



Pastos y Forrajes

ISSN: 0864-0394

ISSN: 2078-8452

Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey

Trejo-Arista, Laura Karen; Cortés-Díaz, Enrique; Martínez-Hernández, Pedro Arturo; Huerta-Bravo, Maximino
Sistemas Silvopastoriles: Una estrategia para la resiliencia ambiental en empresas ganaderas
Pastos y Forrajes, vol. 46, e19, 2023, Enero-Diciembre
Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269176991018>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Sistemas Silvopastoriles: Una estrategia para la resiliencia ambiental en empresas ganaderas**Silvopastoral systems: A strategy for environmental resilience in livestock enterprises**

Laura Karen Trejo-Arista¹ <https://orcid.org/0009-0008-6812-0531>, Enrique Cortés-Díaz^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-1676-0402>, Pedro Arturo Martínez-Hernández¹ <https://orcid.org/0000-0003-2197-3736> y Maximino Huerta-Bravo¹ <https://orcid.org/0000-0002-9150-8971>

¹Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, 56230, Estado de México.

Correo electrónico: laurakaren00@hotmail.com, ecodia@yahoo.com.mx*, pedroarturo@correo.chapingo.mx, mhuertab@correo.chapingo.mx.

*Autor correspondencia

Resumen

Objetivo: Elaborar un banco de información sobre el manejo y los beneficios de los sistemas silvopastoriles que permitan la conformación de empresas ganaderas resilientes ambientalmente.

Materiales y Métodos: Mediante la búsqueda de información se recopilaron trabajos científicos acerca del impacto de la conformación y manejo de los sistemas silvopastoriles en indicadores de resiliencia ambiental. Para ello se revisó Google académico, Springer, SciELO, Scopus, Redalyc y ScienceDirect. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión y solo 63 documentos se seleccionaron para su inclusión en el banco de información.

Resultados: Se explicaron los beneficios de los sistemas silvopastoriles para cuatro indicadores: preservación de la salud del suelo, mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero, conservación de la biodiversidad y promoción del bienestar animal. Se discutió su efecto en la mejora de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, la reducción de las emisiones de CO₂ y CH₄, la generación de recursos alimenticios, así como en su desempeño como fuente de refugio para los animales silvestres y zona de confort y bienestar para el ganado.

Conclusiones: Los sistemas silvopastoriles promueven la resiliencia ambiental, que se logra mediante la mejora de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, la conservación de la biodiversidad, la promoción del bienestar animal y la contribución a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Palabras clave: biodiversidad, mitigación, suelo

Abstract

Objective: To provide an information bank on the management and benefits of silvopastoral systems to enable the creation of environmentally resilient livestock enterprises.

Materials and Methods: Through a search for information, scientific papers on the impact of the conformation and management of silvopastoral systems on indicators of environmental resilience were compiled. For this purpose, Google Scholar, Springer, SciELO, Scopus, Redalyc and ScienceDirect were reviewed. Inclusion and exclusion criteria were established and only 63 documents were selected for inclusion in the information bank.

Results: The benefits of silvopastoral systems were explained for four indicators: preservation of soil health, mitigation of greenhouse gas emissions, conservation of biodiversity and promotion of animal welfare. Their effect on the improvement of soil physical, chemical and microbiological properties, reduction of CO₂ and CH₄ emissions, generation of food resources, as well as their performance as a source of refuge for wild animals and a comfort zone and welfare for livestock were discussed.

Conclusions: Silvopastoral systems promote environmental resilience, which is achieved by improving soil physical, chemical and microbiological properties, conserving biodiversity, promoting animal welfare and contributing to the mitigation of greenhouse gas emissions.

Keywords: biodiversity, mitigation, soil

Introducción

La gestión de empresas ganaderas pastoriles, basada en un ambiente pobre en especies vegetales y rico en la aplicación de insumos externos para erradicar especies vegetales y animales, no ganaderas, y promover el máximo rendimiento posible de

unas cuantas especies vegetales pertinentes para la alimentación del ganado, se ha asociado a la generación de ecosistemas frágiles, de pobre resiliencia ambiental y económica (Gómez-Villalva *et al.*, 2019; Pérez-Sánchez *et al.*, 2021). La fragilidad ambiental se origina en la escasa biodiversidad vegetal

Recibido: 08 de mayo de 2023

Aceptado: 29 de septiembre de 2023

Como citar este artículo: Trejo-Arista, Laura Karen; Cortés-Díaz, Enrique; Martínez-Hernández, Pedro Arturo & Huerta-Bravo, Maximino. Sistemas Silvopastoriles: Una estrategia para la resiliencia ambiental en empresas ganaderas. *Pastos y Forrajes*. 46:e19, 2023.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>. El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

y animal, que permite la degradación de los suelos, la extinción de biomasa vegetal ante condiciones climáticas extremas, así como la interrupción de cadenas simbióticas mutualistas y el incremento de la huella hídrica, entre otras consecuencias (Rodríguez-Moreno *et al.*, 2020; Yalta *et al.*, 2021). A su vez, la fragilidad económica proviene de un costo de producción dependiente de los vaivenes en los costos de los insumos externos. Estos últimos son cada vez más necesarios para mantener o mejorar el nivel de producción de la empresa ganadera (Rodríguez-Moreno *et al.*, 2020; Aguilar-Jiménez *et al.*, 2023).

El-Bilali *et al.* (2019) definen la sostenibilidad como el desarrollo que hace posible satisfacer las necesidades presentes, sin vulnerar la facultad de las generaciones futuras para cubrir sus necesidades. Las superficies de biodiversidad vegetal amplia son ecosistemas resilientes ambiental y económicamente, debido a que la biodiversidad vegetal favorece relaciones mutualistas que, a su vez, promueven suelos saludables, premisa fundamental para una producción vegetal sustentable (Gutiérrez-Bermúdez *et al.*, 2020; Lehmann *et al.*, 2020). Las superficies pastoriles o de apacentamiento con biodiversidad vegetal planificada, con incorporación de especies herbáceas, semileñosas y leñosas, de porte medio a alto, se han referido como sistemas silvo-pastoriles (SSP) y se han señalado como una opción en el diseño e implantación de empresas ganaderas resilientes (Díaz-Lezcano *et al.*, 2020; Peña-Domene *et al.*, 2022).

Los SSP pueden ser una alternativa en la gestión de los recursos naturales para revertir daños a ecosistemas perturbados por la actividad humana, en los que se establecieron ecosistemas de escasa biodiversidad vegetal y animal en la búsqueda de un rendimiento máximo (González-Valdivia *et al.*, 2018). Las empresas agropecuarias, además de la obtención de satisfactores de consumo y uso antropocéntrico directo, deben atender la provisión de servicios ecosistémicos: agua limpia, formación de suelo saludable, microclima por cobertura aérea vegetal, polinización, entre otros (Gómez-Villalva *et al.*, 2019; Peña-Domene *et al.*, 2022).

La planificación adecuada de los componentes vegetales de un SSP promueve suelos saludables, capaces de producir mayores cosechas por su abundante biología, biodiversidad vegetal y animal extensa, además de que interviene en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye al bienestar animal y la resiliencia de

empresas ganaderas (González-Valdivia *et al.*, 2018; Vásquez *et al.*, 2020; Deniz, 2021; Oyelami y Osikabor, 2022). Sin embargo, es necesario compendiar y analizar críticamente las evidencias científicas acerca de la conformación y manejo de los SSP para lograr impactos ambientales positivos y empresas ganaderas resilientes y sostenibles (Améndola *et al.*, 2016; Hanisch *et al.*, 2019). El objetivo de esta revisión de la literatura científica fue proporcionar un banco de información acerca de la influencia de la conformación y el manejo de SSP como áreas de apacentamiento en indicadores asociados a empresas ganaderas resilientes ambientalmente.

Materiales y Métodos

Mediante la búsqueda de información se recopilaron trabajos científicos acerca del impacto de la conformación y el manejo de SSP en indicadores de resiliencia ambiental. Entre ellos se consideraron la salud del suelo, la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), la biodiversidad y el bienestar animal. La estrategia que se siguió para la búsqueda partió de la selección de palabras clave para obtener información sobre cada indicador. Las palabras clave que se conectaron con los operadores booleanos AND, OR y NOT, de acuerdo con el sentido de la frase fueron: sistema silvopastoril, salud del suelo, materia orgánica, densidad aparente del suelo, fauna del suelo, minerales del suelo, secuestro de carbón, mitigación de gases de efecto invernadero, metano, cambio climático, biodiversidad, bienestar de los animales, producción animal, sustentabilidad, resiliencia ecológica. La búsqueda se realizó en Google académico, Springer, SciELO, Scopus, Redalyc y ScienceDirect. Se consideraron artículos científicos y de revisión de literatura, así como libros y tesis. Se priorizó la búsqueda con el filtro para información publicada a partir del 2019. Para la selección de la información se emplearon los criterios que siguen a continuación.

