



Tendencias metodológicas para la implementación de sistemas agroforestales en el marco del desarrollo sustentable: una revisión

Methodological trends for the implementation of agroforestry systems in the sustainable development framework: a review

Marisol Rojas Pardo^{1*}, Julio Beltrán Vargas¹ y Carlos Alfonso Zafra Mejía¹

¹ Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Maestría en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental. Bogotá, Colombia. jebeltran@udistrital.edu.co; czafra@udistrital.edu.co

* Autora de correspondencia.
mrojasp@correo.udistrital.edu.co

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue establecer las tendencias metodológicas en investigaciones sobre sistemas agroforestales (SAF), identificando dimensiones, enfoques, diseños y variables ambientales que se implementan en su desarrollo. Se empleo la revisión sistemática de literatura de estudios mundiales publicados entre el 2000 y 2020. Mediante frecuencia de citación, se estimó qué dimensiones, enfoques, diseños y variables ambientales se emplearon principalmente en los estudios. El análisis Chi-cuadrado identificó la asociación significativa entre diseños, dimensiones y variables ambientales; y se aplicó un análisis clúster no jerárquico para establecer la distribución de investigaciones con respecto a zonas geográficas, dimensiones y diseños. Se detectaron cuatro dimensiones de investigación: ecológica, social, económica y sistemática. Los enfoques con mayor citación en los estudios fueron: uso del suelo (0.823), manejo del Bosque (0.784), desarrollo comunitario (0.667), conservación de la biodiversidad (0.604), desarrollo rural (0.585) y cambio climático (0.680). Los diseños agroforestales se agruparon en secuenciales (70.0%) y simultáneos (90.0%) y las variables ambientales: edafológicas (84,0%), bióticas (70,0%) y socioeconómicas (60,0%) fueron mayormente citadas en las investigaciones. El análisis clúster determinó que la dimensión sistemática se desarrolló en África (50.0%), Asia (26.92%) y Europa (23.07%), y la ecológica en América (50.0%) y Asia (30.01%); la social en África (33.3%) y la económica en Asia (10,2%). En conclusión, la dimensión sistemática predominó en la revisión resaltando el carácter sustentable de los SAF. Además, los enfoques, diseños y variables con mayor citación responden a las necesidades productivas de las comunidades y a las características ecológicas de los ecosistemas donde se gestionan estas tecnologías.

PALABRAS CLAVE: agroforestal, desarrollo rural, desarrollo sustentable, prácticas agrícolas, uso del suelo.

ABSTRACT

The objective of this work was to establish methodological trends in research on agroforestry systems (AFS), identifying dimensions, approaches, designs, and environmental variables that are implemented in their development. A systematic literature review of worldwide studies published between 2000 and 2020 was carried out. Citation frequency was applied to estimate which dimensions, approaches, designs, and environmental variables were mainly used in the studies. Chi-square analysis identified the significant association between designs, dimensions, and environmental variables; and a non-hierarchical cluster analysis was performed to establish the distribution of research regarding geographical areas, dimensions, and designs. Four research dimensions were detected: ecological, social, economic, and systemic. The approaches with the highest citation in the studies were: land use (0.823), forest management (0.784), community development (0.667), biodiversity conservation (0.604), rural development (0.585), and climate change (0.680). Agroforestry designs were grouped into sequential (70.0%) and simultaneous (90.0%); and the environmental variables: edaphological (84.0%), biotic (70.0%), and socioeconomic (60.0%) were the most cited in research. The cluster analysis determined that the systemic dimension was developed in Africa (50.0%), Asia (26.92%) and Europe (23.07%); the ecological in America (50.0%) and Asia (30.01%); the social in Africa (33.3%); and the economic in Asia (10.2%). In conclusion, the systemic dimension predominated in the review, highlighting the sustainable character of AFS. In addition, the approaches, designs, and variables with the highest number of citations respond to the productive needs of communities and the ecological characteristics of the ecosystems where these technologies are managed.

KEYWORDS: agroforestry, rural development, sustainable development, agricultural practices, land use.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la población, desde la década de los sesenta, desencadenó un incremento de las actividades humanas para adquirir recursos con el fin de satisfacer sus necesidades, lo que conllevó a un rápido consumo per cápita de servicios ecosistémicos (Díaz *et al.*, 2019; Rosenstock *et al.*, 2019). Este consumo acelerado trajo como resultado la transformación de los sistemas naturales, con la consecuente alteración de los procesos ecológicos y la capacidad de resiliencia de los mismos, generando diversas problemáticas ambientales que afectan la supervivencia de las especies (Myers *et al.*, 2013; Steffen *et al.*, 2015). Este conjunto de cambios ha dado lugar a la definición de una nueva época geológica denominada Antropoceno, donde la humanidad ha alcanzado el nivel de agente transformador de escala geológica global, de manera equivalente a otros grandes procesos que han modelado el desarrollo del planeta (Steffen *et al.*, 2015).

El Antropoceno se ha caracterizado, entre otros aspectos, por la transformación de dos tercios de la superficie de la tierra para suplir la demanda de uso de recursos mineroenergéticos, industriales y agropecuarios; lo que ha ocasionado el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero y la subsecuente elevación de la temperatura, el cambio en el patrón de precipitaciones y la aceleración de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (Pachauri *et al.*, 2014; Griggs *et al.*, 2013). Por ejemplo, estos fenómenos incrementan la pérdida de especies (27% del total planetario), la disminución de la cobertura vegetal y la modificación de los ciclos biogeoquímicos (Díaz *et al.*, 2019). Esto puede llegar a desencadenar una crisis planetaria a causa de la escasez de recursos y alimentos, que amenaza los sistemas de soporte vital y el bienestar propio de la especie humana (Monge y Russo, 2009; Montagnini y Metzel, 2017; Rosenstock *et al.*, 2019).

Los hechos anteriormente expuestos vislumbran la necesidad de poner en marcha estrategias que permitan mitigar los efectos adversos del desarrollo tecnológico acelerado y de las diversas actividades humanas no

sustentables sobre los ecosistemas, y que sean conducentes a generar escenarios para el desarrollo sustentable, con miras a propiciar un cambio radical de gobernanza en los ecosistemas (Mbow *et al.*, 2014; van Noordwijk *et al.*, 2018). El manejo adecuado de los sistemas agroforestales (SAF) sería un elemento que coadyuvaría al logro de un desarrollo regional sustentable (Marlay, 2015; Perfecto y Vandermeer, 2008). La interacción adecuada de las dimensiones natural, social, política y económica de los SAF podría resultar en la preservación de los servicios ecosistémicos, el control de la degradación ambiental, la captación del carbono, la variabilidad climática, el desarrollo comunitario, la seguridad alimentaria y la mejora de las condiciones socioeconómicas locales (Coulibaly *et al.*, 2017; Tschora y Cherubini, 2020).

La agroforestería es una técnica antigua, empleada por los indígenas precolombinos en la práctica de la agricultura migratoria y de huertos caseros (Marlay, 2015; Montagnini *et al.*, 2015). Esta se define como una interacción biológica y económica de plantas perennes leñosas nativas, con cultivos o cría de animales, donde se incluyen como mínimo dos especies vegetales, una leñosa y, por lo menos, una de interés económico (Petit-Aldana, 1993; Torralba *et al.*, 2016). Estos elementos biológicos que conforman los SAF interactúan bioeconómicamente en zonas productivas tanto en ecosistemas frágiles como en estables, a escala local o regional; con fines productivos, de conservación y/o también usados para subsistencia o comercialización en función del tiempo y el espacio (Nair, 2011; Torquebiau, 2000).

El diseño de SAF responde a las necesidades y propósitos contextuales del lugar donde pretenden desarrollarse. En este sentido, existen diversas dimensiones (ecológica, social, económica, sistémica) (Nair, 2011; Montagnini *et al.*, 2015) y enfoques (uso del suelo, manejo del bosque, conservación de la biodiversidad, cambio climático, desarrollo comunitario, desarrollo rural, entre otros) (Torralba *et al.*, 2016; Tschora y Cherubini, 2020) desde donde son abordados e implementados, aplicando estrategias participativas que integran los conocimientos locales y científicos, con el fin de dar respuesta a los



requerimientos socioeconómicos, espaciotemporales, funcionales y productivos a escala local; destacándose el diagnóstico rural participativo (DRP), el diagnóstico rural rápido (DRR) y el diagnóstico y diseño agroforestal (D&D).

