar beneficios sociales, dentro del análisis la dimensión cultural es presentada de manera robusta, sin embargo, la dimensión ecológica se centra únicamente en lo productivo y no trasciende una perspectiva de los beneficios de los SAF (Phondani et al., 2020).

Se pudo identificar en diferentes artículos la replicación de algunos discursos, en muchos casos ampliamente aceptados, en los que los SAF son considerados sostenibles y que sus beneficios son generalizables para cualquier sistema por el hecho de tratarse de uno agroforestal, lo anterior sin realizar ningún tipo de análisis específico como es el caso de los artículos de Barrientos et al. (2017), Castillo-Rojas (2020), Cid Aguayo et al. (2019), Sobalbarro-Figueroa et al. (2020) y Rusdy (2020).

Si bien algunos beneficios de los SAF como la diversificación de ingresos y de especies se pueden relacionar a estos sistemas de manera general, cada sistema y arreglo posee características diferenciales: condiciones ecosistémicas, composición de cultivos y variedad de especies, manejo de la producción, conflictos socioambientales relacionados.

Estas condiciones no permiten la comparación directa sin realizar una evaluación de la sostenibilidad de cada sistema en particular y que asumirla carece de fundamentos sólidos.

Se pudo identificar que, en más de la mitad de los artículos analizados, particularmente en aquellos que abordan la sostenibilidad desde el enfoque 'débil' (36 artículos), la evaluación de la sostenibilidad no se desliga de la esfera económica o productiva. Este es el caso por ejemplo de autores como Cid-Aguayo, Vanhulst & Rojas (2019) los cuales solo presentan un criterio para determinar la sostenibilidad que corresponde al rendimiento productivo de los cultivos, mismo caso de Yadav et al. (2021) y Ali A. & Mattsson E. (2019) para la producción de madera y el crecimiento de las plantas dentro de SAF.

A pesar de que en ocasiones los artículos revisados incorporan en la revisión diferentes elementos de lo ecológico o ecosistémico, estos son evaluados desde una perspectiva económica. Ejemplo de estos criterios se encuentran el rendimiento del crecimiento de las plantas y su relación con los ingresos presente en autores como Tschora H. & Cherubini F. (2020); la fertilidad de los suelos o la agrobiodiversidad como estrategia para mejorar los ingresos o rendimientos del cultivo a partir de SAF (Córdova, Hogarth & Kanninen, 2018; Wartenberg et al., 2018); los recursos naturales como insumos para la producción a partir de SAF (De la Hoz et al., 2021); entre otros elementos de la dimensión ecológica que son determinantes en la medida en que son asociados a beneficios económicos.

Por lo tanto, los diferentes elementos o criterios ecológicos son puestos al servicio del sistema económico para garantizar o al menos intentar garantizar la provisión de aquellos rendimientos estables en el tiempo y así sustentar el subsistema económico. Estos elementos no son tenidos en cuenta como determinantes para la sostenibilidad de los SAF sino como agregados del análisis, por lo que no se evidencia un enfoque sistémico o complejo de los elementos de la naturaleza, en especial para aquellos a los cuales no es posible otorgar precios de mercado como la reducción de la erosión, provisión de nutrientes, purificación del aire, biodiversidad o multifuncionalidad (Lehmann et al., 2020; Schaffer, Eksvärd & Björklund, 2019).

En otros casos el número de indicadores si se puede relacionar con los enfoques más complejos o sistémicos, cercanos a la visión superfuerte, sistémica o socio ecosistémica de la sostenibilidad. Lo anterior se relaciona con una inclusión de las esferas de la

integralidad ecológica y multifuncionalidad ecosistémica sin dejar de lado el estudio de las interrelaciones con otras dimensiones como la social, cultural, económica o productiva, este es el caso de artículos como los revisados para: Van Noordwijk (2021), Piedrahíta et al. (2019), Bravo-Medina et al., (2017), Pérez-Lombardini et al. (2021) o Weiler et al. (2019); los cuales integran, entre 37 y 47 criterios para la evaluación de la sostenibilidad de los SAF cada uno.

Por ejemplo, autores como Weiler et al. (2019) además de tener en cuenta una variedad amplia de criterios para evaluar la sostenibilidad, al momento de presentar los determinantes de la sostenibilidad tienen en cuenta elementos de la integridad social y ambiental (atmosfera, agua, tierra, biodiversidad), la resiliencia económica, el bienestar social y animal, la gobernanza, medios de vida dignos, entre otros, además, cada categoría es complementada con diferentes dimensiones y criterios para evaluar la sostenibilidad de los SAF analizados.

De igual forma Van Noordwijk (2021) y Piedrahíta et al. (2019) entienden la sostenibilidad desde la perspectiva inter y transdisciplinar, donde los elementos de las dimensiones económica, política, ecológica y sociocultural en el análisis se conciben de manera interconectada y, por lo tanto, son tenidas en cuenta para determinar el nivel de sostenibilidad para los diferentes sistemas evaluados.

En esta misma línea, autores como Bravo-Medina et al., (2017) y Pérez-Lombardini et al. (2021) tienen en cuenta elementos desde el análisis técnico ecológico y productivo para la medición de las características del suelo, la atmosfera, materiales empleados, biodiversidad o bienestar animal, analizando de forma robusta la dimensión ecológica y ecosistémica relacionada con los SAF. Además, estos criterios son complementados con criterios para las dimensiones económica como la resiliencia económica o ingresos, así como para la esfera política, social y cultural (Pérez-Lombardini et al., 2021). Esto se puede constatar en el siguiente apartado extraído de una de las conclusiones de los artículos:

*“Se demuestra que la sustentabilidad no solo depende de aspectos técnicos y ambientales sino también de elemento socioculturales, económicos y políticos lo cuales representa los factores más limitantes en las unidades de producción evaluadas.”* (Bravo-Medina et al., 2017, pp. 35).

Por último, se comparó los resultados obtenidos para los problemas ambientales identificados con los enfoques de la sostenibilidad en los artículos revisados (ver Tabla 3-2). Se observa que, los problemas técnico productivos son los principales para los artículos analizados pertenecientes a los enfoques débil y fuerte de la sostenibilidad con 16 y 19 % respectivamente; para el enfoque socio ecosistémico, superfuerte y sistémico el calentamiento global es el principal problema ambiental identificado (21 %) seguido por los problemas técnico productivos con el 18 %.

**Tabla 3-2:** Relación problemas ambientales y enfoques de la sostenibilidad.

<b>Problemas ambientales</b>	<b>Enfoque de la sostenibilidad</b>	<b>Sostenibilidad débil</b>	<b>Sostenibilidad fuerte</b>	<b>Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica</b>
Problema técnico productivo		16%	19%	18%
Calentamiento global		10%	16%	21%
Deforestación e incendios forestales		15%	6%	7%
Deterioro de los ecosistemas naturales		11%	14%	7%
Tenencia de la tierra		9%	2%	0%
Vulnerabilidad de valores culturales y sociales		12%	14%	14%
Pérdida de la biodiversidad		4%	5%	4%
Disminución en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos		1%	3%	7%
Incremento de la demanda por recursos		12%	10%	14%
Presión sobre los ecosistemas naturales		8%	11%	7%

**Fuente:** Elaboración propia

Para el enfoque débil de la sostenibilidad se observa que la disminución en la calidad y cantidad de servicios ecosistémicos (1 % del total) y la pérdida de la biodiversidad (4 %) son los problemas ambientales con menor representatividad; para los artículos

pertenecientes al enfoque fuerte se vuelve a hacer presente el problema asociado a los SSEE con tan solo 3 % (2 artículos), mientras que la categoría con menor representatividad es la tenencia de la tierra (2 %); para los artículos de los 3 enfoques restantes la tenencia de la tierra no fue mencionado por ninguno de los autores como un problema ambiental relevante y la pérdida de la biodiversidad solo fue identificada en el 4 % (1 artículo solamente).

Se puede concluir que si bien los problemas técnicos productivos pueden tener una relevancia mayor para las esferas débil y fuerte de la sostenibilidad, estos se hacen presentes en todos los enfoques de la sostenibilidad de manera importante, también se observa la importancia del problema del calentamiento global, la vulnerabilidad de los valores culturales y sociales y el incremento de la demanda por recursos en el contexto de las evaluaciones de la sostenibilidad para los SAF desde todos los enfoques. Sin embargo, no es posible identificar una relación directa entre los enfoques de la sostenibilidad y los problemas ambientales de los que se desprende su evaluación, estos problemas podrían responder a otros determinantes y no necesariamente al abordaje de la sostenibilidad desde una perspectiva o enfoque u otro.

## 4. Conclusiones

1. La perspectiva débil domina el enfoque de la sostenibilidad de los SAF, relacionada al 53 % de los artículos revisados (68), en donde se busca mantener los rendimientos constantes en el tiempo y los criterios de evaluación se enfocan en las esferas productivas. La visión fuerte de la sostenibilidad se encontró presente en el 32 % de los artículos, en los cuales se identificó un mayor entendimiento de los sistemas socioecológicos por parte de los autores y sus interrelaciones con el sistema económico. Mientras que, solamente en el 15 % de los artículos revisados se identificó una visión compleja de la sostenibilidad cercana a los enfoques súper fuerte, sistémico o socio ecosistémico.
2. Se encontró que las evaluaciones de la sostenibilidad para los SAF analizadas se encuentran motivadas por problemas ambientales de carácter técnico productivo, principalmente, en donde el foco se encuentra en mantener la rentabilidad de los sistemas en el tiempo, mitigar el impacto humano que es generado por las actividades productivas, enfrentar la escasez de recursos, contribuir a frenar el cambio climático y sus efectos adversos. Por su parte, otras problemáticas como la alteración de los valores culturales o medios de vida y el deterioro de los ecosistemas naturales por la deforestación empiezan a ganar terreno dentro de las preocupaciones que dan lugar a las evaluaciones.
3. Se observó en la mayoría de los artículos analizados, que el análisis o evaluación de la sostenibilidad no se desliga de la esfera económica o productiva, sino que, los elementos de lo ecológico o ecosistémico (presentes en el 91,2 % de los artículos analizados), son evaluados desde una perspectiva económica desde el paradigma de la ecologización del desarrollo. En otras palabras, a pesar de que muchos de los elementos tenidos en cuenta por las evaluaciones pertenecen a las dimensiones ecológicas o biológicas, se analizan desde una perspectiva productiva o buscan tener

una conexión con esta, en pocos artículos se percibe una visión que trascienda el productivismo hacia visiones más plurales en relación a la sostenibilidad de los SAF.

4. Se identificó un total de 333 variables e indicadores diferentes aplicados en los 68 artículos analizados, en donde casi la mitad pertenecían a la dimensión ecológica o ecosistémica (46,2 %), seguida por la dimensión económica y productiva (30,5 %), mientras que la dimensión social o cultural solo representó el 23,3 % en el total de recurrencias para las variables, criterios o indicadores.
5. A pesar de que algunas categorías o dimensiones son recurrentes en los diferentes estudios, no se encontraron variables o indicadores empleados por más del 34 % de los artículos revisados. Por ejemplo, el rendimiento productivo empleado por 23 artículos (33,8 %) y, la concentración de materia orgánica en el suelo, la diversidad de la producción agrícola y la capacitación y educación agraria con 24 % cada una, fueron las variables más empleadas para el total de artículos analizados.
6. Actualmente no existe un consenso sobre los indicadores, variables o criterios para la evaluación de la sostenibilidad en los SAF, sino que por el contrario en la mayoría de casos, cada estudio lo realiza de una manera particular. Lo anterior se sustenta en el hecho de que el 58 % de las variables identificadas durante el ejercicio de revisión sólo son empleadas en un máximo de 3 artículos, menos del 5 % del total de la muestra.
7. Por otra parte, la categoría más recurrente correspondió a las propiedades fisicoquímicas del suelo con un total de 25 variables las que fueron identificadas en 147 ocasiones, seguida por el uso del suelo y los aspectos sociales con 19 variables identificadas un total de 116 y 113 veces respectivamente. Mientras que categorías como la resiliencia, el uso del agua y de la energía o los conflictos sociales fueron las categorías menos tenidas en cuenta en los artículos revisados.
8. Es relevante mencionar que la cantidad de variables o categorías tenidas en cuenta por un estudio, no deben sesgar el análisis de las esferas de la sostenibilidad, ya que la cantidad de variables, indicadores o criterios no determina el tipo de sostenibilidad. Lo determinante es la complejidad, profundidad y pluralidad de los criterios y dimensiones consideradas, así como la perspectiva de las relaciones entre la sociedad y la naturaleza, y la manera en que estas pueden trascender la visión simplificadora (en muchos casos economicista) de los criterios ecológicos, sociales, políticos o culturales.