Criterios de inclusión:

- Documentos que describan de manera clara y precisa el efecto de los SSP o de los sistemas ganaderos tradicionales, y de ambos, en las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, la captura de carbono, las emisiones de GEI, la biodiversidad y los indicadores de bienestar animal.
- Documentos que detallen el impacto de los SSP o de los sistemas ganaderos tradicionales, y de ambos, en la sostenibilidad y la resiliencia ambiental.

- Documentos que consideren los SSP basados en arbóreas nativas.

Criterios de exclusión:

- Documentos que no describan de manera clara y concisa el efecto de los SSP o de los sistemas ganaderos tradicionales, y de ambos, en los indicadores de resiliencia ambiental considerados en este trabajo.
- Documentos que consideren SSP basados en arbóreas exóticas.

Se identificaron 86 documentos, susceptibles de ser incluidos en la revisión. Después de leer el título, se descartaron 9. Se revisaron por completo 77, de los que se rechazaron 14. Es decir, solo 63 se seleccionaron para su inclusión en la presente revisión.

Resultados y Discusión

Salud del suelo en los sistemas silvopastoriles.

La gestión sostenible del suelo está basada en el mantenimiento y en el mejoramiento de su salud en el tiempo, de modo que se pueda evitar comprometer los servicios de sostén que brinda al ecosistema (FAO *et al.*, 2015). La salud del suelo se puede evaluar mediante el estado de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas (Cabrera-Dávila *et al.*, 2021; Castillo-Valdez *et al.*, 2021), pues el manejo de este recurso en los sistemas de producción las altera de manera importante, principalmente cuando los ingresos de energía son menores que los egresos (Castillo-Valdez *et al.*, 2021). La compactación, salinización, acidificación, pérdida de nutrientes o de materia orgánica (MO), y de ambos, se consideran tipos de degradación del suelo y hacen referencia a la alteración de sus propiedades (FAO *et al.*, 2015). Silva-Olaya *et al.* (2022) refieren que, en los suelos con condiciones de degradación, los SSP ayudan a utilizar mejor la tierra, pues la integración de árboles de uso múltiple favorece el reciclaje de nutrientes y mejora las condiciones ambientales. Diversos estudios se han realizado para conocer el impacto de estos sistemas en la calidad del suelo, en términos de propiedades químicas, físicas y microbiológicas.

En cuanto a las propiedades físicas, Contreras-Santos *et al.* (2020) encontraron en un SSP, densidad aparente (DA) y resistencia mecánica a la penetración de las raíces (RMPR) menores, hasta en 25 y 37 %, respectivamente, en comparación con un suelo de un sistema sin árboles (SSA) (tabla 1). Oliva *et al.* (2016) refirieron una tendencia similar, con valores de hasta 31 y 65 % menores

en el suelo de un SSP con respecto al de un SSA (tabla 1). Romero-Delgado *et al.* (2021) señalaron que las especies leñosas presentan mayor desarrollo radical que las herbáceas, lo que tiene un efecto directo en la mejora de los niveles de agregación y estructuración de los suelos y en la disminución de la DA, la compactación y RMPR.

En la tabla 1 también se presentan los estudios de Bugarín *et al.* (2010), quienes después de 14 meses de evaluación de un SSP, registraron que la DA se mantuvo, pese al pisoteo de ovinos. Escobar *et al.* (2020) no encontraron diferencias en la RMPR, al comparar las áreas bajo los árboles de un SSP y las áreas abiertas, que presentaron profundidad del suelo 54 % mayor. En los SSP bajo las copas de los árboles se suelen registrar temperaturas más bajas que en las áreas abiertas, lo que genera un microclima más adecuado para los animales, por lo que suelen descansar en estas áreas a diversas horas del día (Deniz *et al.*, 2020). A causa de ello, el pisoteo en esas zonas se incrementa, lo que puede generar mayor compactación del suelo (Escobar *et al.*, 2020; Romero-Delgado *et al.*, 2021). Sin embargo, es alentador que indicadores como la DA y la RMPR se mantengan, a pesar de este comportamiento del animal.

Con respecto a las propiedades químicas, se muestran los aportes de macronutrientes y micronutrientes al suelo, vía hojarasca y la fijación biológica del nitrógeno por parte de los sistemas con arbóreas leguminosas (Bueno-López y Camargo-García, 2015; Oliva *et al.*, 2016), lo que demuestra que los SSP tienen efecto positivo en la mejora de la fertilidad del suelo. Esto fue constatado por Escobar *et al.* (2020), quienes refieren una saturación de bases (K, Ca y Mg) hasta 54 %, mayor en SSP con 30 años de explotación en comparación con las áreas abiertas y bajo árboles de ocho años. Toledo (2016) y Vargas-Batis *et al.* (2020) consideran la saturación de bases como una de las propiedades que determinan la fertilidad del suelo. Lo anterior permite inferir que cuanto más tiempo se mantenga el suelo bajo un manejo silvopastoril, su fertilidad irá mejorando.

Otro aspecto importante para determinar la salud del suelo es el estado de la MO. De ella depende la mayoría de las funciones del ecosistema suelo, que son esenciales para el secuestro de C, la mineralización del N, la agregación, el fomento de la salud de las plantas y la retención de agua y nutrientes (Cruz-Macías *et al.*, 2020; Hoffland *et al.*, 2020; Núñez-Ravelo *et al.*, 2021). Se ha señalado que la MO del suelo proviene de la descomposición

Tabla 1. Aportes de los sistemas silvopastoriles al suelo.

Estudio	Componentes de SSP		Densidad de la especie arbórea	Aportes a las propiedades del suelo			Tratamientos y comparaciones
	Arbóreas	Herbáceas		Físicas	Químicas	Microbiológicas	
Bueno-López y Camargo-García (2015)	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	NE	10 000 plantas/ha.		Aportó en siete meses 250 kg de N/ha.		No se comparó con SSA.
Bugarín <i>et al.</i> (2010)	<i>L. leucocephala</i> (L.) y <i>Leucaena glauca</i> (L.) Benth. (Lg)	<i>Urochloa brizantha</i> (A. Rich.) R. D. Webster (Ub) y <i>Clitoria ternatea</i> L. (Ct)	2 500 plantas/ha en todos los SSP.	Se mantuvo la DA (1,33 g/cm ³) pese al pisoteo de ovinos.	En T1, T2 y T3, a los 14 meses de establecimiento de los SSP, incremento de: -MO de 1,68 a 1,94% -pH de 6,3 a 6,7 como promedio.		Cuatro SSP: T1 (L+Ub) T2 (Lg+Ub) T3 (L+Ub+Ct) T4 (Lg+Ub+Ct) 1 SSA: T5 (Ub)
Caicedo-Rosero <i>et al.</i> (2018)	2 SSP: T1: <i>Alnus acuminata</i> Kunth T2: <i>Acacia melanoxylon</i> R. Br.	Mezcla forrajera de gramíneas en ambos SSP	NE		9 taxones en cada SSP y 10 en T3. <i>Haplotaxida</i> con mayor abundancia relativa en los tres tratamientos (> 66,5 %). Acorde al índice de Shannon - Wiener, T2 tuvo mayor diversidad (1.161), seguido de T3 (0,924) y por último T1 (0,902). De acuerdo con el índice de Simpson, T2 fue el mayor (0,531), seguido de T1 (0,396) y T3 (0,394).		T3: SSA con mezcla forrajera de gramíneas.
Camero-Rey y Rodríguez-Díaz (2015)	<i>Erythrina berteroana</i> Urb.	<i>U. brizantha</i> cv. Toledo CIAT 26110	Producción de biomasa arbórea: 2724 kg de MS/ha/año		Mayor cantidad de MO en el SSP vs SSA (1,70 vs 1,20 %)		SSA de <i>U. brizantha</i> cv. Toledo CIAT 26110

Tabla 1. Aportes de los sistemas silvopastoriles al suelo.