A partir de estas estrategias participativas, se proponen los diseños técnicos de los SAF, es decir, las diferentes técnicas que se emplean para la selección de plantas, parcelación y tiempo de interacción de los sistemas; los cuales se clasifican de acuerdo con su base estructural, ecológica y funcional en diseños agroforestales secuenciales (en ellos existe una relación cronológica entre las cosechas anuales y los productos arbóreos; es decir, que los cultivos anuales y las plantaciones de árboles se suceden en el tiempo. Esta categoría incluye formas de agricultura migratoria con intervención o manejo de barbecho). y diseños agroforestales simultáneos (consiste en la integración simultánea y continua de cultivos anuales o perennes, árboles maderables, frutales o de uso múltiple y/o ganadería). (Mendieta y Rocha, 2007; Ajayi et al., 2011; Marlay, 2015; Montagnini et al., 2015; Torralba et al., 2016)

Los estudios actuales sobre la agroforestería han girado en torno a evaluar de manera independiente, los beneficios ecológicos asociados a la conservación de especies, el uso adecuado del suelo y la protección de los ecosistemas; especialmente en las zonas con amplios procesos de degradación por deforestación. Así mismo, buscan cuantificar el impacto de su inclusión para el desarrollo rural y en la mitigación de la pobreza y violencia en las zonas afectadas por conflictos sociales (Ajayi et al., 2011; Marlay, 2015; Martinelli et al., 2019). Sin embargo, pese al amplio conocimiento que se tiene sobre estos sistemas, faltan estudios que muestren de manera integral la contribución de los SAF al desarrollo sustentable.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo fue realizar una revisión de las tendencias metodológicas, desde el conocimiento de cuáles son las dimensiones, enfoques, diseños y variables ambientales que se implementan en el desarrollo de sistemas agroforestales, con el fin de establecer su aporte al desarrollo sustentable, esto, a partir de una revisión

bibliográfica a escala mundial para los últimos 20 años (2000-2020).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema de búsqueda bibliográfica

Se empleó la metodología de revisión sistemática de literatura (Zafra et al., 2017). En esta revisión, se consideraron los documentos publicados a escala mundial durante los últimos veinte años (2000-2020), acerca de las tendencias metodológicas para el desarrollo de SAF. Estas tendencias metodológicas, fueron abordadas desde la descripción de las dimensiones, enfoques, diseños y variables, necesarios para la implementación de sistemas agroforestales desde una perspectiva de desarrollo sustentable.

Las bases de datos utilizadas para la consulta documental fueron: (i) *ScientDirect*, (ii) *Scopus*, (iii) *SpringerLink* y (iv) *Google Scholar*. Se utilizaron también, para la primera fase de revisión, las siguientes combinaciones de palabras clave en inglés (Fase 1): *agroforestry* (agroforestería) y (ii) *sustainable development* (desarrollo sustentable). Estas palabras clave fueron usadas como principales descriptores temáticos, a partir de las cuales se seleccionaron solo los artículos relacionados con enfoques (uso del suelo, manejo del bosque, conservación de la biodiversidad, cambio climático, manejo del agua, servicios ambientales, desarrollo comunitario, desarrollo rural y producción de bioenergía) (Torralba et al., 2016; Tschora y Cherubini, 2020) y diseños agroforestales (agricultura migratoria, sistemas Taungya, cultivos intercalados, jardines caseros, cultivos en callejones, pastoreo en plantaciones, pastoreo en huertos, bancos de forrajeo, cercas vivas y sistemas integrales mixtos) (Nair, 2011; Montagnini et al., 2015). Se excluyeron de la revisión aquellos documentos que presentaron temas no relacionados con los objetivos de la presente revisión, tales como: (i) indicadores de evaluación de SAF, (ii) ventajas y desventajas de la implementación de SAF, (iii) evaluación de la productividad de SAF, (iv) políticas de desarrollo de los SAF y (v) comparaciones económicas de los SAF frente a la agricultura convencional.

Sistema de análisis bibliográfico

En la segunda fase de revisión documental, se seleccionaron los primeros 50 documentos registrados por la base de datos *Scopus*, con el fin de detectar mediante el uso de palabras clave las dimensiones de investigación en sistemas agroforestales (ecológico, económico, social, sistémico) (van Noordwijk et al., 2018; Montagnini, et al., 2015; Somarriba, 1998) y los enfoques agroforestales (Torralba et al., 2016; Tschora y Cherubini, 2020).

Adicionalmente, para estos mismos 50 documentos y mediante la lectura de los resúmenes o índices, se identificaron los diseños agroforestales más usados; clasificados en dos categorías de acuerdo con Somarriba (1998): sistemas agroforestales secuenciales y sistemas agroforestales simultáneos, los cuales se relacionaron con las variables ambientales importantes para el desarrollo de SAF (edafológicas, climáticas, bióticas y socioeconómicas).

La fase 3, consistió en establecer el orden de importancia de los enfoques y diseños agroforestales, mediante su frecuencia de citación en los documentos seleccionados y relacionados con las palabras clave de la fase 1. Acorde con esto, se infirió que, por su contribución al desarrollo sustentable, los enfoques y diseños agroforestales que fueron frecuentemente citados o registrados en las bases de datos consultadas tenían un mayor índice de importancia dentro de los documentos científicos. Posteriormente, se clasificaron mediante cuartiles (Zafra, et al., 2017) y el índice de citación Q, con el cual se relacionó el número de documentos detectados en las dos primeras fases, (Q presenta un intervalo entre 0 y 1; distribuido de la siguiente manera: Q1 = -0.24, Q2 = 0.25-0.49, Q3 = 0,50-0.74 y Q4 = 0.75-1.)

Finalmente, se desarrolló la fase 4 de búsqueda bibliográfica, para el análisis de la distribución geográfica de las investigaciones a escala mundial, con miras a establecer cuáles enfoques y diseños agroforestales son más empleados dentro de los estudios y las comunidades donde son aplicados; para ello se emplearon las palabras clave mencionadas en la fase 1. Para la construcción de esta revisión se emplearon un total de 70 artículos.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos se empleó estadística descriptiva (promedio, media, desviación estándar y varianza) para cada uno de los elementos considerados en la revisión (enfoques, diseños, variables y tendencias de distribución de los estudios de SAF). Posteriormente, se empleó la prueba Chi-cuadrado (Zafra et al., 2017) con el propósito de identificar el grado de correlación existente entre los diseños agroforestales y las dimensiones de estudio, y los diseños agroforestales y las variables necesarias en su desarrollo.

Adicionalmente, se realizó un análisis clúster no jerárquico con SPSS Statistics para Windows, V. 25.0 (IBM Corp., 2017) para clasificar mediante conglomerados homogéneos la distribución de las investigaciones con respecto a las variables: zonas continentales de investigación (América, Asia, Europa y Oceanía), dimensiones de estudio de los SAFs (sistémica, ecológica, social y económica) y diseños (mixtos, secuenciales y simultáneos).

RESULTADOS

En la primera fase de revisión de literatura para las palabras clave agroforestería y desarrollo sustentable, se encontró un total de 50 028 documentos en las cuatro bases de datos. La base de datos con mayor número de documentos detectados fue *Google Scholar*, seguida por *Springer Link*, *ScienceDirect* y *Scopus* (Tabla 1).

Dimensiones y enfoques de aplicación en sistemas agroforestales

La presente revisión bibliográfica mostró el siguiente orden de importancia para las dimensiones de estudio de sistemas agroforestales relacionados con el desarrollo sustentable: sistémico, ecológico, social y económico (Tabla 1).

En relación con los enfoques detectados dentro de las investigaciones para el desarrollo de los SAF, se encontró un total de nueve enfoques vinculados a las dimensiones ecológica, social y económica (la dimensión sistémica abarca más de dos enfoques). En la dimensión ecológica, se encuentra un total de seis enfoques: uso del suelo, manejo



del bosque, conservación de la biodiversidad, cambio climático, manejo del agua, y servicios ambientales; este último hace parte también de la dimensión social, en la que

se encuentra además el enfoque de desarrollo comunitario; finalmente en la dimensión económica se relacionan los enfoques desarrollo rural y producción de bioenergía (Fig. 1).

TABLA 1. Orden de importancia de los enfoques y diseños para los sistemas agroforestales.

