

Revista Cubana de
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 10, número 2; 2022

Servicios ambientales de tres sistemas silvopastoriles introducidos en la provincia de Cotopaxi, Ecuador

Environmental services of three silvopastoral systems introduced in the province of Cotopaxi, Ecuador

Serviços ambientais de três sistemas silvopastoris introduzidos na província de Cotopaxi, Equador

Wilfrido Román Cañizares¹  <https://orcid.org/0000-0003-1138-5041>

Alexei Yoan Martínez Robaina²  <https://orcid.org/0000-0001-9820-0497>

Mileisys Benítez Odio²  <https://orcid.org/0000-0002-9895-5790>

Hernán Patricio Bastidas Pacheco³  <https://orcid.org/0000-0003-2878-9130>

Miguel Ángel Gutiérrez Reinoso⁴  <https://orcid.org/0000-0002-8418-3312>

Mariol Morejón García²  <https://orcid.org/0000-0003-3099-4539>

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, Dirección de Investigación, Centro Experimental Académicos Salache, (CEASA). Ecuador.

²Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca" Departamento de Ciencias Agropecuarias. Pinar del Río, Cuba.

³Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Carrera de Ingeniería Agroindustrial. Ecuador.

⁴Universidad Técnica de Cotopaxi, Carrera de Medicina Veterinaria. Ecuador.

*Autor para la correspondencia: wilfrido.roman2014@gmail.com



Recibido: 27/02/2022.
Aprobado: 02/08/2022.

RESUMEN

La introducción de sistemas silvopastoriles, por los servicios ambientales que brinda constituyen una alternativa viable y adaptable en países de regiones tropicales y subtropicales de América Latina. El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de los sistemas silvopastoriles en la generación de servicios ecosistémicos y productivos en el centro experimental y de producción de Salache, Cantón de Latacunga, provincia de Cotopaxi. Se seleccionaron e introdujeron tres sistemas silvopastoriles con especies de arbóreas y forrajeras. Se determinaron los indicadores edáficos relacionados con la fertilidad del suelo, el contenido de materia seca del pasto dentro de la inclusión y la generación de otros servicios ambientales de los árboles. Se aplicaron análisis estadísticos descriptivos como la comparación de los sistemas silvopastoriles mediante ANOVA y Kruskal-Wallis. Se concluyó que la introducción del componente arbóreo en los sistemas silvopastoriles influye en el contenido de calcio, materia orgánica y fósforo soluble. La especie que más contribuye al aumento de los nutrientes en el suelo es el *Inga edulis* Mart. seguido del *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Los sistemas silvopastoriles demostraron ser una práctica agroecológica efectiva para la acumulación de materia seca, a niveles más altos que las especies herbáceas, especialmente cuando se introdujo el sistema silvopastoril con *Acacia dealbata* Link e *Inga edulis* Mart.; éstas dos especies arbóreas son las que más contribuyen con el aporte de biomasa y el carbono en las condiciones edafoclimáticas del área de estudio.

Palabras clave: Especies arbóreas; Propiedades edáficas; Materia seca; Producción.

ABSTRACT

The introduction of silvopastoral systems, due to the environmental services they provide, constitute a viable and adaptable alternative in countries of tropical and subtropical regions of Latin America. The main of the research was to evaluate the influence of silvopastoral systems in the generation of ecosystem and productive services in the experimental and production center of Salache, Latacunga Canton, Cotopaxi province. Three silvopastoral systems with tree and forage species were selected and introduced. The edaphic indicators related to soil fertility, the dry matter content of the grass within the inclusion and the generation of other environmental services of the trees were determined. Descriptive statistical analyzes were applied such as the comparison of silvopastoral systems through ANOVA and Kruskal-Wallis. It was concluded that the introduction of the tree component in silvopastoral systems influences the content of calcium, organic matter and soluble phosphorus. The species that contributes the most to the increase in nutrients in the soil is the *Inga edulis* Mart. followed by *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Silvopastoral systems proved to be an effective agroecological practice for the accumulation of dry matter, at higher levels than herbaceous species, especially when the Silvopastoral systems was introduced with *Acacia dealbata* Link and *Inga edulis* Mart. These two tree species are the ones that contribute the most to biomass and carbon in the edaphoclimatic conditions of the study area.



Keywords: Tree species; Edaphic properties; Dry materials; Production.

RESUMO

A introdução de sistemas silvopastorais, devido aos serviços ambientais que prestam, é uma alternativa viável e adaptável em países das regiões tropicais e subtropicais da América Latina. O objetivo da pesquisa era avaliar a influência dos sistemas silvopastoris na geração de ecossistemas e serviços produtivos no centro experimental e de produção de Salache, Cantão de Latacunga, província de Cotopaxi. Foram selecionados e introduzidos três sistemas silvopastoris com espécies arbóreas e forrageiras. Foram determinados indicadores edáficos relacionados à fertilidade do solo, teor de matéria seca da grama dentro da inclusão e a geração de outros serviços ambientais a partir das árvores. Análises estatísticas descritivas como a comparação de sistemas silvopastorais foram aplicadas usando ANOVA e Kruskal-Wallis. Concluiu-se que a introdução do componente arbóreo nos sistemas silvopastorais influencia o conteúdo de cálcio, matéria orgânica e fósforo solúvel. A espécie que mais contribui para o aumento dos nutrientes do solo é *Inga edulis* Mart. seguida por *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Os sistemas silvopastoris provaram ser uma prática agroecológica eficaz para a acumulação de matéria seca em níveis mais elevados do que as espécies herbáceas, especialmente quando o sistema silvopastoris foi introduzido com *Acacia dealbata* Link e *Inga edulis* Mart; estas duas espécies arbóreas são as mais importantes contribuintes de biomassa e carbono sob as condições edafoclimáticas da área de estudo.