9. Los elementos de la cultura, así como las interacciones entre las diferentes esferas culturales y los ecosistemas ocupan un lugar secundario o no son tenidas en cuenta dentro de las evaluaciones de la sostenibilidad para los SAF. A pesar de la inclusión de algunos elementos culturales dentro del análisis, en la mayoría de casos son variables complementarias, lo que expone nuevamente, un sesgo hacia las variables económicas y productivas para determinar la sostenibilidad de un sistema en particular.
10. Cada sistema productivo posee particularidades económicas, sociales, culturales, ecológicas y productivas, las cuales determinarán los potenciales beneficios de su adopción y si pueden ser catalogados como sostenibles. Sin embargo, para el caso de algunos artículos analizados se encontró que la sostenibilidad es asumida como una condición inherente de los SAF, sin realizar evaluaciones rigurosas o de algún tipo de los diferentes elementos que los componen y que se pueden relacionar con su sostenibilidad.
11. A pesar de que la visión del Desarrollo Sostenible y de las diferentes metas fijadas por organismos internacionales (por ejemplo, los ODS) aún permea muchas de las evaluaciones y artículos analizados, estos pueden ser reinterpretados a mayor profundidad, reevaluando lo que significa la sostenibilidad desde este enfoque. Es decir, más allá de abandonar la preocupación por los rendimientos productivos o el bienestar humano, estas metas pueden ser complementarias (abandonando el centro de la discusión) dentro de una visión más compleja de los SAF u otros sistemas y de la sostenibilidad.
12. A partir de la revisión realizada, se considera que aquellos criterios o indicadores que no tienen una relación estrecha con la visión económica podrían terminar por desaparecer del análisis para estos sistemas, ante la priorización de las esferas que pueden ser internalizadas por la perspectiva económica, como, por ejemplo, la perspectiva ética, estética o netamente biológica. Esta situación pondría en riesgo las visiones complejas de la sostenibilidad en el futuro, estos indicadores en particular pueden ser un tema de estudio para abordar en futuras investigaciones acerca del tema.

## A. Anexo 1: Artículos seleccionados para la revisión

Autores y Año	Revista	Base de datos	Idioma	Enfoque de la sostenibilidad
Ahirwal et al. (2022)	Sustainable Production and Consumption	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Albarracín-Zaidiza et al. (2019)	Ciencia y Agricultura	Redalyc	Español	Sostenibilidad fuerte
Alegre et al. (2017)	Peruvian Journal of Agronomy	Dialnet	Inglés	Sostenibilidad débil
Ali & Mattsson (2019)	Ecological Indicators	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Andrade Alvarado (2017)	Ecología Aplicada	Redalyc	Español	Sostenibilidad fuerte
Andreotti et al. (2020)	Sustainability Science	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Arango et al. (2017)	Acta Agronómica	Redalyc	Español	Sostenibilidad fuerte
Arciniegas-Torres & Flórez-Delgado (2018)	Revista Ciencia y Agricultura	Dialnet	Español	Sostenibilidad débil
Ashiagbor et al. (2020)	Agroforestry Systems	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Awazi & Avana-Tientcheu (2020)	Agroforestry Systems	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Barreuzeta Unda & Paz-González (2018)	Revista Ciencia Unemi	Redalyc	Español	Sostenibilidad fuerte
Barrientos et al. (2017)	Idesia	Dialnet y Scielo	Español	Sostenibilidad fuerte
Belleze et al. (2017)	Ambiente & Sociedade	Redalyc	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Biscaia et al. (2020)	Land	Scopus	Inglés	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Bravo-Medina et al. (2017)	Bioagro	Dialnet, Scielo y Redalyc	Español	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Cardoso et al. (2017)	Industrial Crops and Products	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Castañeda-Ccori et al. (2020)	Sustainability (Switzerland)	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Castillo-Rojas (2020)	Revista Espiga	Dialnet y Scielo	Español	Sostenibilidad débil
Cid Aguayo et al. (2019)	Mundo Agrario	Redalyc	Español	Sostenibilidad débil
Córdova et al. (2018)	Land	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Crous-Duran et al. (2019)	IForest	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Damianidis et al. (2021)	Agroforestry Systems	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil

<b>Autores y Año</b>	<b>Revista</b>	<b>Base de datos</b>	<b>Idioma</b>	<b>Enfoque de la sostenibilidad</b>
De La Hoz Maestre et al. (2021)	Estudios Demográficos y Urbanos	Redalyc	Español	Sostenibilidad débil
El Moussaoui et al. (2019)	Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Escribano et al. (2018)	ITEA Informacion Tecnica Economica Agraria	Dialnet y Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Espinoza-Guzmán et al. (2018)	Sociedad y Ambiente	Redalyc	Español	Sostenibilidad débil
Flinzberger et al. (2020)	Sustainability Science	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
González et al. (2018)	Cultivos Tropicales	Redalyc	Español	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
González et al. (2019)	Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias	Redalyc	Español	Sostenibilidad fuerte
Goparaju et al. (2020)	Ecological Questions	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Hanisch et al. (2019)	Sustainability (Switzerland)	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Heredia-R et al. (2020)	Agronomy	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Huang et al. (2021)	Agricultural Water Management	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Kaba et al. (2021)	Waste Management	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Korneeva (2022)	Forests	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Leal et al. (2019)	Agroforestry Systems	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Lehmann et al. (2020)	Sustainability (Switzerland)	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Marques Filho et al. (2017)	Bioscience Journal	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Medina Litardo et al. (2020)	Journal of Science and Research	Dialnet		Sostenibilidad fuerte
Ngaji et al. (2021)	Forest and Society	Scopus	Inglés	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Nicli et al. (2019)	Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Nyberg et al. (2020)	Land	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Osuna-Ceja et al. (2019)	Revista mexicana de ciencias agrícolas	Dialnet y Scielo	Español	Sostenibilidad débil
Parthiban et al. (2021)	Sustainability (Switzerland)	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil

Autores y Año	Revista	Base de datos	Idioma	Enfoque de la sostenibilidad
Peña et al. (2018)	Ecosistemas	Dialnet y Scielo	Español	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Pérez-Lombardini et al. (2021)	Animals	Scopus	Inglés	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Phondani et al. (2020)	Environmental and Sustainability Indicators	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Ramírez Gil (2017)	Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción	Redalyc	Español	Sostenibilidad débil
Rangel Marquina et al. (2017)	Cuadernos de biodiversidad	Dialnet	Español	Sostenibilidad débil
Reis et al. (2021)	Microorganisms	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Rusdy (2020)	Livestock Research for Rural Development	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Sahle et al. (2022)	Environmental Science and Pollution Research	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Santiago-Freijanes et al. (2021)	Agroforestry Systems	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Schaffer et al. (2019)	Sustainability (Switzerland)	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Silvianingsih et al. (2021)	Land	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Smith et al. (2022)	Agricultural Systems	Scopus	Inglés	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Sobalbarro-Figueroa et al. (2020)	Ceiba	Dialnet	Español	Sostenibilidad débil
Sun et al. (2017)	Forests	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Torres-Alcívar et al. (2019)	Journal of Science and Research	Dialnet	Español	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Tschopp et al. (2022)	Journal of Arid Environments	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Tschora & Cherubini (2020)	International Journal of Sustainable Agricultural Management and Informatics	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
van Noordwijk (2021)	Land	Scopus	Inglés	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica

<b>Autores y Año</b>	<b>Revista</b>	<b>Base de datos</b>	<b>Idioma</b>	<b>Enfoque de la sostenibilidad</b>
van Noordwijk et al. (2020)	Land	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Waldron et al. (2017)	Tropical Conservation Science	Scopus	Inglés	Sostenibilidad fuerte
Wartenberg et al. (2018)	Ecology and Society	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Weiler et al. (2019)	Revista Amazónica Ciencia y Tecnología	Dialnet	Español	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Yadav et al. (2021)	Applied Ecology and Environmental Research	Scopus	Inglés	Sostenibilidad débil
Zambrano et al. (2020)	Journal of Science and Research	Dialnet	Español	Sostenibilidad fuerte

**Fuente:** Elaboración propia

## B. Anexo 2: Criterios empleados para la evaluación de la sostenibilidad en los SAF

**Tabla 4-1:** Propiedades físico-químicas de los suelos.

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
pH del suelo	El pH (potencial de hidrógeno) determina la acidez o alcalinidad del suelo lo que determina la disponibilidad de nutrientes para las plantas	9
Conductividad eléctrica (CE)	Nivel de concentración de sales (salinidad) disueltas en el suelo	4
Humedad	Contenido de humedad del suelo y la capacidad de retención de humedad	7
Concentración de materia orgánica en el suelo	Niveles de Materia Orgánica del Suelo (MOS) la cual se encuentra en diferentes grados de descomposición como lábiles o fracciones húmicas	16
Concentración de carbono orgánico del suelo	Niveles de concentración de carbono orgánico del suelo (COS) y su nivel de reserva	7
Fósforo	Niveles de concentración de fósforo (P) disponible en el suelo como parte de minerales y compuestos orgánicos	7
Nitrógeno	Niveles de nitrógeno (N) disponible y la capacidad de fijación biológica de nitrógeno en el suelo para favorecer la nutrición	9
Densidad aparente	Peso por volumen de suelo, la cual es medida de la compactación o soltura del terreno	8
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Cantidad de cargas negativas presentes en el suelo (minerales y componentes orgánicos) y que representa la capacidad de retención de cationes (Calcio, Magnesio, Sodio, Potasio, amonio, etc.)	2
Saturación de aluminio	Relación existente entre el aluminio intercambiable del suelo y la suma de las bases de intercambio (calcio, magnesio, sodio y potasio)	1
Resistencia mecánica	Resistencia del suelo a ser cortado determinado por la estructura o que sea apoyado sobre el mismo	1
Pendiente	Porcentaje de la pendiente predominante del suelo	3

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Textura	Cantidad y tamaño de las sustancias inorgánicas que poseen los suelos (arena, piedras o arcilla) y puede determinar la capacidad de retención y transporte de agua y minerales	7
Estructura del suelo	Distribución de los estratos del suelo y las sustancias inorgánicas que poseen que afectan la erosión y conductividad de los suelos	13
Porosidad total	Espacio del volumen del suelo que no es ocupado por materiales sólidos (minerales y materia orgánica), estos espacios permiten el flujo de agua, nutrientes, aire o gases	3
Presentación de actividad biológica	Presencia de macrofauna u otro tipo de especímenes en el suelo como lombrices, así como hongos (mohos y levaduras) o bacterias aerobias mesófilas	6
Presencia de erosión de suelo	Presencia de suelos desprotegidos, sin presencia de surquillos o cárcavas	4
Suma de bases	Suma de la concentración de: Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) expresada en moles por kilogramo	15
Propiedades químicas en general	Propiedades químicas del suelo como disponibilidad de nutrientes (Nitrógeno, Potasio, Fosforo, Calcio, Magnesio), el potencial de hidrógeno (pH), la concentración de sales, materia orgánica, entre otras	3
Absorción y ciclo de nutrientes	Ciclado y absorción de materia orgánica e inorgánica para la producción de más materia orgánica	4
Almacenamiento de agua en el suelo	Distribución vertical del almacenamiento de agua en el suelo en la tierra sin cobertura vegetal y en diferentes edades de los rodales	4
Presencia de otros metales	Presencia de metales en el suelo como manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), hierro (Fe), entre otros	7
Azufre (S) y Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	Presencia de azufre y sulfatos en el suelo necesario para síntesis de proteínas	3
Drenaje	Drenaje o evacuación del agua acumulada en la superficie del suelo para evitar inundaciones o encharcamientos	3
Color	Color percibido en el suelo como indicador de su composición (gris, negro, blanco, rojo, marrón, entre otros)	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-2:** Servicios ecosistémicos.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Preservación de la biodiversidad	Conservación de la diversidad genética para el desarrollo de actividades comerciales con especies adaptadas a diferentes condiciones climáticas	5
Purificación del aire	Capacidad de las plantas para la regulación de la calidad del aire mediante la liberación de oxígeno y la purificación del aire	2
Fertilidad integral del suelo	Fertilidad integral del suelo que tiene en cuenta la estructura del suelo, textura, color del suelo, densidad aparente, pH, materia orgánica, suma de bases, disponibilidad de nutrientes, entre otros	13
Nutrientes del suelo	Calidad del rodal y productividad de la tierra determinada por la disponibilidad de nutrientes en el suelo como nitrógeno, potasio, fósforo, calcio o magnesio	9
Provisión de alimentos	Provisión de alimentos (para humanos y no humanos) por parte de los ecosistemas mediante el mantenimiento de las condiciones necesarias para cultivar, recolectar o cosechar alimentos	5
Provisión de materiales	Provisión de materias primas como leña, materiales de construcción, forrajes, fibras, combustibles por parte del ecosistema	4
Sombra	Árboles de sombra que atenúan los extremos del microclima (temperatura, viento, sequía) y que influyen en las precipitaciones y en la disponibilidad de agua	3
Control de erosión	Cobertura vegetal que previene la erosión del suelo y que ayuda a garantizar su fertilidad y evitar su degradación	6
Provisión de medicinas	Provisión de materias primas para la elaboración de productos farmacéuticos y remedios eficaces para problemas de salud	1
Balance hídrico	Capacidad de almacenamiento de agua durante periodos lluviosos y de liberarla durante periodos secos	4
Ciclos biogeoquímicos	Mantenimiento de la disponibilidad de nutrientes y otros elementos necesarios para la vida (carbono, oxígeno, agua) para ser reutilizados por otros organismos	1
Provisión y calidad del agua	Papel de los ecosistemas en el suministro y almacenamiento de agua dulce	5
Biodiversidad estructural y funcional	Provisión de espacios vitales para las diferentes especies de plantas y animales en ecosistemas terrestres y acuáticos	3