Fase	Palabras clave	Bases de datos								(Q)	Cuartil		
		Scopus		ScienceDirect		SpringerLink		Google Scholar					
		DD	(Q)	DD	(Q)	DD	(Q)	DD	(Q)				
1	Agroforestería (agroforestry) y Desarrollo sustentable (sustainable development)	662	1.0	4 451	1.00	6 315	1.00	46 600	1.00				
2. Enfoques	Uso del Suelo (Land use)	545	0.82 ^a	3 982	0.89	5 738	0.90	40 800	0.87	0.87	Q4		
	Manejo del bosque (Forest management)	519	0.78	3 366	0.75	5002	0.79	30 000	0.64	0.74	Q4		
	Desarrollo Comunitario (Community development)	364	0.55	3 274	0.73	4 766	0.75	29 300	0.62	0.66	Q3		
	Conservación de la Biodiversidad (Biodiversity conservation)	345	0.52	2 587	0.58	3 917	0.62	32 300	0.69	0.60	Q3		
	Desarrollo rural (Rural development)	314	0.47	3 217	0.72	4 587	0.72	19 500	0.41	0.58	Q3		
	Cambio climático (Climate change)	303	0.45	3 447	0.77	5 087	0.80	31 800	0.68	0.68	Q3		
	Servicios ambientales (Environmental Service)	302	0.45	2 873	0.64	4 011	0.63	20 700	0.44	0.54	Q3		
	Manejo del agua (Water Management)	200	0.30	2 639	0.59	3 418	0.54	20 200	0.43	0.46	Q2		
	Producción de Bioenergía (Bioenergy production)	78	0.11	479	0.10	875	0.13	17 000	0.36	0.18	Q1		
3. Diseños	Agricultura migratoria (Shifting agriculture)	77	0.11	2 121	0.47	2 879	0.45	17 900	0.38	0.35	Q2		
	Cultivos intercalados (Intercropping)	38	0.05	1 459	0.32	1 790	0.28	12 830	0.27	0.23	Q1		
	Huertos caseros (Homegardens)	29	0.04	739	0.16	1 520	0.24	8 530	0.18	0.15	Q1		
	Cultivo en callejones (Alley cropping)	26	0.03	130	0.02	346	0.05	6 002	0.12	0.06	Q1		
	Plantación en pastoreo (Plantation Grazing)	24	0.03	713	0.16	1 206	0.19	16 900	0.36	0.18	Q1		
	Pastoreo en Huertos (Grazing in orchards)	14	0.02	195	0.04	764	0.12	5 480	0.11	0.07	Q1		
	Sistema Taungya (Taungya systems)	13	0.02	64	0.01	154	0.02	267	0.01	0.01	Q1		
	Bancos de Forraje (Fodder banks)	11	0.01	351	0.07	827	0.13	17 000	0.36	0.14	Q1		
	Cercas vivas (Live fences)	6	0.009	239	0.05	764	0.12	12 100	0.26	0.11	Q1		
	Sistemas integrales mixtos (Mixed integrate systems)	5	0.008	1118	0.25	2 305	0.36	17 300	0.37	0.24	Q1		

Nota: DD: Documentos detectados; Q: Índice promedio de frecuencia de citación.

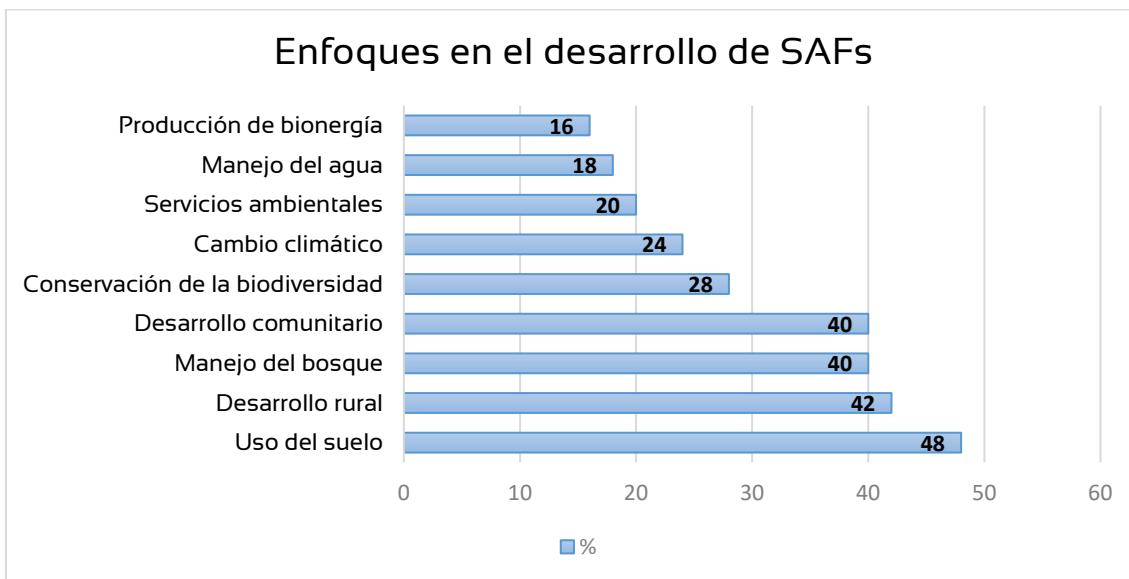


FIGURA 1. Porcentaje de citación de los enfoques agroforestales observados en los documentos de revisión.

El orden de importancia para los principales enfoques de desarrollo de SAFs en las investigaciones a escala mundial, se encontró que uso del suelo y manejo del bosque presentan los índices promedio más altos de citas; seguidos por desarrollo comunitario, conservación de la biodiversidad, desarrollo rural, cambio climático y servicios ambientales. Por último, con un menor índice de citación se encuentran los enfoques de manejo del agua y producción de bioenergía (Tabla 2).

A partir de lo anterior, se analizaron en conjunto las dimensiones y enfoques de los SAF. Los resultados mostraron en orden de importancia que dentro de la dimensión ecológica los enfoques más estudiados fueron uso del suelo (Q4), manejo del bosque (Q4), conservación de la biodiversidad (Q3) y cambio climático (Q3). Con respecto a la dimensión social y económica, los hallazgos permitieron observar que los enfoques más abordados fueron desarrollo comunitario (Q3) y desarrollo rural (Q3). En relación con la producción de bioenergía, este fue el enfoque de desarrollo con menor índice de citación dentro de las investigaciones desarrolladas (Q1).

Diseños y variables empleadas en la construcción de sistemas agroforestales

Referente al porcentaje de investigaciones que hacen relación a los tipos de diseños agroforestales empleados en cada estudio de caso, los resultados muestran con respecto a la clasificación propuesta por Somarriba (1998), que los diseños agroforestales secuenciales presentan un porcentaje de citación de 70.0% y los diseños agroforestales simultáneos 90.0%. La diferencia porcentual obedece principalmente al número de arreglos forestales propuestos en cada clasificación, en donde se registran tres en SAF secuenciales: agricultura migratoria, sistemas Taungya y cultivos intercalados; y siete para los SAF simultáneos: jardines caseros, cultivos en callejones, pastoreo en plantaciones, pastoreo en huertos, bancos de forrajeo, cercas vivas y sistemas integrales mixtos (Fig. 2). Respecto a la importancia de citación, el mayor índice promedio Q corresponde a agricultura migratoria (índice = 0.358, Q2, S= 0.47), seguido de sistemas integrales mixtos (Índice = 0.249, Q1, S= 0.37) y cultivos intercalados (Índice = 0.236, Q1, S= 0.35).



TABLA 2. Dimensiones, enfoques y diseños agroforestales en los estudios evaluados.

Enfoques de los Sistemas Agroforestales				
No.	Dimensiones de SAF relacionados con DS	Porcentaje (%) (n = 50)	Enfoques	Índice Q
1	Sistémico	48.0% (n = 24)	Integra más de dos enfoques	
			1.Uso del suelo	Q4
			2.Manejo del bosque	Q4
2	Ecológico	38.0% (n = 19)	3.Conservación de la biodiversidad	Q3
			4.Cambio climático	Q3
			5.Manejo del agua	Q2
			6.Servicios ambientales	Q3
3	Social	8.0% (n = 4)	1.Desarrollo comunitario	Q3
4	Económico	6.0% (n = 3)	2.Desarrollo rural	Q3
			3.Producción de bioenergía	Q1
Diseños de los sistemas agroforestales				
No.	Clasificación de los diseños SAF	Porcentaje (%) (n = 50)	Diseños	Índice Q
1	Sistemas agroforestales secuenciales	70.0% (n = 35)	1.Cultivos intercalados 2. Agricultura migratoria 3.Sistemas Taungya	Q1 Q2 Q1
2	Sistemas agroforestales simultáneos	90.0% (n = 45)	1. Huertos caseros 2. Cultivo en callejones 3. Cercas vivas 4. Sistemas integrales mixtos 5. Bancos de forraje 6. Pastoreo en huertos 7. Plantaciones en pastoreo	Q1 Q1 Q1 Q1 Q1 Q1 Q1

