



Perspectivas sobre los indicadores ecológicos para evaluar la sostenibilidad de los bosques tropicales

Perspectives on ecological indicators for assessing the sustainability of tropical forests

- ¹ Roy Vera-Velez  <https://orcid.org/0000-0002-4716-4390>
University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
roy.vera@usask.ca
- ² Raúl Ramos-Veintimilla  <https://orcid.org/0000-0001-5181-1039>
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
raul.ramos@epoch.edu.ec
- ³ Jorge Grijalva-Olmedo  <https://orcid.org/0000-0001-8301-531X>
Universidad Central del Ecuador (UCE), Quito, Ecuador.
jgrijalva@uce.edu.ec



Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 08/03/2026

Revisado: 10/04/2026

Aceptado: 13/05/2026

Publicado: 29/05/2026

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v8i2.691>

Cítese:

Vera Velez, R., Ramos Veintimilla, R., & Grijalva Olmedo, J. (2026). Perspectivas sobre los indicadores ecológicos para evaluar la sostenibilidad de los bosques tropicales. *AlfaPublicaciones*, 8(2), 88–130. <https://doi.org/10.33262/ap.v8i2.691>



ALFA PUBLICACIONES, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) www.celibro.org.ec

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Palabras claves:

Manejo forestal sostenible;
Indicadores ecológicos;
bosques tropicales;
biodiversidad;
servicios ecosistémicos.

Keywords:

Sustainable forest management;

Resumen

Introducción: los bosques tropicales albergan una de las mayores concentraciones de biodiversidad del planeta y proporcionan servicios ecosistémicos esenciales para la regulación climática, la conservación del suelo y el bienestar humano. Sin embargo, la pérdida acelerada de cobertura forestal y la creciente presión por el uso de los recursos naturales han generado la necesidad urgente de desarrollar herramientas efectivas para evaluar la sostenibilidad de estos ecosistemas.

Objetivos: esta revisión analiza 25 años de investigación sobre indicadores ecológicos aplicados al manejo forestal sostenible en regiones tropicales, con el fin de identificar tendencias, vacíos de conocimiento y asociaciones entre distintos indicadores y tipos de manejo forestal. **Metodología:** se revisaron 251 estudios publicados entre 2000 y 2025 relacionados con tala selectiva, productos forestales no maderables, sistemas agroforestales, agricultura itinerante y plantaciones forestales. Los estudios fueron clasificados según el tipo de manejo y la escala ecológica de los indicadores, incluyendo ecosistema, comunidad, especie, genética y componente social. **Resultados:** los resultados muestran que la mayoría de los estudios se han enfocado en bosques naturales y en indicadores a nivel de ecosistema y comunidad, especialmente aquellos relacionados con biodiversidad, calidad del suelo, carbono y fauna silvestre. Además, se identificaron asociaciones específicas entre determinados indicadores y tipos de manejo forestal. Sin embargo, este enfoque predominante en bosques naturales evidencia un vacío de investigación en sistemas agroforestales, plantaciones forestales y agricultura itinerante. **Conclusiones:** esta revisión destaca la necesidad de ampliar los enfoques de monitoreo más allá de los bosques naturales, incorporando sistemas agroforestales, plantaciones forestales y agricultura itinerante como componentes clave para la conservación de los bosques tropicales y la sostenibilidad de sus servicios ecosistémicos. **Área de estudio general:** Ecología. **Área de estudio específica:** Manejo Forestal Sostenible. **Tipo de artículo:** Revisión bibliográfica narrativa.

Abstract

Introduction: Tropical forests are home to one of the highest concentrations of biodiversity on the planet and provide essential

Ecological indicators; tropical forests; biodiversity; ecosystem services.

ecosystem services for climate regulation, soil conservation, and human well-being. However, the accelerated loss of forest cover and the increasing pressure for the use of natural resources have generated the urgent need to develop effective tools to assess the sustainability of these ecosystems. **Objectives:** This review analyzes 25 years of research on ecological indicators applied to sustainable forest management in tropical regions, to identify trends, knowledge gaps, and associations between different indicators and types of forest management. **Methodology:** 251 studies published between 2000 and 2025 related to selective logging, non-timber forest products, agroforestry systems, shifting agriculture and forest plantations were reviewed. The studies were classified according to the type of management and the ecological scale of the indicators, including ecosystem, community, species, genetics, and social components. **Results:** The results show that most studies have focused on natural forests and indicators at the ecosystem and community level, especially those related to biodiversity, soil quality, carbon, and wildlife. In addition, specific associations were identified between certain indicators and types of forest management. However, this predominant focus on natural forests shows a research gap in agroforestry systems, forest plantations and shifting agriculture. **Conclusions:** This review highlights the need to expand monitoring approaches beyond natural forests, incorporating agroforestry systems, forest plantations and shifting agriculture as key components for the conservation of tropical forests and the sustainability of their ecosystem services. **General area of study:** Ecology. **Specific study area:** Sustainable Forest Management. **Type of article:** Narrative bibliographic review.

1. Introducción

Las últimas décadas han sido testigo de un creciente interés mundial en las discusiones sobre la conservación de la biodiversidad, con énfasis en el uso sostenible de los recursos de los bosques tropicales. Estas iniciativas proactivas surgieron no solo debido a la pérdida, a menudo masiva, de áreas forestales y numerosas especies endémicas, sino también por las posibles consecuencias sobre el cambio ambiental y la calidad de vida humana en estas regiones. Anteriormente, el manejo forestal se enfocaba principalmente

en la producción de madera y productos forestales como una actividad rentable y fuente de ingresos (*International Tropical Timber Organization* [ITTO], 1990), mientras que las políticas de biodiversidad y manejo ambiental eran consideradas prioridades secundarias (Noss, 1990). Afortunadamente, los esfuerzos orientados a incluir aspectos más amplios y aplicables de la sostenibilidad han promovido la cooperación solidaria internacional y la implementación de prácticas ecológicas mediante métodos equilibrados en la gobernanza forestal (ITTO, 1992; *United Nations*, 1992). Como resultado, y en cumplimiento de la cumbre de Río (*United Nations*, 1992), los responsables de la formulación de políticas reconocieron la conservación de la biodiversidad, la productividad forestal y la prosperidad de las comunidades rurales dependientes del bosque como prioridades fundamentales para enfrentar la crisis de conservación global (McDonald & Lane, 2004).

Actualmente, el manejo forestal sostenible es ampliamente aceptado; sin embargo, el sistema operativo aún se encuentra definido de manera poco clara, especialmente en las regiones tropicales. Diversas descripciones de este enfoque, por ejemplo, ITTO (2016), *Food and Agricultural Organization of the United Nations* (FAO, 2018a), McDonald & Lane (2004) y Sheil et al., (2004) apuntan hacia un proceso ambientalmente responsable destinado a proveer recursos para las necesidades humanas. No obstante, las complejas dimensiones económicas, ambientales, sociales y culturales de los distintos países del mundo hacen que el Manejo Forestal Sostenible (SFM) sea un concepto difícil de medir (Castañeda, 2000; McCool & Stankeyz, 2001). En este sentido, examinar la sostenibilidad de las prácticas ecológicas bajo un marco multidimensional representa uno de los desafíos más importantes para administradores forestales, científicos y planificadores de recursos (Mendoza & Prabhu 2003).

Para superar la complejidad asociada al monitoreo del SFM, el uso de criterios e indicadores (C&I) ha despertado gran interés. Según Prabhu et al. (2001) los criterios e indicadores representan herramientas prácticas de orientación e información para monitorear el manejo forestal. Dentro de este contexto, los criterios denotan múltiples puntos intermedios y argumentos teóricos que ilustran colectivamente el principio de sostenibilidad (Prabhu et al., 1999). Por otro lado, los indicadores son variables medibles relacionadas con áreas forestales bajo uso (Castañeda, 2000; Mendoza & Prabhu, 2003; McDonald & Lane 2004). Sobre esta base, la condición multidimensional de los bosques y ecosistemas puede evaluarse a diferentes escalas espaciales y temporales.

La creciente conciencia sobre la necesidad de implementar exitosamente el SFM alrededor del mundo ha generado importantes planes regionales y globales, como las tres grandes iniciativas de marcos de trabajo para C&I, para una descripción completa ver Castañeda (2000) y Hickey & Innes (2008). La primera, conocida como el Proceso de Montreal (Montreal Process 1994), representa a los países con bosques templados y boreales; la segunda corresponde al grupo Paneuropeo, es decir, los países de la Unión Europea; y la tercera está representada por la Organización Internacional de las Maderas

Tropicales (ITTO), que incluye todos los bosques tropicales y subtropicales del mundo. La idea detrás de cada grupo es establecer criterios estandarizados y consistentes, así como cooperación internacional en torno al uso y conservación de los ecosistemas forestales. Dentro de este contexto ambiental y geopolítico, la literatura relacionada con biodiversidad y enfoques de monitoreo de sostenibilidad basados en indicadores ha aumentado considerablemente en los últimos años, por ejemplo: Duelli & Obrist (2003), Kotwal et al., (2008), Choi & Sirakaya (2006).

Sin embargo, los hallazgos después de 30 años de las tres iniciativas globales mencionadas anteriormente son ampliamente divergentes. Por ejemplo, el último informe de evaluación forestal declaró un incremento en la superficie forestal mundial (FAO, 2018b). No obstante, este aumento se restringe a los bosques templados y boreales, mientras que la tendencia en las regiones tropicales es opuesta. Es decir, el paisaje forestal en las regiones septentrionales del planeta aumenta a una tasa anual de 0.08%, mientras que las áreas boscosas tropicales enfrentan una disminución anual de -0.44% (FAO, 2015). Este problema global conlleva consecuencias adversas sobre los servicios ecosistémicos, por ejemplo, el secuestro de carbono (*Intergovernmental Panel on Climate Change* [IPCC], 2014), contribuyendo a acelerar el cambio climático. La pregunta es: ¿por qué el paisaje boscoso tropical continúa disminuyendo después de varias décadas de establecimiento de indicadores para monitorear biodiversidad y sostenibilidad? La respuesta es bastante compleja. Sin embargo, dada la estrecha relación de este problema con los sistemas de monitoreo del manejo forestal, se requiere una revisión de indicadores enfocada en actividades forestales tropicales dentro de un contexto amplio para identificar posibles vacíos de conocimiento relacionados con indicadores más adecuados y relevantes frente a las condiciones socioeconómicas y ambientales predominantes en estas regiones.

Una de las principales preocupaciones en los trópicos del mundo es la continua desertificación y desaparición de áreas naturales. Este problema ha sido atribuido durante mucho tiempo a actividades antropogénicas, principalmente agricultura y ganadería, así como a prácticas inadecuadas de tala forestal (Meyer et al., 2015), entre otras actividades. Esta problemática ha llevado a considerar como prioridad el monitoreo permanente de la diversidad biológica y del manejo forestal en los bosques remanentes no perturbados, con el objetivo de prevenir la extinción de especies endémicas de flora y fauna. Sin embargo, esta urgencia por examinar zonas de bosque primario ha desviado la atención de áreas impactadas por el uso humano, como los Sistemas Agroforestales (AFSs) y los Bosques Tropicales Plantados (PF), áreas importantes que representan alternativas ecológicas para reducir la presión sobre las reservas forestales.

A pesar de la existencia de algunos estudios relacionados con el manejo sostenible de prácticas agrícolas en regiones tropicales, por ejemplo, métodos de cultivo bajo sombra (Gillison et al., 2014), y sistemas agroforestales de café y cacao (Castro-Tanzi et al., 2012; Vera-Velez et al., 2019), la información disponible sigue siendo escasa. Además, existen

varias revisiones que abordan contextos más allá de su aplicabilidad al manejo forestal, por ejemplo, temas políticos (Schulze et al., 2008), certificaciones madereras (Damette & Delacote, 2011), entre otros. Estas limitaciones dificultan determinar los fundamentos que sustentan proxis biológicos relevantes y prácticos que puedan conducir a mejores prácticas de manejo sostenible de los paisajes tropicales.

Dentro de este contexto, la presente revisión recopila información pertinente sobre sustitutos biológicos desarrollados en bosques tropicales bajo manejo para analizar dos aspectos principales: 1) si existe una asociación específica entre indicadores biológicos y modelos específicos de manejo, y 2) si el uso de estos proxis es más generalizado. Este estudio también busca llenar vacíos en la literatura relacionados con el uso de recursos naturales y discute la aplicabilidad de los indicadores biológicos como base para la conservación de los recursos forestales, al mismo tiempo que mejora la sostenibilidad de las áreas forestales manejadas circundantes.

2. Metodología

Esta investigación se basa en una revisión exhaustiva de literatura y meta análisis relacionados con indicadores ecológicos para el Manejo Forestal Sostenible (SFM) en ecosistemas tropicales. Las búsquedas de artículos científicos publicados se realizaron en dos importantes bases de datos científicas, Web of Science (WOS) y los recursos de información en línea de CABI. Los términos específicos de búsqueda fueron definidos previamente e incluyeron los siguientes (búsqueda en inglés) “*tropical forest**”, “*sustain**”, “*management*” e “*indicator**”. La selección de artículos científicos consistió en estudios relacionados con diversos aspectos del manejo forestal, incluyendo información sobre indicadores ecológicos específicos; por lo tanto, se excluyeron los artículos que no cumplieran con los criterios anteriormente mencionados. Además, el período de búsqueda se restringió a los 25 años previos, es decir, entre 2000 y 2025.

Este intervalo de tiempo permitió identificar los avances más relevantes relacionados con el manejo forestal y su relación con los indicadores. Aunque el método de exploración utilizado pudo haber excluido algunos estudios sobre el uso sostenible de los recursos forestales, el número de artículos incluidos en este manuscrito proporciona una aproximación de las tendencias actuales relacionadas con los indicadores más importantes para el SFM en regiones tropicales y subtropicales.

Las publicaciones recuperadas fueron categorizadas según el tipo de manejo (tala selectiva, productos forestales no maderables, sistemas agroforestales, agricultura migratoria y bosques plantados) y según las escalas ecológicas de los indicadores, tales como ecosistema, comunidad, especie y nivel genético (Noss, 1990; Castañeda, 2000; Lindenmayer et al., 2006). Asimismo, cuando fue posible, se registró el valor umbral indicado en los artículos. La categorización de los estudios permitió analizar tendencias en la identificación de indicadores, tipos de manejo y su asociación con categorías ecológicas de sostenibilidad (Noss, 1990).

La proporción relativa anual de artículos publicados fue analizada en la escala temporal de los últimos 25 años en relación con cada actividad forestal y tipo de práctica identificada en la literatura para las regiones tropicales. Este procedimiento permitió investigar las tendencias globales de investigación relacionadas con los diferentes modelos temporales de uso de la tierra para el SFM en los trópicos. La tendencia en la proporción de artículos publicados fue analizada mediante un análisis de covarianza (ANCOVA) para identificar si los valores porcentuales diferían entre distintos modelos de manejo (diferencias en el intercepto) y si estas diferencias cambiaban a través del tiempo (variación en la pendiente). La estructura del modelo es la siguiente **Ecuación 1**.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta(\chi_{ij} - \bar{\chi}) + \epsilon_{ij} \quad (1)$$

Where Y_{ij} = proporción relativa (%) de artículos publicados en el año i en el tipo de gestión j ; μ = media del modelo; T_i = tipo de gestión i ; β = pendiente del modelo ajustado por año i en cada categoría de tipo de gestión j ; $\bar{\chi}$ = media global de la covariable χ , y ϵ_{ij} = término del error en el modelo.