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Efectos de protección	Protección y amortiguación de eventos naturales extremos como inundaciones, tormentas, deslizamientos o sequías.	2
Polinización	Polinización de plantas y árboles por parte de insectos y aves, principalmente, para el desarrollo de las frutas, hortalizas y semillas	2
Control de plagas y enfermedades	Conservación de depredadores y parásitos para el control de plagas y enfermedades a las poblaciones que habitan los ecosistemas	4
Valor estético	Fuente de inspiración para el arte y diseño a partir de los animales, las plantas y los ecosistemas	2
Mitigación de los efectos del cambio climático	Mitigación de los efectos adversos e impactos del cambio climático	4
Culturales	Aporte de los ecosistemas a las expresiones culturales, espirituales, conocimiento tradicional y costumbres	1
Tratamiento de aguas residuales	Mejoramiento del drenaje y filtrado de agua para la descomposición de microorganismos y patógenos	2
Dispersión de semillas	Dispersión de semillas por aves, murciélagos u otros animales para la conservación de diferentes especies de plantas	1
Contribuciones de la naturaleza a las personas (NCP)	Beneficios materiales y no materiales de los ecosistemas a las personas como la provisión de alimentos, agua, valores culturales, estéticos, de regulación o control	2
Contribuciones de las personas a la naturaleza (PCN)	Beneficios materiales y no materiales de las personas a los ecosistemas desde la infraestructura social, gobernanza, cooperación, consumo responsable, equidad y educación	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-3:** Componente forestal.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Altura	Altura de los árboles (en centímetros)	2
Distancia horizontal	Distancia horizontal definida entre árboles (en metros)	1

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Diámetro y circunferencia	Diámetro a la altura del pecho (1,3 m sobre el suelo) y a la misma altura la circunferencia (ambos en centímetros)	3
Volumen de madera por árbol	Volumen de madera por planta (metros cúbicos)	3
Volumen de madera por hectárea	Volumen de madera por hectárea sembrada (metros cúbicos)	2
Materia seca	Promedios de masa de materia seca de hojas, ramas, tallos y raíces	2
Plantaciones Agroforestales Industriales	Desarrollo de Plantaciones Agroforestales Industriales Organizadas	1
Fijación de Nitrógeno en plantaciones forestales	Asociación con bacterias fijadoras de Nitrógeno (N)	1
Descomposición de materia orgánica	Descomposición de las hojas	2
Evaluación de la eficiencia forestal de las masas forestales protectoras	Eficiencia forestal de las masas forestales determinada a partir de la estructura de las masas forestales, los costos de cosecha de productos de madera y su productividad (árboles de crecimiento rápido para forestación, madera comercial, biocombustibles y desechos de madera)	1
Eficiencia Forestal del Uso de la Tierra	Eficiencia Forestal del Uso de la Tierra Equipada con un Sistema de Rodales Protectores (Por 1 hectárea de Paisaje Agrícola) según los parámetros tecnológicos del cultivo	1
Evaluación Económica de la productividad del uso de la tierra	Evaluación Económica de la Productividad del Uso de la Tierra Equipada con un Sistema de Rodales Forestales Protectores según su composición, estructura y los beneficios de las ventas de madera comercial y biocombustibles	1
Rango de influencia de la plantación	Rango de influencia de los árboles	1
Masa forestal	Número de hectáreas de espacio de masa forestal	1
Especies formadoras	Cantidad de especies de plantas formadoras de bosques	3
Cinturones forestales	Número de cinturones forestales dentro del paisaje agrícola	1

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Superficie cinturones forestales	Hectáreas totales de cinturones forestales como porcentaje de la superficie agrícola total	1
Efecto medio anual unitario de la venta de madera comercial y biocombustibles	Efecto medio anual unitario de la venta de madera comercial y biocombustibles, teniendo en cuenta el factor tiempo y la dinámica de crecimiento de la raza principal ( $r = 2\%$ )	1
Productividad unitaria	Rendimiento de los árboles medido a partir del volumen de producción de madera por árbol	4
Biomasa aérea (AGB)	Biomasa aérea (AGB) calculada a partir del diámetro de los árboles empleando modelos alométricos	1
Salud de los árboles	Salud de los árboles para la producción de alimentos, funciones biológicas (fotosíntesis, absorción del dióxido de carbono, producción de biomasa) y su vida útil de los árboles	3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-4:** Usos del suelo.

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Expansión del uso del suelo	Variaciones en el número de árboles por hectárea en el sistema y los cambios en la densidad del bosque o áreas naturales (hectáreas)	10
Bosque cerrado	Áreas con coberturas de bosque con árboles de más de 15 metros de altura	6
Bosque semi caducifolio húmedo	Áreas con coberturas de bosque semi caducifolio húmedo de alta densidad	4
Áreas de bosque abierto	Áreas que han sido taladas y dejadas para recuperación (matorrales de arbustos y árboles, vegetación cercana a arroyos o cursos de agua, árboles cercanos a cultivos)	10
Tierras agrícolas	Superficie total de tierras dedicadas a alguna forma de cultivo, incluidos cultivos alimenticios anuales, agrosilvicultura y pastos	13
Pastizales	Superficie dedicada a la siembra de pastos (rastreras o de porte alto)	8
Superficie edificada	Áreas con edificaciones, infraestructuras y terrenos baldíos	3

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Superficie total	Área total del sistema analizado en hectáreas	2
Huertas	Superficie dedicada a las huertas familiares (metros cuadrados)	2
Bancos de forraje	Superficie dedicada a la siembra de especies forrajeras para la alimentación animal (hectáreas)	2
Cercas vivas	Áreas cercadas con corredores de árboles forestales como cercas vivas (árboles por hectárea)	10
Quemas e incendios forestales	El número anual de incendios e incendios forestales en un territorio determinado	2
Tipo de agroecosistema	Tipo de agroecosistema: Agroforestal, convencional, agrosilvopastoril, silvopastoril, entre otros	15
Carga ganadera	Carga por hectárea del sistema ganadero (Unidades de gran ganado por hectárea)	1
Áreas de conservación y manejo	Áreas destinadas a la restauración, conservación de tierras (como porcentaje del total o en hectáreas)	4
Proyección de la zona de influencia	Proyección del paisaje en la zona de influencia en el futuro	2
Gestión y uso de la tierra	Disposición del uso de la tierra, la diversidad de cultivos y actividades económicas, zonas de conservación, entre otras	15
Hábitats y paisajes	Tipo de hábitat, paisajes identificados y el grado de conservación o degradación	5
Interacciones árbol-suelo-cultivo	Interacciones entre los árboles, el suelo y los cultivos en contextos espaciales y climáticos	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-5:** Integralidad ambiental.

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Mitigación de gases de efecto invernadero (GEI)	Prácticas de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) y la evaluación de la variabilidad climática	4
Mejora del suelo	Prácticas de mejora de las propiedades del suelo	5

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Prevención de la contaminación del aire	Prácticas para la prevención de la contaminación del aire	3
Equilibrio de nutrientes	Prácticas relacionadas al mantenimiento del equilibrio de nutrientes en el suelo	5
Conservación y recuperación de áreas	Prácticas para la conservación y recuperación o regeneración de áreas naturales	7
Conservación del agua	Prácticas de conservación de cuerpos de agua relevantes dentro del área de influencia del sistema	5
Prevención de la contaminación del agua	Prácticas de prevención de la contaminación del agua como resultado de las actividades productivas	4
Diversidad y complejidad del ecosistema	Grado de diversidad de especies en el sistema natural	10
Conservación de especies	Conservación de especies, variedad genética de semillas y razas	6
Materiales renovables y reciclados	Uso de materiales renovables o reciclados en la producción	3
Uso de energía	Consumo de energía de fuentes convencionales y renovables	4
Reducción de desperdicios	Prácticas para la reducción de la pérdida de alimentos y generación de desperdicios	3
Manejo integrado de plagas	Prácticas para el manejo de plagas que incluye criterios socio ecológicos y económicos para minimizar el impacto ambiental	1
Agrosilvicultura autóctona	Conservación y mantenimiento de la agrosilvicultura autóctona	1
Mejoramiento ambiental	Minimizar las emisiones, la producción de desechos y promover la siembra de especies de plantas ecológicamente significativas	3
Balance de nutrientes	Balance de nutrientes en el suelo principalmente de aquellos más significativos para la productividad (Nitrógeno, fósforo, potasio) y su autoabastecimiento dentro del sistema	6
Gestión de emisiones	Seguimiento periódico de las emisiones de gases de efecto invernadero y la gestión de sus potenciales riesgos	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-6:** Propiedades físico químicas del agua.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
pH	Potencial de hidrógeno (pH) del agua que determina el grado de acidez del agua y su solubilidad	1
Conductividad eléctrica	Medida de la capacidad de una solución líquida para el transporte de la electricidad y que depende de la presencia y concentración de iones, así como de la temperatura	1
Sólidos suspendidos totales (TSS)	Materia suspendida o disuelta en el agua (potable, superficial, salina, residuales), esta materia afecta la calidad o potabilidad del agua	2
Materia orgánica	Cantidad de materia orgánica presente en el agua lo que puede afectar los procesos biológicos o químicos del agua como la demanda química de oxígeno (DQO) o la demanda biológica de oxígeno (DBO5)	3
Nutrientes	Presencia de nutrientes naturales como nitrógeno (N) o fósforo (P) que favorecen el crecimiento de plantas pero que pueden traer problemas para el consumo humano	1
Mineralización	Presencia de minerales en el agua	1
Nivel de agua subterránea	Profundidad del agua subterránea y niveles del nivel freático	5
Evapotranspiración potencial estimada	Máxima cantidad de agua que la capa vegetal puede liberar a la atmósfera	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-7:** Impacto ambiental.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Relación de carga ambiental (ELR)	Indicador de la presión sobre los ecosistemas locales como resultado de las actividades productivas	1
Pérdida de la fertilidad del suelo	Pérdida de la fertilidad de los suelos debido a las actividades humanas, proceso que afecta los niveles de nutrientes esenciales como el nitrógeno, fósforo y potasio disponibles	2

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Erosión del suelo	Grado de erosión del suelo o pérdida de suelo (toneladas por hectárea al año)	4
Degradación de tierras por actividades productivas	Efectos sobre la tierra de las actividades productivas como el incremento de la exposición del suelo, compactación del suelo, contaminación del suelo o el daño físico a la cobertura vegetal	8
Residuos químicos	Residuos químicos derivados de la producción por actividades relacionadas al uso de agroquímicos, abonos, fertilizantes, etc.	1
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	Emisiones derivadas de la producción de insumos (plantas, fertilizantes), operaciones de campo (desbroce, desgarramiento, arado, siembra, uso de abonos, cosecha), transporte, venta, entre otros	5
Pérdida de biodiversidad	Disminución o desaparición de la diversidad biológica por situaciones diferentes a las naturales	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-8:** Resiliencia.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Resiliencia	Capacidad del sistema de producción para proteger y salvaguardar sus propiedades inherentes ante situaciones de perturbaciones	6
Índice erosión-productividad (IEP)	Relación entre el rendimiento anual de un cultivo en un terreno erosionado y el rendimiento anual del mismo cultivo en un terreno no erosionado	1
Índice de vida productiva (IVP)	Período de tiempo al que un sistema de producción deja de ser sostenible y vulnerable por bajar de cierto nivel de productividad	1
Índice de pérdida productiva (IPP)	Magnitud de la pérdida de productividad del cultivo por efecto de la erosión acumulada del suelo	1
Rendimiento de equilibrio (RE)	Variación del rendimiento en relación a un rango 'típico' de fluctuación en el ambiente del área de estudio	1

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Adaptabilidad	Capacidad de los sistemas para transformar su funcionamiento ante posibles cambios del entorno	1
Confiabilidad	Propiedades relacionadas con la conservación de los recursos base	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-9:** Condiciones climáticas.

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Temperatura	Registro de la temperatura ambiente en grados Celsius o Fahrenheit según el país	9
Humedad	Porcentaje de vapor de agua en el aire	3
Punto de rocío	Temperatura a la cual el vapor de agua en el aire se condensa para generar rocío	1
Velocidad de los vientos	Velocidad del viento expresada en metros por segundo (m/s) o kilómetros por hora (Km/h)	2
Índice de calor	Sensación térmica o temperatura aparente expresada en grados Celsius o Fahrenheit según el país	1
Precipitación	Cantidad de agua en forma de lluvia, granizo, nieve, entre otros que cae al suelo medida en milímetros	8

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-10:** Biodiversidad.