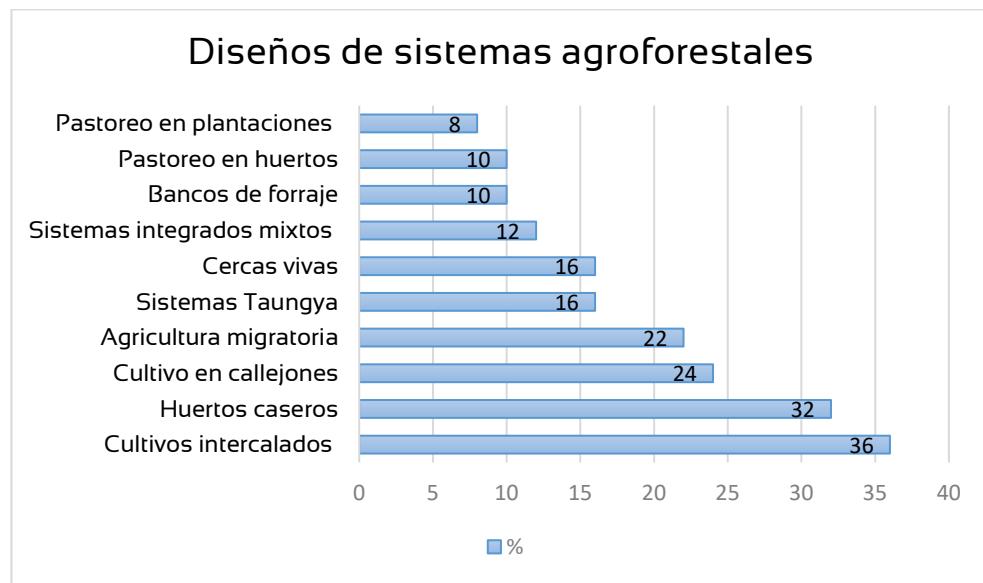


FIGURA 2. Porcentaje de citación de diseños en el desarrollo de SAFs publicados en los documentos de revisión.

Respecto a las variables identificadas dentro de los estudios como piezas clave para determinar qué tipo de diseño y enfoque emplear para el desarrollo de un sistema agroforestal, a nivel porcentual se encontró que las variables edafológicas (84.0%) se encuentran referenciadas con mayor frecuencia, entre las cuales se destacan elementos importantes referentes al componente suelo tales como: sus clases, condiciones de permeabilidad, morfología, infiltración y factores químicos. En orden de importancia siguen las variables bióticas (70.0%), las cuales se relacionan principalmente con la cobertura vegetal y la diversidad de especies forestales empleadas para la construcción de los SAF. Le continúan las variables socioeconómicas (60.0%), dentro las que se destacan elementos referentes a los mecanismos de productividad de los sistemas locales y con ello su relación con el uso del suelo y la problemática asociada a este, los índices de pobreza, conflictos sociales, educación y demografía. Por último, se mencionan las variables climáticas (40.0%), en las cuales se menciona elementos relacionados con su variabilidad, tales como las precipitaciones, la irradiación solar, temperatura y humedad.

Relación entre los diseños agroforestales, dimensiones y variables para su desarrollo

La prueba de Chi cuadrado (X^2), aplicada a la información presentada en la tabla 3, permitió evidenciar que no existe un grado de asociación entre las dimensiones de desarrollo de los SAF y los tipos de diseños que son mencionados dentro de las investigaciones como técnicas frecuentes empleadas por las comunidades ($X^2 = 0.20$, gl. = 6, $p > 0.05$). Igualmente, mediante la misma prueba se determinó que tampoco existe un grado de asociación entre los diseños agroforestales y las variables necesarias para su desarrollo y gestión ($X^2 = 0.438$, gl. = 6, $p > 0.05$).

Tendencias de la distribución geográfica de estudios en sistemas agroforestales

Los resultados muestran que la tendencia de distribución de estudios en SAF se encuentra categorizada por zonas geográficas (Tabla 3), donde Asia es el continente con mayor porcentaje de citación, con un total de 14 publicaciones distribuidas en cuatro países; seguida por América con un total de 11 estudios de caso en 7 países; África en 12 países; Europa en 2 países y sin una zona específica a nivel general (Fig. 3).



TABLA 3. Elementos analizados de las investigaciones seleccionadas en la presente revisión, organizados por distribución geográfica.

Autor	Dimen- sión	Enfoque						Diseño			Variable					
		US	MB	DC	CB	CC	MA	SA	DR	PB	Secuencial	Simultáneo	EDAF	CLIM	BIOT	SE
Asia																
Sokheang et al. (2018)	ECO	X				X		X						X	X	X
Lestari (2019)	ECO					X					AM			X		X
Paembongan et al. (2019)	ECO				X		X				CI			X		X
Sharma y Sharma (2018)	SIS	X									X	CI		PC	X	X
Park et al. (2019)	SIS	X		X	X						X		PC	X	X	X
Nath et al. (2015)	SIS	X	X	X							X		AM-CI	X	X	X
Rahman et al. (2012)	SIS			X							X			HC-PC	X	X
Afentina et al. (2019)	SIS	X		X	X									X	X	X
Van Noordwijk et al. (2012)	SIS	X	X			X				X		AM-CI	HC-PH-CV	X	X	X
Mohan et al. (2012)	SIS	X	X	X	X					X		AM-ST	HC-PP- PHBF	X		
Magcale (2014)	SIS	X		X						X	X	CI	HCs	X	X	X
Mishra y Mishra (2017)	SOC			X									HC			
Roy y Roy (2017)	ECON												SIM	X		X
Zomer et al. (2007)	ECO	X										AM-CI		X	X	
Bohra et al. (2018)	ECON										X	CI	BF	X		
Africa																
Adekunle y Bakare (2004)	SIS	X		X			X		X			ST		X		X
Nyong et al. (2019)	SIS	X		X					X	X		ST	HC-PM-BF	X		X
Ziyadi et al. (2019)	SIS	X	X	X	X	X						ST		X		X
Quandt et al. (2018)	SIS	X		X					X	X		AM		X		X
Russell y Franzel (2004)	SIS			X										X	X	X
Amadu et al. (2020)	SIS			X					X					X	X	X
Nischalke et al. (2017)	SIS	X	X	X							X			X	X	X
Kiptot y Franzel (2011)	SOC			X								CI	HC-BF- SIM	X	X	X
Asare et al. (2014)	ECO	X	X		X							CI		X	X	X
Bernard y Minang (2019)	ECO	X	X			X							SIM	X	X	X
Nyberg et al. (2020)	ECO								X							
América																
Herrera (2018)	ECO					X							HC-SIM		X	
Harvey y González (2007)	ECO		X		X							CI		X		
Fischer y Vasseur (2000)	SIS	X							X			AM-CI-ST	HC-PC- BF.CV	X	X	X
Grossman (2014)	ECO	X	X									AM-CI-ST		X	X	X
Jarett et al. (2017)	SIS	X	X				X			X		CI	HC-CV	X	X	X
Shibu et al. (2012)	SIS	X	X						X	X			PP-BF			
Morgan y Zimmerman (2014)	ECO	X							X			AM	HC-PP-BF- SIM			
Swamy y Tewari (2017)	SIS		X	X		X						AM-ST	HC-PP-BF	X		
Porro et al. (2018)	SIS		X	X					X			CI		X	X	X
Anderson et al. (2009)	ECO	X						X					SIM	X	X	X
Europa																
Paolotti et al. (2016)	SIS					X			X			AM-CI	PP-PH	X		X
Ehret et al. (2014)	ECON								X				X	X		
Quinkenstein et al. (2012)	SIS	X				X				X			PC	X		
Ehret et al. (2018)	ECON								X	X			PP	X	X	X
General																
Macneely y Schroth (2006)	ECO					X			X			AM-CI	PH	X		X
Abbas et al. (2017)	ECO	X					X							X		X
Van Noordwijk (2018)	ECO		X				X							X		
Norgrove y Beck (2016)	ECO		X			X				X			PC			
Waldron et al. (2017)	SOC			X												
Pavlidis y Tsilirintzis (2018)	ECO						X					AM-CI		X	X	X
Chaturvedi et al. (2018)	ECO							X	X							
Chakravarty et al. (2017)	SIS		X	X		X			X	X			HC	X	X	X
Montagnini y Metzel (2017)	SIS		X	X						X			HC	X	X	X
Wu et al. (2020)	ECO	X					X							X		
Promedio		49.0	32.7	42.9	23.4	20.4	14.3	18.4	44.9	14.3			81.6	37.5	49.0	56.3
Datos considerados		25	16	21	12	10	8	10	22	7			41	19	25	27
Media		0.25	0.16	0.21	0.12	0.1	0.8	0.1	0.22	0.007			0.41	0.19	0.25	0.27
Desviación estándar		0.51	0.47	0.50	0.44	0.40	0.37	0.40	0.50	0.35			0.39	0.49	0.51	0.50
Varianza		0.25	0.21	0.24	0.18	0.16	0.13	0.16	0.24	0.12			0.14	0.23	0.25	0.24
Total de datos		50	50	50	50	50	50	50	50	50			50	50	50	50

ZG = Zona geográfica, ECO = Ecológica, SIS = Sistémica, SOC= Social, ECON= Económica, US= Uso del suelo, MB= Manejo del bosque, DC= Desarrollo comunitario, CB=Conservación de la biodiversidad, CC= Cambio climático, MA= Manejo del agua, SA= Servicios ambientales, DR= Desarrollo comunitario, PB=Producción de bioenergía, SIM=Sistemas integrados mixtos, AM= Agricultura migratoria, CI= Cultivos intercalados, PC=Plantaciones en callejones, HC= Hueros caseros, PH= Plantaciones en huertos, CV= Cercas vivas, ST= Sistemas Taungya, BF= Bancos de forrajeo, EDAF=Edafológicas, CLIM= Climáticas, BIOT=Bióticas, SE= Socioeconómicas.