Estudio	Componentes de SSP		Densidad de la especie arbórea	Aportes a las propiedades del suelo			Tratamientos y comparaciones
	Arbóreas	Herbáceas		Físicas	Químicas	Microbiológicas	
Conteras-Santos <i>et al.</i> (2020)	Cuatro SSP (T1, T2, T3 y T4) con combinaciones de arbustos y árboles forrajeros y maderables.	<i>Megathyrus maximus</i> (Jacq.) B. K. Simon & S. W. L. Jacobs cv. Mombasa en los 4 SSP	39 árboles/ha en todos los SSP	Menor DA en los cuatro SSP a los 20 cm de profundidad (1,16-1,22 g/cm ³) que en T5 (1,54 g/cm ³).	Mayor acumulación de CO en los cuatro SSP (60,6-65,1 t/ha) que T5 (38,3 t/ha).		T1: pastura + arbustos forrajeros T2: pastura + árboles forrajeros T3: pastura + arbustos forrajeros + árboles forrajeros T4: pastura + arbustos forrajeros + árboles maderables T5: pastura sin árboles
				Menor RMPR a los 20 cm de profundidad en los cuatro SSP (1,93-2,26 MPa) que en T5 (3,07 MPa).	Mayor biomasa de raíces finas a los 20 cm de profundidad en los cuatro SSP (288,1-1 864,7 kg/ha) que en T5 (15,37 kg/ha).		
Crespo y Fraga (2002)	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	<i>Cynodon nlemfuensis</i> Vanderyst	3 300 plantas/ha		En cinco meses aportó vía hojarasca: 973 g MS/arbusto = 63, 10, 44, 30 y 6 kg/ha de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente		No se compararon con SSA
	<i>Albizia lebbek</i> (L.) Benth.	<i>C. nlemfuensis</i>	100 plantas/ha		En cuatro meses aportó vía hojarasca: 2 871 g MS/árbol = 11, 1, 7, 9, y 1 kg/ha de N, P, K, Ca y Mg, respectivamente		

Tabla 1. Aportes de los sistemas silvopastoriles al suelo.

Estudio	Componentes de SSP		Densidad de la especie arbórea	Aportes a las propiedades del suelo			Tratamientos y comparaciones
	Árboreas	Herbáceas		Físicas	Químicas	Microbiológicas	
Escobar-Montenegro <i>et al.</i> (2017)	SSP (T1) con <i>Guazuma ulmifolia</i> Lam., <i>Vachellia pennatula</i> (Schltdl. & Cham.) Seigler & Ebinger, <i>Psidium guajava</i> L., <i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Kunth ex Walp. y <i>Caesalpinia velutina</i> (Britton & Rose) Standl.	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	Distribución espacial de árboles dispersos y cercas vivas.		Valores similares en los tres tratamientos de: -pH (6,16-6,36) -MO (4,12-5,27 %) -N (0,2-0,26 %) -P (6,01-6,41 ppm) -CIC (36,9-47,2 Meq/100 g suelo)	T1 con mayor abundancia de macrofauna (4 231 individuos) y riqueza (24 órdenes) que T2 (2 664 individuos y 22 órdenes) y T3 (2 985 individuos y 23 órdenes). El índice de Shannon (H') fue mayor en T3 (1,93) que en T1 (1,68) y T2 (1,69).	T2: SSA de potrero tradicional (<i>Paspalum notatum</i> Flügge, <i>A. gayanus</i> y malezas arbustivas). T3: bosque latifoliado (gran proporción de especies xerofitas caducifolias).
Escobar <i>et al.</i> (2020)	Árboles de 8 y 30 años de <i>A. acuminata</i>	<i>Cenchrus clandestinus</i> (Hochst. ex Chiov.) Morrone	35 % de cobertura en arreglo de árboles dispersos y cercas vivas.	Menor profundidad del suelo en las áreas bajo los árboles (22 - 25 cm) que en las abiertas (34 cm).	Áreas bajo los árboles con mayor cantidad de MO (9,5-9,7 %) y CO (5,5-5,6 %) que las abiertas (8,6 % de MO y 5 % de CO). Bajo árboles de 30 años mayor saturación de bases (K, Ca y Mg; 34,15 %) que en áreas abiertas (25,47 %) y bajo árboles de ocho años (22,13 %).	En áreas bajo los árboles, mayor cantidad de: -Scarabaeidae: 11-26/m ² -Actinomicetos: 17-18 x10 ⁵ UFC/g -MSF: 31-160 x10 ⁴ UFC/g En áreas abiertas: -Scarabaeidae 3/m ² -Actinomicetos: 13 x10 ⁵ UFC/g -MSF 6 x10 ⁴ UFC/g	En el sistema silvopastoril se evaluaron por separado las áreas bajo los árboles, de 8 y 30 años, y las áreas abiertas. Implementación de prácticas agroecológicas.

Tabla 1. Aportes de los sistemas silvopastoriles al suelo.

Estudio	Componentes de SSP		Densidad de la especie arbórea	Aportes a las propiedades del suelo			Tratamientos y comparaciones
	Arbóreas	Herbáceas		Físicas	Químicas	Microbiológicas	
Hernández-Chavez et al. (2008)	2 SSP (T1 y T2): ambos con <i>L. leucocephala</i>	T1: <i>M. maximus</i> . T2: <i>Cynodon plechiostachyus</i> K. (Schum) Pilger.			Mayor cantidad de MO en T1 y T2 (4,4 % ambos) que en T3 (3,0 %).	Mayor cantidad de taxones en T1 (6) y T2 (7) que en T3 (3).	T3: SSA de pasto natural
				Menor compactación en T4 (61,4 psi), seguido de T1 (136,9 psi) y T2 (141,5 psi), mayor en T3 (395 psi).	Mayores niveles de P en SSA a campo abierto. T4: bosque. T1 (5,83 ppm) y T2 (5,81 ppm) que en T3 (4,22 ppm) y T4 (5,45 ppm).		
Oliva et al. (2016)	2 SSP: T1: <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham. T2: <i>A. acuminata</i>	NE	NE	Menor DA en T4 (0,55 g/cm ³), seguido de T1 (0,69 g/cm ³) y T2 (0,64 g/cm ³), mayor en T3 (0,93 g/cm ³).	Mayor cantidad de CO (5,56 %), MO (9,58 %) y N (0,48 %) en T4 seguido de T1 (CO: 5,34 %, MO: 9,2 % y N: 0,47 %) y T2 (CO: 4,76 %, MO: 8,2 % y N: 0,41 %), menor cantidad en T3 (CO: 3,64 %, MO: 5,92 % y N: 0,31 %).		T3: SSA a campo abierto. T4: bosque.

CIC-capacidad de intercambio catiónico, CO-carbono orgánico, DA-densidad aparente, MO-materia orgánica, MSF-microorganismos solubilizadores de fosfatos, NE- no especificada, RMPR- resistencia mecánica a la penetración de las raíces, SSA - sistema sin árboles, SSP- sistema silvopastoril, T- tratamiento.

microbiana de residuos de biomasa vegetal (hoja-rasca, exudados y residuos de raíces) y animal, por lo que un mayor aporte de estos residuos es fundamental para su regeneración e incremento (Crespo y Fraga, 2002; Haddix *et al.*, 2020; Núñez-Ravelo *et al.*, 2021). En la tabla citada, se muestran los beneficios de los SSP en cuanto a la cantidad de MO del suelo al compararlos con los SSA, y en lo que respecta al incremento del contenido de MO en el tiempo, cuestión que ha sido abordada por diversos autores (Hernández-Chavez *et al.*, 2008; Bugarín *et al.*, 2010; Oliva *et al.*, 2016; Escobar *et al.*, 2020).

Con respecto al contenido de carbono orgánico (CO) del suelo, se han informado incrementos de hasta 70, 12 y 47 %, respectivamente, en los suelos con manejo silvopastoril con respecto a suelos de SSA (Oliva *et al.*, 2016; Contreras-Santos *et al.*, 2020; Escobar *et al.*, 2020). Asimismo, Contreras-Santos *et al.* (2020) estimaron, al menos, 18 veces más biomasa de raíces finas en suelos bajo silvopastoreo al compararlos con SSA. Lo antes señalado concuerda con lo discutido por Sanderman *et al.* (2017), quienes constataron que, en suelos con mayor diversidad de plantas y productividad de biomasa, el almacenaje de CO aumentó en comparación con las áreas con manejo convencional. Haddix *et al.* (2020) refirieron que un menor almacenaje de CO puede vulnerar a largo plazo la sostenibilidad de la producción de alimentos y contribuir al cambio climático. Lok *et al.* (2013) afirman que el carbono almacenado en el suelo puede fungir como un indicador de la eficiencia, la estabilidad y el funcionamiento de los sistemas forrajeros, pues conjuga los efectos del manejo, el tipo de suelo, la vegetación presente y la actividad biológica. Es por ello que, debido a su efecto positivo en el almacenaje de CO, los SSP contribuyen a la sostenibilidad.