Criterio de evaluación	Descripción	Número de artículos
Cobertura vegetal nativa	Usos e importancia ecológica, cultural y económica del componente de especies nativas	13
Componente animal	Diversidad de especies animales para fines ganaderos o especies menores	2

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Biodiversidad asociada	Diversidad de plantas silvestres, animales salvajes (aves, reptiles, anfibios, mamíferos, invertebrados) relacionadas al sistema pero que no son de uso productivo, esta puede ser medida en el tiempo (biodiversidad temporal) o por extensión (biodiversidad espacial)	15
Diversidad de la producción agrícola	Diversidad de especies de plantas cultivadas o silvestres para la alimentación animal y humana que se relaciona con la riqueza de especies asociadas (puede ser medido a través del IDA (Índice de Agrobiodiversidad))	16
Especies invasoras	Presencia de especies introducidas o invasoras en el sistema	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-11:** Características biológicas.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Características morfológicas	Características de la planta como: número y longitud de brácteas, longitud de la inflorescencia, número de flores inmaduras o maduras, frutos inmaduros o maduros, entre otras	8
Actividad antifúngica	Alteraciones sobre estructuras fúngicas (inhibir su desarrollo, alterar su viabilidad o capacidad de supervivencia) por parte de alguna especie o compuesto en particular	2
Características fenológicas	Características relacionadas a la fenología de las especies como el crecimiento radicular o la modulación de la raíz (promotora del crecimiento)	2
Crecimiento de la planta	Tasas de crecimiento de la biomasa de las diferentes partes de la planta	13

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-12:** Reservas de carbono.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Existencias de Carbono en biomasa	Carbono captado por especies arbóreas en cada subsistema por especie y el total por subsistema	5
Secuestro de Carbono	Secuestro de Carbono (C) por las diferentes partes de la planta en diferentes sistemas agroforestales y edades de cultivo	10
Reserva de Carbono en el ecosistema	Reserva de Carbono del ecosistema según la concentración de carbono en la biomasa aérea (AGB), biomasa subterránea (BGB) y la concentración de carbono orgánico del suelo (SOC)	6
Potencial de neutralización de las emisiones	Potencial de neutralización de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el ganado	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-13:** Uso del agua.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Gestión y uso del agua	Intensidad del uso del agua y su relación al abastecimiento hídrico	4
Riesgos para la calidad del agua	Grado de potabilidad del agua y los riesgos asociados	1
Eficiencia en el uso del agua por especies	Grado de eficiencia en el uso del agua por parte de especies de plantas o animales no humanos	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-14:** Prácticas agrícolas.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Prácticas de labranza	Prácticas relacionadas a la labranza de la tierra: labranza cero, reducida, sistemas de hoyos, mantillo de rastrojos, en franjas, al hilo, en camellones	3
Manejo de residuos	Capacidad de dar una asignación final a la basura recogida adecuada (envases vacíos de agroquímicos, residuos orgánicos, entre otros)	5
Enriquecimiento agrícola	Medidas de enriquecimiento para la recuperación de la fertilidad de los suelos	2
Uso de plaguicidas	Intensidad de uso de plaguicidas en áreas cultivadas para el manejo de plagas en el cultivo	3
Uso de fertilizantes	Intensidad de uso de fertilizantes en áreas cultivadas de un territorio, en un período determinado para incrementar la productividad	4
Tipo de manejo	Técnicas de manejo de los cultivos agrícolas (cultivo intercalado, rotación de cultivos, en franja, de relevo)	8
Establecimiento del cultivo	Actividades relacionadas con la siembra y la preparación de la tierra, labranza o sistemas de riego requeridos	6
Tratamiento de aguas residuales	Medidas de tratamiento para la reutilización de aguas residuales rurales o urbanas para la producción agrícola	2
Prácticas de protección del suelo	Medidas para la conservación de suelos como la destinación de áreas con prácticas agroecológicas que incluyan los principios ecológicos para la asociación de los cultivos	9
Técnicas de conservación	Técnicas para la conservación del agua, el suelo o demás elementos abióticos relacionadas al cultivo	5
Uso eficiente de los recursos naturales	Eficiencia en el uso de los recursos naturales (energía, agua y suelo, entre otros)	2
Innovación en los sistemas agroforestales	Estrategias para la diversificación, innovación y resiliencia en los sistemas agroforestales que puedan minimizar el impacto ambiental	8
Agricultura climáticamente inteligente	Agricultura climáticamente inteligente basa en la mitigación y adaptación al cambio climático	2

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Gestión de nutrientes	Prácticas para la gestión de nutrientes como el mantillo, compostaje, cultivos de cobertura, cultivos fijadores de nitrógeno, estiércol, fertilizantes químicos restringidos y gestión química	3
Investigación-acción	Identificar problemas y recomendar soluciones y desarrollar una agricultura económicamente rentable y ecológicamente sostenible	2
Adopción de tecnologías modernas y rentables	Adopción de prácticas o tecnologías modernas para el mejoramiento de la rentabilidad como el uso de variedades de cultivo mejoradas, uso de abonos verdes, entre otras	5
Evaluación de amenazas y problemas	Evaluación de potenciales amenaza o problemas en la producción (fitosanitarios, plagas, enfermedades, etc.)	3
Prácticas agronómicas	Tipos de prácticas agronómicas empleadas en la unidad productiva	2
Variedades sembradas	Principales variedades de plantas sembradas en el cultivo y sus porcentajes por variedad	5
Procesamiento y comercialización agroindustrial	Sistema de procesamiento o transformación y comercialización de productos agroindustriales	2
Manejo y cosecha	Prácticas relacionadas con el manejo y cosecha del cultivo, la adopción de cultivos fijadores de nitrógeno, el tiempo hasta la cosecha y técnicas de cosecha	5
Procesos de autorregulación	Prácticas que ayudan a fortalecer los cultivos con raíces profundas, micorrizas bien establecidas y procesos de autorregulación	1
Flujos laterales	Flujos laterales (agua, organismos, fuego, nutrientes, suelo, etc.), tampones y filtros	1
Índice de reparto del suelo	Ratio de suelo equivalente para la multifuncionalidad	1

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-15:** Comercialización.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Ingreso neto mensual	Rentabilidad neta a partir del área de producción y los rendimientos por hectárea	10
Diversificación para la venta	Cantidad de productos o servicios diferentes para la comercialización que provienen de la misma unidad productiva	3
Canales de comercialización	Variedad de canales para la comercialización de los productos o servicios	4
Dependencia de insumos externos	Porcentaje de dependencia o independencia de insumos externos para la comercialización	7
Precio de venta	Precio en unidades monetarias de los productos o servicios	7
Demanda	Cantidad total de productos o servicios que son adquiridos por consumidores finales en un período de tiempo determinado	1
Calidad e información de los productos	Aceptación de los productos por parte de la comunidad según su relación calidad, precios y la información disponible en el etiquetado	3
Tierras vendidas	Cantidad de hectáreas vendidas con fines comerciales	1
Funciones comerciales	Planeación de ventas, marketing y tasa de productos agrícolas	2
Prácticas Comerciales Justas	Manejo de precios justos, transparencia en los contratos de venta y trazabilidad del producto en pro de las relaciones con clientes y su satisfacción	7
Estabilidad del Mercado	Mantenimiento de la situación económica en cuanto a los niveles de producción, empleo, precios en el mercado	5
Productos certificados	Certificaciones de productos en aspectos como marcas verdes, producción orgánica o sellos veganos, ' <i>cruelty free</i> ', entre otros	2
Vías de comercialización	Número de vías y métodos de transporte para la comercialización	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-16:** Producción agrícola.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Producción de la Unidad Productiva	Nivel de producción total de la Unidad Productiva para el período de tiempo tenido en cuenta (mensual, trimestral, semestral o anual) calculado a partir de funciones técnicas	8
Costos de mano de obra	Costos de mano de obra o unidades de trabajo necesarias para realizar las actividades relacionadas con la producción agrícola (expresados en unidades monetarias)	3
Costos de insumos agrícolas	Costos de insumos para la producción agrícola como abonos, semillas, maquinaria, plaguicidas, entre otros (expresados en unidades monetarias)	5
Producción de insumos	Autoabastecimiento de semillas e insumos agrícolas (fertilizantes, urea, pesticidas)	1
Nuevas tendencias sustentables en la producción	Nuevas tendencias sustentables en la producción como: Ecodiseño, Ingeniería verde, Química verde, Eco-innovación, Producción más limpia, Manufactura sustentable, Ciclo de vida del producto, Eco-eficiencia, entre otras	1
Diversificación productiva	Número de sistemas productivos agrícolas o productos agrícolas diferentes	5
Estabilidad	Perseverancia en la producción y rendimiento en el sistema productivo ante externalidades	1
Relación de Tierra Equivalente (LER)	Área relativa de tierra requerida en monocultivos para producir el mismo rendimiento que en un sistema de cultivos intercalados o agroforestal	3
Infraestructura utilizada	Capacidad de la Infraestructura instalada que es utilizada en la producción (en porcentaje)	1
Importancia del cultivo	Proporción de la superficie total que es destinada a un cultivo específico	1
Relación con proveedores	Descripción de la relación entre los productores y los proveedores de insumos, materias primas, maquinaria, entre otros	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-17:** Producción ganadera.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Salud y bienestar animal	Aspectos relacionados con la salud física, emocional y comportamental de los animales, medido según: tasa de mortalidad del ganado, acceso permanente de animales a espacios abiertos, acceso de los animales al agua, calidad del alojamiento de los animales y sanidad animal	11
Manejo de ganado	Prácticas para el manejo de los animales productivos y disposición de los tiempos para inactividad (horas), rumia (horas) y la frecuencia de defecación y micción según el tipo de manejo	7
Productividad animal	Productividad ganadera según el tipo y categorías de los animales presentes en la unidad productiva	5
Tipo de ganado	Diversidad de especies productivas, oportunidad de comportamiento según especie y la conservación de razas nativas	4
Nutrición	Valor nutritivo de los pastos y producción de forraje, porcentaje de la dieta animal basada en pastoreo, la digestibilidad y el consumo de los alimentos	4
Cantidad de animales	Número de animales para las diferentes categorías presentes en la unidad productiva	2
Categorías	Propósito de ganado: leche, carne, doble propósito o genética y su distribución por edades	4
Modo de pastoreo	Tipo de pastoreo y horas diarias de pastoreo para los animales productivos	3
Gestión integrada del ganado	Inclusión de prácticas integrales en el manejo de los animales, incluyendo la revitalización de prácticas etnoveterinarias	3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-18:** Indicadores económicos.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Estrategias de ahorro	Variedad de estrategias para la consecución de ahorros genuinos para el sistema	3
Apoyos económicos	Pagos en dinero o especie entregados por organizaciones o benefactores	2
Cadena de valor	Herramienta de análisis para actividades económicas relacionadas a la producción, comercialización de bienes o servicios, actividades de apoyo e impactos de estas actividades como el desarrollo socioeconómico	4
Distribución equitativa de ganancias	Distribución justa y equitativa de los beneficios económicos derivados de la producción y venta de bienes o servicios	3
Vulnerabilidad económica	Riesgo económico o vulnerabilidad frente a situaciones externas que se deriva del nivel de ingresos de la unidad productiva o grupo familiar	3
Ingresos económicos	Nivel de ingresos generados por la producción y comercialización de bienes y servicios a nivel de la unidad evaluada (unidad productiva, municipio, región, país)	12
Relaciones de la cadena de valor	Relaciones entre la unidad productiva y su entorno, la participación de industrias o actores al interior de la cadena de valor y el tipo de relaciones	6
Sistema económico	Estudio del contexto económico de la unidad productiva y sus relaciones con actividades económicas asociadas, el negocio, la gestión y contabilidad	6
Empleo	Nivel de empleo en la unidad analizada (número de trabajadores)	4

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-19:** Rendimientos productivos.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Rendimiento productivo de cultivos	Producción por hectárea de cultivos (kilogramos por hectárea agrícola)	23
Eficiencia productiva	Producción diaria por hectárea productiva	5
Relación costo-beneficio	Indicador que mide el beneficio financiero por cada unidad monetaria invertida (Dónde: B/C= Beneficio costo B= ganancia total neta por hectárea; C= costo total neto por hectárea)	10
Ganancia neta	Ganancia total neta en unidades monetarias por hectárea o UP	7
Costo total	Sumatoria de los costos asociados a la producción (mano de obra, insumos, comercialización, entre otros)	12
Evaluación económica de la productividad de los rodales forestales	Evaluación de los costos de cosecha de productos de madera obtenidos de la tala que dependen de la complejidad y la capacidad de las operaciones	1
Eficiencia comercial de las medidas forestales para la extracción de madera	Eficiencia comercial de la extracción de madera por hectárea de bosques protectores en planos y laderas de la estepa forestal según los costos asociados	1
Productividad en el modelo agroforestal	La eficiencia de los sistemas para producir bienes o servicios relacionados al modelo agroforestal	4

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-20:** Indicadores financieros.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Manejo del capital	Administración de los activos y pasivos de la unidad productiva (incluye los bienes físicos y activos financieros)	3
Flujo de caja	Relación entre el flujo de caja, volumen de ventas, reserva de liquidez o el rendimiento sobre los activos	9

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Viabilidad económica	Margen de Utilidad Bruta de la producción que resulta de restar los ingresos del al costo de producción	9
Situación financiera	Balance de la situación financiera de la unidad productiva que tiene en cuenta el nivel de endeudamiento, la capacidad para servir el capital de otros (intereses y amortización) y el período de recuperación de la inversión inicial	6
Indicadores de rentabilidad	Indicadores de rentabilidad para la toma de decisiones de inversión como el valor actual neto (VPN) o la tasa interna de retorno (TIR)	3
Tasa de inversión	Porcentaje de inversión (capitales físicos o naturales o humanos, mano de obra)	5
Opciones de financiamiento	Disponibilidad de opciones de financiamiento (por ejemplo, ingresos agrícolas, préstamos y subsidios)	3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-21:** Uso de energía.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Índice de inversión emergente	El índice de inversión que indica la cantidad de energía comprada (F) en relación a la energía proveniente del sistema (I) y representa la eficiencia o no del mismo	1
Relación de Cambio emergente	Unidades de energía entregada a un consumidor en relación con lo consumido en la producción	1
Consumo de energía	Consumo de energía per cápita	3
Fuentes renovables de energía	Proporción de fuentes renovables de energía con respecto al consumo total de energía	4
Gestión energética	Calidad de la energía empleada, ahorro de energía y uso de fuentes de energía más sostenibles	1
Abastecimiento de energía	Intensidad de la energía utilizada para la producción agrícola y fuentes para el abastecimiento de energía	3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-22:** Administración y contabilidad.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Estadísticas empresariales	Registro de inventarios, balances económicos y financieros y otras estadísticas empresariales	5
Dirección y Control	Estrategias y planificación para garantizar procesos de calidad al interior de la unidad productiva, así como el suministro y cumplimiento de las obligaciones contraídas desde la dirección	7
Responsabilidad social empresarial	Medidas y acciones de la empresa para cumplir con los compromisos adquiridos con las organizaciones sociales de su entorno, así como el manejo y cuidado del medio ambiente del que hace parte	3
Ética empresarial y cooperación	Valores y principios de la empresa que determinan la toma de decisiones, transparencia y rendición de cuentas	4