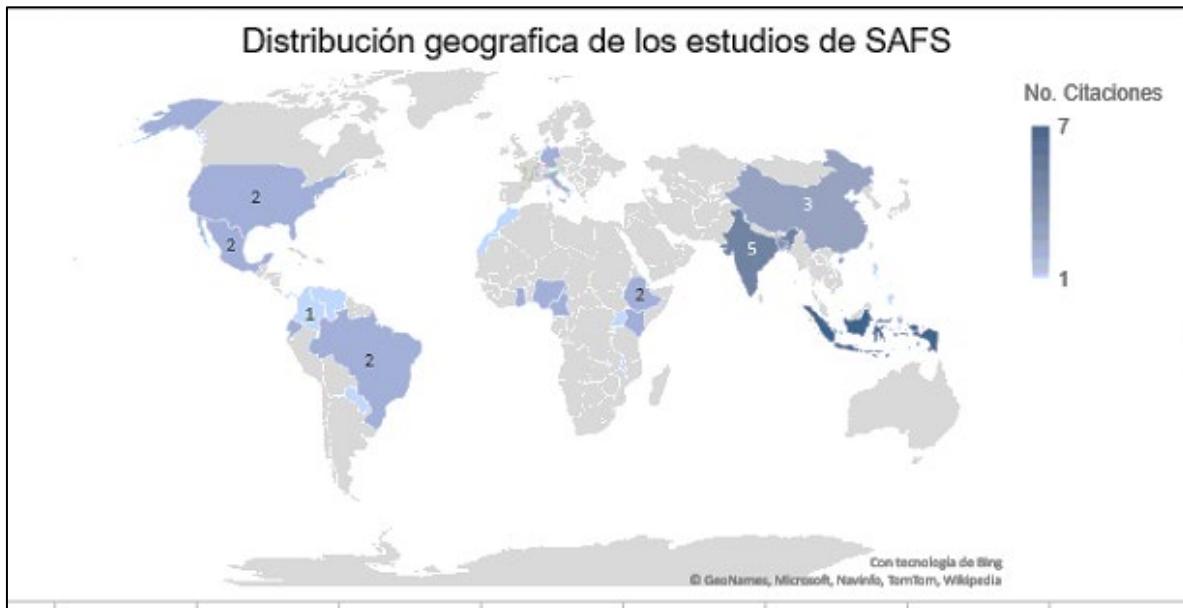


FIGURA 3. Distribución mundial de los estudios de sistemas agroforestales, consultados en la presente revisión.

Análisis clúster

De acuerdo con el análisis clúster jerárquico efectuado para la clasificación de las dimensiones y diseños mencionados en las investigaciones, con las zonas de distribución de los estudios de sistemas agroforestales, se encontraron cinco conglomerados de agrupación (Fig. 4).

El primer grupo demarcado con color azul en el gráfico de dispersión agrupa a las investigaciones que presentan la dimensión ecológica como dimensión de desarrollo de sistemas agroforestales, distribuidas en mayor proporción en las zonas geográficas de Asia (57.14%) y América (42.85%). De acuerdo con este clúster, se observó mediante los estudios que, dentro de estas regiones se da una predilección por el desarrollo de diseños agroforestales secuenciales 50.0% en total, frente al 42.85% simultáneos y 14.28% que combinan a los dos tipos de diseños (Mixtos).

Un segundo conglomerado (color verde) agrupa a las investigaciones desarrolladas bajo una dimensión sistémica, distribuidas dentro del continente asiático (63.63% de las publicaciones) y africano (36.36% de las publicaciones). En relación con los diseños agroforestales se opta por la implementación mixta, consecuente con la dimensión de

agrupación de este clúster. En este mismo grupo se encuentran asociadas tres investigaciones (puntos más alejados de conglomerado en la figura 4), que pertenecen a la dimensión económica, y cuya clasificación en este conglomerado se debe a su distribución geográfica (Asia) y tipo de diseño empleado.

El clúster 3 (amarillo) relaciona las investigaciones desarrolladas en la zona geográfica de África, desde las dimensiones ecológica (66.66%) y social (33.33%). Las publicaciones agrupadas en este clúster no relacionan ningún diseño agroforestal. El clúster número 4 (rojo) también se encuentra relacionado con la dimensión sistémica y la zona geográfica de África. Sin embargo, la diferencia con el clúster dos (verde), radica en que los diseños agroforestales desarrollados en estas investigaciones no son mixtos, sino que se da una predilección por los diseños secuenciales.

Finalmente, el clúster 5 (naranja) relaciona las investigaciones también bajo la dimensión sistémica, con diferencia respecto a los clústeres dos y cuatro en que la zona geográfica corresponde al continente europeo y que los diseños relacionados son simultáneos.

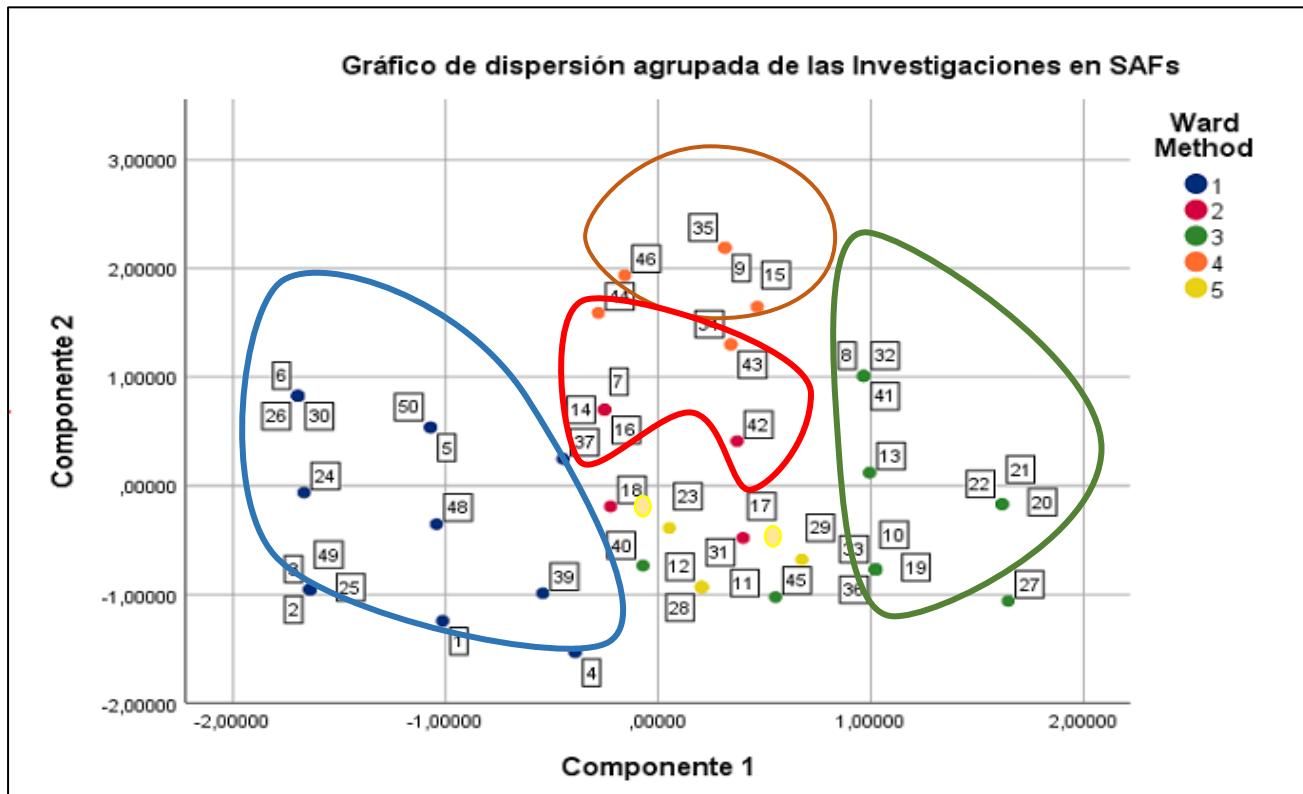


FIGURA 4. Clústeres donde se relacionan las zonas geográficas, dimensiones y diseños de SAF detectados en la revisión documental.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran una mayor disposición al desarrollo de investigaciones que abordan el estudio de los sistemas agroforestales desde una dimensión holística, lo que induce a aseverar que la proyección de desarrollo de estos sistemas a escala mundial está orientada a responder a las características locales y contextuales en donde se establecen los SAF, incluyendo además de los elementos ecosistémicos, la diversidad de aspectos demográficos, culturales y productivos propios de la localidad, con el fin de mejorar el desarrollo comunitario y rural (Nair, 2011; Sharma y Sharma, 2017).