En cuanto a las propiedades microbiológicas, Gutiérrez-Bermúdez *et al.* (2020) y Cabrera-Dávila *et al.* (2021) indicaron que un factor fundamental para lograr suelos saludables es su biología, conformada por microorganismos y macroorganismos, que ejercen el minado, el movimiento, la retención y la recirculación de minerales en el complejo suelo-planta-animal. Sin embargo, a su vez, el funcionamiento y la prosperidad del suelo dependen de la cantidad y diversidad de la masa radical, por lo que la biología del suelo demanda amplia biodiversidad vegetal para originar un perfil del suelo con abundancia y diversidad de la masa radical. Al respecto, en diversos estudios (Hernández-Chavez *et al.*, 2008; Escobar-Montenegro *et al.*, 2017; Caice-

do-Rosero *et al.*, 2018; Escobar *et al.*, 2020) se ha estimado mayor diversidad o abundancia de microfauna y mesofauna edáfica, y ambas, en suelos con SSP con respecto a suelos con SSA (tabla 1). La mejora en la parte microbiológica tiene efecto positivo en la sostenibilidad del sistema, pues la biología del suelo desempeña una función importante en el procesamiento de los residuos orgánicos, lo que resulta en el almacenaje de MO y CO (Sanderman *et al.*, 2017; Núñez-Ravelo *et al.*, 2021).

Mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero en los sistemas silvopastoriles. Según el IPCC (2018), el aumento de la concentración de GEI, como el CO₂ y CH₄, en la atmósfera tiene relación con el calentamiento de la superficie terrestre, que puede ocasionar cambios drásticos en el patrón climático. En varias investigaciones (tabla 2) se ha constatado el potencial de los SSP para llevar a cabo la captura de carbono y contribuir con ello a la mitigación de los efectos del cambio climático (Lok *et al.*, 2013; Oliva *et al.*, 2017; Vásquez *et al.*, 2020). La inclusión de especies arbóreas en esos sistemas incrementa su productividad y, a su vez, el reciclaje de nutrientes (Oliva *et al.*, 2018; Azuara-Morales *et al.*, 2020), lo que se puede traducir en mayor captura de carbono en comparación con los SSA. De acuerdo con un trabajo de Oliva *et al.* (2017), el componente arbóreo del SSP aportó 8,9 % del carbono capturado por el sistema, mientras que el herbáceo solo contribuyó 1.6 %. Otros autores (Landholm *et al.*, 2019; Vásquez *et al.*, 2020; Contreras-Santos *et al.*, 2023) mostraron, a nivel de sistema, que los tratamientos con SSP presentaron capturas de carbono mayores en 56, 321 y 37 %, respectivamente, en comparación con los SSA evaluados.

Como se discutió en el apartado anterior, el suelo representa un almacén para el carbono reciclado por las plantas. Al respecto, Contreras-Santos *et al.* (2020) mencionaron que los SSP tienen la capacidad de capturar el carbono atmosférico e inmovilizarlo en el suelo, por lo que tienen gran importancia en la recuperación de los suelos degradados y la mitigación de GEI. Esto se puede corroborar en los estudios de Pérez-Atehortúa *et al.* (2019) y Contreras-Santos *et al.* (2023), quienes encontraron mayor captura de carbono (hasta 23 y 31 %, respectivamente) en el suelo de los SSP, en comparación con los SSA. Según refieren los autores citados (tabla 2), esta diferencia se asoció al aumento de la biomasa de raíces en los SSP, debido al desarrollo de las arbóreas, pues

Tabla 2. Aporte de los sistemas silvopastoriles a la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Estudio	Tratamientos evaluados	Densidad arborea, árboles/ha	Secuestro, t/ha		CH ₄	Almacenaje	Tiempo de evaluación	Observaciones
			C	CO ₂				
Con- tras-Santos <i>et al.</i> (2023)	SSP de <i>Erythrina fusca</i> Lour., <i>Pachira quinata</i> (Jacq.) W.S.Alverson, <i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Jacq.) Griseb., <i>G. ulmifolia</i> , <i>Inga edulis</i> Mart., <i>Tabebuia rosea</i> (Bertol.) DC., <i>Samanea saman</i> (Jacq.) Merr y <i>M. maximus</i> cv. Sabanera Agrosavia	19,0	BA: 2,18 BR: 0,63 BH: 2,51 S: 28,05 To: 33,21			Tejido vegetal, suelo y sis- tema	Dos años	Mayor acumulación de C en BA y S
	SSP de <i>E. cyclocarpum</i> , <i>E. fusca</i> , <i>Gmelina arborea</i> Roxb., <i>S. saman</i> , <i>G. sepium</i> , <i>Ficus</i> sp y <i>M. maximus</i> cv. Mombasa	81,0	BA: 4,51 BR: 1,16 BH: 3,09 S: 28,98 To: 37,70			Tejido vegetal, suelo y sis- tema	Dos años	Mayor acumulación de C en BA, BR, BH, S y To
	SSA de <i>Bothriochloa pertusa</i> (L.) A. Camus		BA: 0,19 BR: 0,08 BH: 0,30 S: 23,54 To: 24,12			Tejido vegetal, suelo y sis- tema	Dos años	Testigo. Menor acumulación de C en BA, BR, BH, S y To
	Pastizal natural				-9,5 ngCH ₄ /m ² /s	Flujo de CH ₄ en suelo	NE	Testigo
De Bernardi <i>et al.</i> (2020)	Terreno agrícola con <i>Hordeum vulgare</i> L. y <i>Glycine max</i> (L.) Merr.				-4,5 ngCH ₄ /m ² /s	Flujo de CH ₄ en suelo	NE	Menor captación de CH ₄
	SSP de <i>Pinus radiata</i> D.Don y <i>Dactylis glomerata</i> L.	727,0			-21,3 ngCH ₄ /m ² /s	Flujo de CH ₄ en suelo	NE	Mayor captación de CH ₄
	Forestación de <i>P. radiata</i>	977,0			-22,5 ngCH ₄ /m ² /s	Flujo de CH ₄ en suelo	NE	Mayor captación de CH ₄

Tabla 2. Aporte de los sistemas silvopastoriles a la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Estudio	Tratamientos evaluados	Densidad arborea, árboles/ha	Secuestro, t/ha		CH ₄	Almacenaje	Tiempo de evaluación	Observaciones
			C	CO ₂				
Landholm <i>et al.</i> (2019)	SSA de pastos degradados (<i>Urochloa spp</i>)			3,4 (1)		Sistema	Un año	Testigo (no se evaluó el secuestro de C)
	SSA de pastos mejorados: <i>M. maximus</i> , <i>Urochloa humi- dicola</i> (Rendle) Morrone & Zuloaga y <i>Axonopus scoparius</i> (Flügge) Kuhlman.		0,38	1,3 (1)		Sistema	Un año	
	Banco forrajero y pastos mejorados		0,66	2,2 (1)		Sistema	Un año	
	SSP de <i>Calyctophyllum spruce- anum</i> (Benth.) Hook.f. ex K.Schum., <i>G. arborea</i> , pastos mejorados y banco de forraje	104,0	1,6	0,8 (1)		Sistema	Un año	Mayor secuestro de C y menores emisiones de CO ₂
Lok <i>et al.</i> (2013)	SSP de <i>M. maximus</i> y <i>L. leuco- cephala</i>	9,014,0	10,9			Suelo	Tres años	
	Gramíneas y mezcla de legu- minosas rastreras		9,8			Suelo	Tres años	
	SSA de <i>M. maximus</i>		-16,7			Suelo	Tres años	Se redujo el C en el suelo
Oliva <i>et al.</i> (2017)	Árboles de <i>P. patula</i> asociados a herbáceas nativas	625,0	8,2	30,2		Tejido vegetal	NE	Capacidad de captura de C del 42,7 %
	Herbáceas nativas		1,4	5,4		Tejido vegetal	NE	(15 a 20 días de edad)
	Hojarasca		1,1	4,1		Tejido vegetal	NE	
	Suelo		81,2	297,3		Suelo	NE	
	SSP en conjunto		92,1	337,2		Sistema	NE	

Tabla 2. Aporte de los sistemas silvopastoriles a la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero.