Considerando que el término de error en el método ANCOVA requiere el supuesto de una distribución Gaussiana y dado que se trabajó con datos proporcionales en la variable dependiente, la variable Y_{ij} fue transformada mediante *arcsin*. De esta manera, fue posible ajustar adecuadamente este procedimiento estadístico a los datos.

Los artículos encontrados en nuestra revisión bibliográfica también fueron analizados de acuerdo con las categorías ecológicas de sostenibilidad (Noss, 1990). Para ello, la proporción relativa de artículos publicados (2000–2025) en relación con cada actividad forestal fue agrupada en función de cada una de las escalas ecológicas. Este tipo de análisis de configuración se realizó para observar si las tendencias globales se enfocan en un nivel ecológico particular de sostenibilidad dentro de cada modelo de manejo. De manera similar, los indicadores ecológicos también fueron recopilados de la literatura y categorizados según las clases ecológicas de sostenibilidad. Se calculó la proporción relativa (%) de estos proxies en relación con los diferentes tipos de manejo o actividades forestales en las regiones tropicales. Los análisis de estos indicadores tuvieron como objetivo determinar si existe una asociación significativa con un modelo específico de uso de la tierra. Esta asociación fue evaluada mediante análisis de contingencia seguido de un análisis de correspondencia (CA), y verificada de acuerdo con su distribución chi-cuadrado. Todos los análisis fueron realizados utilizando el software estadístico R (R Core Team 2017).

3. Resultados

La búsqueda bibliográfica produjo un total de 289 artículos; sin embargo, 38 de ellos fueron excluidos debido a que el contenido estaba fuera del enfoque y los criterios establecidos para este manuscrito. En consecuencia, únicamente 251 artículos fueron considerados apropiados para los análisis de indicadores relacionados con el manejo forestal sostenible (SFM) (**Tabla 1**). Entre los estudios evaluados se identificaron cinco tipos de manejo actualmente reconocidos en paisajes tropicales: Sistemas Agroforestales

(AFSs), Tala Selectiva (logging), Productos Forestales No Maderables (NTFPs), Agricultura Migratoria (SA) y Bosques Plantados (PF).

Tabla 1
Bibliografía artículos relevantes

Tipo de Gestión	Escala Ecológica	País	Indicador	Referencias
Sistemas Agroforestales (SAFs)	Ecosistema	Costa Rica, Brazil, Mexico, Malaysia, Nicaragua, Bangladesh, Peru, Indonesia	Limitaciones de Ca^{+2} , cubierta arbórea y riqueza / diversidad, diversidad de macrofauna, carbono orgánico del suelo, retención de capacidad de agua, diversidad de microorganismos del suelo y biomasa / carbono de microorganismos, nematodos bacteriófagos.	Castro-Tanzi et al. (2012), de Jesús-Crespo et al. (2016), Moura et al. (2015), Jyoti et al. (2015), Partelli et al. (2012), Silva et al. (2010), Diemont & Martin (2005), Vanhove et al. (2016), Rousseau et al. (2013), Balota et al. (2014), Kaschuk et al. (2011), Jakimow et al. (2018), Cingolani et al. (2013), Bhowmik et al. (2016), Brearley & Thomas (2015), Pinho et al. (2012), Vanhove et al. (2016)
		Comunidad/ Población	Indonesia, Mexico	Riqueza/diversidad de plantas, tipos funcionales de plantas, por ejemplo, especies de árboles productores de frutos, diversidad y composición de aves y mariposas.
	Social	Cameroon, Sulawesi, Mexico, Bangladesh, Peru	Relación beneficio – costo, rendimiento económico	Rodrigues et al. (2009), Wartenberg et al. (2018), Ferguson et al. (2013), Alam et al. (2010), Jezeer et al. (2018), Cosyns et al. (2013)
Tala (selectiva)	Ecosistema	Indonesia, Venezuela, Namibia, Brazil, Ethiopia	Cobertura del dosel, $C\ ha^{-1}$, densidad de la madera, los ensamblajes de libélulas son buenos indicadores de un ambiente saludable, carbono y biomasa.	Hartanto et al. (2003), Vilanova-Torre et al. (2010), Smaling & Dixon (2006), Suhling et al. (2006), Singh & Das (2014), Entenmann et al. (2014), Eriksson et al. (2003), Foody (2003)
		Comunidad / Población	Costa Rica, Malaysia, Guyana, Brazil, Trinidad, Borneo, Bolivia, French Guyana, Belize, China, Uganda, Nicaragua, Mexico, Papua New Guinea, Indonesia, Venezuela, Tanzania, Kalimantan, Laos, Kenya, Hong Kong,	Diversidad y composición de escarabajos estercoleros, siete familias de insectos, número de leopardos ha^{-1} , ensamblajes de aves y murciélagos, ensamblajes de mariposas, diversidad y ensamblajes de hormigas de hojarasca, composición y estructura de especies arbóreas, ensamblajes de géneros de árboles, mariposas frugívoras, bancos de semillas del suelo, estructura de primates, ensamblajes de murciélagos frugívoros, composición taxonómica de árboles, gremios de especies arbóreas, artrópodos terrestres no correlacionados con la riqueza

Tabla 1
Bibliografía artículos relevantes (continuación)

Tipo de Gestión	de	Escala Ecológica	País	Indicador	Referencias
		Especies	Kenya, Congo	La presencia de especies arbóreas como indicador de tala de alta intensidad: densidad de <i>Solanum mauritanium</i> ; <i>Entandrophagma cylindrum</i> y <i>Triplochiton scleroxylon</i> .	Hitimana et al. (2010), Karsenty & Gourlet-Fleury (2006)
		Genética	Mexico	Alta diversidad genética: de 2 a 15 km entre poblaciones.	González-Astorga & Castillo-Campos (2014)
		Social	Brazil, Papua New Guinea, Kenya, Ghana, India, Solomon Islands	Rentabilidad, cobertura forestal, bienestar.	Schulze et al. (2008), Sousa & Riveiro (2017), Eshun et al. (2010), Manners & Varela-Ortega (2007), Prasad & Badarinath (2005), Gibson (2018), Damette & Delacote (2011), Holmes et al. (2001)
		Ecosistema	Mexico, Peru, Nigeria, Ecuador, Cameroon, Ethiopia, Brazil, Tanzania, India	Macrofauna del suelo: los taxones de Orthoptera indican suelos saludables, mientras que los Coleoptera indican suelos degradados; la exclusión del fuego produce mayores rendimientos y reservas de carbono; la biomasa microbiana del suelo también es un buen indicador de la intensificación del uso de la tierra.	Bautista et al. (2009), Lindell et al. (2010), Salako et al. (2001), Bonilla-Bedoya et al. (2017), Norgrove & Hauser (2015), Adeyolanu et al. (2013), Bautista-Cruz et al. (2012), Trilleras et al. (2015), Hauser et al. (2005), Lemenih et al. (2005), Nogueira et al. (2006), Pabst et al. (2016), Patel et al. (2010), Cole et al. (2015), Mendonça et al. (2009), Moura et al. (2016), Moura et al. (2013), Norgrove & Hauser (2016), Solen et al. (2018), Trivedi et al. (2016),
Agricultura Itinerante		Comunidad / Población	Uganda, Brazil, India, Sri Lanka, Cameroon, Ecuador, Mexico, Bolivia, Australia,	Composición de especies, estructura y riqueza arbórea, mariposas e insectos frugívoros. Los ensamblajes de aves, murciélagos y pequeños mamíferos son los indicadores más costo-efectivos; un mayor número de colonias de la especie de hormiga <i>Aenictus</i> indica bosques menos perturbados; proporción de sexos en murciélagos frugívoros	Sassen & Sheil (2013), Jakovac et al. (2016), Sreekar et al. (2015), Bobo et al. (2006), Peck et al. (2014), Matsumoto et al. (2009), Henry et al. (2007), González-Valdivia et al. (2012), Duveiller et al. (2008), Forrest et al. (2008), Pert et al. (2012), Reddy et al. (2014), Beaulieu & Weeks (2007), Bhagawati et al. (2015), Bhattacharjya et al. (2017), Kershaw & Mallik (2013)
		Social	Gabon, Ghana	China, Rendimiento de cultivos, residuos de madera	Foerster et al. (2011), Cotter et al. (2014), Eshun et al. (2012)

Tabla 1
Bibliografía artículos relevantes (continuación)

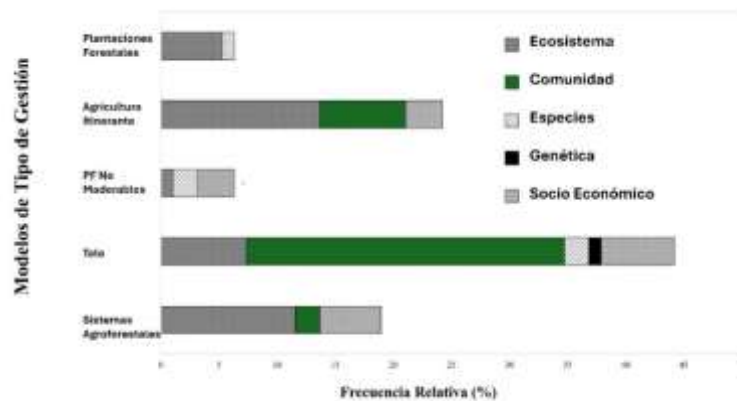
Tipo de Gestión	de Escala Ecológica	País	Indicador	Referencias
Non-timber forest products (NTFPs)	Ecosistema	Australia	Rasgos fisiológicos: los isótopos de carbono y nitrógeno en las hojas son buenos indicadores del crecimiento del tallo en especies de <i>Aquilaria</i> . Calidad del suelo en plantaciones de coco.	López-Sampson et al. (2017)
	Especies	Guyana	Número de especímenes de <i>Ateles paniscus</i> y <i>Chiropotes sagulatus</i> ; <i>Tapirus terrestris</i> (40 individuos cazados por persona por año), <i>A. paniscus</i> (24 individuos cazados por persona por año), <i>Crax alector</i> (40 individuos cazados por persona por año). La caza de 198 <i>Cuniculus paca</i> año ⁻¹ , 168 <i>C. alector</i> año ⁻¹ y 117 <i>A. paniscus</i> año ⁻¹ es insostenible; <i>T. terrestris</i> es aprovechado a una tasa seis veces superior a la sostenible. <i>A. paniscus</i> desaparecerá en 20 años.	Shaffer et al. (2017, 2018)
	Social	Brazil, Peru, Equatorial Guinea, Ghana	Comportamiento humano, datos de mercado (distancia del bosque a los centros de mercado).	Levi et al. (2011), Mantilla & Neri (2015), Allebone-Webb et al. (2011), van Vliet et al. (2015), Weinbaum et al. (2013)
Plantaciones Forestales (PF)	Ecosistema	Brazil, Venezuela, Congo, New Zealand	<i>Eucalyptus</i> y <i>Pinus</i> ; carbono orgánico del suelo, biomasa microbiana.	Vergutz et al. (2010), Hernández-Hernández et al. (2008), Laclau et al. (2010), Palmer et al. (2005), Silva et al. (2016), Jyoti et al. (2015), Moscovich et al. (2005), Vilanova et al. (2012)
	Comunidad / Población	Japan, New Zealand	Artropodos como indicadores en plantaciones forestales	Maleque et al. (2009)
	Especies	Cameroon	Cicatrices en los Troncos de árboles de caucho	Michels et al. (2012)

Nota: resumen de los aspectos más relevantes de las publicaciones que incluyen manejo forestal sostenible e indicadores biológicos en bosques tropicales. Los artículos están clasificados por tipo de manejo, escala ecológica, país/localidad, indicador–verificador y referencia original.

Esta revisión indica que la gran mayoría de los estudios se enfocaron en tala selectiva (aprox. 45%), seguida por agricultura migratoria (28%), sistemas agroforestales (20%) y, finalmente, NTFPs y PF, cada uno con aproximadamente 7% (**Figura 1**). En términos de los componentes ecológicos de la sostenibilidad, la principal tendencia estuvo enfocada en los niveles de comunidad y ecosistema, mientras que los niveles de especie y genética recibieron menor atención. El componente social fue el tercer factor más frecuente en cada tipo de manejo, con excepción de PF (**Figura 1**).

Figura 1

Proporción relativa de estudios realizados en relación con indicadores de sostenibilidad

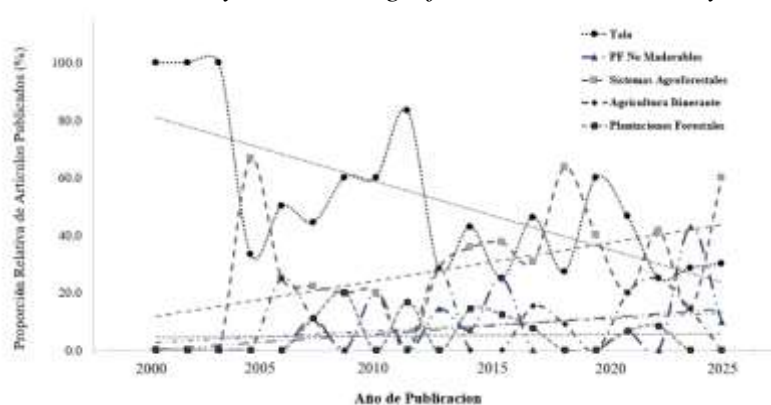


Nota: el gráfico de barras que muestra la proporción relativa de estudios realizados en relación con indicadores de sostenibilidad en PF, AI, PFNM, Tala y SAFs entre 2000 y 2025. La cantidad de artículos publicados dentro de este contexto se muestra en cada barra, es decir, componente ecosistémico, comunitario, de especies, genético y social

Por otro lado, el análisis temporal de la proporción de estudios publicados entre 2000 y 2025 sobre SFM reveló una relación lineal significativa. Estas tendencias estuvieron principalmente enfocadas en tala selectiva y agroforestería (**Figura 2**). A inicios de la década de los 2000, un gran número de estudios se concentraba en tala selectiva, mientras que las demás categorías recibían menor atención. Sin embargo, la proporción de artículos cuyo objetivo principal era la tala selectiva disminuyó con el tiempo (**Figura 2**), mientras que la proporción de estudios relacionados con sistemas agroforestales aumentó. En relación con las otras tres actividades forestales, es decir, PF NM, PF y AI, los resultados muestran una proporción significativamente menor de estudios vinculados con estos tipos de manejo forestal en comparación con SAFs y tala selectiva.