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-23:** Seguridad y gestión.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Salud y Bienestar de los trabajadores	Salud mental, física, emocional y económica de los empleados de la unidad productiva	3
Seguridad en el trabajo	Medidas para asegurar la seguridad en el trabajo, en las operaciones e instalaciones, así como el control de riesgos y accidentes	7
Redes de seguridad	Protección de los activos físicos e intangibles de la empresa	3
Gestión del personal	Administración de las horas de trabajo, niveles de salarios e ingresos para el bienestar de los trabajadores	8

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-24:** Aspectos sociales.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Calidad de vivienda	Adecuaciones y condiciones mínimas de vida de la vivienda	7
Acceso y nivel de educación	Estadísticas relacionadas al nivel de alfabetización de la población mayor de 15 años, máximo nivel educativo alcanzado y tasas de escolarización	13
Acceso a la salud y cobertura sanitaria	Acceso a la salud, disponibilidad de medicamentos y equipos de centros sanitarios cercanos	10
Acceso a servicios básicos	Servicios básicos presentes en la unidad productiva (agua, fluido eléctrico, saneamiento, teléfono, entre otros)	8
Grado de satisfacción del agricultor	Grado de satisfacción del agricultor con la situación actual de la producción y condiciones ambientales	2
Integración social	Pertenencia a organizaciones sociales, grupos y redes locales, relación con otros miembros de la comunidad y descripción de las organizaciones (historia, número de integrantes, participación)	13
Grado de conciencia ecológica	Coherencia social de la agrosilvicultura	4
Propiedad de la tierra	Tipo de tenencia de la tierra: propietario formal, informal, otro	6
Grado de integración de la mujer	Grado de integración de la mujer en labores agrícolas y de administración de la finca (distribución de derechos, deberes, responsabilidades)	8
Capacitación y educación agraria	Capacitaciones, asesorías o asistencias técnicas recibidas cada año en temas relacionados a la producción agrícola	16
Integración familiar en la producción y toma de decisión (IFPROD)	Nivel de autonomía en la participación e integración familiar en los procesos productivos y en la toma de decisiones que influyen en la administración de la finca	1
Enfermedades relacionadas con el saneamiento inadecuado	Hospitalizaciones por enfermedades relacionadas con el saneamiento inadecuado	1
Tasa de mortalidad por accidentes de transporte	Número de muertos por accidentes de tráfico	1

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Transporte y comunicación	Medios de transporte empleados por las personas de la unidad productiva y las vías de comunicación con las que cuentan	2
Migración	Movimiento temporal, estacional o permanente de personas a otra zona o país para encontrar trabajo, desplazamiento (migración forzada) u otros motivos	5
Adaptación tecnológica	Grado de adopción de tecnologías como resultado de procesos de transferencia por parte de vecinos, ONG, universidades o centros de investigación	2
Composición familiar	Número de hogares y su composición familiar	2
Densidad poblacional	Densidad de población humana por kilómetro cuadrado	3
Ciencia subyacente	Estudios y disciplinas que subyacen del estudio del capital natural como: crecimiento de árboles (arquitectura y funcionamiento); ciclos de agua, nutrientes y carbono; captura y ciclos de agua, nutrientes, luz y carbono; evaluación de opciones en contexto; economía agrícola; cuantificación de relaciones de escala; valores instrumentales y relacionales que influyen en la toma de decisiones; autorregulación de la industria; ciclos de emisión; subsidiariedad (devolución de la gobernanza).	9

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-25:** Aspectos socio-culturales.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Fuerza de trabajo	Disponibilidad y requerimientos de mano de obra en labores de finca /agroecosistema	7
Distribución de las tareas	Distribución de las labores al interior del hogar y de las comunidades (calificadas y no calificadas)	2

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Capacidad de organización y gestión	Planeación de las actividades productivas, decisiones de ampliación o reestructuración, evaluación y monitoreo y grado de dependencia administrativa externa	6
Participación en la toma de decisiones	Porcentaje de participación en la toma de decisiones grupales y la participación del agricultor en la transformación de sus propias producciones	5
Apoyos externos	Asesorías, apoyo con recursos financieros, operativos a los hogares por parte de benefactores o agentes externos	3
Generación de relevo	Sentido de pertenencia a la UP	3
Programas del Estado y nivel de aceptación	Programas del Estado relacionados con las unidades productivas (chagras, cultivos agrícolas, sistemas ganaderos) y los niveles de aceptación o favorabilidad	3
Desarrollo de destrezas y conocimientos	Desarrollo de nuevas destrezas y conocimientos a través de cursos, talleres, entrenamientos para el trabajo productivo en la unidad productiva y el nivel de aceptación de nuevas prácticas	7
Gobernanza	Nivel de participación en las convocatorias realizadas, gobernanza al interior de las organizaciones y asociatividad	4
Patrimonio cultural	Mantenimiento del patrimonio cultural, redes sociales y tienen valores estéticos intrínsecos	2
Percepción de la comunidad	Percepción de la comunidad de los problemas climáticos o servicios ecosistémicos	4
Índice de Valor de Importancia (IVI)	Observación del índice de valor de importancia acerca de los problemas climáticos como resultado de la ecuación: $IVI = RD + RF + RDom$ (donde RD = Densidad Relativa; RF = Frecuencia Relativa; RDom = Dominancia Relativa).	1
Índice de Diversidad Observación	Diversidad de especies percibidas por la población a partir de la identificación de muestreos de plántulas, árboles y postes	2
Diversidad Cultural	Diversidad de grupos étnicos y el respeto de la propiedad intelectual (conocimiento indígena) y los derechos de los grupos indígenas	3
Actividades autoorganizadas	Autonomía de los grupos humanos sobre la toma de decisiones y la capacidad para organizarse a escala local	2

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Jerarquía	Claridad sobre la estructura de poder en la toma de decisiones, los niveles de influencia y los liderazgos	4
Dimensiones de Hofstede	Teoría de las dimensiones culturales para la comunicación intercultural, tiene en cuenta seis dimensiones: distancia de poder, individualismo, masculinidad, evitación de la incertidumbre, orientación de largo plazo e indulgencia	1
Justicia ambiental e intergeneracional	Justicia ambiental e intergeneracional por parte de las instituciones públicas y privadas, rendición de cuentas y políticas anticorrupción	3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-26:** Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
1. Fin de la pobreza	Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo	2
2. Hambre cero	Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición	3
3. Salud y bienestar	Promover la vida sana y el bienestar para todos en todas las edades	2
4. Educación de calidad	Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje	1
5. Igualdad de género	Lograr la igualdad entre los géneros y el empoderamiento de todas las mujeres y niñas	3
6. Agua limpia y saneamiento	Garantizar la disponibilidad de agua y su ordenación sostenible y el saneamiento para todos	2
7. Energía asequible y no contaminante	Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos	2
8. Trabajo decente y crecimiento económico	Promover el crecimiento sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos	2
9. Industria, innovación e infraestructura	Construir infraestructura resiliente, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.	1

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
10. Reducción de las desigualdades	Reducir la desigualdad en y entre los países	1
11. Ciudades y comunidades sostenibles	Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles	1
12. Producción y consumo responsables	Garantizar modos de consumo y producción sostenible	2
13. Acción por el clima	Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos	2
14. Vida submarina	Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos	1
15. Vida de ecosistemas terrestres	Proteger, restaurar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, efectuar una ordenación sostenible de los bosques, luchar contra la desertificación, detener y revertir la degradación de las tierras	3
16. Paz, justicia e instituciones sólidas	Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles	1
17. Alianza para lograr los objetivos	Fortalecer los medios de ejecución y revitalizar la alianza mundial para el desarrollo sostenible	1
Estudio de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	Estudio de los diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenibles propuestos por la Organización de Naciones Unidas	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-27:** Bienestar humano.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Suficiente comida y agua	Acceso a comida y agua suficiente para una alimentación adecuada	4
Educación de calidad	Acceso a educación de calidad para los miembros de la familia	2

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Vida saludable	Desarrollo de las capacidades individuales para llevar una vida saludable con buena alimentación, recreación y condiciones que permitan mejorar la calidad de vida	6
Igualdad de género	Promover la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer	4
Distribución del ingreso	Concentración de ingreso en los diferentes rubros y actores	2
Buen gobierno	Participación de los interesados en la toma de decisiones y capacidad de resolución de conflictos	2
Mejora de la calidad de las condiciones de vida rural	Diversificación de los medios de vida rurales y el mejoramiento de las condiciones de vida	2
Soberanía alimentaria	Soberanía alimentaria desde la autosuficiencia, la diversificación de la producción y la producción de autoconsumo	5
Conocimiento tradicional	Preservación y documentación del conocimiento indígena y tradicional	4
Situación financiera	Situación financiera de la unidad familiar o productiva analizada: nivel de endeudamiento, capacidad de pago, ingresos mensuales	2
Buenas relaciones sociales	Aporte a la calidad de vida de las relaciones sociales, libertad y valores personales	3
Infraestructura	Infraestructura productiva disponible, vías de acceso y distancia a centros poblados	3
Acceso a la información	Acceso a la información de técnicas de producción, inteligencia de mercados y precios	3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-28:** Aspectos políticos.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Conocimiento de la misión	Conocimiento de la misión o propósito por parte de las organizaciones y al interior de las mismas	2
Participación	Conjunto de leyes que garantizan la participación y asociatividad	4
Plan de gestión integral	Plan de gestión integral o sostenible para la producción agroforestal que tenga en cuenta el manejo integrado de las tierras y los activos disponibles a nivel local	5
Derecho de propiedad y uso de la tierra	Normatividad que garantiza la propiedad o derecho de uso de la tierra en el tiempo	5
Papel de las instituciones	Asistencia y apoyo institucional en las comunidades y unidades productivas, así como la creación de reglas y normas que sean legitimadas y bajo principios de participación	9
Protección del medio ambiente y de los trabajadores vulnerables	Leyes y códigos sólidos y aplicables que para la protección del medio ambiente y de los trabajadores vulnerables	1
Equidad	Distribución de derechos, deberes, responsabilidades entre géneros	3
Políticas institucionales de promoción de SAF	Políticas institucionales para la habilitación adecuada y promoción de los sistemas agroforestales (SAF)	4
Derechos e incentivos	Conjunto de derechos que protegen a los trabajadores o pueden representar un incentivo para los propietarios (derechos laborales o de propiedad intelectual)	4
Resolución de conflictos	Estrategias para la resolución de conflictos entre diferentes actores	2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-29:** Medios de vida.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Capital Humano (HC)	Habilidades y conocimientos de las personas, ofertas de formación, nivel educativo y acceso a servicios de salud	3
Capital Natural (NC)	Acceso a la tierra y al agua, servicios derivados de los ecosistemas y la biodiversidad	2
Capital Físico (PC)	Abastecimiento de agua y energía, infraestructura y acceso a la información	2
Capital Financiero (FC)	Acceso a préstamos bancarios, microcréditos, activos líquidos y entradas regulares de dinero	2
Capital Social (SC)	Conjunto de reglas y normas, cooperativas, intercambio y actividades sociales dentro de una comunidad	2
Medios de vida dignos	Provisión de capacidades y actividades que aumentan las fuentes de sustento, la seguridad del personal y de la comunidad	2
Resiliencia de los medios de vida	Resiliencia de los medios de vida frente a fluctuaciones en los mercados, en la producción de alimentos, cambio climático o disponibilidad de materiales	3

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-30:** Conflictos sociales.