Estudio	Tratamientos evaluados	Densidad arbórea, árboles/ha	Secuestro, t/ha		CH ₄	Almacenaje	Tiempo de evaluación	Observaciones
			C	CO ₂				
Pérez-Atehortúa et al. (2019)	SSP de <i>A. acuminata</i> , <i>Acacia decurrens</i> Willd. y <i>C. clandestinus</i>	285,0	BA: 1,9 BR: 2,1			Tejido vegetal de <i>C. clandestinus</i>	Un año	Rendimientos BA: 3.9 t/ha BR: 4.3 t/ha. Mayor captura de C en BR
	SSA de <i>C. clandestinus</i>		BA: 2,0 BR: 1,6			Tejido vegetal	Un año	Rendimientos BA: 4.2 t/ha BR: 3.3 t/ha
	SSP de <i>A. acuminata</i> , pastos y malezas	Franjas	B: 6,8 S: 101,3	396,4		Tejido vegetal y suelo	Siete meses	
	SSP de <i>P. patula</i> , pastos y malezas	Franjas	B: 11,7 S: 49,0	589,3		Tejido vegetal y suelo	Siete meses	
Vásquez et al. (2020)	SSP de <i>Cupressus macro- carpa</i> Hartw. ex Gord., pastos y malezas	Cercos vivos	B: 32,8 S: 17,2	550,2		Tejido vegetal y suelo	Siete meses	
	SSP de <i>Ceroxylon quindiuense</i> (H. Karst.) H. Wendl., pastos y malezas	Árboles dispersos	B: 57,8 S: 121,6	658,0		Tejido vegetal y suelo	Siete meses	Mayor retención de C y CO ₂
	SSA de pastos y malezas		B: 1,7 S: 29,6	481,4		Tejido vegetal y suelo	Siete meses	

(1)-emisiones, B-biomasa aérea, BH-biomasa de hojarasca, BR-biomasa de raíces, NE-no especificado, S-suelo, To-total.

observaron que la captura de carbono en el suelo se incrementó proporcionalmente con el aumento de esa biomasa. Con ello se destaca la función de las raíces en el ciclo del carbono y la importancia de considerar la inclusión de árboles en el diseño de los agroecosistemas por la capacidad de desarrollo radical de estos últimos.

Uno de los riesgos de seguir desarrollando sistemas de producción convencionales es el aporte que estos realizan a la generación de GEI. Lok *et al.* (2013) estimaron que, al cabo de tres años, en el suelo de un sistema de monocultivo de pastos, se perdieron 16,7 t C/ha, mientras que en el de un SSP se almacenaron 10,9 t de C/ha. Landholm *et al.* (2019) informaron emisión de CO₂ 76 % menor en un SSP, comparado con uno de pastos degradados. De Bernardi *et al.* (2020) determinaron que un SSP puede captar hasta 374 % más CH₄ que un terreno agrícola con manejo convencional. Al respecto, los autores comentaron que la capacidad de captación de CH₄ del suelo se relaciona con la difusividad del CH₄. Por tanto, está influenciada por la DA, el contenido de agua y la temperatura del suelo, propiedades en las que inciden favorablemente los SSP.

Las arbóreas comúnmente usadas en los SSP tienen potencial para reducir las emisiones de CH₄, debido a su valor nutritivo y contenido de metabolitos secundarios. Berhanu *et al.* (2019) estimaron mayor concentración de CH₄ en el gas producido *in vitro* por *C. cajan* (52,2 %), rastrojo de maíz (31,7 %) y *Sesbania sesban* (L.) Merr. (31,0 %) con respecto a *L. leucocephala* (25,4 %), *Moringa stenopetala* (Baker fil.) Cufod. (24,1 %), *Crotalaria juncea* L. (23,4 %) y *Lablab purpureus* (L.) Sweet (16,2 %). Los autores citados señalan que la concentración de CH₄ en el gas producido *in vitro* por las especies mencionadas se relaciona inversamente con su capacidad para reducir la producción de CH₄ y con su contenido de proteína cruda. Irawan *et al.* (2020) observaron en un estudio *in vitro* que, en una dieta de bovinos, compuesta por 25 % de concentrado y 75 % de forraje de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone y *L. leucocephala*, la adición de esta arbórea (500 y 750 g/kg de MS de la dieta) influyó de manera positiva en la fermentación ruminal y redujo la producción de CH₄ hasta en 54,2 %. Esa reducción se asoció a la existencia de taninos en la arbórea, que contribuye de manera directa a la supresión de metanógenos e indirectamente mediante la inhibición del crecimiento de protozoos (Wanapat *et al.*, 2015). A su vez, se puede atribuir a la mejora de la digestibilidad total de la dieta, ya

que hubo tendencia a que a mayor proporción de *L. leucocephala* en la dieta, los contenidos de FDN fueran menores (sin *L. leucocephala* en la dieta: 540,2 g/kg de MS vs con *L. leucocephala* (750 g/kg de MS: 328,1 g/kg de MS) y los contenidos de FDA (sin *L. leucocephala* en la dieta: 312,9 g/kg de MS vs con *L. leucocephala* (750 g/kg de MS: 198,0 g/kg de MS) de la dieta. Asimismo, los carbohidratos no fibrosos fueron mayores (sin *L. leucocephala* en la dieta: 15,3 g/kg de MS vs con *L. leucocephala* (750 g/kg de MS: 36,3 g/kg de MS). La existencia de metabolitos secundarios en las arbóreas utilizadas en SSP, que pueden contribuir a la reducción de las emisiones de CH₄, ha sido documentada por Sandoval-Pelcastre *et al.* (2020), quien recopiló información sobre el contenido de estos compuestos en 20 especies.

A partir de la información que se ha discutido en este apartado, se confirma que los SSP contribuyen a la sostenibilidad de los sistemas ganaderos mediante la mitigación de las emisiones de GEI, a la vez que podrían representar un beneficio para los actores sociales, ya que en muchos países de la región (Oliva *et al.*, 2017) la captura de carbono se traduce como un servicio ambiental, mientras que se obtiene el acceso a otros productos para uso familiar, como la madera y la leña.

Biodiversidad en los sistemas silvopastoriles. La integración de la variabilidad biológica en todos los niveles, desde los recursos genéticos hasta las especies, los ecosistemas y los paisajes, definen el término biodiversidad. Oropesa-Casanova *et al.* (2020) señalaron que la biodiversidad es un reservorio de recursos genéticos que proporciona diversos servicios ecosistémicos y permite disminuir el uso de insumos externos en los agroecosistemas. Un manejo idóneo de la biodiversidad es clave en el diseño de los sistemas de producción agropecuaria, pues en ella se basa la vida en la tierra y la sostenibilidad en los agroecosistemas (Sarandón y Flores, 2014). Su conservación depende del mantenimiento de la integridad funcional de estos últimos, pues es la mejor manera de reducir la pérdida de especies; además, es preciso priorizar la conservación de la biodiversidad con énfasis en la definición de grupos funcionales de organismos, identificados sobre la base de procesos ecosistémicos que cuentan con menor redundancia (Walker, 1992; Pascual *et al.*, 2021).

González-Valdivia *et al.* (2018), en Estelí, Nicaragua, documentaron la diversidad de la malacofauna existente en dos SSP tradicionales: bosque seco, arbustivo y caducifolio (BS) y bosque de pino

encino (BP). Los sistemas estudiados contenían 47 de las 216 especies de moluscos terrestres registradas para Nicaragua, 41 de ellas se encontraron en el BS y 22 en el BP, con 16 en común. Entre las especies identificadas, 13 pueden ser potenciales vectores de enfermedades del ganado o plagas agrícolas. Igualmente, los autores identificaron cuatro categorizadas como endémicas y dos con potencial para el control biológico, depredadoras de otros caracoles. En ambos sistemas prevalecieron especies muy raras (24 y 11 para BS y BP, respectivamente), seguidas en orden descendente: raras, ocasionales y frecuentes. Estas condiciones pusieron de manifiesto que la diversidad de moluscos depende de la existencia de un estrato arbóreo. Por lo tanto, en potreros y praderas es conveniente contar con ese componente, pues ello puede asegurar la existencia de nichos que den soporte a la diversidad de moluscos. A su vez, al conservar la biodiversidad, están presentes cadenas tróficas que pueden favorecer la presencia y vigor de la vegetación que alimenta al ganado, y otras que pueden ocasionar daños. No obstante, la existencia de grupos funcionales de organismos con mayor diversidad favorece la regulación de las funciones que las especies cumplen en los ecosistemas y promueve su conservación (Walker, 1992).

En una finca lechera comercial de alta diversidad vegetal (pastos, *Tithonia diversifolia* (Hemsl.), *C. clandestinus* y *A. acuminata*) se establecieron cadenas tróficas benéficas para el crecimiento de las especies forrajeras, al controlar la intensidad del ataque de las plagas *Collaria* sp., *Draeculacephala* sp. y *Aeneolamia* sp., a la vez que se mejoró la dieta de las vacas en pastoreo, lo que redujo la cantidad de suplementos en canoa y los costos de producción de la finca (Lopera *et al.*, 2017).

Con respecto a la avifauna de hábitos diurnos, Ordoñez-Solarte *et al.* (2015) compararon tres sistemas de producción (I-*Coffea arabica* L. en monocultivo, II-*C. arabica* en arreglo agroforestal con *I. edulis*, III- SSP con *C. clandestinus* y *P. guajava* en monocultivo) y en el sistema I se hallaron los menores valores en los índices de Shannon, Simpson, número de especies y abundancia de individuos, con valores respectivos de 2,16; 0,88; nueve especies y 202 individuos, respectivamente; mientras que los otros dos arreglos silvopastoriles registraron como promedio 2,75; 0,93; 15,5 especies y 426 individuos. Estos autores concluyeron que un dosel vegetal de mayor complejidad botánica promueve más nichos para la alimentación, el refugio y el resguardo de

las aves y, en consecuencia, trae consigo abundante biodiversidad.