Figura 2

Clasificación de los indicadores biológicos y la proporción relativa de los estudios desarrollados con respecto a Plantaciones Forestales, Agricultura Itinerante, PF No Maderables, tala y Sistemas Agroforestales entre 2000 y 2025

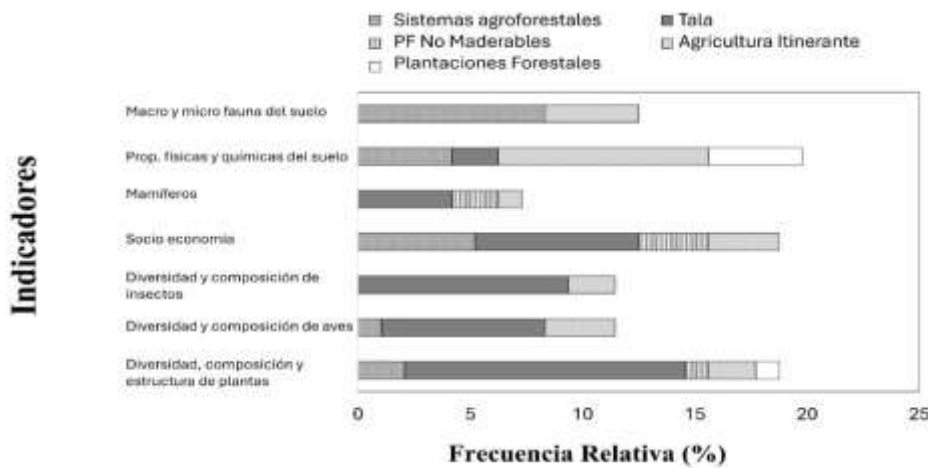


Nota: el gráfico que muestra la tendencia general durante 25 años de investigación en manejo forestal sostenible.

También se identificaron siete categorías de indicadores de manejo sostenible basadas en características compartidas o niveles estándar de representación ambiental. Estos grupos incluyeron diversidad y composición de plantas, aves e insectos, así como presencia de mamíferos, propiedades físicas y químicas del suelo, macro y microfauna, y aspectos socioeconómicos de la región (**Figura 3**).

Figura 3

Clasificación de los indicadores biológicos y la proporción relativa de los estudios desarrollados con respecto a PF, SA, PFNM, tala y SAF entre 2000 y 2025

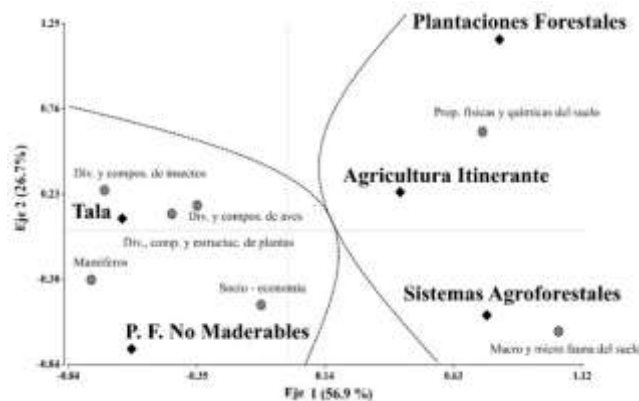


Nota: el gráfico que muestra la tendencia general durante 25 años de investigación en manejo forestal sostenible.

El análisis de contingencia mostró una asociación significativa (Chi-square, $p < 0.0001$) entre los tipos de manejo y algunos indicadores específicos, mientras que el análisis de correspondencia múltiple ilustró esta relación mediante un diagrama de ordenación (**Figura 4**).

Figura 4

Diagrama de ordenación (bi-plot) utilizando Análisis de Correspondencia (CA) después del análisis de contingencia



Nota: los diamantes negros indican los tipos de manejo (en negrita) en el bosque tropical y las principales categorías de indicadores biológicos (círculos grises). Las dos líneas discontinuas separan los dos grupos formados después del CA. Las relaciones mostradas en el gráfico son las siguientes: cuanto más cercanos estén los círculos grises a los diamantes, mayor relación o asociación existe entre ellos. Los ejes explican el 84% de la varianza en la tabla de contingencia.

En términos generales, los sistemas de manejo basados en tala selectiva y agricultura migratoria incluyen una amplia gama de indicadores, tales como suelo, animales, plantas y variables sociales (**Figura 3**). No obstante, una proporción considerable de estudios destaca la relevancia primaria y fundamental de los indicadores basados en plantas e insectos en relación con la tala selectiva, mientras que la mayoría de los estudios sobre sostenibilidad en SA, PF y SAFs se enfocan principalmente en las propiedades físicas y químicas del suelo (**Figura 4**).

4. Discusión

Las evaluaciones de biodiversidad y servicios ecosistémicos son urgentes y se han convertido en una prioridad global para los responsables de la toma de decisiones. De hecho, los recursos forestales en las regiones tropicales son considerados esenciales para los medios de vida humanos y para el soporte natural de la vida en la Tierra (Maes et al., 2012). Sin embargo, la explotación de estos recursos biológicos por encima de su punto de resiliencia pone en riesgo la diversidad biológica y los beneficios asociados (Raudsepp-Hearne et al., 2010; Daw et al., 2011). Recientemente, numerosos estudios han combinado una serie de indicadores biológicos como proxies de diferentes componentes forestales, tales como la conservación de flora y fauna (Lindenmayer et al., 2001), la contribución constante y sustancial de los bosques del mundo como sumideros de carbono (Silva et al., 2010), y el bienestar humano, la salud, la productividad y los medios de vida (Alam et al., 2010).

No obstante, la complejidad mega diversa de los bosques tropicales, compuestos por múltiples estratos arbóreos y diferentes enfoques de manejo con distintas intensidades de extracción de recursos, hace que el monitoreo sea un desafío. En esta revisión argumentamos que las tendencias de investigación sobre indicadores biológicos en el Manejo Forestal Sostenible (SFM) en los trópicos deberían abarcar prácticas consistentes de aprovechamiento sostenible con modelos ajustados a tipos específicos de manejo. Del mismo modo, los esquemas de conservación de la estructura, diversidad y servicios ecosistémicos de las áreas forestales tropicales requieren detectar indicadores biológicos relevantes asociados a umbrales de manejo. Estos marcadores naturales no solo deben adaptarse a la dinámica de los bosques naturales, sino también, y especialmente, a los Sistemas Agroforestales (AFSs), Agricultura Migratoria (SA) y bosques plantados. Por conveniencia, esta sección de discusión se divide en dos partes. La primera aborda las tendencias generales de investigación sobre indicadores biológicos y la segunda discute indicadores naturales específicos para cada tipo de manejo forestal.

4.1. Tendencias en investigación en indicadores biológicos

En las áreas de bosque tropical, el desarrollo de indicadores biológicos está significativamente asociado con el tipo de manejo. La tendencia observada en el porcentaje de estudios realizados en áreas naturales, es decir, 50% relacionados con tala selectiva, 44% con productos forestales no maderables, y 6% en su conjunto (**Figura 1**), sugiere que la preservación de las reservas forestales es una prioridad. Esta preferencia es consistente con la necesidad crucial de conservar la composición e integridad de estos espacios biológicos para mantener los servicios ecosistémicos. Por ejemplo, los niveles de secuestro de carbono y protección del suelo dependen de la dinámica forestal y de su biodiversidad intrínseca (Haines-Young & Potschin, 2010; Vilanova-Torre et al., 2010). Por lo tanto, las acciones antropogénicas, como la tala y la extracción de NTFPs, deberían limitarse a niveles adecuados de manejo. Sin embargo, la sostenibilidad de las áreas forestales naturales también depende de sistemas adecuados de uso de la tierra, particularmente de los enfoques basados en AFSs y SA. Aunque estos sistemas se encuentran fuera de las reservas forestales, mantienen interacciones mutualistas y generalistas entre plantas y animales (Steffan-Dewenter et al., 2007). Por ejemplo, el movimiento, a menudo migratorio, de diferentes taxones de animales entre áreas forestales distantes es facilitado por los AFSs, los cuales actúan como corredores que promueven la dispersión de semillas y el intercambio de fauna a escalas locales y regionales (Lozada et al., 2007). Debido a que la pérdida de estos conectores naturales tiene efectos significativos sobre la regeneración de numerosas especies vegetales, la protección de los bosques naturales depende también, en parte, del uso sostenible de los AFSs y SA. Finalmente, los nuevos bosques plantados también deberían ser considerados dentro de la preservación integral del paisaje tropical. Aunque este aspecto podría no parecer esencial (**Figura 1**), dado que estos sistemas también rodean áreas forestales naturales, un manejo ineficiente podría amenazar las zonas adyacentes y promover la pérdida de especies y servicios ecosistémicos.

El tipo de manejo forestal desempeña un papel importante en la fluctuación y tendencia proporcional de los indicadores a través de diferentes escalas ecológicas o jerarquías ambientales. El mayor número de estudios relacionados con indicadores biológicos se enfoca en áreas sometidas a tala selectiva (**Figura 1**), categoría que incluye indicadores a nivel de comunidad y población, por ejemplo, riqueza de murciélagos (Medellín et al., 2000) y diversidad de plantas y animales (Haddad et al., 2001). Esta relación muestra un interés central en los efectos de la extracción selectiva sobre la estructura forestal y la composición de poblaciones animales y vegetales (**Figura 2**), así como en cómo estos cambios conducen a diferentes dinámicas y paisajes forestales tanto a corto como a largo plazo (Cadotte et al., 2011). Además, la fuerte conexión entre tala selectiva y el nivel comunitario (**Figura 3**), puede deberse al elevado número de taxa presentes en los trópicos, lo que dificulta el monitoreo de especies individuales (Ji et al., 2013).

Por el contrario, en los enfoques basados en AFSs y SA, la tendencia de los componentes jerárquicos del sistema se inclina hacia el nivel ecosistémico (**Figura 1**). En comparación con los bosques naturales, el cambio en los componentes de estos sistemas de uso de la tierra sugiere que la principal preocupación se relaciona más con los servicios ecosistémicos que con la conservación de especies. En consecuencia, se encontró una relación significativa entre estos agro sistemas y la calidad del suelo (**Figura 3**). El mismo patrón aplica para los bosques plantados, cuya relación se enfoca principalmente en propiedades físicas y químicas del suelo. Otro aspecto interesante de este análisis es la alta relevancia del componente social en el manejo forestal tropical. Los indicadores asociados a este nivel están presentes en todos los tipos de manejo (**Figura 1**), aparentemente con igual importancia (**Figura 2**) (**Figura 3**), lo que sugiere que, independientemente del sistema de manejo, el componente social es fundamental dentro del contexto de sostenibilidad forestal.

4.2. Indicadores biológicos relevantes para la gestión forestal sostenible

En el contexto del manejo forestal sostenible en regiones tropicales, los indicadores biológicos representan herramientas fundamentales para evaluar los efectos de las distintas prácticas de manejo sobre la biodiversidad, la calidad del suelo y los servicios ecosistémicos. La diversidad de sistemas de uso de la tierra presentes en los trópicos, incluyendo tala selectiva, productos forestales no maderables, sistemas agroforestales, agricultura itinerante y plantaciones forestales, requiere indicadores ajustados a las características ecológicas y funcionales de cada modelo de manejo. En este sentido, la literatura revisada muestra que ciertos grupos biológicos y variables ambientales presentan una relación más estrecha con tipos específicos de manejo, lo que resalta la importancia de seleccionar indicadores adecuados para mejorar el monitoreo y la sostenibilidad de los paisajes forestales tropicales.

4.2.1. Indicadores basados en gestión de bosques naturales

Durante décadas, los parques nacionales, reservas forestales y otras áreas naturales han sido esenciales para la conservación de la biodiversidad. Las evaluaciones forestales estiman una cobertura mundial de bosques naturales de aproximadamente 3.7 mil millones de hectáreas, donde los bosques tropicales representan cerca del 50% de las áreas no perturbadas (FAO, 2015; Siry et al., 2005). Sin embargo, existe evidencia de que acciones de manejo han ocurrido durante siglos (Willis et al., 2004); por lo tanto, la estructura y composición forestal actual podrían reflejar prácticas de manejo pasadas (Bhagwat et al., 2008). En los bosques tropicales naturales, dos de las principales actividades forestales practicadas durante décadas son la tala selectiva (Johns et al., 1996; Haworth, 1999; Putz et al. (2001) y los NTFPs (Hiremath, 2004; Belcher et al., 2005; Mukul et al., 2010), las cuales se discuten a continuación.

4.2.2. Tala selectiva

La tala selectiva es una de las prácticas silviculturales más tradicionales en los bosques naturales y es reconocida como un tratamiento forestal (Hu et al., 2018). Aunque fue

diseñada para abarcar los objetivos globales del SFM (Leroux et al., 2010), frecuentemente ha sido utilizada para extracción comercial de madera en bosques tropicales y templados (Edwards et al., 2014; Putz et al., 2001). El desequilibrio poblacional provocado por formas tradicionales de tala ha generado diversos efectos sobre la estructura y dinámica forestal (Fischer et al., 2016), afectando tanto la riqueza como la abundancia de especies en estas áreas (Putz et al., 2001). Dado que las relaciones entre las poblaciones arbóreas y otros organismos terrestres del bosque dependen unas de otras, el efecto de la deforestación puede percibirse principalmente a nivel comunitario más que a nivel de especie o genética (**Figura 1**).

Las comunidades de insectos, murciélagos y aves son posiblemente los indicadores más apropiados para actividades de tala debido a su susceptibilidad a cambios en el hábitat. Por ejemplo, estudios sobre la diversidad de escarabajos coprófagos (Scarabaeidae: Scarabaeinae) en bosques de Guyana y Costa Rica indican alta sensibilidad frente a disturbios ambientales (Aguilar-Amuchastegui & Henebry 2007; Bicknell et al., 2014). De manera similar, insectos de las familias Sciaridae y Muscidae reflejan cambios locales en bosques de Malasia y Borneo (Edwards et al., 2012; Akutsu et al., 2007). Asimismo, las comunidades de murciélagos y aves fluctúan en estructura y composición debido a prácticas de tala (Clarke et al., 2005; Henry et al., 2010; Bicknell et al., 2015). Estos estudios sugieren que la riqueza taxonómica y la diversidad constituyen buenos proxies para eventos de tala. Sin embargo, aunque estos grupos representan indicadores adecuados de disturbio, información importante como la cantidad de madera extraída, diámetro mínimo a la altura del pecho (dbh), puntos de corte y especies cosechadas suele estar ausente o parcialmente reportada. Esto deja vacíos importantes de conocimiento para los administradores forestales.

La biodiversidad a nivel de especie es otro componente que ha recibido considerable atención, aunque presenta ambigüedades respecto a su sensibilidad frente a la tala selectiva. Los indicadores a nivel de especie son reconocidos como organismos clave cuyas características funcionan como proxies de otras especies o condiciones ambientales, reflejando cambios en el ecosistema, particularmente relacionados con disturbios (Landres et al., 1988; Lindenmayer et al., 2001). Por ejemplo, la presencia de *Cecropia sciadophylla* Mart. indica perturbación forestal (Valencia et al., 2004), permitiendo distinguir visualmente áreas neotropicales en recuperación. Sin embargo, existen varias críticas respecto al uso de estos indicadores, especialmente debido a inconsistencias ecológicas y respuestas específicas según localidad o contexto ambiental. En consecuencia, la presencia de organismos a nivel de especie parece representar un proxy limitado para evaluar sostenibilidad.

Los indicadores genéticos asociados a tala selectiva también presentan incertidumbre, ya que generalmente se enfocan en especies individuales con respuestas poco claras. Por ejemplo, la reducción de árboles reproductivos de *Ocotea catharinensis* Metz. en la Amazonía brasileña generó un incremento en la agregación espacial y disminución de

heterogeneidad genética (Montagna et al., 2018; Saiter & Thomas, 2014). Sin embargo, estos efectos no son universales entre especies. Algunas especies mantienen flujo génico adecuado incluso después de disturbios por tala, lo que reduce la efectividad de los indicadores genéticos en ecosistemas hiper diversos.