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Acceso a recursos naturales	Derechos limitados o competencia para el acceso a los recursos naturales: competencia por el recurso hídrico o acceso limitado a tierras de cultivo, pastoreo u otras actividades económicas	3

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Número de artículos</b>
Pérdida de vidas humanas	Pérdida de vidas humanas como resultado de los conflictos sociales	1
Inseguridad alimentaria	Pérdida de cosechas y ganado como consecuencia de la contaminación del agua y degradación de las tierras	3
Problemáticas sociales	Problemáticas sociales como: la pobreza, conflictos sociales, litigios legales prolongados, inseguridad social, diferencias culturales, entre otras	6

**Fuente:** Elaboración propia

## C. Anexo 3: Tabla resumen de artículos revisados

Autores y Año	Problemas ambientales	Número de criterios	Dimensiones tenidas en cuenta	Enfoque de la sostenibilidad
Ahirwal et al. (2022)	Cambio climático Deforestación Pérdida de biodiversidad	11	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Albarracín-Zaidiza et al. (2019)	Aumento de la pobreza Disminución de la resiliencia de los ecosistemas Degradación de los ecosistemas naturales Pérdida de la biodiversidad Problema técnico productivo (monocultivos, prácticas agrícolas) Concentración de la propiedad	9	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Alegre et al. (2017)	Deforestación Cambio en uso del suelo (expansión de la frontera agrícola) Degradación de ecosistemas Tenencia del suelo	6	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Ali & Mattsson (2019)	Deforestación Degradación de los ecosistemas	7	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Andrade Alvarado (2017)	Contaminación de recursos naturales (suelo y agua) Efectos negativos sobre la salud humana	17	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad fuerte
Andreotti et al. (2020)	Cambio climático Conversión del suelo Problema técnico productivo	5	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad fuerte
Arango et al. (2017)	Fragmentación de ecosistemas Problema técnico-productivo (eficiencia y manejo de sistemas)	5	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad fuerte
Arciniegas-Torres & Flórez-Delgado (2018)	Inseguridad alimentaria Presión sobre ecosistemas y recursos	7	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Ashiagbor et al. (2020)	Erosión del suelo Baja productividad Deforestación Pérdida de la biodiversidad	6	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Awazi & Avana-Tientcheu (2020)	Inseguridad alimentaria Pobreza rural Crecimiento poblacional Conflictos sociales	24	Ecológicos-ecosistémicos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte

11C Análisis de los enfoques de la sostenibilidad ambiental de sistemas agroforestales

Autores y Año	Problemas ambientales	Número de criterios	Dimensiones tenidas en cuenta	Enfoque de la sostenibilidad
Barrezueta Unda & Paz-González (2018)	Problema técnico-productivo (rentabilidad de sistemas, fertilidad del suelo) Emisiones de GEI Escasez del recurso hídrico	12	Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Barrientos et al. (2017)	Degradación de suelos Erosión Problema técnico-productivo (rendimiento de los cultivos) Pérdida de la capacidad productiva	20	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad fuerte
Belleze et al. (2017)	Presión sobre ecosistemas naturales	14	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Biscaia et al. (2020)	Pérdida de la biodiversidad Cambios en uso del suelo Inseguridad alimentaria Problema técnico-productivo (sobre explotación, administración de suelo y agua, prácticas agrícolas)	27	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Bravo-Medina et al. (2017)	Degradación de ecosistemas naturales Expansión de la frontera agrícola Pérdida de la capacidad productiva Problema técnico-productivo	39	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Cardoso et al. (2017)	Cambio climático	9	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad débil
Castañeda-Ccori et al. (2020)	Demanda por alimentos Tenencia de la tierra Problema técnico productivo (producción de cacao)	27	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Castillo-Rojas (2020)	Problema técnico-productivo (cultivos intensivos vs cultivos extensivos, pérdida de la fertilidad del suelo) Pérdida de conectividad Tenencia de la tierra Desplazamiento de comunidades indígenas	4	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil

<b>Autores y Año</b>	<b>Problemas ambientales</b>	<b>Número de criterios</b>	<b>Dimensiones tenidas en cuenta</b>	<b>Enfoque de la sostenibilidad</b>
Cid Aguayo et al. (2019)	Problema técnico-productivo (prácticas agrícolas en transiciones sustentables)	1	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Córdova et al. (2018)	Tenencia de la tierra (concentración de la propiedad) Incremento de la pobreza Marginalización Desnutrición Pérdida de valores culturales (discriminación cultural)	27	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Crous-Duran et al. (2019)	Cambio climático Problema técnico-productivo (requerimiento de tierras)	8	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Damianidis et al. (2021)	Desertificación Incendios forestales Abandono rural	15	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
De La Hoz Maestre et al. (2021)	Problema técnico productivo	23	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad débil
El Moussaoui et al. (2019)	Presión sobre recursos hídricos Problema técnico-productivo (uso del agua en la producción)	17	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Escribano et al. (2018)	Problema técnico-productivo (disminución en la rentabilidad de las granjas) Degradación de suelos Abandono rural	26	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Espinoza-Guzmán et al. (2018)	Problema técnico-productivo (administración de empresas, generación de empleo e ingresos)	16	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Flinzberger et al. (2020)	Abandono de tierras Problema técnico-productivo (intensificación en uso del suelo, mayor demanda de agua) Presión sobre ecosistemas Cambio climático Pérdida de valores culturales	17	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
González et al. (2018)	Inseguridad alimentaria Soberanía alimentaria	31	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
González et al. (2019)	Problema técnico-productivo (uso ineficiente de materias primas y energía, ciclo de vida de los productos)	28	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Goparaju et al. (2020)	Presión sobre los ecosistemas Problema técnico-productivo (Demanda por recursos)	17	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil

<b>Autores y Año</b>	<b>Problemas ambientales</b>	<b>Número de criterios</b>	<b>Dimensiones tenidas en cuenta</b>	<b>Enfoque de la sostenibilidad</b>
Hanisch et al. (2019)	Cambio climático Crecimiento poblacional	34	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Heredia-R et al. (2020)	Deforestación (expansión frontera agrícola) Disminución en la cantidad y calidad de servicios ecosistémicos Pérdida de valores culturales (medios de vida)	51	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Huang et al. (2021)	Desertificación	3	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Kaba et al. (2021)	Pérdida de suelos Desertificación Baja productividad de cultivos	8	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Korneeva (2022)	Oferta de biomasa Alza en los precios de materiales y biocombustibles	32	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad fuerte
Leal et al. (2019)	Presión sobre ecosistemas naturales Variabilidad climática Cambio climático Abandono de la tierra Incendios forestales Cambio en el uso del suelo Pérdida de la biodiversidad	1	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Lehmann et al. (2020)	Cambio climático Aumento en la demanda de recursos Crecimiento poblacional	21	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Marques Filho et al. (2017)	Cambio climático Emisiones de GEI	27	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad fuerte
Medina Litardo et al. (2020)	Problema técnico-productivo (uso del suelo, poca diversidad de especies, baja eficiencia y rentabilidad) Transformación de ecosistemas naturales Poca participación Degradación de ecosistemas	51	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Ngaji et al. (2021)	Cambio climático Crecimiento poblacional Pandemia del Covid-19	21	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Nicli et al. (2019)	Problema técnico-productivo (manejo de tierras, empobrecimiento de tierras) Incremento de la Erosión Deforestación	37	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte

Autores y Año	Problemas ambientales	Número de criterios	Dimensiones tenidas en cuenta	Enfoque de la sostenibilidad
Nyberg et al. (2020)	Cambio climático (incremento en las emisiones de carbono en la atmósfera) Degradación de ecosistemas naturales (expansión de la frontera agrícola)	21	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Osuna-Ceja et al. (2019)	Problema técnico-productivo (productividad de los cultivos, déficit de forraje) Abandono rural Descapitalización de los productores	4	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Parthiban et al. (2021)	Crecimiento poblacional Desabastecimiento de materiales (madera)	9	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Peña et al. (2018)	Deforestación Fragmentación de ecosistemas Pérdida de la biodiversidad	31	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Pérez-Lombardini et al. (2021)	Deforestación Crecimiento poblacional Incremento de la demanda (leche) Inseguridad alimentaria Cambio climático	42	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Phondani et al. (2020)	Cambio climático (variabilidad climática) Degradación de ecosistemas Escasez de agua Pobreza	50	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Ramírez Gil (2017)	Cambio en el uso del suelo Problema técnico-productivo (disminución en los cultivos) Inseguridad financiera	22	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Rangel Marquina et al. (2017)	Cambio en uso del suelo Deforestación	8	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Reis et al. (2021)	Incremento de la temperatura Sequías Problema técnico-productivo: Incremento en enfermedades a los cultivos Presión sobre ecosistemas	5	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Rusdy (2020)	Problema técnico-productivo (necesidad de incrementar la producción de ganado, pero poca disponibilidad de forraje) Desertificación Degradación de suelos (compactación de suelos) Pérdida de la cobertura vegetal	12	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil

Autores y Año	Problemas ambientales	Número de criterios	Dimensiones tenidas en cuenta	Enfoque de la sostenibilidad
Sahle et al. (2022)	Deterioro / fragmentación de los ecosistemas naturales Cambio climático Pobreza rural	27	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad fuerte
Santiago-Freijanes et al. (2021)	Deterioro / fragmentación de los ecosistemas naturales	5	Sociales-culturales	Sostenibilidad débil
Schaffer et al. (2019)	Problema técnico-productivo (rendimiento de los cultivos) Límites planetarios Cambio climático Presión sobre los servicios ecosistémicos	19	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Silvianingsih et al. (2021)	Incendios forestales Inseguridad alimentaria	26	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
Smith et al. (2022)	Problema técnico productivo	27	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Sobalbarro-Figueroa et al. (2020)	Problema técnico-productivo (bajo rendimiento de la producción)	27	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Sun et al. (2017)	Pérdida de la cobertura vegetal Deforestación Cambio climático Problema técnico-productivo (mal manejo de recursos y del suelo)	15	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Torres-Alcívar et al. (2019)	Problema técnico-productivo (disminución en el rendimiento de cultivos de cacao) Cambio climático	38	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Tschopp et al. (2022)	Deforestación Pérdida de la biodiversidad Pérdida de paisajes Pérdida de cobertura vegetal Desplazamiento de comunidades indígenas	9	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Tschora & Cherubini (2020)	Cambio climático Inseguridad alimentaria (disponibilidad y acceso) Incremento de precios de alimentos Desnutrición	31	Ecológicos-ecosistémicos	Sostenibilidad débil
van Noordwijk (2021)	Límites planetarios Degradación de los ecosistemas Problema técnico-productivo: interfaz ciencia-política	37	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica

Autores y Año	Problemas ambientales	Número de criterios	Dimensiones tenidas en cuenta	Enfoque de la sostenibilidad
van Noordwijk et al. (2020)	Covid-19 dificultad en la Provisión de alimentos Problema técnico-productivo (mal manejo de tierras)	27	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Waldron et al. (2017)	Incremento de la demanda por alimentos Seguridad alimentaria Cambio climático Pérdida de la biodiversidad Pérdida de la integralidad de los ecosistemas Degradación de los suelos Alteraciones en los sistemas sociales	31	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte
Wartenberg et al. (2018)	Degradación de suelos Problema técnico-productivo (disminución de la producción de alimentos, mala administración) Crecimiento poblacional Cambio climático	24	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Weiler et al. (2019)	Deforestación Incremento en la demanda por alimentos Expansión de la frontera agrícola	47	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad socio ecosistémica / superfuerte / sistémica
Yadav et al. (2021)	Cambio climático Inseguridad alimentaria	4	Económicos-productivos	Sostenibilidad débil
Zambrano et al. (2020)	Deterioro en ecosistemas naturales (cuerpos de agua, suelos) Problema técnico-productivo (pérdida de la fertilidad del suelo y calidad del agua) Deterioro salud humana y animal	29	Ecológicos-ecosistémicos Económicos-productivos Sociales-culturales	Sostenibilidad fuerte

**Fuente:** Elaboración propia



## Bibliografía

- Adamowicz, M. (2022). Green Deal, Green Growth and Green Economy as a Means of Support for Attaining the Sustainable Development Goals. *Sustainability*, 14, 5901. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su14105901>
- Ahirwal, J., Sahoo, U. K., Thangjam, U., & Thong, P. (2022). Oil palm agroforestry enhances crop yield and ecosystem carbon stock in northeast India: Implications for the United Nations sustainable development goals. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 478–487. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.022>
- Albarracín-Zaidiza, J. A., Fonseca-Carreño, N. E., & López-Vargas, L. H. (2019). Las prácticas agroecológicas como contribución a la sustentabilidad de los agroecosistemas. Caso provincia del Sumapaz. *Ciencia y Agricultura*, 16(2), 39–55. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01228420.v16.n2.2019.9139>
- Alegre, J., Lao, C., Silva, C., & Schrevens, E. (2017). Recovering degraded lands in the Peruvian Amazon by cover crops and sustainable agroforestry systems. *Peruvian Journal of Agronomy*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.21704/pja.v1i1.1005>
- Ali, A., & Mattsson, E. (2019). Wood density is a sustainability indicator for the management of dry zone homegarden agroforests: Evidences from biodiversity–ecosystem function relationships. *Ecological Indicators*, 105(April 2018), 474–482. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.024>
- Andrade Alvarado, C. K. (2017). ANÁLISIS SUSTENTABLE DE LAS FINCAS DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) en Santa Rosa de Quives, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*, 16(2), 135. Disponible en: <https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1017>
- Andreotti, F., Speelman, E. N., Van den Meersche, K., & Allinne, C. (2020). Combining participatory games and backcasting to support collective scenario evaluation: an action

research approach for sustainable agroforestry landscape management. *Sustainability Science*, 15(5), 1383–1399. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00829-3>

Ángel-Maya, A. (2013). *El Reto de la Vida. Ecosistema y Cultura. Una Introducción al Estudio del Medio Ambiente (Segunda)*. Publicación en línea. Disponible en: [http://augustoangelmaya.com/images/obras/el\\_reto\\_de\\_la\\_vida.pdf](http://augustoangelmaya.com/images/obras/el_reto_de_la_vida.pdf)

Arango, Á. M. A., García, J. C. C., & Rojas, J. M. C. (2017). Sustainability calculation approach of guadua (*Guadua angustifolia* Kunth.) forests throughout the use of emergetic analysis. *Acta Agronómica*, 66(4), 531–537. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v66n4.57478>

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

Ashiagbor, G., Oduro, W., Gyiele, L., Siaw, D., Barnes, V. R., Agbenyega, O., ... Odame, H. H. (2020). Toward sustainable land resources management with agroforestry: empirical evidence from the Sunyani west district of Ghana. *Agroforestry Systems*, 94(2), 527–537. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00419-y>

Awazi, N. P., & Avana-Tientcheu, M. L. (2020). Agroforestry as a sustainable means to farmer–grazier conflict mitigation in Cameroon. *Agroforestry Systems*, 94(6), 2147–2165. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00537-y>

Barrezueta Unda, S. A., & Paz-González, A. (2018). Indicadores de sostenibilidad sociales y económicos: Caso productores de cacao en El Oro, Ecuador. // Indicators of sustainability social and economic: Case cocoa farmers of El Oro, Ecuador. *Ciencia Unemi*, 11(27), 20–29. Disponible en: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss27.2018pp20-29p>

Barrientos, E., Carevic, F., & Delatorre, J. (2017). La sustentabilidad del altiplano sur de Bolivia y su relación con la ampliación de superficies de cultivo de quinua. *Idesa (Arica)*, 35(2), 12.