Marinero y Grau (2015), en el Chaco argentino, registraron mayor variabilidad en el índice Simpson para las aves y los mamíferos, en un paisaje ganadero dominado por gramíneas introducidas, en comparación con los paisajes ganaderos de pastizal naturalizado y SSP (árboles nativos-gramíneas introducidas). A partir de estos hallazgos, estos autores indicaron que paisajes botánicamente más complejos, con la combinación de estratos vegetales, herbáceos y leñosos, promueven mayor homogeneidad en la distribución de nichos de alimentación, refugio y resguardo y, por tanto, mejor distribución de la biodiversidad de animales. Por tanto, proponen que los paisajes ganaderos deben ser complejos en su conformación botánica para que la ganadería pastoril sea un factor de biodiversidad, con distribución homogénea a través de la superficie que ocupan, de modo que se revierta la degradación ambiental asociada a la ganadería pastoril. En un análisis de especies indicadoras, los citados autores identificaron a *Chunga burmeisteri* Hartlaub entre las especies asociadas con el SSP, que solamente anida en árboles, por lo que su presencia se asoció a la estructura característica de dichos sistemas.

La información aquí discutida permite concluir que el uso de los SSP evita la simplificación de los sistemas ganaderos, ya que se crean y establecen grupos funcionales de organismos, orientados a cubrir la producción pecuaria y mantener la integridad funcional del ecosistema. Estos sistemas se asemejan a los ecosistemas naturales, lo que finalmente tiene efectos positivos en la conservación de la biodiversidad.

Bienestar animal en los sistemas silvopastoriles. El bienestar animal contribuye a la sostenibilidad económica de los sistemas ganaderos ante la creciente preocupación de los consumidores por adquirir productos que incorporen prácticas que preserven la salud de los animales. Ello mejora el estatus de comercialización de los productos que incorporan estas medidas en su producción (Molina, 2021). Blanco-Penedo y Cantalapiedra (2020) y Szorobura *et al.* (2022) refieren que la implementación de prácticas que reduzcan el estrés de los animales y que aporten a su bienestar permitirá facilitar su adaptación a los cambios ambientales ocasionados por el cambio climático, lo que mejorará la resiliencia y sostenibilidad del sistema.

Entre el ganado bovino en pastoreo se desarrollan interacciones sociales, clasificadas como afiliativas y agonísticas. Las primeras se consideran sociopositivas a un comportamiento productivo alto y las segundas, detrimenales. Améndola *et al.* (2016) informaron que la frecuencia de interacciones afiliativas fue 40 % menor entre las vacas que pastaban un dosel de *C. nlemfuensis*, en comparación con las que lo hacían en un SSP de *M. maximus* y *C. nlemfuensis*, asociadas con *L. leucocephala* plantada y árboles dispersos. Estos autores concluyen que el ambiente silvopastoril promueve una interacción social más positiva entre los animales y esto conduce a mayor grado de bienestar.

Deniz (2021) al registrar las características microclimáticas de áreas de pastoreo, sin sombra y con ella, determinaron que las áreas con sombra mostraron un microclima con menor temperatura ambiental, velocidad del viento y carga de calor radiante, pero mayor humedad relativa que las áreas sin sombra. Esto determinó que en las horas y días con mayor carga calórica, las vacas buscaran las áreas con sombra. Los autores concluyen que los arreglos silvopastoriles planificados o con presencia de árboles pueden ofrecer condiciones microclimáticas favorables que se traducen en un mayor confort del animal, sobre todo en condiciones de ambientes con alta carga calórica.

Zúñiga-López *et al.* (2020) compararon indicadores de bienestar animal en vacas que pastaban en un SSP de *A. acuminata*-*C. clandestinus* y un SSA de *C. clandestinus*. Observaron que el número de moscas *Haematobia irritans* L. por animal fue mayor en el SSA (56) que en el SSP (44). La temperatura promedio de la capa fue mayor en los animales del SSA (37,4 °C) que en los del SSP (33,8 °C). Asimismo, el nivel de suciedad (0 animal limpio – 3 animal sucio) y la distancia de fuga fueron menores en el SSP (1,5 y 0,7 m) que en el SSA (2,0 y 1,3 m). Las diferencias se asociaron con la diversificación del SSP, dada por la inclusión de arbóreas y la subsecuente generación de espacios de confort mejor distribuidos, que evitan el hacinamiento de los animales en los momentos de reposo y rumia. En otro trabajo, Galloso-Hernández (2021) demostró que los búfalos de agua que pastoreaban en un SSP de *M. maximus* cv. Likoni y *L. leucocephala* cv. Cunningham dedicaron más tiempo al pastoreo bajo los árboles que en un SSA, donde dedicaron más tiempo al baño termorregulador. A su vez, este autor determinó que es posible prescindir de esos baños o revolcaderos, y de ambos, cuan-

do se manejan búfalos bajo condiciones de sombra en un SSP.

Los trabajos citados demuestran que la generación de un microclima por medio de la sombra en los SSP tiene un efecto positivo en el bienestar animal, lo que puede beneficiar el comportamiento productivo al facilitar el pastoreo en áreas que reducen el estrés térmico de los animales. De acuerdo con lo discutido en este apartado, se pudo constatar que los SSP proporcionan áreas de confort para los animales, lo que disminuye su estrés y mejora su convivencia, lo cual impacta positivamente en su bienestar.

Conclusiones

Los sistemas silvopastoriles promueven la resiliencia ambiental, lo que se puede lograr con el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo, la conservación de la biodiversidad, la promoción del bienestar animal y la contribución a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma Chapingo por facilitar los espacios y los medios digitales para realizar esta revisión.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

- Laura Karen Trejo-Arista. Búsqueda y análisis de la información y redacción del trabajo.
- Enrique Cortés-Díaz. Búsqueda y análisis de la información y revisión crítica del contenido.
- Pedro Arturo Martínez Hernández. Análisis de la información y revisión crítica del contenido.
- Maximino Huerta Bravo. Análisis de la información y revisión crítica del contenido.

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Jiménez, J. R.; Aguilar-Jiménez, C. E.; Guevara-Hernández, F.; Galdámez-Galdámez, J.; Martínez-Aguilar, F.; La-O-Arias, M. A. *et al.* Clasificación y caracterización de los sistemas familiares de producción bovina de la región Frailesca de Chiapas, México, con base en el aporte de la ganadería al ingreso familiar. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 26:017, 2023. DOI: <http://doi.org/10.56369/tsaes.4131>.
- Améndola, L.; Solorio, F. J.; Ku-Vera, J. C.; Améndola-Massioti, R. D.; Zarza, H. & Galindo, F. Social behaviour of cattle in tropical silvopas-