4.2.3. *Productos no maderables*

Además de la madera, el aprovechamiento de los recursos forestales incluye Productos Forestales No Maderables (NTFPs), una práctica ampliamente extendida y común en las regiones tropicales del mundo (Bawa et al., 2007). Esta actividad generalmente implica la extracción de partes vegetales, como flores, frutos, semillas, hojas y corteza (Avocèvou-Ayisso et al., 2009; Ticktin, 2004), así como productos faunísticos provenientes de insectos, aves y sus huevos, además de algunos mamíferos silvestres y peces (Beer & McDermott, 1989). Actualmente, los NTFPs se han vuelto cada vez más importantes para los medios de vida rurales, los ingresos familiares y la economía local (Shackleton et al., 2011), y hoy forman parte de las evaluaciones forestales regulares realizadas por FAO (2018b).

Durante las últimas décadas, se ha considerado que los NTFPs generan impactos ecológicos menores que la tala selectiva (Oyama Homma, 1992; Arnold & Pérez, 2001). Sin embargo, a medida que aumenta el interés por los atributos y usos de estos productos, la percepción sobre el incremento en la intensidad y escala de extracción de recursos naturales ha generado preocupaciones importantes sobre sus posibles impactos negativos en la sostenibilidad forestal y en la capacidad de los bosques para proveer los servicios ecosistémicos requeridos (Ticktin, 2004). Las tendencias de investigación muestran que la presencia de mamíferos y el componente social son los indicadores más comúnmente asociados con los NTFPs, mientras que se ha dado menor relevancia a otros organismos, como las plantas.

La presencia de especies de mamíferos también constituye un indicador útil y puede revelar niveles adecuados de extracción de NTFPs en los bosques. En este sentido, una de las actividades más comunes asociadas con NTFPs es la recolección de partes vegetales, por ejemplo, frutos y semillas (Avocèvou-Ayisso et al., 2009; Clay, 1997). Esta práctica representa una competencia directa por alimento entre humanos y animales (Boot & Gullison, 1995). Por ejemplo, la extracción de estructuras reproductivas de *Mauritia flexuosa* L. (Arecaceae) en la Amazonía afecta las fuentes de alimento de *Tayassu peccary* y *Tapirus terrestris* (Acevedo-Quintero & Zamora-Abrego, 2016), y es probable que la presencia de estos mamíferos sugiera una disponibilidad favorable de recursos alimenticios. Sin embargo, la relación entre estos mamíferos y los taxones vegetales aún necesita ser cuantificada. Por lo tanto, existe un vacío crítico de conocimiento que requiere investigación.

Un problema adicional con el uso de mamíferos como indicadores es que sus poblaciones están disminuyendo debido a la caza intensiva. Según Shaffer et al. (2017) la sostenibilidad de las comunidades indígenas en los bosques de Guyana depende, entre

otros recursos, de la caza. Sin embargo, la proporción de caza de *T. terrestris* es seis veces mayor que la tasa reproductiva sostenible, es decir, 24 individuos por persona por año en los bosques de Guyana (Shaffer et al., 2018). Por lo tanto, esta especie se encuentra amenazada y eventualmente podría desaparecer, junto con su potencial como sistema de monitoreo para la recolección de frutos y semillas.

Otro aspecto relevante en el avance de la investigación sobre NTFPs es que la respuesta individual de las plantas tiene consecuencias diversas entre diferentes taxones. De acuerdo con Arnold & Pérez (2001) algunas especies están mejor adaptadas y son más resilientes, por lo que pueden tolerar la extracción constante, particularmente aquellas con ciclos de vida cortos, rápido crecimiento y abundante regeneración (Cunningham & Mbenkum, 1993). En contraste, otras especies arbóreas pueden presentar efectos adversos, como la presencia de patógenos fúngicos (Paoli et al., 2001). En consecuencia, definir una única respuesta como indicador estándar a nivel de especie no es efectivo ni representa el mejor método de evaluación.

De manera similar, los efectos genéticos de las prácticas de extracción de NTFPs son altamente heterogéneos. Es bien conocido que los disturbios alteran la composición genética y la estructura de las poblaciones forestales (Oostermeijer et al., 2003). La extracción de partes vegetales, en particular estructuras reproductivas, sugiere que esta actividad reduce el tamaño efectivo de la población, el éxito reproductivo y, en última instancia, la viabilidad de los individuos (Gaoue et al., 2011). Por ejemplo, la extracción de corteza y follaje de la caoba africana (*Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.) reduce su población, especialmente en zonas más secas (Gaoue & Ticking, 2010). Sin embargo, diferentes respuestas observadas en la misma especie sugieren que la extracción a largo plazo de corteza y follaje no afecta la diversidad genética de la población (Gaoue et al., 2014), lo que deja al componente genético como un indicador ambiguo en este tipo de manejo forestal.

4.3. Indicadores basados en sistemas agroforestales y de agricultura itinerante

Los Sistemas Agroforestales (AFSs) y los métodos de agricultura migratoria (SA) son dos de los agrosistemas tropicales más importantes. Los primeros se refieren al uso deliberado de árboles junto con diversos cultivos (Ashley et al., 2006), y han sido considerados una práctica importante para aliviar la presión antropogénica sobre áreas de bosque prístino. Esto se debe a que ofrecen diversas ventajas, como la conservación de la biodiversidad, el mejoramiento de los servicios ecosistémicos y la conectividad con áreas protegidas (Schroth et al., 2004; Bhagwat et al., 2008; DeClerck et al., 2010).

Por otro lado, SA se refiere al uso temporal de áreas forestales (Cairns, 2015); es decir, un sistema de rotación temporal que utiliza períodos de barbecho como estrategia para recuperar la fertilidad del suelo. Aunque este enfoque tiene dos percepciones contradictorias como una de las principales causas de degradación de tierras forestales (Cairns, 2015; Lawrence, 2005; Myers, 1993), y como una alternativa potencial frente a la agricultura tradicional de mayor impacto ambiental (Siebert & Belsky, 2014), su

práctica es común en todo el trópico y, por lo tanto, representa un modelo importante de uso de la tierra forestal. De acuerdo con nuestro análisis, las tendencias de los indicadores biológicos muestran una estrecha relación con la calidad del suelo, particularmente con las propiedades físicas y químicas en SA, y con la macrofauna y microfauna del suelo en AFSs (**Figura 3**).

Entre las diferentes características de AFSs y SA, la sostenibilidad de estos agrosistemas apunta principalmente hacia la calidad y capacidad del suelo, junto con los servicios ecosistémicos asociados. En el caso de AFSs, los principales indicadores de sostenibilidad se relacionan con la macrofauna y microfauna del suelo y su capacidad para contribuir al rendimiento productivo y al secuestro de carbono. Por ejemplo, el rendimiento del cacao se ha correlacionado positivamente con mayores niveles de macrofauna del suelo en Malasia (Vanhove et al., 2016). De manera similar, el incremento de nematodos bacterívoros en AFSs en México se ha asociado con valores más altos de materia orgánica del suelo y, por lo tanto, con una mayor eficiencia en el secuestro de carbono (Diemont & Martin 2005).

Aunque estos indicadores son relevantes para AFSs, aún existe la necesidad de llenar vacíos de conocimiento sobre la relación entre las características del suelo y otros aspectos estructurales, por ejemplo, la estructura, función y diversidad de las plantas. De hecho, entre los ejemplos encontrados en esta revisión, solo un estudio indica que una cobertura arbórea de 40% podría ser adecuada para preservar la calidad del suelo (de Jesús-Crespo et al., 2016), pero sin indicar cuáles especies arbóreas específicas son más apropiadas.

Por otro lado, los principales indicadores de sostenibilidad en métodos de SA se encontraron en las propiedades físicas y químicas del suelo. Esta relación sugiere que la sostenibilidad de este agrosistema depende de períodos adecuados de barbecho para evitar la degradación del suelo. Por ejemplo, un período mínimo de cuatro años de barbecho parece adecuado para mantener el equilibrio de los agregados del suelo en sistemas de SA en Nigeria (Adeyolanu et al., 2013). De manera similar, el carbono orgánico, el pH, el P y el espesor del horizonte del suelo representan elementos óptimos para detectar degradación del suelo en regiones tropicales de México (Bautista-Cruz et al., 2012). Por lo tanto, el monitoreo de la macrofauna y microfauna del suelo en AFSs, junto con las propiedades físicas y químicas del suelo en sistemas de SA, representa un enfoque más adecuado para evaluar el SFM.

4.4. Indicadores basados en gestión de plantaciones forestales

Las plantaciones tropicales, según la definición de FAO (2018a) representan todos los rodales forestales establecidos artificialmente. Históricamente, las principales áreas de árboles plantados se han localizado en las regiones más septentrionales y meridionales del planeta. Sin embargo, las plantaciones forestales tropicales se han vuelto cada vez más populares durante las últimas décadas debido principalmente a dos razones fundamentales. En primer lugar, la creciente dependencia humana de suministros de

madera y alimentos (Günther et al., 2011; Adams & Castaño, 2000), y en segundo lugar, las características de rápido crecimiento de muchas especies arbóreas tropicales (Onyekwelu et al., 2011), lo que asegura retornos económicos rápidos.

Como consecuencia de estos cambios, la superficie total de plantaciones forestales tropicales aumentó de 6.7 millones de hectáreas en 1965 a 109 millones de hectáreas en 2015 (FAO, 2015), con el consecuente detrimento de las áreas forestales naturales. Los argumentos a favor y en contra de la modificación de la estructura del paisaje tropical son previsiblemente frecuentes. No puede ignorarse el hecho de que las plantaciones forestales tropicales proporcionan bienes y servicios importantes para los medios de vida humanos, por ejemplo, madera, alimentos, madera y otros productos arbóreos (ITTO 2016; Evans & Turnbull, 2004). Asimismo, los principios del manejo forestal sostenible, es decir, una silvicultura apropiada y el uso selectivo de especies, deben mantenerse dentro de este contexto con el fin de frenar la degradación ambiental. Por lo tanto, los Criterios e Indicadores (C&I) también son aplicables en este ámbito. Esta revisión indica que las tendencias de investigación apuntan hacia las propiedades físicas y químicas del suelo, más que hacia otros aspectos, como la genética, como los indicadores más relevantes para evaluar la sostenibilidad de las plantaciones forestales tropicales.

La calidad del suelo constituye una variable esencial en las plantaciones forestales tropicales, las cuales están dominadas principalmente por especies de *Eucalyptus* Tax Auth. (aprox. 10 especies) y *Pinus* TA (aprox. 7 especies), que representan más del 50% de la superficie cultivada (Carle et al., 2002). Otras especies relevantes incluyen *Acacia* TA (aprox. 5 especies), *Tectona grandis* L. y *Gmelina arborea* Roxb. Ex Sm. (Evans & Turnbull, 2004; Simons & Leakey, 2004). Aunque la principal preocupación en las plantaciones forestales es mantener una producción constante de madera, también se requieren condiciones ambientales óptimas para asegurar un rendimiento adecuado y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos.

Por ejemplo, en plantaciones de *Eucalyptus* en Brasil y Venezuela se encontró una correlación positiva entre el crecimiento del rodal y el Carbono Orgánico del Suelo (SOC) (Vergutz et al., 2010; Hernández-Hernández et al., 2008). Una relación similar fue observada en el Congo, junto con la biomasa microbiana del suelo (Laclau et al., 2010; Silva et al., 2016). Por lo tanto, la evaluación del carbono orgánico del suelo y de la biomasa microbiana constituye parte de los indicadores relevantes para determinar la calidad del suelo. Por otro lado, parámetros bajos de calidad del suelo podrían impulsar a los administradores a establecer nuevas plantaciones forestales en áreas naturales, promoviendo así procesos de desertificación. En consecuencia, mantener plantaciones forestales sostenibles representa una medida de protección indirecta para las áreas naturales.

Aunque la tendencia de los estudios revela una estrecha relación entre sostenibilidad y plantaciones forestales, existen otros elementos de importancia, por ejemplo, la variación genética intraespecífica dentro de cada especie arbórea. Libby et al. (2003) mencionó que

la principal preocupación en las plantaciones forestales tropicales es la uniformidad genética asociada con especies no exóticas, debido al número restringido de individuos parentales en los bosques tropicales. La variabilidad genética o heterocigosidad (Finkeldey & Hattermer, 2007), asociada con el material reproductivo constituye un aspecto clave para el éxito del establecimiento de plantaciones, ya que permite el desarrollo de procesos ecológicos importantes, como el desarrollo floral, la reproducción y la capacidad de responder a los efectos del cambio climático.

A pesar de la relevancia de este tema en las plantaciones tropicales, la información disponible sigue siendo limitada. Aún existe un gran vacío de conocimiento relacionado con la variabilidad genética como uno de los principales indicadores de sostenibilidad en bosques tropicales plantados.