Belleze, G., Bernardes, M. E. C., Pimenta, C. A. M., & Júnior, P. C. N. (2017). Brazilian ecovillages and IBGE sustainable development indicators: A comparative analysis. *Ambiente e Sociedade*, 20(1), 223–238. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC20150164R2V2012017>

- Ben-Eli, M.U. (2018) Sustainability: definition and five core principles, a systems perspective. *Sustainability Science* 13, 1337–1343. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0564-3>
- Biscaia, A. E. B., Hanisch, A. L., & Nimmo, E. R. (2020). Leveraging traditional agroforestry practices to support sustainable and agrobiodiverse landscapes in Southern Brazil. *Land*, 9 (176), 1–19. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/LAND9060176>
- Bravo-Medina, C., Marín, H., Marrero-Labrador, P., Ruiz, M. E., Torres-Navarrete, B., Navarrete-Alvarado, H., ... Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonia Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1), 23–36.
- Brundtland, G. H. (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. Documentos de las Naciones Unidas (Trad. en castellano, Nuestro futuro común, Madrid, Alianza Ed., 1988). Disponible en: [https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE\\_LECTURE\\_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf](https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf)
- Cardoso, A., Laviola, B. G., Santos, G. S., de Sousa, H. U., de Oliveira, H. B., Veras, L. C., ... Favaro, S. P. (2017). Opportunities and challenges for sustainable production of *A. aculeata* through agroforestry systems. *Industrial Crops and Products*, 107(January), 573–580. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.023>
- Castañeda-Ccori, J., Bilhaut, A. G., Mazé, A., & Fernández-Manjarrés, J. (2020). Unveiling Cacao agroforestry sustainability through the socio-ecological systems diagnostic framework: The case of four Amazonian rural communities in Ecuador. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15), 1–17. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/SU12155934>
- Castillo-Rojas, K. M. (2020). Agroforestería como alternativa de desarrollo sostenible en el territorio indígena de Salitre, zona de amortiguamiento del Parque Internacional la Amistad. *Revista Espiga*, 19(39), 63–76. Disponible en: <https://doi.org/10.22458/re.v19i39.2861>

- Cid Aguayo, B. E., Vanhulst, J., & Rojas, C. (2019). Retroinnovación y sustentabilidad socioecológica: el caso de quesos campesinos de leche cruda en el Golfo de Arauco, Chile. *Mundo Agrario*, 20(44), e119. Disponible en: <https://doi.org/10.24215/15155994e119>
- Córdova, R., Hogarth, N. J., & Kanninen, M. (2018). Sustainability of smallholder livelihoods in the Ecuadorian highlands: A comparison of agroforestry and conventional agriculture systems in the indigenous territory of Kayambi People. *Land*, 7(2). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land7020045>
- Crous-Duran, J., Graves, A. R., García-De-Jalón, S., Paulo, J. A., Tomé, M., & Palma, J. H. N. (2019). Assessing food sustainable intensification potential of agroforestry using a carbon balance method. *IForest*, 12(1), 85–91. Disponible en: <https://doi.org/10.3832/ifor2578-011>
- da Silva Araújo, F. A., de Andrade, L. P., Molica, R. J. R., & da Silva Andrade, H. M. L. (2022). Indicadores de sustentabilidade para sistemas agroflorestais: Levantamento de metodologias e indicadores utilizados. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60 (Special Issue), 1–16. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.246191>
- Dagar, J. C., & Tewari, V. P. (2018). Evolution of agroforestry as a modern science. En *Agroforestry: Anecdotal to Modern Science* (pp. 13–90). Springer. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_2)
- Daly, H. (2013) Sustainable Development: Definitions, Principles, Policies. Mechanism of Economic Regulation, (No 3, 2013). Disponible en: <http://www.comitatoscientifico.org/temi%20SD/documents/@@DALY%20SD%20definicions.pdf>
- Damianidis, C., Santiago-Freijanes, J. J., den Herder, M., Burgess, P., Mosquera-Losada, M. R., Graves, A., ... Pantera, A. (2021). Agroforestry as a sustainable land use option to reduce wildfires risk in European Mediterranean areas. *Agroforestry Systems*, 95(5), 919–929. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00482-w>
- De La Hoz Maestre, J., Montes Escobar, K., & Salas Macías, C. (2021). El Índice de Sociedad Sostenible (SSI) en América: análisis desde una perspectiva de Biplot dinámico. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 36(3), 1035–1061. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-)

72102021000301035&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.mx/pdf/educm/v36n3/2448-6515-educm-36-03-1035.pdf

El Moussaoui, T., Wahbi, S., Mandi, L., Masi, S., & Ouazzani, N. (2019). Reuse study of sustainable wastewater in agroforestry domain of Marrakesh city. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(3), 288–293. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.08.004>

Ellis, F. & Allison, E. H. (2001) “The livelihoods approach and management of small-scale fisheries”, *Marine Policy*, 25(5), pp. 377–388.

Escribano, M., Díaz-Caro, C., y Mesias, F. J. (2018). A participative approach to develop sustainability indicators for dehesa agroforestry farms. *Science of the Total Environment*, 640–641, 89–97. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.297>

Espinoza-Guzmán, M. A., Pineda López, M. del R., Sánchez-Velásquez, L. R., Ruiz-Gómez, M. G., & López Espejel, Z. I. (2018). La sustentabilidad en tres empresas sociales de la región de los Tuxtlas, Veracruz, México. *Sociedad y Ambiente*, (18), 231–254. Disponible en: <https://doi.org/10.31840/sya.v0i18.1886>

Espinoza-Freire, E.E. (2019). Las variables y su operacionalización en la investigación educativa. Segunda parte. *Conrado*, 15(69), 171-180. Epub 02 de septiembre de 2019. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1990-86442019000400171&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000400171&lng=es&tlng=es).

FAO (1999) Tema 3: Sistemas Agroforestales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/3/ah647s/AH647S00.htm>

FAO (2002) Plantaciones forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <http://www.fao.org/3/Y1997S/y1997s00.htm#Contents>

FAO (2013) Agroforestry, food and nutritional security. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/forestry/37082-04957fe26afbc90d1e9c0356c48185295.pdf>

FAO (2017) El futuro de la alimentación y la agricultura: Tendencias y desafíos (Vol. 1, Número 1). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>

FAO (2023) Propiedades del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/es/>

Flinzberger, L., Zinngrebe, Y., y Plieninger, T. (2020). Labelling in Mediterranean agroforestry landscapes: a Delphi study on relevant sustainability indicators. *Sustainability Science*, 15(5), 1369–1382. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00800-2>

Galeano, M. (2018). Estrategias de investigación social cualitativa: el giro en la mirada (Segunda ed.). Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Sociales y Humanas. Fondo Editorial FCSH. Disponible en: <https://es.scribd.com/read/408167348/Estrategias-de-investigacion-social-cualitativa-EI-giro-en-la-mirada#>

González, A. J., Romero, M. I., & Calderón Casallas, C. (2019). Organización basada en procesos sustentables. Una revisión de literatura. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, VI(23), 97–126. Disponible en: <https://redalyc.org/articulo.oa?id=215067134007>

González, Y., Leyva, A., Pino, O., Mercadet, A., Antonioli, Z. I., Arebalo, R. A., ... Gomez, Y. (2018). The functioning of a pre-mountain agroecosystem and its prospective orientation towards sustainability: the role of agrobiodiversity. *El Funcionamiento de Un Agroecosistema Premontano y Su Orientacion Prospectiva Hacia La Sostenibilidad: Rol de La Agrobiodiversidad.*, 39(1), 21–34. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362018000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362018000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

Goparaju, L., Ahmad, F., Uddin, M., & Rizvi, J. (2020). Agroforestry: An effective multi-dimensional mechanism for achieving sustainable development goals. *Ecological Questions*, 31(3), 63–71. Disponible en: <https://doi.org/10.12775/EQ.2020.023>

Gudynas, E. (2011). Desarrollo y sustentabilidad ambiental: diversidad de posturas, tensiones persistentes. *La Tierra no es muda: diálogos entre el desarrollo sostenible y el*

- postdesarrollo, 69–96. Disponible en: <http://www.gudynas.com/publicaciones/GudynasUsosIdeasSustentabilidadGranada11.pdf>
- Guevara Patiño, Ragnhild. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos?. *Folios*, (44), 165-179. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-48702016000200011&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-48702016000200011&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Hanisch, A. L., Negrelle, R. R. B., Bonatto, R. A., Nimmo, E. R., & Lacerda, A. E. B. (2019). Evaluating sustainability in traditional silvopastoral systems (caívas): Looking beyond the impact of animals on biodiversity. *Sustainability (Switzerland)*, 11(11). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11113098>
- Heinberg, R. (2010). Más allá de los límites del crecimiento. The Post Carbon Reader Series: Conceptos fundacionales. Disponible en: <http://www.postcarbon.org/report/122404->
- Heredia-R, M., Torres, B., Cayambe, J., Ramos, N., Luna, M., & Diaz-Ambrona, C. G. H. (2020). Sustainability assessment of smallholder agroforestry indigenous farming in the amazon: A case study of ecuadorian kichwas. *Agronomy*, 10(12), 1–25. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy10121973>
- Hernández-Ruiz, G. M., Álvarez-Orozco, N. A., & Ríos-Osorio, L. A. (2017). Biorremediación de organofosforados por hongos y bacterias en suelos agrícolas: Revisión sistemática. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 139–159. Disponible en: [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num1\\_art:564](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:564)
- Huang, Z., Liu, Y., Qiu, K., López-Vicente, M., Shen, W., & Wu, G. L. (2021). Soil-water deficit in deep soil layers results from the planted forest in a semi-arid sandy land: Implications for sustainable agroforestry water management. *Agricultural Water Management*, 254 (March). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106985>
- ICRAF (2023) History of World Agroforestry (ICRAF). Centro Internacional de Investigaciones Agroforestales (ICRAF). Disponible en: <https://www.worldagroforestry.org/about/history>

- IPBES (2022) Summary for policymakers of the methodological assessment regarding the diverse conceptualization of multiple values of nature and its benefits, including biodiversity and ecosystem functions and services (assessment of the diverse values and valuation of nature). Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES). Bonn, Germany. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6522392>
- IPCC (2022) Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001. Disponible en: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_SummaryForPolicymakers.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf)
- Kaba, J. S., Yamoah, F. A., & Acquaye, A. (2021). Towards sustainable agroforestry management: Harnessing the nutritional soil value through cocoa mix waste. *Waste Management*, 124, 264–272. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.021>
- Korneeva, E. A. (2022). Economic Assessment and Management of Agroforestry Productivity from the Perspective of Sustainable Land Use in the South of the Russian Plain. *Forests*, 13(2). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/f13020172>
- Leal, A. I., Correia, R. A., Palmeirim, J. M., y Bugalho, M. N. (2019). Is research supporting sustainable management in a changing world? Insights from a Mediterranean silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, 93(1), 355–368. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0231-9>
- Lehmann, L. M., Smith, J., Westaway, S., Pisanelli, A., Russo, G., Borek, R., ... Ghaley, B. B. (2020). Productivity and economic evaluation of agroforestry systems for sustainable production of food and non-food products. *Sustainability (Switzerland)*, 12(13), 1–9. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su12135429>
- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J. M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J., & Milera-Rodríguez, M. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería

- tropical. *Pastos y Forrajes*, 40(2), 83–95. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v40n2/pyf01217.pdf>
- Lorenz, K., & Lal, R. (2018). Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems. *Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems*, 1–392. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92318-5>
- Luffiego, M., & Rabadán, J. (2000). La evolución del concepto de sostenibilidad y su introducción en la enseñanza. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(3), 473–486.
- Mahecha, L. (2003). Importancia de los sistemas silvopastoriles y principales limitantes para su implementación en la ganadería colombiana. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 16(1), 11–18. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295026121002>
- Marín, G., Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., Mauro, F., & Calle, A. (2011). Sistemas de producción animal (Primera). Universidad de Caldas, Proyecto UNICO. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4782/sistemas\\_produccion\\_animal\\_i.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4782/sistemas_produccion_animal_i.pdf)
- Marques Filho, W. C., Barbosa, G. F., Cardoso, D. L., Ferreira, A. D., Pedrinho, D. R., Bono, J. A. M., ... Frainer, D. M. (2017). Productive sustainability in a silvopastoral system | Sustentabilidade produtiva em sistema silvipastoril. *Bioscience Journal*, 33(1), 10–18.
- McDonag, M. S., Whiting, P. F., Wilson, P. M., Sutton, A. J., Chestnutt, I., Cooper, J., Misso, K., Bradley, M., Treasure, E., & Kleijnen, J. (2000). Systematic review of water fluoridation. *BJM*, 321(1), 855–859.
- MEA (2005) *Ecosystems and Human Well-Being*; Island Press: Washington, DC, USA, 2005; ISBN 1-59726-040-1
- Medina Litardo, R., Cobos Mora, F., Lombeida Garcia, E., & Hasang Moran, E. (2020). Evaluación de un sistema silvopastoril para la gestión sostenible de los recursos naturales de la Hacienda Aurora, Guayas –Ecuador, 5, 2528–8083. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4421986>