- toral and monoculture systems. *Anim. Nutr.* 10 (5):863-867, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731115002475>.
- Azuara-Morales, I.; López-Ortiz, Silvia; Jarillo-Rodríguez, J.; Pérez-Hernández, P.; Ortega-Jiménez, E. & Castillo-Gallego, E. Forage availability in a silvopastoral system having different densities of *Leucaena leucocephala* under Voisin grazing management. *Agroforest Syst.* 94:1701-1711, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00487-5>.
- Berhanu, Y.; Olav, L.; Nurfeta, A.; Abdeta, A. & Aune, J. Methane emissions from ruminant livestock in Ethiopia. Promising forage species to reduce CH₄ emissions. *Agriculture.* 9:130, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1745653>.
- Blanco-Penedo, Isabel; Cantalapiedra, J. & Llonch, P. Impacto del cambio climático sobre el bienestar animal en los sistemas ganaderos. *ITEA-Inf. Tec. Econ. Agrar.* 116 (5):424-443, [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2020/116-5/\(424-443\)%20ITEA%20116-5%20EXTRA.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2020/116-5/(424-443)%20ITEA%20116-5%20EXTRA.pdf), 2020.
- Bueno-López, Liliana & Camargo-García, J. C. Nitrógeno edáfico y nodulación de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en sistemas silvopastoriles. *Acta Agron., Palmira.* 64 (4):349-354, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.45362>.
- Bugarín, J.; Bojórquez, J. I.; Lemus, C.; Murray, R. M.; Ontiveros, H.; Aguirre, J. *et al.* Comportamiento de algunas propiedades físico-químicas del suelo con diferente sistema silvopastoril en la llanura norte de Nayarit. *Cultivos Tropicales.* 31 (2):48-55, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362010000200007&lng=es&tlng=es, 2010.
- Cabrera-Dávila, Griselda de la C.; Sánchez-Rendón, J. A. & Ponce-de-León-Lima, D. Macrofauna edáfica: composición, variación y utilización como bioindicador según el impacto del uso y calidad del suelo. *Acta Botánica Cubana.* 221:1-21, <https://revistasgeotech.com/index.php/abc/article/view/404>, 2021.
- Caicedo-Rosero, D. M.; Benavides-Rosales, H. R.; Carvajal-Pérez, L. A. & Ortega-Hernández, Jessica P. Población de macrofauna en sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera: análisis preliminar. *La Granja.* 27 (1):77-85, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.06>.
- Camero-Rey, A. & Rodríguez-Díaz, H. Características químicas del suelo, producción forrajera y densidad poblacional de lombrices en un sistema silvopastoril en la zona Huétar Norte de Costa Rica. *Tecnología en Marcha.* 28 (1):91-104, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5051542>, 2015.
- Castillo-Valdez, Ximena; Etchevers, J. D.; Hidalgo-Moreno, Claudia Ma. I. & Aguirre-Gómez, A. Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *Terra Latinoam.* 39:e698, 2021. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>.
- Contreras-Santos, J. L.; Falla-Guzmán, Cindy K.; Rodríguez, J. L.; Fernando-Garrido, J.; Martínez-Atencia, Judith & Aguayo-Ulloa, Lorena. Reserva de carbono en sistemas silvopastoriles: Un estudio en el Medio Sinú, Colombia. *Agron. Mesoam.* 34 (1):49138, 2023. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v34i1.49138>.
- Contreras-Santos, J. L.; Martínez-Atencia, Judith; Cadena-Torres, J. & Falla-Guzmán, Cindy K. Evaluación del carbono acumulado en suelo en sistemas silvopastoriles del Caribe colombiano. *Agron. Costarricense.* 44 (1):29-41, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/rac.v44i1.39999>.
- Crespo, G. & Fraga, S. Nota técnica acerca del aporte de hojarasca y nutrientes al suelo por las especies *Cajanus cajan* (L.) Millsp y *Albizia lebbbeck* (L.) Benth en sistemas silvopastoriles. *Rev. cubana Cienc. agric.* 36 (4):397-402. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193018080014.pdf>, 2002.
- Cruz-Macías, W. O.; Rodríguez-Larramendi, L. A.; Salas-Marina, M. Á.; Hernández-García, V.; Campos-Saldaña, R. A.; Chvez-Hernández, M. H. *et al.* Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México. *Terra Latinoam.* 38 (3):475-480, 2020. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>.
- De Bernardi, María; Priano, María E.; Fusé, Victoria S.; Fernández, María E.; Gyenge, J.; Guzmán, S. A. *et al.* High methane uptake from soils of low and high density radiata pine afforestations compared to herbaceous systems. *J. Sustain. For.* 40 (1):99-109, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/10549811.2020.1745653>.
- Deniz, M.; Sousa, Karoline T. de; Moro, M. F.; Vale, M. M. do; Dittrich, J. R.; Pinheiro-Machado Filho, L. C. *et al.* Social hierarchy influences dairy cows' use of shade in a silvopastoral system under intensive rotational grazing. *Applied Anim. Behaviour Sci.* 244:105467, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105467>.
- Deniz, M.; Schmitt-Filho, A. L.; Hötzel, M. J.; Sousa, K. T. de; Pinheiro-Machado Filho, L. C. & Sinisgalli, P. A. Microclimate and pasture area preferences by dairy cows under high biodiversity silvopastoral system in Southern Brazil. *Int.*

- J. Biometeorol.* 64:1877-1887, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01975-0>.
- Díaz-Lezcano, Maura I.; Gamarra-Lezcano, Cynthia C.; Ruiz-Díaz, Susana & Vera-de-Ortiz, Mirtha. Contenido de materia orgánica en suelos de sistemas silvopastoriles establecidos en el Chaco Central paraguayo. *Rev. Soc. cient., Parag.* 25(2):131-143, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32480/rscp.2020.25.2.131>.
- El-Bilali, H.; Callenius, Carolin; Strassner, Carola & Probst, L. Food and nutrition security and sustainability transitions in food systems. *Food Energy Security.* 8 (2):e00154, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1002/fes3.154>.
- Escobar-Montenegro, Alexa del C.; Bartolomé-Fillella, J. & González-Valdivia, N. A. Estudio comparativo macrofauna del suelo en sistema agroforestal, potrero tradicional y bosque latifoliado en microcuenca del trópico seco, Tomabú, Nicaragua. *Rev. Cient. FAREM-Esteli.* 6 (22):39-49, <https://repositorio.unan.edu.ni/5829/1/320-1168-1-PB.pdf>, 2017.
- Escobar, María I.; Navas-Panadero, A.; Medina, Claudia A.; Corrales-Álvarez, J. D.; Tenjo, Ana I. & Borrás-Sandoval, L. M. Efecto de prácticas agroecológicas sobre características del suelo en un sistema de lechería especializada del trópico alto colombiano. *LRRD.* 32 (4), <http://www.lrrd.org/lrrd32/4/maria.es32058.html>, 2020.
- FAO; ITPS & SWSR. *Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.* Rome: FAO, Intergovernmental Technical Panel on Soils, Status of the World's Soil Resources. <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>, 2015.
- Gallosio-Hernández, M. A. *Potencial de los sistemas silvopastoriles para la producción bufalina en ambientes tropicales.* Tesis para optar por el grado de Doctor en Veterinaria, Sección Biociencias y Ciencias Agroalimentarias. Córdoba, España: Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba. <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/22085/2021000002348.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2021.
- Gómez-Villalva, J.; Cobos-Mora, F. & Hasang-Moran, E. Sostenibilidad de los sistemas de producción de ganadería extensiva. *Revista Ciencia e Investigación.* 4:180-195, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3594078>.
- González-Valdivia, N. A.; Martínez-Puc, J. F. & Echavarría-Góngora, E. de J. Malacofauna en dos sistemas silvopastoriles en Estelí, Nicaragua. *J. Selva Andina Anim. Sci.* 5 (1):3-13, 2018. DOI: <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2018.050100003>.
- Gutiérrez-Bermúdez, C. del C.; Mendieta-Araica, B. G. & Noguera-Talavera, Á. J. Composición trófica de la macrofauna edáfica en sistemas ganaderos en el Corredor Seco de Nicaragua. *Pastos y Forrajes.* 43 (1):32-40, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269163399005>, 2020.
- Haddix, Michelle L.; Gregorich, E. G.; Helgason, B. L.; Janzen, H.; Ellert, B. H. & Cotrufo, M. Francesca. Climate, carbon content, and soil texture control the independent formation and persistence of particulate and mineral-associated organic matter in soil. *Geoderma.* 363:114160, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114160>.
- Hanisch, Ana L.; Negrelle, Raquel R. B.; Bonatto, R. A.; Nimmo, Evelyn R. & Lacerda, A. E. B. Evaluating sustainability in traditional silvopastoral systems (caívas): Looking beyond the impact of animals on biodiversity. *Sustainability.* 11 (11):3098, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11113098>.
- Hernández-Chavez, Marta; Sánchez-Cárdenas, Saray & Simón-Guelmes, L. Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica. *Zootecnia Trop.* 26 (3):319-321, http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300035&lng=es&tlng=es, 2008.
- Hoffland, E.; Kuyper, T. W.; Comans, R. N. J. & Creamer, Rachel E. Eco-functionality of organic matter in soils. *Plant Soil.* 455 (1):1-22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04651-9>.
- IPCC. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.* Cambridge, UK; New York, USA: Cambridge University Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157940.001>.
- Irawan, Adiwimarta; Novianti, C. T.; Kustantinah; Widyobroto, B. P.; Astuti, A. & Ates, S. Effect of *Leucaena leucocephala* and corn oil on ruminal fermentation, methane production and fatty acid profile: an *in vitro* study. *Anim. Prod. Sci.* 61 (5):459-469, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN20003>.
- Landholm, D. M.; Pradhan, P.; Wegmann, P.; Romero-Sánchez, M. A.; Suárez-Salazar, J. C. & Kropp, J. P. Reducing deforestation and improving livestock productivity: greenhouse gas mitigation potential of silvopastoral systems in Caquetá. *Environ. Res. Lett.* 14:11400755, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab3db6>.
- Lehmann, J.; Bossio, D. A.; Kögel-Knabner, Ingrid & Rilling, M. C. The concept and future prospects of soil health. *Nat. Rev. Earth Environ.* 1:544-553, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.