5. Conclusión

- La extensa literatura sobre indicadores biológicos revela una preocupación persistente por la pérdida de los recursos forestales. Específicamente, la tendencia en conservación de la biodiversidad enfocada en reservas forestales y áreas santuario ha generado resultados negativos en la preservación de los bosques tropicales naturales, reduciendo así la superficie del paisaje forestal. El manejo de los bosques tropicales involucra diversas formas de actividades silviculturales y, en esta revisión, se destacan cinco tipos principales: tala selectiva, Productos Forestales No Maderables (NTFPs), Sistemas Agroforestales (AFSs), Agricultura Migratoria (SA) y Bosques Plantados (PF), así como el estado de los indicadores biológicos asociados a cada uno de ellos. Por lo tanto, podría recomendarse que los responsables de la formulación de políticas desarrollen alternativas de monitoreo de los paisajes tropicales que incluyan no solo áreas naturales, sino también sistemas agrícolas y otros tipos de uso de la tierra. En términos generales, mantener condiciones óptimas de calidad del suelo es fundamental para sostener rendimientos agrícolas sostenibles y servicios ecosistémicos en AFSs, SA y bosques plantados. De manera similar, la riqueza taxonómica, la presencia y las características estructurales de aves, murciélagos y mamíferos continúan siendo indicadores relevantes para evaluar actividades de tala selectiva y NTFPs. La aplicabilidad de valores umbral en actividades forestales podría generar respuestas significativas sobre sostenibilidad y, en consecuencia, contribuir a la preservación de áreas forestales naturales y de los servicios ecosistémicos asociados en ecosistemas tropicales.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

7. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

8. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

9. Referencias Bibliográficas

- Acevedo-Quintero, J. F., & Zamora-Abrego, J. G. (2016). Papel de los mamíferos en los procesos de dispersión y depredación de semillas de *Mauritia flexuosa* (Arecaceae) en la Amazonia colombiana. *Revista de Biología Tropical*, 64(1), 5-15. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v64n1/0034-7744-rbt-64-01-00005.pdf>
- Adams, M., & Castaño, J. (2000). *World timber supply and demand scenario, government interventions, issues and problems* [FAO, Proceedings of the International Conference on Timber Plantation Development, Philippines, pp. 7-9]. <https://www.fao.org/4/ac781e/AC781E03.htm>
- Adeyolanu, O. D., Are, K. S., Oluwatosin, G. A., Ayoola, O. T., & Adelana, A. O. (2013). Evaluation of two methods of soil quality assessment as influenced by slash and burn in tropical rainforest ecology of Nigeria. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(12), 1725-1742. <https://doi.org/10.1080/03650340.2012.760037>
- Aguilar-Amuchastegui, N., & Henebry, G. M. (2006). Monitoring sustainability in tropical forests: How changes in canopy spatial pattern can indicate forest stands for biodiversity surveys. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(3), 329-333. <https://digitalcommons.unl.edu/natrespapers/152/>
- Aguilar-Amuchastegui, N., & Henebry, G. (2007). Assessing sustainability indicators for tropical forests: spatio-temporal heterogeneity, logging intensity, and dung beetle communities. *Forest Ecology and Management*, 253, 56-67. <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-sustainability-indicators-for-tropical-Aguilar-Amuchastegui-Henebry/51a9ee426582b28d528f9ae27e97370b99f0968a>
- Aguilar-Amuchastegui, N., & Henebry, G. M. (2008). Characterizing tropical forest spatio-temporal heterogeneity using the Wide Dynamic Range Vegetation Index (WDRVI). *International Journal of Remote Sensing*, 29(24), 7285-7291. https://www.researchgate.net/profile/Naikoa-Aguilar-Amuchastegui/publication/260546699_Characterizing_tropical_forest_spatio-temporal_heterogeneity_using_the_Wide_Dynamic_Range_Vegetation_Index_WDRVI/links/54eb38e80cf25ba91c864aa8/Characterizing-tropical-forest-spatio-temporal-heterogeneity-using-the-Wide-Dynamic-Range-Vegetation-Index-WDRVI.pdf
- Akutsu, K., Khen, C. V., & Toda, M. J. (2007). Assessment of higher insect taxa as bioindicators for different logging-disturbance regimes in lowland tropical rain forest in Sabah, Malaysia. *Ecological Research*, 22, 542-550. <https://doi.org/10.1007/s11284-006-0052-6>
- Alam, M., Furukawa, Y., & Harada, K. (2010). Agroforestry as a sustainable land use option in degraded tropical forests: a study from Bangladesh. *Environment, Development and Sustainability*, 12, 147-158. <https://www.semanticscholar.org/paper/Agroforestry-as-a-sustainable-landuse-option-in-a-Alam-Furukawa/1a0d5d488273c6b9c3257b85ff06504d50f3b9d9>
- Allebone-Webb, S. M., Kumpel, N. F., Rist, J., Cowlshaw, G., Rowcliffe, J. M., & Milner-Gulland, E.J. (2011). Use of market data to assess bushmeat hunting sustainability in Equatorial Guinea. *Conservation Biology: The Journal of the*

- Society for Conservation Biology*, 25(3), 597–606.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01681.x>
- Arnold, J. E. M., & Pérez, M. R. (2001). Can non-timber forest products match tropical forest conservation and development objectives? *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 39(3), 437–447.
[https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(01\)00236-1](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(01)00236-1)
- Ashley, R., Russell, D., & Swallow, B. (2006). The policy terrain in protected area landscapes: challenges for agroforestry in integrated landscape conservation. *Biodiversity and Conservation*, 15(2), 663–689.
<https://doi.org/10.1007/s10531-005-2100-x>
- Avocèvou-Ayisso, C., Sinsin, B., Adégbidi, A., Dossou, G., & van Damme, P. (2009). Sustainable use of non-timber forest products: impact of fruit harvesting on *Pentadesma butyracea* regeneration and financial analysis of its products trade in Benin. *Forest Ecology and Management*, 257(9), 1930–1938.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.043>
- Balota, E. L., Yada, I. F., Amaral, H., Nakatani, A. S., Dick, R. P., & Coyne, M. S. (2014). Long-term land use influences soil microbial biomass P and S, phosphatase and arylsulfatase activities, and S mineralization in a Brazilian oxisol. *Land Degradation & Development*, 25(4), 397–406.
<https://doi.org/10.1002/ldr.2242>
- Bautista-Cruz, A., del Castillo, R. F., Etchevers-Barra, J. D., del Carmen Gutiérrez-Castorena, M., & Baez, A. (2012). Selection and interpretation of soil quality indicators for forest recovery after clearing of a tropical montane cloud forest in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 277, 74-80.
https://www.researchgate.net/publication/235949394_Selection_and_interpretation_of_soil_quality_indicators_for_forest_recovery_after_clearing_of_a_tropical_montane_cloud_forest_in_Mexico
- Bautista, F., Castelazo, D., & García-Robles, M. (2009). Changes in soil macrofauna in agroecosystems derived from low deciduous tropical forest on leptosols from karstic zones. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(2), 185-197.
<https://www.redalyc.org/pdf/939/93912989007.pdf>
- Bawa, K.S., Joseph, G., & Setty, S. (2007). Poverty, biodiversity and institutions in forest-agriculture ecotones in the Western Ghats and Eastern Himalaya ranges of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121(3), 287-295.
https://www.researchgate.net/publication/222818528_Poverty_biodiversity_and_institutions_in_forest-agriculture_ecotones_in_the_Western_Ghats_and_Eastern_Himalaya_ranges_of_India
- Beaulieu, F., & Weeks, A. R. (2007). Free-living mesostigmatic mites in Australia: their roles in biological control and bioindication. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47, 460-478. <https://www.semanticscholar.org/paper/Free-living-mesostigmatic-mites-in-Australia%3A-their-Beaulieu-Weeks/432848a1781191fc17004370ff226cf754a142ae>
- Belcher, B., Ruíz-Pérez, M., & Achdiawan, R. (2005). Global patterns and trends in the use and management of commercial NTFPs: implications for livelihoods and

- conservation. *World Development*, 33(9), 1435–1452.
<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.10.007>
- Bhagawati, K., Bhagawati, G., Das, R., Bhagawati, R., & Ngachanngachan, S. V. (2015). The structure of Jhum (Traditional Shifting Cultivation System): prospect or threat to climate. *International Letters of Natural Sciences*, 46, 16–30.
https://www.researchgate.net/publication/282430649_The_Structure_of_Jhum_Traditional_Shifting_Cultivation_System_Prospect_or_Threat_to_Climate
- Bhagwat, S. A., Willis, K. J., Birks, H. J. B., & Whittaker, R. J. (2008). Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution*, 23(5), 261–267.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.01.005>
- Bhattacharjya, S., Bhaduri, D., Chauhan, S., Chandra, R., Raverkar, K. P., & Pareek, N. (2017). Comparative evaluation of three contrasting land use systems for soil carbon, microbial and biochemical indicators in North-Western Himalaya. *Ecological Engineering*, 103, 21–30.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.001>
- Bhowmik, A., Fortuna, A. M., Cihacek, L. J., Bary, A. I., & Cogger, C. G. (2016). Use of biological indicators of soil health to estimate reactive nitrogen dynamics in long-term organic vegetable and pasture systems. *Soil Biology & Biochemistry*, 103, 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.004>
- Bicknell, J. E., Phelps, S. P., Davies, R. G., Mann, D. J., Struebig, M. J., & Davies, Z. G. (2014). Dung beetles as indicators for rapid impact assessments: evaluating best practice forestry in the neotropics. *Ecological Indicators*, 43, 154–161.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.030>
- Bicknell, J. E., Struebig, M. J., Davies, Z. G., & Baraloto, C. (2015). Reconciling timber extraction with biodiversity conservation in tropical forests using reduced-impact logging. *The Journal of Applied Ecology*, 52(2), 379–388.
<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12391>
- Bobo, K. S., Waltert, M., Fermon, H., Njokagbor, J., & Mühlenberg, M. (2006). From forest to farmland: Butterfly diversity and habitat associations along a gradient of forest conversion in southwestern Cameroon. *Journal of Insect Conservation*, 10(1), 29–42. <https://doi.org/10.1007/s10841-005-8564-x>
- Bonilla-Bedoya, S., López-Ulloa, M., Vanwalleghem, T., & Herrera-Machuca, M.Á. (2017). Effects of land use change on soil quality indicators in forest landscapes of the western amazon. *Soil Science*. 182(4), 128–136.
https://www.researchgate.net/publication/317548784_Effects_of_Land_Use_Change_on_Soil_Quality_Indicators_in_Forest_Landscapes_of_the_Western_Amazon
- Boot, R. G. A., & Gullison, R. E. (1995). Approaches to developing sustainable extraction systems for tropical forest products. *Ecological Applications*, 5(4), 896–903. <https://doi.org/10.2307/2269340>
- Brearley, F. Q., & Thomas, A. D. (2015). *Land-use change impacts on soil processes in tropical and savannah ecosystems: an introduction*. In *Land-use change impacts on soil processes: tropical and savannah ecosystems* (pp. 1–7). CABI.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781780642109.0001>

- Brown, K., & Freitas, A. V. L. (2000). Atlantic Forest butterflies: indicators for landscape conservation. *Biotropica*, 32(4b), 934–956. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00631.x>
- Cadotte, M. W., Carscadden, K., & Mirotchnick, N. (2011). Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services: Functional diversity in ecology and conservation. *The Journal of Applied Ecology*, 48(5), 1079–1087. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02048.x>
- Cairns, M. F. (2015). *Shifting cultivation and environmental change. Indigenous people, agriculture and forest conservation*. Routledge. https://www.aciar.gov.au/sites/default/files/legacy/shifting_cultivation_and_environmental_change_-_preliminary_pages.pdf
- Carle, J., Vuorinen, P., & Del Lungo, A. (2002). Status and trends in global forest plantation development. *Forest Products Journal*, 52(7), 12-23. <https://www.fao.org/forestry-fao/25856-0c773a78823b8b936c7f6c323919bd706.pdf>
- Carlson, M.J., Mitchell, R., & Rodriguez, L. (2011). Scenario analysis to identify viable conservation strategies in Paraguay's imperiled Atlantic Forest. *Ecology and Society*, 16(3), 1-16. <https://www.jstor.org/stable/26268924?seq=1>
- Castañeda, F. (2000). *Criteria and indicators for sustainable forest management: international processes, current status and the way ahead*. FAO. <https://www.fao.org/4/x8080e/x8080e06.htm>
- Castro-Tanzi, S., Dietsch, T., Urena, N., Vindas, L., & Chandler, M. (2012). Analysis of management and site factors to improve the sustainability of smallholder coffee production in Tarrazú, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 155, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.04.013>
- Celentano, D., Sills, E., Sales, M., & Veríssimo, A. (2012). Welfare outcomes and the advance of the deforestation frontier in the Brazilian Amazon. *World Development*, 40(4), 850–864. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.09.002>
- Chevillotte, H., Meyer, J. Y., Mellado-Forichon, T., Florence, J., Emmanuelli, E., Auberton-Habert, É., Galzin, R., & Ferraris, J. (2014). Biodiversity assessment and monitoring in the island of Moorea, French Polynesia: a methodological approach applied to terrestrial and marine ecosystems. *Revue d'écologie*, 69(3), 267–284. <https://doi.org/10.3406/revec.2014.1751>
- Choi, H. C., & Sirakaya, E. (2006). Sustainability indicators for managing community tourism. *Tourism Management*, 27(6), 1274–1289. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2005.05.018>
- Cingolani, A. M., Vaieretti, M. V., Giorgis, M. A., La Torre, N., Whitworth Hulse, J. I., & Renison, D. (2013). *Can livestock and fires convert the sub-tropical mountain rangelands of central Argentina into a rocky desert?* FAO. <https://agris.fao.org/search/en/providers/124846/records/6705065cb1dfe472e144alda>
- Clarke, F. M., Rostant, L. V., & Racey, P. A. (2005). Life after logging: post-logging recovery of a neotropical bat community. *The Journal of Applied Ecology*, 42(2), 409–420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01024.x>
- Clay, J. W. (1997). *The impact of palm heart harvesting in the Amazon estuary*. In: Freese, C. H. (Ed), *Harvesting wild species: implications for biodiversity*

- conservation. John Hopkins University Press.
https://books.google.com.ec/books/about/Harvesting_Wild_Species.html?id=YUbwAAAAMAAJ&redir_esc=y
- Cole, L. E. S., Bhagwat, S. A., & Willis, K. J. (2015). Long-term disturbance dynamics and resilience of tropical peat swamp forests. *The Journal of Ecology*, 103(1), 16–30. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12329>
- Cosyns, H., Van Damme, P., & De Wulf, R. (2013). Who views what? Impact assessment through the eyes of farmers, development organization staff and researchers. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 20(4), 287–301. <https://doi.org/10.1080/13504509.2013.806372>
- Cotter, M., Berkhoff, K., Gibreel, T., Ghorbani, A., Golbon, R., Nuppenau, E.-A., & Sauerborn, J. (2014). Designing a sustainable land use scenario based on a combination of ecological assessments and economic optimization. *Ecological Indicators*, 36, 779–787. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.01.017>
- Cunningham, A. B., & Mbenkum, F. T. (1993). Sustainability of harvesting *Prunus africana* bark in Cameroon: a medicinal plant in international trade. People and Plants Working Paper. UNESCO.
https://books.google.com.ec/books/about/Sustainability_of_Harvesting_Prunus_Afri.html?id=jMQIAQAAMAAJ&redir_esc=y
- Sousa da Costa, A. L., & Ribeiro Reis, L. (2017). The contribution of the Triunfo do Xingu APA to land management in the Terra do Meio region, state of Pará. *Revista de Ciências Agrárias*, 60(1), 96-102.
<https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2692>
- Damette, O., & Delacote, P. (2011). Unsustainable timber harvesting, deforestation and the role of certification. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 70(6), 1211–1219.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.01.025>
- Daw, T., Brown, K., Rosendo, S., & Pomeroy, R. (2011). Applying the ecosystem services concept to poverty alleviation: the need to disaggregate human well-being. *Environmental Conservation*, 38(4), 370–379.
<https://doi.org/10.1017/s0376892911000506>
- Beer, J. H. de, & McDermott, M. J. (1989). *The economic value of non-timber forest products in Southeast Asia with emphasis on Indonesia, Malaysia and Thailand*. IUCN National Committee of The Netherlands.
<https://portals.iucn.org/library/node/6076>
- de Jesús-Crespo, R., Newsom, D., King, E. G., & Pringle, C. (2016). Shade tree cover criteria for non-point source pollution control in the Rainforest Alliance coffee certification program: a snapshot assessment of Costa Rica's Tarrazú coffee region. *Ecological Indicators*, 66, 47–54.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.025>
- DeClerck, F. A. J., Chazdon, R., Holl, K. D., Milder, J. C., Finegan, B., Martinez-Salinas, A., Imbach, P., Canet, L., & Ramos, Z. (2010). Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: past, present and future. *Biological Conservation*, 143(10), 2301–2313.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.03.026>