Además, desde la dimensión holística, la productividad de los SAF apunta a generar una revolución agrícola desde un enfoque sustentable, donde mediante la diversificación agrícola y la inclusión de prácticas y saberes locales se mejora el manejo de los sistemas agroalimentarios y, por ende, se contribuye a mitigar el impacto negativo sobre los ecosistemas que ha generado por décadas las prácticas

agrícolas tradicionales, como lo son los monocultivos o la ganadería extensiva (Adekunle y Bakare, 2004; Ziyadi, et al., 2019).

En relación con la dimensión ecológica y los enfoques de implementación de los SAF: uso del suelo, manejo forestal, conservación de la diversidad y cambio climático; se puede establecer que el desarrollo de investigaciones desde este eje metodológico lleva implícita la preocupación actual por generar tecnologías de uso de la tierra que permitan el manejo forestal desde una perspectiva de diversificación y, con ello, fomentar prácticas sustentables de uso y manejo del suelo (Asare, Afari, Osei y Pabi, 2014; Jarett et al., 2017).

Además, las investigaciones muestran que desde los estudios de diversificación productiva, también se rescata la importancia de los SAF como fuente de diversidad genética, de hábitat y sustento alimenticio para animales; además de permitir la reducción de la presión sobre los bosques, promocionar la conservación de los recursos maderables, la

reactivación de cadenas tróficas afectadas por la fragmentación, actuar como sumideros de carbono y promover beneficios asociados a la mejora de la calidad del agua y de los ciclos biogeoquímicos (Nischalke *et al.*, 2017; Swamy y Tewari, 2017; van Noordwijk *et al.*, 2018; Harvey y González, 2007; Sokheang *et al.*, 2019; Zomer *et al.*, 2007).

Adicionalmente, se resalta el papel que tienen estos sistemas en la recuperación del suelo en zonas con condiciones climáticas y edáficas que dificultan el desarrollo de prácticas agrícolas sustentables, ya que suministran materia orgánica y nutrientes y mejoran las condiciones de irrigación del terreno, lo que permite la transformación productiva y con ello frenar los procesos acelerados de erosión a causa de las condiciones ecológicas de la región (Russell y Franzel, 2004).

Por su parte, las investigaciones desde la dimensión social y económica, relacionada con los enfoques de desarrollo rural y desarrollo comunitario; muestran que la vinculación de los SAF contribuye a reducir los escenarios de pobreza e inseguridad alimentaria en zonas vulnerables, afectadas no solo por las condiciones ecológicas locales, sino además por los escenarios de violencia, fragmentación social y desarraigo cultural (Magcale, 2014).

Así mismo, en las investigaciones se resalta que los sistemas agroforestales se constituyen como estrategias que permiten reivindicar el valor de las prácticas ancestrales de siembra, rescatando la importancia de la implementación de sistemas agroforestales tradicionales tales como, la agricultura migratoria, los huertos caseros o los cultivos intercalados, los cuales permiten conservar los conocimientos y sustentos económicos locales, integrando nuevas tecnologías al manejo agrícola. De manera que se ha dado apertura a espacios de gobernanza ambiental donde las poblaciones son quienes decidieron y adaptaron los desarrollos agrarios adecuados a sus necesidades, con la premisa de conservación de los sistemas ecológicos (Mishra y Mishra, 2017; Mohan y Zimmerman, 2012).

Por otro lado, desde el punto de vista económico, la revisión mostró que la diversificación en la producción de los SAF permitió reducir el uso de agroquímicos y

pesticidas para mejorar las cosechas y aumentar el mayor número de productos que pueden ser susceptibles a su comercialización, los cuales no solo incluyen los bienes alimenticios, sino también los maderables, textiles, de forraje y medicinales. Además, se reconoce la importancia de los SAF en la apertura de empleos vinculados con el mayor número de actividades que requiere la gestión de estos y los beneficios extrínsecos a la práctica como el pago por bonos de conservación y secuestro de carbono (Kiptot y Franzel, 2012; Shibu *et al.*, 2012; Ehret *et al.*, 2015; Roy y Roy, 2017).

Las investigaciones mostraron que los diseños agroforestales con un mayor número de citas (agricultura migratoria, cultivo en callejones, huertos caseros y cultivos intercalados) son ampliamente utilizados por las comunidades campesinas e indígenas, en razón a sus conocimientos y cosmovisiones sobre el uso de la tierra y los beneficios productivos que extraen de ellos que les permiten no solo la comercialización a pequeña y mediana escala, si no también, asegurar el autoconsumo y la seguridad alimentaria, mientras se reduce el impacto a los sistemas naturales. (Swamy y Tewari, 2017; Waldron *et al.*, 2017; Chakravarty *et al.*, 2017).

Sin embargo, autores como Fischer y Vasseur (2000), hacen una crítica al uso intensivo de los diseños de agricultura migratoria en procesos agroforestales, puesto que han incrementado los procesos de expansión de la frontera agrícola y reducido los períodos de ciclaje de la tierra, desencadenando grandes pérdidas de biodiversidad, un aumento en la deforestación y como consecuencia mayor grado de erosión, sedimentación de cuerpos de agua, aumento de las emisiones de dióxido de carbono y alteraciones en el microclima.

Los resultados de la revisión resaltan que, en el desarrollo de sistemas agroforestales, se deben incluir variables edafológicas, climáticas, bióticas y socioeconómicas en conjunto, lo cual responde al carácter sistémico de estas tecnologías. Por tanto, su integración de manera interdisciplinaria determinará el éxito en el desarrollo de SAF dentro de las comunidades, ya que, es la población involucrada la que decide y determina cuáles son



necesidades locales y, por tanto, seleccionará los propósitos en la implementación de estos sistemas, ya sea con fines de conservación, autoconsumo o productividad, garantizando la gestión integral y sustentable de estas tecnologías (Mbow et al., 2014; Montagnini et al., 2015; Perfecto y Vandermeer, 2008).

Finalmente, la distribución por zonas geográficas de las investigaciones en sistemas agroforestales muestra que la mayor parte de estos estudios, se han realizado en zonas (África o América) en las cuales predominan diferentes conflictos sociales, ecológicos y productivos, siendo los más citados por diferentes autores: degradación de ecosistemas, inadecuados procesos de producción y expansión de las fronteras urbanas, población azotada por los conflictos armados, la pobreza y la inseguridad alimentaria; y actividades productivas insustentables, que no cubren las necesidades básicas de los pequeños productores (Coulibaly et al., 2017; Tschora y Cherubini 2020). Lo mencionado lleva a inferir que este tipo de sistemas, aunque no son la única estrategia para frenar la mencionada problemática, si se constituyen como elementos priorizados y respaldados por las Naciones Unidas para fomentar la agricultura sustentable en las regiones identificadas dentro de los estudios.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que existen cuatro dimensiones de investigación de sistemas agroforestales: sistémico, ecológico, social y económico. Se resalta que la dimensión sistémica predominó en las investigaciones, donde se integra de los ámbitos ecológicos, económicos, productivos y sociales en el estudio y desarrollo de estas tecnologías de uso sustentable de la tierra en las distintas localidades de implementación de los SAF. Los enfoques y diseños empleados para el desarrollo de los SAF responden a las necesidades locales y las características ecológicas y productivas de las comunidades, por lo que en esta revisión se pudo establecer, con base en el índice de citación dentro de los estudios, que los enfoques con una mayor relevancia a escalas local y regional son: uso del suelo, manejo del bosque, desarrollo comunitario, conservación de la

biodiversidad, desarrollo rural y cambio climático. Así mismo, los diseños más mencionados dentro de la literatura fueron: cultivos intercalados, huertos caseros, cultivo en callejones y agricultura migratoria, siendo estos diseños empleados a pequeña y mediana escalas, lo que sugiere que la disposición para la selección del diseño responde a los conocimientos y costumbres locales. Las variables más abordadas en los estudios analizados para esta revisión corresponden a las edafológicas y las bióticas, presentando una mayor importancia relativa sobre las socioeconómicas y climáticas, lo cual, está relacionado directamente con los aspectos específicos de los ecosistemas donde se gestionan este tipo de diseños agroforestales, ya que de esto depende el éxito de las plantaciones establecidas. Finalmente, en relación con la tendencia de distribución de los estudios en sistemas agroforestales, se evidenció que Asia, América y África, presentaron un mayor número de investigaciones en el desarrollo de estas tecnologías del uso de la tierra, lo cual sugiere que el desarrollo de este tipo de investigaciones y técnicas de manejo rural se concentra en países que requieren estrategias sustentables de manejo de la tierra, que se caracterizan por sus contextos ecológicos exacerbados y la vulnerabilidad de sus poblaciones frente a fenómenos sociales.