- Lok, Sandra; Fraga, S.; Noda, Aida & García, M. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Rev. cubana Cienc. agríc.* 47 (1):75-82, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193028545014>, 2013.
- Lopera, J. J.; Márquez, Sara M.; Ochoa, D. E.; Calle, Zoraida; Sossa, Claudia P. & Murgueitio, E. Producción agroecológica de leche en el trópico de altura: sinergia entre restauración ecológica y sistemas silvopastoriles. *Agroecología*. 10 (1):79-85, <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300761>, 2017.
- Marinero, Sofia & Grau, R. H. Comparison of animal biodiversity in three livestock systems of open environments of the semi-arid Chaco of Argentina. *Rangeland J.* 37 (5):497-505, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1071/RJ15052>.
- Molina, N. D. P. Hacia una nueva normalidad: la Responsabilidad Social Corporativa y el bienestar animal como una oportunidad para las empresas. En: Lorena Miranda-Navarro, M. Á. Santinelli-Ramos y Diana Molina, coords. *Responsabilidad social y sostenibilidad: disrupción e innovación ante el cambio de época*. México: Universidad Anáhuac. p. 474-492. <http://pegaso.anahuac.mx/accesoabierto/publicaciones.php?Accion=Informacion&Pub=153>, 2021.
- Núñez-Ravelo, F.; Ugas-Pérez, María; Calderón-Castellanos, Rossany & Rivas-Meriño, F. Cuantificación del carbono orgánico y materia orgánica en suelos no rizosféricos o cubiertos por *Avicennia germinans* (L.) y *Conocarpus erectus* (L.) emplazados en Boca de Uchire, laguna de Unare, Estado de Anzoátegui, Venezuela. *RGE*. 66(1):371-398. 2021. DOI: <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.13>.
- Oliva, M.; Culqui, M. L.; Leiva, S.; Collazos, R.; Salas, R.; Vásquez, H. V. *et al.* Reserva de carbono en un sistema silvopastoril compuesto de *Pinus patula* y herbáceas nativas. *Sci. Agropecu.* 8(2):149-157, 2017. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.07>.
- Oliva, M.; Valqui, L.; Meléndez, J.; Milla, M.; Leiva, S.; Collazos, R. *et al.* Influencia de especies arbóreas nativas en sistemas silvopastoriles sobre el rendimiento y valor nutricional de *Lolium multiflorum* y *Trifolium repens*. *Sci. Agropecu.* 9(4):579-583, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.14>.
- Oliva, M.; Vásquez-Pérez, H. V. & Vigo-Mestanza, Carmen N. Efecto de los sistemas de producción sobre las características físico-químicas de los suelos del distrito de Molinopampa, provincia de Chachapoyas, región Amazonas. *Revista Científica UNTRM*. 2 (1):44-52, 2016. DOI: <https://doi.org/10.25127/indes.20142.63>.
- Ordoñez-Solarte, Griselda; Erazo-Gómez, R. E. & Navia-Estrada, J. F. Evaluación de la biodiversidad en aves diurnas bajo diferentes sistemas de producción en el municipio de La Unión, departamento de Nariño, Colombia. *FAGROPEC*. 7 (1):3-10, <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/fagropec/article/view/318>, 2015.
- Oropesa-Casanova, Katerine; Pentón-Fernández, Gertrudis; Lezcano-Fleires, J. C.; Miranda-Tortoló, Taymer & Núñez-García, N. F. Biodiversidad y manejo de los residuos agropecuarios en una finca del municipio de Perico, Matanzas. *Pastos y Forrajes*. 43 (2):112-119, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942020000200112&lng=es&tln-g=es, 2020.
- Oyelami, B. A. & Osikabor, B. Adoption of silvopastoral agroforestry system for a sustainable cattle production in Nigeria *J. Applied Sci. Environ. Manag.* 26 (8):1397-1402, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4314/jasem.v26i8.12>.
- Pascual, U.; Adams, W. M.; Díaz, Sandra; Sharachandra, L.; Mace, G. M. & Turnhout, Esther. Biodiversity and the challenge of pluralism. *Nat. Sustain.* 4:567-572, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00694-7>.
- Peña-Domene, Marín de la; Ayestarán-Hernández, Luz M.; Márquez-Torres, J. F.; Martínez-Monroy, F.; Rivas-Alonso, Edith; Carrasco-Carballido, Patricia V. *et al.* Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México *Acta Botanica Mexicana*. 129:e1925, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1925>.
- Pérez-Atehortúa, Maritza; Medina-Aguirre, María F.; Hurtado-Granada, A.; Arboleda-Zapata, E. M. & Medina-Sierra, Marisol. Reservas de carbono del pasto *Cenchrus clandestinus* (Poaceae) en los sistemas de manejo tradicional y silvopastoril, en diferentes relieves. *Rev. biol. trop.* 67 (4):769-783, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/rbt.v67i4.34529>.
- Pérez-Sánchez, E.; Hernández-Hernández, Erika; Jiménez-Trujillo, J. A.; Betanzos-Simón, J. E.; Casasola-Coto, F.; Martínez-Salinas, Alejandra *et al.* Reconversión de ganadería convencional a silvopastoril: Estudio de caso rancho El Once en Campeche, México. *AIA*. 25 (3):174-175, 2021. DOI: <https://doi.org/10.53897/RevAIA.21.25.46>.
- Rodríguez-Moreno, Orquidia G.; Nahed-Toral, J.; Guevara-Hernández, F.; Alayón-Gamboa, J. A. & Grande-Cano, J. D. Historia y caracterización técnica y socioeconómica de la ganadería bovina en la costa de Chiapas, México. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 23:55, <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3058>, 2020.

- Romero-Delgado, G.; Trillo-Zárate, F.; Orellana-Chirinos, J.; Quiroga-Espilco, Pamela; Gamarra-Borjorquez, J.; Rojas-Egoavil, D. *et al.* Efecto de *Acacia macracantha* en las propiedades físicas y químicas del suelo en un sistema silvopastoril. *Rev. investig. vet. Perú.* 32 (3):e20389, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i3.20389>.
- Sanderman, J.; Creamer, Courtney.; Baisden, W. T.; Farrell, M. & Fallon, S. Greater soil carbon stocks and faster turnover rates with increasing agricultural productivity. *Soil Sci.* 3 (1):1-16, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-3-1-2017>.
- Sandoval-Pelcastre, A. A.; Ramírez-Mella, Mónica; Rodríguez-Ávila, Norma L. & Candelaria-Martínez, B. Árboles y arbustos tropicales con potencial para disminuir la producción de metano en rumiantes. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 23:33, <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/3061>, 2020.
- Sarandón, S. J. & Flores, Claudia C. *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. La Plata, Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2014.
- Silva-Olaya, A. M.; Olaya-Montes, A.; Polanía-Hincapié, K. L.; Cherubin, M. R.; Duran-Bautista, E. H. & Ortiz-Morea, F. A. Silvopastoral systems enhance soil health in the Amazon region. *Sustainability.* 14:320, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14010320>.
- Szorobura, Florencia A.; Lynch, Gloria M.; Simonetti, Laura; Ghibaudi, Mercedes; Cormick, Mercedes Mc & Arioni, J. M. Bienestar animal: estrés al destete en ovinos. *RCYTAAA.* 9 (1), <http://servicios.ingenieria.unlz.edu.ar:8080/ojs/index.php/agrarias/article/view/90>, 2022.
- Toledo, M. *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: Conceptos y métodos*. Tegucigalpa: IICA. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/3108>, 2016.
- Vargas-Batis, B.; Escobar-Perea, Y.; Rodríguez-Fonseca, R.; Ramos-García, Y. M.; Rodríguez-Suárez, E. J. & Fuente-Miranda, O. Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba. *Agrisost.* 26 (3):1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7433751>.
- Vásquez, H. V.; Valqui, L.; Alegre, J. C.; Gómez, C. & Maicelo, J. Análisis de cuatro sistemas silvopastoriles en Perú: Caracterización física y nutricional de pasturas, composición florística, reserva de carbono y CO₂. *Sci. Agropecu.* 11 (2):167-176, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.03>.
- Walker, B. H. Biodiversity and ecological redundancy. *Conserv. Biol.* 6 (1):18-23, 1992. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610018.x>.
- Wanapat, M.; Cherdthong, A.; Phesatcha, K. & Kang, S. Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Anim. Nutr.* 1 (3):96-103, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.07.004>.
- Yalta, J.; Ríos, N.; Valqui, L.; Bobadilla, Leidy G.; Vigo, Carmen N. & Vásquez, H. V. Huella hídrica de la producción lechera en la cuenca ganadera Pomacochas, Perú. *LRRD.* 33:125, <http://www.lrrd.org/lrrd33/10/33125hvasq.html>, 2021.
- Zúñiga-López, A.; Rodríguez-Serrano, A. C.; Benavides-Cruz, J. C.; Medrano-Galarza, Catalina & García-Castro, F. E. Indicadores de bienestar animal en vacas lecheras en un sistema silvopastoril del trópico alto colombiano. *Rev. investig. vet. Perú.* 31 (4):e16871, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i4.16871>.