- Diemont, S. A. W., & Martin, J. F. (2005). Management impacts on the trophic diversity of nematode communities in an indigenous agroforestry system of Chiapas, Mexico. *Pedobiologia*, 49(4), 325–334. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2005.02.003>
- Duelli, P., & Obrist, M. K. (2003). Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1–3), 87–98. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(03\)00072-0](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(03)00072-0)
- Duveiller, G., Defourny, P., Desclée, B., & Mayaux, P. (2008). Deforestation in Central Africa: estimates at regional, national and landscape levels by advanced processing of systematically-distributed Landsat extracts. *Remote Sensing of Environment*, 112(5), 1969–1981. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.026>
- Edwards, D. P., Tobias, J. A., Sheil, D., Meijaard, E., & Laurance, W. F. (2014). Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(9), 511–520. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.07.003>
- Edwards, D. P., Tobias, J. A., Sheil, D., Meijaard, E., & Laurance, W. F. (2014). Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(9), 511–520. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.07.003>
- Entenmann, S.K., Schmitt, C.B., & Konold, W. (2014). REDD+-related activities in Kenya: actors' views on biodiversity and monitoring in a broader policy context. *Biodiversity and Conservation*, 23(14), 3561–3586. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0821-4>
- Eriksson, I., Demel, T., & Granström, A. (2003). Response of plant communities to fire in an Acacia woodland and a dry Afromontane forest, southern Ethiopia. *Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 39. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(02\)00325-0](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(02)00325-0)
- Eshun, J. F., Potting, J., & Leemans, R. (2010). Sustainability of forestry and timber industry in Ghana. *International Forestry Review*, 12(4), 383–395. <https://doi.org/10.1505/ifor.12.4.383>
- Eshun, J.F., Potting, J., Leemans, R. (2012). Wood waste minimization in the timber sector of Ghana: a systems approach to reduce environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 26(May), 67–78. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.025>
- Evans, J., & Turnbull, J.W. (2004). *Plantation forestry in the tropics*. Oxford University Press. <https://agris.fao.org/search/en/providers/122535/records/65de09ed0f3e94b9e5c9c2fa>
- Felton, A., Wood, J., Felton, A. M., Hennessey, B., & Lindenmayer, D. B. (2008). Bird community responses to reduced-impact logging in a certified forestry concession in lowland Bolivia. *Biological Conservation*, 141(2), 545–555. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.11.009>
- Ferguson, B. G., Diemont, S. A. W., Alfaro-Arguello, R., Martin, J. F., Nahed-Toral, J., Álvarez-Solís, D., & Pinto-Ruíz, R. (2013). Sustainability of holistic and conventional cattle ranching in the seasonally dry tropics of Chiapas, Mexico. *Agricultural Systems*, 120, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2013.05.005>

- Finkeldey, R., & Hattemer, H.H. (2007). *Tropical forest genetics*. Springer.
<https://tree.worldagroforestry.org/article?id=152>
- Fischer, R., Bohn, F., Dantas de Paula, M., Dislich, C., Groeneveld, J., Gutiérrez, A. G., Kazmierczak, M., Knapp, N., Lehmann, S., Paulick, S., Pütz, S., Rödig, E., Taubert, F., Köhler, P., & Huth, A. (2016). Lessons learned from applying a forest gap model to understand ecosystem and carbon dynamics of complex tropical forests. *Ecological Modelling*, 326, 124–133.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.11.018>
- Foerster, S., Wilkie, D. S., Morelli, G. A., Demmer, J., Starkey, M., Telfer, P., & Steil, M. (2011). Human livelihoods and protected areas in Gabon: a cross-sectional comparison of welfare and consumption patterns. *Oryx: The Journal of the Fauna Preservation Society*, 45(3), 347–356.
<https://doi.org/10.1017/s0030605310001791>
- Food and Agricultural Organization of the United Nations [FAO]. (2018a). *Sustainable forest management*. <http://www.fao.org/forestry/sfm/en/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2018b). *The State of the World's Forest: forest pathways to sustainable development*.
<https://openknowledge.fao.org/items/28896bfc-567c-4e4e-a1b2-d28e78867028>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. (2015). *Global Forest Resources Assessment 2015*. <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/past-assessments/fra-2015/en/>
- Foody, G. M. (2003). Remote sensing of tropical forest environments: towards the monitoring of environmental resources for sustainable development. *International Journal of Remote Sensing*, 24(20), 4035–4046.
<https://doi.org/10.1080/0143116031000103853>
- Forrest, J. L., Sanderson, E. W., Wallace, R., Lazzo, T. M. S., Cerveró, L. H. G., & Coppolillo, P. (2008). Patterns of land cover change in and around Madidi National Park, Bolivia. *Biotropica*, 40(3), 285–294.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2007.00382.x>
- Fortini, L. B., Cropper, W. P., Jr, & Zarin, D. J. (2015). Modeling the complex impacts of timber harvests to find optimal management regimes for Amazon tidal floodplain forests. *PloS One*, 10(8), e0136740.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136740>
- Gaoue, O. G., Lemes, M. R., Ticktin, T., Sinsin, B., & Eyog-Matig, O. (2014). Non-timber forest product harvest does not affect the genetic diversity of a tropical tree despite negative effects on population fitness. *Biotropica*, 46(6), 756–762.
<http://www.jstor.org/stable/44944801>
- Gaoue, O. G., Sack, L., & Ticktin, T. (2011). Human impacts on leaf economics in heterogeneous landscapes: the effect of harvesting non-timber forest products from African mahogany across habitats and climates: NTFP harvest and leaf economics. *The Journal of Applied Ecology*, 48(4), 844–852.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.01977.x>
- Gaoue, O. G., & Ticktin, T. (2010). Effects of harvest of nontimber forest products and ecological differences between sites on the demography of African mahogany. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 24(2), 605–614. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01345.x>

- García, C.A., & Lescuyer, G. (2008). Monitoring, indicators and community-based forest management in the tropics: pretexts or red herrings? *Biodiversity and Conservation*, 17(6), 1303-1317. <https://cgspace.cgiar.org/items/08322bec-8112-45cc-bc8a-69e8d95b6f3b>
- Gibson, J. (2018). Forest loss and economic inequality in the Solomon Islands: using small-area estimation to link environmental change to welfare outcomes. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, 148, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.02.012>
- Gillison, A. N., Liswanti, N., Budidarsono, S., van Noordwijk, M., & Tomich, T. P. (2004). Impact of cropping methods on biodiversity in coffee agroecosystems in Sumatra, Indonesia. *Ecology and Society: a Journal of Integrative Science for Resilience and Sustainability*, 9(2). <https://doi.org/10.5751/es-00657-090207>
- Goehring, D. M., Daily, G. C., & Şekerçioğlu, Ç. H. (2002). Distribution of ground-dwelling arthropods in tropical countryside habitats. *Journal of Insect Conservation*, 6, 83-91. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1020905307244>
- González-Valdivia, N. A., Arriaga-Weiss, S. L., Ochoa-Gaona, S., Ferguson, B. G., Kampichler, C., & Pozo, C. (2012). Ensamblajes de aves diurnas a través de un gradiente de perturbación en un paisaje en el sureste de México. *Acta Zoológica Mexicana*, 28, 237-269. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372012000200001
- González-Astorga, J., & Castillo-Campos, G. (2004). Genetic variability of the narrow endemic tree *Antirhea aromatica* Castillo-Campos Lorence, (Rubiaceae, Guettardeae) in a tropical forest of Mexico. *Annals of Botany*, 93(5), 521–528. <https://doi.org/10.1093/aob/mch070>
- Günther, S., Weber, M., Stimm, B., & Mosandl, R. (2011). *Silviculture in the tropics*. Springer. <https://download.e-bookshelf.de/download/0000/1175/28/L-G-0000117528-0013213245.pdf>
- Libby, W. J., Stetter, R., & Seitz, F. W. (2003). Forest genetics and forest tree breeding. *Annual Review of Genetics*, 3(1), 469-494. https://www.researchgate.net/publication/234151245_Forest_Genetics_and_Forest-Tree_Breeding
- Haddad, N. M., Tilman, D., Haarstad, J., Ritchie, M., & Knops, J. M. (2001). Contrasting effects of plant richness and composition on insect communities: a field experiment. *The American Naturalist*, 158(1), 17–35. <https://doi.org/10.1086/320866>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2010). The links between biodiversity, ecosystem services and human well-being. In *Cambridge University Press eBooks* (pp. 110–139). <https://doi.org/10.1017/cbo9780511750458.007>
- Hammond, D. S., & Zagt, R. J. (2006). Considering background condition effects in tailoring tropical forest management systems for sustainability. *Ecology and Society*, 11(1), 1-25. <http://fire-smart-landscapes.tropenbos.org/resources/publications/considering+background+condition+effects+in+tailoring+tropical+forest+management+systems+for+sustainability+>

- Han, X., Josse, C., Young, B. E., Smyth, R. L., Hamilton, H. H., & Bowles-Newark, N. (2017). Monitoring national conservation progress with indicators derived from global and national datasets. *Biological Conservation*. 213, 325-334. https://www.researchgate.net/publication/308013422_Monitoring_national_conservation_progress_with_indicators_derived_from_global_and_national_datasets
- Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A.S., & Asdak, C. (2003). Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. *Forest Ecology and Management*. 180(1-3), 361-374. <https://cgspace.cgiar.org/items/9525a81f-a6c2-4ff0-90bf-c97a0c17551b>
- Hauser, S., Gang, E., Norgrove, L., & a Birang, M. (2005). Decomposition of plant material as an indicator of ecosystem disturbance in tropical land use systems. *Geoderma*, 129(1-2), 99-108. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.037>
- Haworth, J. (1999). *Life after logging: the impacts of commercial timber extraction in tropical rainforests a review carries out for the rainforest foundation UK, Rettet den Regenwald*. Friends of the Earth England and Wales. <https://eresources.nlb.gov.sg/linkeddata/primary-entity/work/9cc57c67-9b0e-4b1c-9305-718667b3b312>
- Henry, M., Cosson, J. F., & Pons, J. M. (2007). Abundance may be a misleading indicator of fragmentation-sensitivity: the case of fig-eating bats. *Biological Conservation*, 139(3-4), 462-467. <https://hal.science/hal-02660927/>
- Henry, M., Cosson, J. F., Pons, J. M. (2010). Modelling multi-scale spatial variation in species richness from abundance data in a complex neotropical bat assemblage. *Ecological Modelling*. 221(17), 2018-2027. https://www.researchgate.net/publication/223334943_Modelling_multi-scale_spatial_variation_in_species_richness_from_abundance_data_in_a_complex_Neotropical_bat_assemblage
- Hernández-Hernández, R. M., Ramírez, E., Castro, I., & Cano, S. (2008). Changes in quality indicators of hillside soils reforested with pines (*Pinus caribaea*) and eucalyptus (*Eucalyptus robusta*). *Agrociencia (Montecillo)*, 42(3), 253-266. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952008000300001&script=sci_abstract&tlng=en
- Hickey, G. M., & Innes, J. L. (2008). Indicators for demonstrating sustainable forest management in British Columbia, Canada: an international review. *Ecological Indicators*, 8(2), 131-140. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2008EcInd...8..131H/abstract>
- Hiremath, A.J. (2004). The ecological consequences of managing forests for non-timber products. *Conservation and Society*, 2, 211-216. https://www.researchgate.net/publication/281508459_The_ecological_consequences_of_managing_forests_for_non-timber_products
- Hitimana, J., Kiyiapi, J., Njunge, J., & Bargerei, R. (2009). Disturbance indicators and population decline of logged species in Mt. Elgon Forest, Kenya. *African Journal of Ecology*, 48(3), 699-708. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2009.01167.x>
- Holmes, T., Blate, G., Zweede, J., Pereira, R., Barreto, P., Boltz, F., & Bauch, R. (2001). Financial and ecological indicators of reduced impact logging performance in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 163, 93-

110. <https://www.semanticscholar.org/paper/Financial-and-ecological-indicators-of-reduced-in-Holmes-Blate/7bd3d8974b60775c59d6775361910e096d0b1c2a>
- Oyama Homma, A.K. (1992). The dynamics of extraction in Amazonia: a historical perspective. *Advances in Economic Botany*, 9, 23-31. <https://www.jstor.org/stable/43931386>
- Hu, J., Herbohn, J. L., Chazdon, R. L., Baynes, J., Wills, J., Meadows, J., & Sohel, M. S. I. (2018). Recovery of species composition over 46 years in a logged Australian tropical forest following different intensity silvicultural treatments. *Forest Ecology and Management*, 409, 660-666. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.061>
- Huth, A., Drechsler, M., & Köhler, P. (2005). Using multicriteria decision analysis and a forest growth model to assess impacts of tree harvesting in Dipterocarp lowland rain forests. *Forest Ecology and Management*, 207(1–2), 215–232. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.028>
- Imai, N., Tanaka, A., Samejima, H., Sugau, J.B., Pereira, J.T., Titin, J., Kurniawan, J., & Kitayama, K. (2014). Tree community composition as an indicator in biodiversity monitoring of REDD+. *Forest Ecology and Management*, 313, 169-179. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.10.041>
- Iñiguez-Armijos, C., Leiva, A., Frede, H. G., Hampel, H., & Breuer, L. (2014). Deforestation and benthic indicators: how much vegetation cover is needed to sustain healthy Andean streams? *PLoS ONE*, 9(8), e105869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105869>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). *AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014* [The Synthesis Report (SYR) of the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) provides an overview of the state of knowledge concerning the science of climate change, emphasizing new results since the publication of the IPCC Fourth Assessment Report (AR4) in 2007]. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- International Tropical Timber Organization [ITTO]. (1990). *ITTO Action plan: criteria and priority areas for program development and project work*. <https://www.cbd.int/forest/doc/itto-action-plan-en.pdf>
- International Tropical Timber Organization [ITTO]. (1992). *Criteria for the measurement of sustainable tropical forest management*. <https://www.cisfm.org/uploads/Documents/2012/Virtual%20Library/Policy%20Documents/ITTO%2C%201992.pdf>
- International Tropical Timber Organization [ITTO]. (2016). *Criteria and indicators for the sustainable management of tropical forests*. https://www.itto.int/sustainable_forest_management/criteria_indicators/
- Jakimow, B., Griffiths, P., van der Linden, S., & Hostert, P. (2018). Mapping pasture management in the Brazilian Amazon from dense Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 205, 453–468. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.10.009>
- Jakovac, C. C., Bongers, F., Kuyper, T. W., Mesquita, R. C., & Peña-Claros, M. (2016). Land use as a filter for species composition in Amazonian secondary forests.