- Morandín-Ahuerma, I., Contreras-Hernández, A., Ayala-Ortiz, D. A., y Pérez-Maqueo, O. (2019). Socio-Ecosystemic Sustainability. *Sustainability*, 11(12), 3354. MDPI AG. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/su11123354>
- Moreno, A. (2007). Fundamentos sobre sistemas de producción. En *Sistemas de Producción de Café en Colombia* (Primera, pp. 15–21). FNC - Cenicafé. Disponible en: [https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas\\_de\\_produccion.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/sistemas_de_produccion.pdf)
- Naredo, J. (1996). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. *Cuadernos de investigación urbanística*, 41, 7–18. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1333758>
- Ngaji, A. U. K., Baiquni, M., Suryatmojo, H., y Haryono, E. (2021). Assessing the sustainability of traditional agroforestry practices: A case of mamar agroforestry in kupang-indonesia. *Forest and Society*, 5(2), 438–457. Disponible en: <https://doi.org/10.24259/fs.v5i2.14380>
- Nicli, S., Mantilla-Contreras, J., Fernandez, R. W. M., Schermer, M., Unger, D., Wolf, S., & Zerbe, S. (2019). Socio-economic, political, and institutional sustainability of agroforestry in alta verapaz, guatemala. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 120(1), 105–117. Disponible en: <https://doi.org/10.17170/kobra-20190613561>
- Noguera, A. P. (2009). Augusto Angel Maya: Poeta-Filósofo del Pensamiento Ambiental Latinoamericano. *ISEE Publicación Ocasional*, 6, 1–9.
- Nyberg, Y., Musee, C., Wachiye, E., Jonsson, M., Wetterlind, J., & Öborn, I. (2020). Effects of agroforestry and other sustainable practices in the Kenya Agricultural Carbon Project (KACP). *Land*, 9 (10), 1–22. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land9100389>
- Odum, E. P., & Warret, G. W. (2006). *Fundamentos de ecología: Odum, Eugene P (Ed. 5a)*. México D.F.: International Thomson Editores.
- ONU (2019) *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas (ONU). Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Osuna-Ceja, E. S., Pimentel-López, J., Padilla-Ramírez, J. S., Martínez-Gamiño, M. Á., & Figueroa-Sandoval, B. (2019). La sostenibilidad y resiliencia de un sistema agroforestal de

- secano para el altiplano semiárido de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (22), 63–75. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i22.1859>
- Parewa, H., Suresh, N., Yadav, R., Meena, V., & Choudhary, A. (2018). Revisiting the agroforestry ecosystem for soil sustainability: lessons from the past and objectives for the future. *Tropical Ecology*, 59(4), 565–573.
- Partey, S. T., Sarfo, D. A., Frith, O., Kwaku, M., & Thevathasan, N. V. (2017). Potentials of Bamboo-Based Agroforestry for Sustainable Development in Sub-Saharan Africa: A Review. *Agricultural Research*, 6(1), 22–32. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40003-017-0244-z>
- Parthiban, K. T., Fernandez, C. C., Sudhagar, R. J., Sekar, I., Kanna, S. U., Rajendran, P., ... Kumar, N. K. (2021). Industrial agroforestry—a sustainable value chain innovation through a consortium approach. *Sustainability (Switzerland)*, 13(13). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13137126>
- Peña, J., Alegre, J., & Bardales, R. (2018). Efecto de la riqueza de las especies cultivadas en la sustentabilidad de los sistemas agroforestales en la amazonia sur del Perú. *Ecosistemas*, 27(3), 87–95.
- Pérez-Lombardini, F., Mancera, K. F., Suzán, G., Campo, J., Solorio, J., & Galindo, F. (2021). Assessing sustainability in cattle silvopastoral systems in the Mexican tropics using the safa framework. *Animals*, 11(1), 1–21. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ani11010109>
- Phondani, P. C., Maikhuri, R. K., Rawat, L. S., & Negi, V. S. (2020). Assessing farmers' perception on criteria and indicators for sustainable management of indigenous agroforestry systems in Uttarakhand, India. *Environmental and Sustainability Indicators*, 5 (May 2019), 1–8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100018>
- PNUMA (2011) Reporte Anual 2011: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, RIO+ 2012. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA): División de comunicaciones e información pública: Nairobi, Kenya.

- Ramírez Gil, J. G. (2017). Characterization of traditional production systems of sugarcane for panela and some prospects for improving their sustainability. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 70(1), 8045–8055. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n1.61763>
- Randall, A. (2022). How Strong Sustainability Became Safety. *Sustainability* 2022, 14, 4578. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su14084578>
- Rangel Marquina, S., Uzcátegui Varela, J. P., & Briceño Rangel, A. (2017). Propuesta de incorporación de plantas del género *Heliconia* sp. como estrategia de conservación y manejo sustentable de sistemas cacaoteros y cafetaleros del Sur del Lago de Maracaibo y Valle del Mocoties, Venezuela. *Cuadernos de Biodiversidad*, 53(53). Disponible en: <https://doi.org/10.14198/cdbio.2017.53.04>
- Rathore, V. S., Tanwar, S. P. S., Kumar, P., & Yadav, O. P. (2019). Integrated farming system: Key to sustainability in arid and semi-arid regions. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89(2), 181–192.
- Reis, F., Pereira, A. J., Tavares, R. M., Baptista, P., & Lino-neto, T. (2021). Cork oak forests soil bacteria: Potential for sustainable agroforest production. *Microorganisms*, 9(9), 1–14. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091973>
- Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin, F.S.; Lambin, E.; Lenton, T.M.; Schefer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H.J.; et al. Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecol. Soc.* 2009, 14, 32.
- Rodríguez, J. (2018). La sostenibilidad de los sistemas agroforestales en España en el horizonte 2050. *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, 705–717.
- Ruggerio, C.A. (2021). Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. *Science of The Total Environment* Volume 786, 2021, 147481, ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721025523>
- Rusdy, M. (2020). Silvopastoral system using *Leucaena leucocephala* for sustainable animal production in the tropics. *Livestock Research for Rural Development*, 32(4).

- Sahle, M., Saito, O., & Demissew, S. (2022). Characterization and mapping of enset-based home-garden agroforestry for sustainable landscape management of the Gurage socioecological landscape in Ethiopia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(17), 24894–24910. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17605-0>
- Sánchez, P. (1987). Soil productivity and sustainability in agroforestry systems. En *AGROFORESTRY: A DECADE OF DEVELOPMENT* (pp. 205–227). International Council for Research in Agroforestry. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/s0014479700016252>
- Sánchez-Martí, A. & Ruíz-Bueno, A. (2018). Análisis de clasificación con variable criterio en SPAD. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 11(1), 41-53. Disponible en: <https://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-g.pdf>
- Santiago-Freijanes, J. J., Mosquera-Losada, M. R., Rois-Díaz, M., Ferreiro-Domínguez, N., Pantera, A., Aldrey, J. A., & Rigueiro-Rodríguez, A. (2021). Global and European policies to foster agricultural sustainability: agroforestry. *Agroforestry Systems*, 95(5), 775–790. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0215-9>
- Schaffer, C., Eksvärd, K., & Björklund, J. (2019). Can agroforestry grow beyond its niche and contribute to a transition towards sustainable agriculture in Sweden? *Sustainability (Switzerland)*, 11(13). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11133522>
- Silvianingsih, Y. A., Hairiah, K., Suprayogo, D., & van Noordwijk, M. (2021). Kaleka agroforest in central kalimantan (Indonesia): Soil quality, hydrological protection of adjacent peatlands, and sustainability. *Land*, 10(8). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land10080856>
- Smith, L. G., Westaway, S., Mullender, S., Ghaley, B. B., Xu, Y., Lehmann, L. M., ... Smith, J. (2022). Assessing the multidimensional elements of sustainability in European agroforestry systems. *Agricultural Systems*, 197(July 2021). Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103357>
- Sobalbarro-Figueroa, M. F., Legarreta-González, M. A., García-Fernández, F., Olivas-García, J. M., Carrillo-Soltero, M. E., & Guzmán-Rodríguez, A. (2020). Análisis Socioeconómico de los Pequeños Productores de Cacao en Honduras. Caso APROSACAO. *Ceiba*, 0848, 1–13. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/ceiba.v0i0848.8963>

- Steffen, W.; Richardson, K.; Rockström, J.; Cornell, E.; Fetzer, I.; Bennett, E.M.; Biggs, R.; Stephen, R.; De Vries, W., ... De Wit, C.A. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *J. Educ. Sustain. Dev.* 2015, 9, 235.
- Sun, Y., Cao, F., Wei, X., Welham, C., Chen, L., Pelz, D. R., ... Liu, H. (2017). An ecologically based system for sustainable agroforestry in sub-tropical and tropical forests. *Forests*, 8(4). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/f8040102>
- Thiessen, J. R., Entz, M. H., & Wonneck, M. D. (2015). Review: Redesigning canadian prairie cropping systems for profitability, sustainability, and resilience. *Canadian Journal of Plant Science*, 95(6), 1049–1072. Disponible en: <https://doi.org/10.4141/CJPS-2014-173>
- Torres-Alcívar, A., García-Vásquez, G., Cadena-Piedrahita, D., & Sánchez-Vásquez, V. (2019). Evaluación y Planificación de Sistemas Agroforestales Sustentables de Cacao (*Theobroma cacao* L.) y Bambum (*Guadua angustifolia* K.), Motalvo, Ecuador. *Revista Ciencia e Investigación*, 4(4), 10–21. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3473533>
- Tschopp, M., Ceddia, M. G., & Inguaggiato, C. (2022). Adoption of sustainable silvopastoral practices in Argentina's Gran Chaco: A multilevel approach. *Journal of Arid Environments*, 197(October 2021), 104657. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104657>
- Tschora, H., & Cherubini, F. (2020). Co-benefits and trade-offs of agroforestry for climate change mitigation and other sustainability goals in West Africa. *Global Ecology and Conservation*, 22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00919>
- van Noordwijk, M. (2021). Agroforestry-based ecosystem services: Reconciling values of humans and nature in sustainable development. *Land*, 10(7). Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land10070699>
- van Noordwijk, M., Speelman, E., Hofstede, G. J., Farida, A., Kimbowa, G., Geraud, G., ... Tanika, L. (2020). Sustainable Agroforestry Landscape Management: Changing the Game. *Land*, 9(243), 1–38. Disponible en: <https://doi.org/doi:10.3390/land9080243>
- Varela, F. & Maturana, H. (1980) *Autopoiesis and Cognition, the Realization of the Living*; Reidel Publishing Company: Boston, MA, USA

- Vasilachis de Gialdino, I. (2006). La investigación cualitativa. En Estrategias de investigación cualitativa (págs. 23-65). Barcelona, España: Gedisa editorial.
- Waldron, A., Garrity, D., Malhi, Y., Girardin, C., Miller, D. C., & Seddon, N. (2017). Agroforestry Can Enhance Food Security While Meeting Other Sustainable Development Goals. *Tropical Conservation Science*, 10, 1–6. <https://doi.org/10.1177/1940082917720667>
- Wartenberg, A. C., Blaser, W. J., Janudianto, K. N., Roshetko, J. M., van Noordwijk, M., & Six, J. (2018). Farmer perceptions of plant–soil interactions can affect adoption of sustainable management practices in cocoa agroforests: A case study from Southeast Sulawesi. *Ecology and Society*, 23(1). Disponible en: <https://doi.org/10.5751/ES-09921-230118>
- Weiler, A., Albertini, S., Barreto, D., Heredia, M., Andrea, W. G., Sofia, A., ... Heredia Rengifo, M. G. (2019). Evaluación de la sustentabilidad a escala de sistemas silvopastoriles en tres ecorregiones del Paraguay. *Revista Amazónica y Ciencia y Tecnología*, 8(1), 24–39. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7177564.pdf>
- Yadav, R. P., Bisht, J. K., Mondal, T., Meena, V. S., Pandey, B. M., Mishra, P. K., ... Kant, L. (2021). Diversified climate resilient pecan (*Carya illinoensis* (Wangenh.) k. Koch) based sustainable agroforestry improves livelihood and returns in Indian Himalaya. *Applied Ecology and Environmental Research*, 19(2), 1309–1323. Disponible en: [https://doi.org/10.15666/aeer/1902\\_13091323](https://doi.org/10.15666/aeer/1902_13091323)
- Zambrano, P. E., Sandoval, M. Q., Layana Bajaña, E., & Garcés, J. T. (2020). Indicadores De Sustentabilidad De Un Sistema Agroforestal Para El Uso Racional Del Agua En El Humedal La Segua, Canton Chone, Provincia De Manabí. *Revista Ciencia e Investigación*, 5(1), 17–28. Disponible en: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3600016>