RECONOCIMIENTOS

Se agradece al grupo de investigación INDESOS de la Facultad de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

REFERENCIAS

- Abbas, F., Hammad, H., Fahad, S., Cerdà, A., Rizwan, M., Farhad, W., Ehsan, S., & Bakhat, H. (2017). Agroforestry: A sustainable environmental practice for carbon sequestration under the climate change scenarios- a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(12), 11177-11191. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8687-0>
- Adekunle, V., & Bakare, Y. (2004). Rural livelihood benefits from participation in the Taungya agroforestry system in Ondo State of Nigeria. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy*, 3, 131-138. <https://doi.org/10.1007/s11842-004-0009-y>

- Afentina, McShane, P., & Wright, W. (2020). Ethnobotany, rattan agroforestry, and conservation of ecosystem services in Central Kalimantan, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 94(2), 639-650. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00428-x>
- Ajayi, O. C., Place, F., Akinnifesi, F. K., & Sileshi, G. W. (2011). Agricultural success from Africa: The case of fertilizer tree systems in southern Africa (Malawi, Tanzania, Mozambique, Zambia, and Zimbabwe). *International Journal of Agricultural Sustainability*, 9(1), 129-136. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0554>
- Amadu, F. O., Miller, D. C., & McNamara, P. E. (2020). Agroforestry as a pathway to agricultural yield impacts in climate-smart agriculture investments: Evidence from southern Malawi. *Ecological Economics*, 167, 106443. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106443>
- Asare, R., Afari, V., Osei, Y., & Pabi, O. (2014). Cocoa agroforestry for increasing forest connectivity in a fragmented landscape in Ghana. *Agroforestry Systems*, 88, 1143-1156. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9688-3>
- Bernard, F., & Minang, P. (2019). Community forestry and REDD+ in Cameroon: What future? *Ecology and Society*, 24(1), 14-25. <https://doi.org/10.5751/ES-10708-240114>
- Bohra, B., Sharma, N., Saxena, S., Sabhlok, V., & Ramakrishna, Y. B. (2018). Socio-economic impact of biofuel agroforestry systems on smallholder and large-holder farmers in Karnataka, India. *Agroforestry Systems*, 92(3), 759-774. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0046-5>
- Chakravarty, S., Puri, A., Subba, M., Pala, N., & Shukla, G. (2017). Homegardens: Drops to Sustainability. En S. Chakravarty, A. Puri, M. Subba, N. Pala, & G. Shukla (Eds.). *Agroforestry* (1a ed.; pp. 517-527). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_20
- Chaturvedi, O., Dagar, J., Handa, A., Kaushal, R., & Pandey, V. (2018). Agroforestry potential for increased productivity in degraded watersheds. En J. Chander, & A. Kumar, (Eds.), *Ravine lands: Greening for livelihood and environmental security* (1a ed.). Springer Singapore.
- Coulibaly, J., Chiputwa, B., Nakelse, T., & Kundhlande, G. (2017). Adoption of agroforestry and the impact on household food security among farmers in Malawi. *Agricultural Systems*, 155, 52-69. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.03.017>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H., Guézé, M., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S., Midgley, G., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Revers, B., Roy Chowdhury, R., Shin, Y., Visseren-Hamakers, J., Wills, J. & ... Zayas, C. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- Ehret, M., Bühle, L., Graß, R., Lamersdorf, N., & Wachendorf, M. (2015). Bioenergy provision by an alley cropping system of grassland and shrub willow hybrids: Biomass, fuel characteristics and net energy yields. *Agroforestry Systems*, 89(2), 365-381. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9773-7>
- Ehret, M., Graß, R., & Wachendorf, M. (2018). Productivity at the tree-crop interface of a young willow-grassland alley cropping system. *Agroforestry Systems*, 92(1), 71-83. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0015-z>
- Fischer, A., & Vasseur, L. (2000). The crisis in shifting cultivation practices and the promise of agroforestry: A review of the Panamanian experience. *Biodiversity and Conservation*, 9(6), 739-756. <https://doi.org/10.1023/A:1008939425511>
- Gebrehiwot, M., Elbakidze, M., & Lidestad, G. (2018). Gender relations in changing agroforestry home gardens in rural Ethiopia. *Journal of Rural Studies*, 61, 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.05.009>
- Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanis, N., & Noble, I. (2013). Policy: Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495, 305-307. <https://doi.org/10.1038/495305a>
- Grossman, J. (2014). Eucalypts in agroforestry, reforestation, and smallholders' conceptions of "nateness": A multiple case study of plantation owners in Eastern Paraguay. *Small-scale Forestry*, 14(1), 39-57. <https://doi.org/10.1007/s11842-014-9272-8>
- Harvey, C., & González, J. (2007). Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. *Biodiversity and Conservation*, 16, 2257-2292. <https://doi.org/10.1007/s10531-007-9194-2>
- Herrera, B., Campos, J., Macías, H., Delgado, A., & Salazar, V. (2018). Beyond the traditional home garden: a circa situm conservation experience of *Laelia anceps* subsp. *dawsonii* f. *chilapensis* Soto-Arenas (Orchidaceae). *Environment, Development and Sustainability*, 22, 1913-1927. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0270-4>
- Jarett, C., Cummins, I., & Logan, E. (2017). Adapting Indigenous agroforestry systems for integrative landscape Management and Sustainable Supply Chain Development in Napo, Ecuador. En F. Montagnini, *Integrative landscapes: Agroforestry for the conservation of biodiversity and food sovereignty* (1a ed.; pp. XIX, 501). Springer International Publishing.



- Kiptot, E., & Franzel, S. (2012). Gender and agroforestry in Africa: A review of women's participation. *Agroforestry Systems*, 84(1), 35-58. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9419-y>
- Lefroy, E., & Stirzaker, R. (1999). Agroforestry for water management in the cropping zone of southern Australia. *Agroforestry Systems*, 45(1), 277-302. <https://doi.org/10.1023/A:1006241503888>
- Lesterai, H. (2019). Is smallholder farmer maintaining biodiversity in rattan agroforest? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 298, 012034. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/298/1/012034>
- Magcale, D. (2014). Agroforestry models for promoting effective risk management and building sustainable communities. En Kaneko, N., Yoshiura, S., & Kobayashi, M. *Sustainable living with environmental risks*. Springer International Publishing.
- Marlay, S. (2015). Evaluación del potencial de los proyectos agroforestales para lograr beneficios ambientales y socioeconómicos en zonas rurales de Haití. En F. Montagnini, *Sistemas agroforestales. Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales*. CIPAV. <http://www.cipav.org.co/sistagro/SistemasAgroforestales.pdf>.
- Martinelli, G., Schlindwein, M., Padovan, M., Vogel, E., & Ruviaro, C. (2019). Environmental performance of agroforestry systems in the Cerrado biome, Brazil. *World Development*, 122, 339-348. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.06.003>
- Mbow, C., van Noordwijk, M., Prabhu, R., & Simons, T. (2014). Knowledge gaps and research needs concerning agroforestry's contribution to sustainable development goals in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.030>
- Mcneely, J., & Schroth, G. (2006). Agroforestry and biodiversity conservation – traditional practices, present dynamics, and lessons for the future. *Biodiversity & Conservation*, 15, 549-554. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-2087-3>
- Mendieta López, M., & Rocha Molina, L. R. (2007). *Sistemas agroforestales*. Universidad Nacional Agraria.
- Mishra, R., & Mishra, Y. (2017). Challenges and strategies to address food and livelihood security in agroforestry. En Montagnini, F. *Agroforestry* (1a ed.). Springer International Publishing.
- Mohan, M., & Zimmerman, T. (2012). South Asian agroforestry: Traditions, transformations, and prospects. En D. Garrity, *Agroforestry—The future of global land use* (1a ed., Vol. 19). Springer Netherlands.
- Monge, J., & Russo, R. (2009). Agroforestería, sostenibilidad y biodiversidad. Una necesidad para la conservación. Serie Documentos Técnicos No. 2009-7. Editorial Earth.
- Montagnini, F., & Metzel, R. (2017). The contribution of agroforestry to sustainable development Goal 2: End hunger, achieve food security and improved nutrition, and promote sustainable agriculture. En F. Montagnini, *Integrating landscapes; agroforestry for biodiversity conservation and food sovereignty*. Springer International Publishing AG.
- Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H., & Eibl, B. (2015). *Sistemas agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales* (1a ed.). CIPAV Serie técnica. Informe técnico/CATIE; no 402. CIPAV.
- Morgan, M., & Zimmerman, T. (2014). Agroforestry in the Caribbean, traditional systems, both sustainable and biodiverse. En D. Nandwani, *Sustainable development and biodiversity: Issues, technology and innovation* (1a ed., Vol. 2). Springer International Publishing Switzerland.
- Myers, S., Gaffikin, L., Golden, C., Ostfeld, R., Redford, K., Ricketts, T., Turner, W., & Osofsky, S. (2013). Human health impacts of ecosystem alteration. *PNAS*, 110(47), 18753-18760. <https://doi.org/10.1073/pnas.1218656110>
- Nair, P. K. R. (2011). Agroforestry systems and environmental quality: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), 784-790. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0076>
- Nath, T. K., Jashimuddin, M., Kamrul Hasan, M., Shahjahan, M., & Pretty, J. (2016). The sustainable intensification of agroforestry in shifting cultivation areas of Bangladesh. *Agroforestry Systems*, 90(3), 405-416.
- Nischalke, S. M., Abebe, M., Wondimagegnhu, B. A., Kriesemer, S. K., & Beuchelt, T. (2017). Forgotten forests? Food potential of ancient coffee forests and agroforestry systems in the southwestern Ethiopian mountains, seen through a gender lens. *Mountain Research and Development*, 37(3), 254-262. <https://doi.org/10.1659/MRD-JOURNAL-D-16-00096.1>
- Norgrove, L., & Beck, J. (2016). Biodiversity function and resilience in tropical agroforestry systems including shifting cultivation. *Current Forestry Reports*, 2(1), 62-80. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0032-1>
- Nyberg, Y., Wetterlind, J., Jonsson, M., & Öborn, I. (2020). The role of trees and livestock in ecosystem service provision and farm priorities on smallholder farms in the Rift Valley, Kenya. *Agricultural Systems*, 181, 102815. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102815>
- Nyong, A. P., Ngankam, T. M., & Felicite, T. L. (2019). Enhancement of resilience to climate variability and change through agroforestry practices in smallholder farming systems in Cameroon. *Agroforestry Systems*, 94, 687-705. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00435-y>