- Journal of Vegetation Science*, 27(6), 1104–1116.
<https://doi.org/10.1111/jvs.12457>
- Jezeer, R. E., Santos, M. J., Boot, R. G. A., Junginger, M., & Verweij, P. A. (2018). Effects of shade and input management on economic performance of small-scale Peruvian coffee systems. *Agricultural Systems*, 162, 179–190.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.014>
- Ji, Y., Ashton, L., Pedley, S. M., Edwards, D. P., Tang, Y., Nakamura, A., Kitching, R., Dolman, P. M., Woodcock, P., Edwards, F. A., Larsen, T. H., Hsu, W. W., Benedick, S., Hamer, K. C., Wilcove, D. S., Bruce, C., Wang, X., Levi, T., Lott, M., . . . Yu, D. W. (2013). Reliable, verifiable and efficient monitoring of biodiversity via metabarcoding. *Ecology Letters*, 16(10), 1245–1257.
<https://doi.org/10.1111/ele.12162>
- Johns, J. S., Barreto, P., & Uhl, C. (1996). Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*, 89(1–3), 59–77. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(96\)03869-8](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(96)03869-8)
- Jyoti, N. A., Lal, R., & Das, A. K. (2015). Ethnopedology and soil quality of bamboo (*Bambusa* sp.) based agroforestry system. *The Science of the Total Environment*, 521–522, 372–379. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.059>
- Karsenty, A., & Gourlet-Fleury, S. (2006). Assessing sustainability of logging practices in the Congo Basin's managed forests: the issue of commercial species recovery. *Ecology and Society*, 11(1), 1-14.
<http://www.jstor.org/stable/26267810>
- Kaschuk, G., Alberton, O., & Hungria, M. (2011). Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. *Plant and Soil*, 338(1-2), 467-481.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2011PLSoi.338..467K/abstract>
- Kershaw, H.M., & Mallik, A.U. (2013). Predicting plant diversity response to disturbance: applicability of the intermediate disturbance hypothesis and mass ratio hypothesis. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32, 383-395.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Predicting-Plant-Diversity-Response-to-Disturbance%3A-Kershaw-Mallik/88a8aa6944bf9bcc3bf98749ce32754323f82128>
- Kotwal, P. C., Omprakash, M. D., Gairola, S., & Dugaya, D. (2008). Ecological indicators: Imperative to sustainable forest management. *Ecological Indicators*, 8(1), 104–107. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.01.004>
- Laclau, J. P., Ranger, J., Gonçalves, J. L. de M., Maquère, V., Krusche, A. V., M'Bou, A. T., Nouvellon, Y., Saint-André, L., Bouillet, J.-P., de Cassia Piccolo, M., & Deleporte, P. (2010). Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *Forest Ecology and Management*, 259(9), 1771–1785.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.010>
- Landres, P. B., Verner, J., & Thomas, J. W. (1988). Ecological uses of vertebrate indicator species: a critique. *Conservation Biology*, 2, 316-328.
<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1988.tb00195.x>
- Laurance, W. F., Kakul, T., Tom, M., Wahya, R., & Laurance, S. G. (2012). Defeating the 'resource curse': Key priorities for conserving Papua New Guinea's native

- forests. *Biological Conservation*, 151(1), 35-40.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012BCons.151...35L/abstract>
- Lawrence, D. (2005). Biomass accumulation after 10–200 years of shifting cultivation in Bornean rain forest. *Ecology*, 86(1), 26–33.
<http://www.jstor.org/stable/3450984>
- Lemenih, M., Karlun, E., & Olsson, M. (2005). Assessing soil chemical and physical property responses to deforestation and subsequent cultivation in smallholders farming system in Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105(1–2), 373–386. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.046>
- Leroux, S. J., Krawchuk, M. A., Schmiegelow, F. K. A., Cumming, S. G., Liso, K., Anderson, L. G., & Petkova, M. (2010). Global protected areas and IUCN designations: Do the categories match the conditions? *Biological Conservation*, 143(3), 609–616. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2009.11.018>
- Levi, T., Shepard, G. H., Jr, Ohl-Schacherer, J., Wilmers, C. C., Peres, C. A., & Yu, D. W. (2011). Spatial tools for modeling the sustainability of subsistence hunting in tropical forests. *Ecological Applications*, 21(5), 1802–1818.
<https://doi.org/10.1890/10-0375.1>
- Lewis, O.T. (2001). Effect of experimental selective logging on tropical butterflies. *Conservation Biology*, 15, 389-400.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Experimental-Selective-Logging-on-Lewis/0608b09fd870c921fc225468d4aa47f1be0add75>
- Lin, L., Cao, M., He, Y., Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2006). Nonconstituent species in soil seed banks as indicators of anthropogenic disturbance in forest fragments. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(9), 2300–2316.
<https://doi.org/10.1139/x06-137>
- Lindell, L., Åström, M., & Öberg, T. (2010). Land-use versus natural controls on soil fertility in the Subandean Amazon, Peru. *The Science of the Total Environment*, 408(4), 965–975. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.10.039>
- Lindenmayer, D. B., Franklin, J. F., & Fischer, J. (2006). General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 131(3), 433–445.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.02.019>
- Lindenmayer, D. B., Margules, C. R., & Botkin, D. B. (2000). Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 14(4), 941–950.
<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2000.98533.x>
- López-Sampson, A., Cernusak, L. A., & Page, T. (2017). Relationship between leaf functional traits and productivity in *Aquilaria crassna* (Thymelaeaceae) plantations: a tool to aid in the early selection of high-yielding trees. *Tree physiology*, 37(5), 645-653. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx007>
- Lozada, T., De Koning, G.H.J., Marché, R., Klein, A.M., & Tschardtke, T. (2007). Tree recovery and seed dispersal by birds: comparing forest, agroforestry and abandoned agroforestry in coastal Ecuador. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 8, 131-140.
<https://redi.cedia.edu.ec/document/483087>

- Maes, J., Egoh, B., Willemsen, L., Liqueste, C., Vihervaara, P., Schägner, J. P., Grizzetti, B., Drakou, E. G., Notte, A. L., Zulian, G., Bouraoui, F., Luisa Paracchini, M., Braat, L., & Bidoglio, G. (2012). Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. *Ecosystem Services*, 1(1), 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.004>
- Maleque, M. A., Maeto, K., & Ishii, H. T. (2009). Arthropods as bioindicators of sustainable forest management, with a focus on plantation forests. *Applied Entomology and Zoology*, 44(1), 1-11. https://www.researchgate.net/publication/249887288_Arthropods_as_bioindicators_of_sustainable_forest_management_with_a_focus_on_plantation_forests
- Manners, R., & Varela-Ortega, C. (2017). Analyzing Latin American and Caribbean Forest vulnerability from socio-economic factors. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 14(1), 109–130. <https://doi.org/10.1080/1943815X.2017.1400981>
- Mantilla, P. G., & Neri, L. (2015). El ecoturismo como alternativa sostenible para proteger el bosque seco tropical peruano: El caso de Proyecto Hualtaco, Tumbes. *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 13(6), 1437-1449. https://www.researchgate.net/publication/318950662_El_ecoturismo_como_alternativa_sostenible_para_proteger_el_bosque_seco_tropical_peruano_El_caso_de_Proyecto_Hualtaco_Tumbes
- Mas, A. H., & Dietsch, T. V. (2004). Linking shade coffee certification to biodiversity conservation: butterflies and birds in Chiapas, Mexico. *Ecological Applications*, 14(3), 642–654. <https://doi.org/10.1890/02-5225>
- Matsumoto, T., Itioka, T., Yamane, S., & Momose, K. (2009). Traditional land use associated with swidden agriculture changes encounter rates of the top predator, the army ant, in Southeast Asian tropical rain forests. *Biodiversity and Conservation*, 18(12), 3139-3151. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20093340294>
- McCool, S.F., & Stankeyz, G., 2001. Representing the future: a framework for evaluating the utility of indicators in the search for sustainable forests. *Criteria and Indicators for Sustainable Forest Management*, 7, 93-105. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9780851993928.0093>
- McDonald, G. T., & Lane, M. B. (2004). Converging global indicators for sustainable forest management. *Forest Policy and Economics*, 6(1), 63-70. <https://ideas.repec.org/a/eee/forpol/v6y2004i1p63-70.html>
- Medellín, R. A., Equihua, M., & Amin, M. A. (2000). Bat diversity and abundance as indicators of disturbance in Neotropical rainforests. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 14(6), 1666–1675. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2000.99068.x>
- Mendonça, E., Leite, L. F. C., & Wendling, B. (2009). Modelagem da dinâmica da matéria orgânica dos solos tropicais: uma proposta de ferramenta para a gestão ambiental. *Embrapa Meio-Norte-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 30, 40-50. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/578704/modelagem-da-dinamica-da-materia-organica-dos-solos-tropicais-uma-proposta-de-ferramenta-para-a-gestao-ambiental>

- Mendoza, G. A., & Prabhu, R. (2003). Qualitative multi-criteria approaches to assessing indicators of sustainable forest resource management. *Forest Ecology and Management*, 174(1–3), 329–343. [https://doi.org/10.1016/s0378-1127\(02\)00044-0](https://doi.org/10.1016/s0378-1127(02)00044-0)
- Meyer, C.F. (2015). Methodological challenges in monitoring bat population-and assemblage-level changes for anthropogenic impact assessment. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, 80(3), 159-169. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2014.11.002>
- Michels, T., Eschbach, J. M., Lacote, R., Benneveau, A., & Papy, F. (2012). Tapping panel diagnosis, an innovative on-farm decision support system for rubber tree tapping. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(3), 791–801. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0069-2>
- Miranda, P.N., Morato, E.F., Oliveira, M.A., & Delabie, J.H.C. (2013). A riqueza e composição de formigas como indicadores dos efeitos do manejo florestal de baixo impacto em floresta tropical no estado do Acre, 37(1), 163-173. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000100017>
- Montagna, T., Lauterjung, M.B., Candido-Ribeiro, R., Silva, J.Z.D., Hoeltgebaum, M.P., Costa, N.C., Bernardi A.P., & Reis, M.S.D. (2018). Spatial genetic structure, population dynamics, and spatial patterns in the distribution of *Ocotea catharinensis* from southern Brazil: implications for conservation. *Canadian Journal of Forest Research*, 48, 506-516. <https://www.semanticscholar.org/paper/Spatial-genetic-structure%2C-population-dynamics%2C-and-Montagna-Lauterjung/67f2a5e15d6cb6aa0804180b6012bb853f3533b5>
- Moscovich, F., Keller, H., Fernández, R., & Borhen, A. (2005). Indicadores de impacto ambiental de plantaciones forestales - componente vegetal. *Ciência Florestal*, 15(1), 21-32. https://www.researchgate.net/publication/27790548_Indicadores_de_impacto_a_m biental_de_plantaciones_forestales_-_componente_vegetal
- Moura, E., GL Sena, V., Correa, M. S., das CF Aguiar, A. (2013). The Importance of an Alternative for Sustainability of Agriculture around the Periphery of the Amazon Rainforest. *Recent patents on food, nutrition & agriculture*, 5(1), 70–78. <https://doi.org/10.2174/2212798411305010011>
- Moura, E.G., Aguiar, A., Piedade, A.R., & Rousseau, G.X. (2015). Contribution of legume tree residues and macrofauna to the improvement of abiotic soil properties in the eastern Amazon. *Applied Soil Ecology*. 86, 91-99. https://www.researchgate.net/publication/267629267_Contribution_of_legume_tree_residues_and_macrofauna_to_the_improvement_of_abiotic_soil_properties_in_the_eastern_Amazon_C
- Moura, E.G.D., Gehring, C., Braun, H., Ferraz Junior, A. D., Reis, F. D., & Aguiar, A. D. (2016). Improving farming practices for sustainable soil use in the humid tropics and rainforest ecosystem health. *Sustainability*, 8(9), 841. <https://doi.org/10.3390/su8090841>
- Mukul, S.A., Uddin, M.B., Manzoor Rashid, A.Z.M., & Fox, J. (2010). Integrating livelihoods and conservation in protected areas: understanding the role and stakeholder views on prospects for non-timber forest products, a Bangladesh

- case study. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 17(2), 180–188. <https://doi.org/10.1080/13504500903549676>
- Mwavu, E.N., & Witkowski, E.T. (2009). Population structure and regeneration of multiple-use tree species in a semi-deciduous African tropical rainforest: implications for primate conservation. *Forest Ecology and Management*, 258(5), 840–849. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.03.019>
- Myers, N. (1993). Tropical forests: the main deforestation fronts. *Environmental Conservation*. 20(1), 9-16.
<https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/abs/tropical-forests-the-main-deforestation-fronts/0953F8D81149DA3940E346BD08BC0DAD>
- Nogueira, M. A., Albino, U. B., Brandao-Junior, O., Braun, G., Cruz, M. F., Dias, B. A., Duarte, R. T. D., Gioppo, N. M. R., Menna, P., & Orlandi, J. M. (2006). Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 115(1–4), 237–247. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.01.008>
- Norgrove, L., & Hauser, S. (2015). Estimating the consequences of fire exclusion for food crop production, soil fertility, and fallow recovery in shifting cultivation landscapes in the humid tropics. *Environmental Management*, 55(3), 536–549. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0431-7>
- Norgrove, L., & Hauser, S. (2016). Biophysical criteria used by farmers for fallow selection in West and Central Africa. *Ecological Indicators*, 61, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.013>
- Noss, R.F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 4(4), 355–364. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- Ochoa-Gaona, S., Kampichler, C., De Jong, B.H.J., Hernández, S., Geissen, V., & Huerta, E. (2010). A multi-criterion index for the evaluation of local tropical forest conditions in Mexico. *Forest Ecology and Management*, 260(5), 618–627. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.018>
- Onyekwelu, J.C., Stimm, B., & Evans, J. (2011). Review plantation forestry, in: Günther (Ed), *Silviculture in the Tropics*. Springer, Berlin.
https://www.researchgate.net/publication/278665919_Review_Plantation_Forest_ry
- Oostermeijer, J.G.B., Luijten, S.H., & Den Nijs, J.C.M. (2003). Integrating demographic and genetic approaches in plant conservation. *Biological Conservation*, 113(3), 389–398. [https://doi.org/10.1016/s0006-3207\(03\)00127-7](https://doi.org/10.1016/s0006-3207(03)00127-7)
- Ordóñez, Y., Delgado, D., & Finegan, B. (2005). Monitoreo ecológico en bosques húmedos tropicales certificados en la RAAN, Nicaragua. Evaluación del impacto ecológico del manejo forestal. *Recursos Naturales y Ambiente*. CATIE, 46. <https://ru.dgb.unam.mx/items/1237af6b-05fb-4519-a4e6-ea4333d73417>
- Pabst, H., Gerschlaier, F., Kiese, R., & Kuzyakov, Y. (2016). Land use and precipitation affect organic and microbial carbon stocks and the specific metabolic quotient in soils of eleven ecosystems of Mt. Kilimanjaro, Tanzania. *Land Degradation & Development*, 27(3), 592-602. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2016LDeDe..27..592P/abstract>

- Palmer, D.J., Lowe, D.J., Payn, T.W., Höck, B.K., McLay, C.D.A., & Kimberley, M.O. (2005). Soil and foliar phosphorus as indicators of sustainability for *Pinus radiata* plantation forestry in New Zealand. *Forest Ecology and Management*, 220(1–3), 140–154. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.029>
- Paoli, G.D., Peart, D.R., Leighton, M., & Samsodin, I. (2001). An ecological and economic assessment of the nontimber forest product gaharu wood in Gunung Palung National Park, West Kalimantan, Indonesia. *Conservation Biology*, 15(6), 1721-1732. https://www.researchgate.net/publication/238417110_An_Ecological_and_Economic_Assessment_of_the_Nontimber_Forest_Product_Gaharu_Wood_in_Gunung_Palung_National_Park_West_Kalimantan_Indonesia
- Partelli, F.L., Duarte, H, Ferreira, E., Viana, A.P., Martins, M.A., & Urquiaga, S. (2012). Chemical and microbiological soil characteristics under conventional and organic coffee production systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(5), 847-864. https://www.researchgate.net/publication/241734645_Chemical_and_Microbiological_Soil_Characteristics_under_Conventional_and_Organic_Coffee_Production_Systems
- Patel, K., Kumar, J.I.N., Kumar, R.N., & Bhoi, R.K. (2010). Seasonal and temporal variation in soil microbial biomass C, N and P in different types land uses of dry deciduous forest ecosystem of Udaipur, Rajasthan, Western India. *Applied Ecology and Environmental Research* 8(4), 377-390. https://www.researchgate.net/publication/268212332_Seasonal_and_temporal_variation_in_soil_microbial_biomass_C_N_and_P_in_different_types_land_uses_of_dry_deciduous_forest_ecosystem_of_Udaipur_Rajasthan_Western_India
- Peck, M. R., Maddock, S. T., Morales, J. N., Oñate, H., Mafla-Endara, P., Peñafiel, V. A., Torres-Carvajal, O., Pozo-Rivera, W. E., Cueva-Arroyo, X. A., & Tolhurst, B. A. (2014). Cost-Effectiveness of Using Small Vertebrates as Indicators of Disturbance. *Conservation Biology*, 28(5), 1331-1341. <https://doi.org/10.1111/cobi.12373>
- Pert, P. L., Butler, J. R., Bruce, C., & Metcalfe, D. (2012). A composite threat indicator approach to monitor vegetation condition in the Wet Tropics, Queensland, Australia. *Ecological Indicators*, 18, 191-199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X11003839?via%3Dihub>
- Pinho, R. C., Miller, R. P., & Alfaia, S. S. (2012). Agroforestry and the improvement of soil fertility: a view from Amazonia. *Applied and Environmental Soil Science*, 616383, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2012/616383>
- Prabhu, R., Colfer, C. J. P., & Dudley, R. G. (1999). Guidelines for developing, testing, and selecting criteria and indicators for sustainable forest management. Center for International Forestry Research, Bogor. https://www.cifor-icraf.org/publications/pdf_files/Books/toolbox-1.pdf
- Prabhu, R., Ruitenbeek, J. H., Boyle, T. J. B., & Colfer, C. J. P. (2001). Between voodoo science and adaptive management: the role and research needs for indicators of sustainable forest management. In “*Criteria and indicators for sustainable forest management*”. *Papers presented at a IUFRO/CIFOR/FAO*

- conference “Sustainable forest management: fostering stakeholder input to advance development of scientifically based indicators” held in Melbourne, Australia, August 1998 (pp. 39–66). CABI Publishing.
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/abs/10.1079/9780851993928.0039>
- Prasad, V. K., & Badarinath, K. V. S. (2005). Assessing forest cover sustainability and deforestation risk from socioeconomic and biophysical indicators—a case study from Rampa Forests, south India. *Sustainable Development*, 13(2), 102–114.
<https://doi.org/10.1002/sd.250>
- Presley, S. J., Willig, M. R., Saldanha, L. N., Wunderle Jr, J. M., & Castro-Arellano, I. (2009). Reduced-impact logging has little effect on temporal activity of frugivorous bats (Chiroptera) in lowland Amazonia. *Biotropica*, 41(3), 369–378.
<https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00485.x>
- Putz, F. E., Blate, G. M., Redford, K. H., Fimbel, R., & Robinson, J. (2001). Tropical forest management and conservation of biodiversity: an overview. *Conservation Biology*, 15(1), 7-20. <https://cgspace.cgiar.org/items/2b0d7780-0649-40ac-9d52-24c4225ca944>
- Raudsepp-Hearne, C., Peterson, G. D., Tengö, M., Bennett, E. M., Holland, T., Benessaiah, K., McDonald, G., & Pfeifer, L. (2010). Untangling the environmentalist's paradox: why is human well-being increasing as ecosystem services degrade? *BioScience*, 60, 576-589.
<https://chooser.crossref.org/?doi=10.1525%2Fbio.2010.60.8.4>
- Reddy, C. S., Khuroo, A. A., Krishna, P. H., Saranya, K. R. L., Jha, C. S., & Dadhwal, V.K. (2014). Threat evaluation for biodiversity conservation of forest ecosystems using geospatial techniques: a case study of Odisha, India *Ecological Engineering*, 69, 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.05.006>
- Ribeiro, E. M. S., Arroyo-Rodríguez, V., Santos, B. A., Tabarelli, M., Leal, I. R., & Barlow, J. (2015). Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. *The Journal of Applied Ecology*, 52(3), 611–620. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12420>
- Rodrigues, G.S., De Barros, I., Ehabe, E.E., Lang, P.S., & Enjalric, F. (2009). Integrated indicators for performance assessment of traditional agroforestry systems in Southwest Cameroon. *Agroforestry Systems*, 77, 9-22.
<https://doi.org/10.1007/s10457-009-9237-7>
- Rousseau, L., Fonte, S.J., Téllez, O., Van der Hoek, R., & Lavelle, P. (2013). Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, 27, 71–82.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.11.020>
- Rüger, N., Williams-Linera, G., Kissling, W. D., & Huth, A. (2008). Long-term impacts of fuelwood extraction on a tropical Montane cloud forest. *Ecosystems (New York, N.Y.)*, 11(6), 868–881. <https://doi.org/10.1007/s10021-008-9166-8>
- Rutten, G., Ensslin, A., Hemp, A., & Fischer, M. (2015). Forest structure and composition of previously selectively logged and non-logged montane forests at Mt. Kilimanjaro. *Forest Ecology and Management*, 337, 61–66.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.10.036>
- Saiter, F.Z., & Thomaz, L.D. (2014). Revisão da lista de espécies arbóreas do inventário de Thomaz and Monteiro (1997) na Estação Biológica de Santa Lúcia: o mais

- importante estudo fitossociológico em florestas montanas do Espírito Santo. *Boletim do Museu de Biologia Mello Leitão*, 34, 101-128.
http://boletim.sambio.org.br/pdf/34_06.pdf
- Salako, F.K., Hauser, S., Babalola, O., & Tian, G. (2001). Improvement of the physical fertility of a degraded Alfisol with planted and natural fallows under humid tropical conditions. *Soil Use and Management*, 17(1), 41-47.
<https://cgspace.cgiar.org/items/0080a1af-44d4-4214-a85d-00e83ff57f72>
- Sanei, A., Hussin, M.Z., Yusof, E., & Kasim, M.R. (2011). Estimation of leopard population size in a secondary forest within Malaysia's capital agglomeration using unsupervised classification of pugmarks. *Tropical Ecology*, 52, 209-217.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Estimation-of-leopard-population-size-in-a-forest-Sanei-Hussin/d8f4fb3ba1684bc43b5b7e3ffb16b6e681808961>
- Sassen, M., & Sheil, D. (2013). Human impacts on forest structure and species richness on the edges of a protected mountain forest in Uganda. *Forest Ecology and Management*, 307, 206–218. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.010>
- Schroth, G., Harvey, C. A., da Fonseca, G. A., Gascon, C., Vasconcelos, H. L., & Izac, A. M. N. (Eds.) (2004). *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes*. Island Press, London.
<https://books.google.com.ec/books?id=lfmBO4XpfyUC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Schulze, M., Grogan, J., & Vidal, E. (2008). Forest certification in Amazonia: standards matter. *Oryx: The Journal of the Fauna Preservation Society*, 42(2), 229–239.
<https://doi.org/10.1017/s0030605308000689>
- Shackleton, S., Delang, C.O., & Angelsen, A. (2011). From subsistence to safety nets and cash income: exploring the diverse values of non-timber forest products for livelihoods and poverty alleviation. In: Shackleton, S., Shackleton, C., Shanley, P., (Eds), *Non-timber forest products in the global context*. Springer, Berlin.
<https://www.cifor-icraf.org/knowledge/publication/3405/>
- Shaffer, C.A., Milstein, M.S., Yukuma, C., Marawanaru, E., & Suse, P. (2017). Sustainability and comanagement of subsistence hunting in an indigenous reserve in Guyana. *Conservation Biology: The Journal of the Society for Conservation Biology*, 31(5), 1119–1131. <https://doi.org/10.1111/cobi.12891>
- Shaffer, C. A., Yukuma, C., Marawanaru, E., & Suse, P. (2018). Assessing the sustainability of Waiwai subsistence hunting in Guyana by comparison of static indices and spatially explicit, biodemographic models. *Animal Conservation*, 21(2), 148–158. <https://doi.org/10.1111/acv.12366>
- Sheil, D., Nasi, R., & Johnson, B. (2004). Ecological criteria and indicators for tropical forest landscapes: challenges in the search for progress. *Ecology and Society*, 9(1), 7. <https://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art7/>
- Siebert, S. F., & Belsky, J. M. (2014). Historic livelihoods and land uses as ecological disturbances and their role in enhancing biodiversity: An example from Bhutan. *Biological Conservation*, 177, 82–89.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.06.015>
- Silva Gonzaga, M. I., Cunha Bispo, M.V., Lima da Silva, T., Mello dos Santos, W., & Leal de Santana, I. (2016). Atlantic forest soil as reference in the soil quality evaluation of coconut orchards (*Cocos nucifera* L) under different

- management. *Semina: Ciências Agrárias*, 37(6), 3847–3858. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2016v37n6p3847>
- Silva, A. P., Babujia, L. C., Franchini, J. C., Souza, R. A., & Hungria, M. (2010). Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short- and long-term experiments in Brazil. *Field Crops Research*, 119(1), 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.012>
- Simons, A.J., & Leakey, R.R.B. (2004). Tree domestication in tropical agroforestry. In *Advances in Agroforestry* (pp. 167–181). Springer Netherlands. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-2424-1_12
- Singh, M., Tokola, T., Hou, Z., & Notarnicola, C. (2017). Remote sensing-based landscape indicators for the evaluation of threatened-bird habitats in a tropical forest. *Ecology and Evolution*, 7(13), 4552–4567. <https://doi.org/10.1002/ece3.2970>
- Singh, T. P., & Das, S. (2014). Predictive analysis for vegetation biomass assessment in western ghat region (WG) using geospatial techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(3), 549–557. <https://doi.org/10.1007/s12524-013-0335-7>
- Siry, J. P., Cabbage, F. W., & Ahmed, M. R. (2005). Sustainable forest management: global trends and opportunities. *Forest Policy and Economics*, 7(4), 551–561. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2003.09.003>
- Smaling, E. M. A., & Dixon, J. (2006). Adding a soil fertility dimension to the global farming systems approach, with cases from Africa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 116(1–2), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.03.010>
- Solen, L. C., Nicolas, J., de Sartre Xavier, A., Thibaud, D., Simon, D., Michel, G., & Johan, O. (2018). Impacts of agricultural practices and individual life characteristics on ecosystem services: A case study on family farmers in the context of an amazonian pioneer front. *Environmental Management*, 61(5), 772–785. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1004-y>
- Steffan-Dewenter, I., Kessler, M., Barkmann, J., Bos, M. M., Buchori, D., Erasmi, S., Faust, H., Gerold, G., Glenk, K., Gradstein, S. R., Guhardja, E., Hartevelde, M., Hertel, D., Höhn, P., Kappas, M., Köhler, S., Leuschner, C., Maertens, M., Marggraf, R., ... Tschardtke, T. (2007). Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(12), 4973–4978. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608409104>
- Suhling, F., Sahlén, G., Martens, A., Marais, E., & Schütte, C. (2006). Dragonfly assemblages in arid tropical environments: A case study from western Namibia. *Biodiversity and Conservation*, 15(1), 311–332. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-2007-6>
- Testolin, R., Saulei, S., Farcomeni, A., Grussu, G., Yosi, C., De Sanctis, M., & Attorre, F. (2016). Investigating the effect of selective logging on tree biodiversity and structure of the tropical forests of Papua New Guinea. *IForest: Biogeosciences and Forestry*, 9(3), 475–482. <https://doi.org/10.3832/ifor1732-008>

- Ticktin, T. (2004). The ecological implications of harvesting non-timber forest products. *The Journal of Applied Ecology*, 41(1), 11–21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00859.x>
- Trilleras, J. M., Jaramillo, V. J., Vega, E. V., & Balvanera, P. (2015). Effects of livestock management on the supply of ecosystem services in pastures in a tropical dry region of western Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, 133–144. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.011>
- Trivedi, P., Delgado-Baquerizo, M., Anderson, I. C., & Singh, B. K. (2016). Response of soil properties and microbial communities to agriculture: implications for primary productivity and soil health indicators. *Frontiers in Plant Science*, 7, 990. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00990>
- United Nations (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. UN, Rio de Janeiro. <https://unfccc.int/process-and-meetings/united-nations-framework-convention-on-climate-change>
- Valencia, R., Foster, R. B., Villa, G., Condit, R., Svenning, J.-C., Hernández, C., Romoleroux, K., Losos, E., Magård, E., & Balslev, H. (2004). Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: large forest plot in eastern Ecuador. *The Journal of Ecology*, 92(2), 214–229. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00876.x>
- van Vliet, N., Fa, J., & Nasi, R. (2015). Managing hunting under uncertainty: from one-off ecological indicators to resilience approaches in assessing the sustainability of bushmeat hunting. *Ecology and Society: A Journal of Integrative Science for Resilience and Sustainability*, 20(3). <https://doi.org/10.5751/es-07669-200307>
- Vanhove, W., Vanhoudt, N., & van Damme, P. (2016). Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 219, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.005>
- Vera, R. R., Cota-Sánchez, J. H., & Grijalva Olmedo, J. E. (2019). Biodiversity, dynamics, and impact of chakras on the Ecuadorian Amazon. *Journal of Plant Ecology*, 12(1), 34–44. <https://academic.oup.com/jpe/article/12/1/34/4584266?login=false>
- Vera-Vélez, R., Grijalva Olmedo, J. E., Cota-Sánchez, J. H. (2019). Cocoa agroforestry and tree diversity in relation to past land use in the Northern Ecuadorian Amazon. *New Forests*, 50(6), 891–910. <https://doi.org/10.1007/s11056-019-09707-y>
- Vergutz, L., Novais, R. F., Silva, I. R. da, Barros, N. F. de, Nunes, T. N., & Piau, A. A. de M. (2010). Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 34(1), 43–57. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832010000100005>
- Vilanova-Torre, E., Ramírez-Angulo, H., & Torres-Lezama, A. (2010). El almacenamiento de carbono en la biomasa aérea como indicador del impacto del aprovechamiento de maderas en la Reserva Forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia*, 35, 659–665. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6136>

- Vilanova, E., Ramírez-Angulo, H., Ramírez, G., & Torres-Lezama, A. (2012). Compliance with sustainable forest management guidelines in three timber concessions in the Venezuelan Guayana: Analysis and implications. *Forest Policy and Economics*, 17, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.11.001>
- 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: A Journal of Integrative Science for Resilience and Sustainability*, 23(1). <https://doi.org/10.5751/es-09921-230118>
- Weinbaum, K. Z., Brashares, J. S., Golden, C. D., & Getz, W. M. (2013). Searching for sustainability: are assessments of wildlife harvests behind the times? *Ecology Letters*, 16(1), 99–111. <https://doi.org/10.1111/ele.12008>
- Willis, K. J., Gillson, L., & Brncic, T. M. (2004). Ecology. How “virgin” is virgin rainforest? *Science (New York, N.Y.)*, 304(5669), 402–403. <https://doi.org/10.1126/science.1093991>
- Zhang, H., & Jim, C. Y. (2013). Species adoption for sustainable forestry in Hong Kong’s degraded countryside. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 20(6), 484–503. <https://doi.org/10.1080/13504509.2013.818590>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.