- Core Writing Team, Pachauri, R. K., & Meyer, L. A. (Eds.) *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Paembonan, S., Millang, S., & Umar, A. (2019). Species diversity and carbon storage in agroforestry systems of Toraja highlands, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 343, 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/343/1/012048>
- Paolotti, L., Boggia, A., Castellini, C., Rocchi, L., & Rosati, A. (2016). Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: A case study using the LCA approach. *Journal of Cleaner Production*, 131, 351-363. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.024>
- Pavlidis, G., & Tsirhrintzis, V. A. (2018). Environmental benefits and control of pollution to surface water and groundwater by agroforestry systems: A review. *Water Resources Management*, 32(1), 1-29. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1805-4>
- Perfecto, I., & Vandermeer, J. (2008). Biodiversity conservation in tropical agroecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1), 173-200. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.011>
- Petit-Aldana, J. (1993). Una revisión sobre el concepto de agroforestería. *Revista Forestal Latinoamericana*, 12(Especial), 7-21.
- Porro, R., Miller, R., Tito, M., Donovan, J., Vivan, J., Trancoso, R., Van Kanten, R., Grijalva, J., Ramírez, B., & Gonçalves, A. (2012). Agroforestry in the Amazon Region: A pathway for balancing conservation and development. En P. Nair, & D. Garrity, (Eds.), *Agroforestry—The future of global land use* (pp. 391-428). Springer Netherlands.
- Quandt, A., Neufeldt, H., & Mccabe, J. (2018). Building livelihood resilience: What role does agroforestry play? *Climate and Development*, 11(6), 485-500. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1447903>
- Quinkenstein, A., Freese, D., Böhm, C., Tsonkova, P., & Hüttl, R. (2012). Agroforestry for mine-land reclamation in Germany: Capitalizing on carbon sequestration and bioenergy production. En P. Nair, & D. Garrity (Eds.), *Agroforestry—The future of global land*. Springer Netherlands.
- Rahman, S. A., Imam, M. H., Snelder, D. J., & Sunderland, T. (2012). Agroforestry for livelihood security in agrarian landscapes of the Padma Floodplain in Bangladesh. *Small-Scale Forestry*, 11(4), 529-538. <https://doi.org/10.1007/s11842-012-9198-y>
- Rosenstock, T., Dawson, I., Aynekulu, E., Chomba, S., Degrande, A., Fornace, K., Jamnadass, R., KImaro, A., Kindt, R., Lamanna, C., Malesu, M., Mausch, K., McMullin, S., Murage, P., Namoi, N., Njenga, M., Nyoka, I., & Paez, A. (2019). A planetary health perspective on agroforestry in Sub-Saharan Africa. *One Earth*, 1(3), 333-344. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.017>
- Roy, M., & Roy, S. (2017). Bioenergy in India: Status, policies and prospects. En F. Montagnini (Eds.), *Agroforestry* (1a ed.). Springer Singapore.
- Russell, D., & Franzel, S. (2004). Trees of prosperity: Agroforestry, markets and the African smallholder. *Agroforestry Systems*, 61(1), 345-355. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029009.53337.33>
- Sharma, G., & Sharma, E. (2017). Agroforestry systems as adaptation measures for sustainable livelihoods and socio-economic development in the Sikkim Himalaya. En J. Dagar, & V. Tewari (Eds.), *Agroforestry* (pp.217-243). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_8
- Shibu, J., Gold, M., & Garrett, H. (2012). The future of temperate agroforestry in the United States. En P. Nair, & D. Garrity, (Eds.) *Agroforestry—The future of global land use* (1a ed.). Springer Netherlands.
- Sokheang, U., Ratha, C., Suryatmojo, H., Satriagasa, M., Dewi, H., Astuti, H., & Retnoadji, B. (2019). The role of agroforestry system for microarthropods biodiversity at upstream area of Merawu watershed, Banjarnegara District, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 361, 12036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/361/1/012036>
- Somarriba, E. (1998). Diagnóstico y diseño agroforestal. *Agroforestería en las Américas*, 5, 68-72.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S., Fetzer, I., & Bennett, E. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Anderson, S.H, Udawatta, R. P., Seobi, T., & Garrett, H. E. (2009). Soil water content and infiltration in agroforestry buffer strips. *Agroforestry Systems*, 75, 5-16. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9128-3>
- Swamy, S., & Tewari, V. (2017). Mitigation and adaptation strategies to climate change through agroforestry practices in the tropic. En F. Montagnini, *Agroforestry* (1a. ed). Springer International Publishing.
- Torquebiau, E. F. (2000). A renewed perspective on agroforestry concepts and classification.
- Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 323(11), 1009-1017. doi: 10.1016/s0764-4469(00)01239-7
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance



biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>

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, e00919. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00919>

van Noordwijk, M., Duguma, L. A., Dewi, S., Leimona, B., Catacutan, D. C., Lusiana, B., Öborn, I., Hairiah, K., & Minang, P. A. (2018). SDG synergy between agriculture and forestry in the food, energy, water and income nexus: Reinventing agroforestry? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 34, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.09.003>

Waldron, A., Garrity, D., Malhi, Y., Girardin, C., Miller, D., & 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>

Wu, J., Zeng, H., Zhao, F., Chen, C., Liu, W., Yang, B., & Zhang, W. (2020). Recognizing the role of plant species composition in the modification of soil nutrients and water in rubber agroforestry systems. *Science of the Total Environment*, 723, 138042. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138042>

Zafra, C., Temprano, J., & Tejero, I. (2017). The physical factors affecting heavy metals accumulated in the sediment deposited on road surfaces in dry weather: A review. *Urban Water Journal*, 14(6), 639-649. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1223320>

Ziyadi, M., Dhabi, A., Aitlhaj, A., Ouahrani, A., Ouahidi, A., & Achtak, H. (2019). Terraced agroforestry systems in West Anti-Atlas (Morocco): Incidence of climate change and prospects for sustainable development. En P. Castro, A. Azul, W. Leal Filho, &

U. Azeiteiro, *Climate change-resilient agriculture and agroforestry. Climate Change Management* (p. 1-9). Springer Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75004-0_1

Zomer, R., Bossio, D., Trabucco, A., Yuanjie, L., Gupta, D., & Singh, V. (2007). *Trees and water: Smallholder agroforestry on irrigated lands in Northern India*. International Water Management Institute.

Manuscrito recibido el 20 de octubre de 2020

Aceptado el 17 de agosto de 2021

Publicado el 17 de marzo de 2022

Este documento se debe citar como:

Rojas Pardo, M., Beltrán Vargas, J., & Zafra Mejía, C. A. (2022). Tendencias metodológicas para la implementación de sistemas agroforestales en el marco del desarrollo sustentable: una revisión. *Madera y Bosques*, 28(1), e2812279. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812279>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.