Palavras-chave: Espécies de árvores; Propriedades edáficas; Matéria seca; Produção.

INTRODUCCIÓN

Las actividades agrícolas en el agroecosistema han provocado pérdida de la biodiversidad por la disminución de la flora y fauna nativa, la degradación de las pasturas con una fuerte repercusión ecológica e impactos ambientales negativos, entre ellos la reducción de la captura de carbono, erosión de los suelos entre otros daños ambientales (Pezo, 2019). Los árboles respaldan la agricultura sostenible debido a que, entre otros factores, estabilizan los suelos y el clima, regulan los flujos de agua, proporcionan sombra, son para hábitat los polinizadores y los depredadores naturales de plagas agrícolas (García et al., 2017).

Una de las tecnologías más empleadas en agroecosistemas de montaña son los sistemas silvopastorales (SSP); modalidad de agroforestería que combina los pastos para ganadería con árboles y arbustos. Estos sistemas cumplen algunas funciones de los bosques naturales porque poseen vegetación permanente con raíces profundas que generan servicios ecosistémicos como la mejora en propiedades del suelo, contribuyen a la conservación de la biodiversidad e incrementan el secuestro de carbono (López et al., 2017).

La introducción de los árboles en los agroecosistemas permite el incremento del reciclaje de nutrientes a través de su sistema radicular, el cual explora mayor profundidad en el suelo que las gramíneas; recuperan nutrientes que se han profundizado por procesos de lixiviación (Navas et al., 2020). Estos sistemas también pueden almacenar entre 12 y



228 t de carbono ha⁻¹ y a su vez, su implementación permite reducir los costos de producción comparados con sistemas intensivos de pastoreo (Medina *et al.*, 2020).

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la influencia de los sistemas silvopastoriles en la generación de servicios ambientales y productivos en el Centro Experimental Académico Salache, (CEASA) cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en agroecosistemas destinados a la producción de leche ubicados en el Centro Experimental y Académico Salache, de la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), provincia de Cotopaxi, entre las coordenadas 01°01'05" de latitud sur y 78°35'32" de longitud oeste. Esta zona climática, ubicada entre 2000 y 3000 m.s.n.m se define como Bosque Seco Montano Bajo. La temperatura media anual es de 14,1 °C y las precipitaciones acumuladas son de 579,2 mm. Los suelos son de textura franco-arenosa.

Durante los años 2013 y 2016 se establecieron cuatro tratamientos donde se evaluó un testigo formado por el pasto tradicional, una mezcla de especies forrajeras tales como: Alfalfa (*Medicago sativa* L.), Ryegrass anual (*Lolium multiflorum* Lam), Ryegrass perenne (*Lolium perenne* L.), Trébol blanco (*Trifolium repens* L.), Trébol rojo (*Trifolium pratense* L.); y tres SSP donde se introdujeron las especies arbóreas: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn, *Acacia dealbata* Link. e *Inga edulis* Mart. Los experimentos se establecieron en lotes de aproximadamente 1 ha cada uno.

Análisis de suelo

Para el análisis de los parámetros químicos y físico-químicos del suelo se empleó un diseño completamente aleatorizado seleccionando cinco exclusiones (transectas) al azar, en cada agroecosistema con un área promedio, por exclusión, 16 m² (Yong *et al.*, 2008). Se realizaron 6 muestreos por exclusión a una profundidad de 20 cm con un periodo semestral comprendido entre los años 2013 y 2016. Finalmente, para los análisis de laboratorio se obtuvieron un total de 10 muestras compuestas de 1 kg, en cada sistema. Las determinaciones se realizaron según los métodos descritos por el INIAP, (2010).

El pH se determinó por el método del potenciométrico con una relación suelo agua 1:2,5. La materia orgánica se determinó por oxidación con dicromato de potasio, El contenido de Ca, Mg, K y P asimilable se determinó según Olsen modificado y los resultados se expresaron en meq/100g de suelo. El P asimilable se expresó en mg kg⁻¹. La capacidad de intercambio catiónico-CIC- (expresada en Meq/100g) se obtuvo mediante la suma de todos los cationes intercambiables.

Determinación del contenido de materia seca del pasto, bajo el dosel arbóreo en la inclusión

La medición del contenido de materia seca se realizó a partir del año 2015, dos años después de establecido el experimento hasta el año 2018. Las especies forrajeras fueron comunes en todos los sistemas y estuvieron conformadas fundamentalmente por las especies herbáceas forrajeras antes mencionadas.



Para este análisis se tomó una muestra pareada, de un metro cuadrado, en cada una de las 5 exclusiones semipermanentes, ubicadas al azar en cada SSP. El corte se realizó al inicio de cada pastoreo, la masa fresca cortada se pesó para determinar el rendimiento. Posteriormente del total de la muestra se extrajo una alícuota, se pesó y fue secada en estufa a temperatura de 100°C por 14 horas, hasta obtener un peso constante, y determinar el porcentaje de MS. Estos valores se expresaron en $t\ ha^{-1}año^{-1}$. El intervalo entre los pastoreos fue de 41,6 días.

Determinación de la captura de carbono por los sistemas silvopastoriles

Previo a la determinación de la captura de carbono se determinó la producción de biomasa vegetal empleando la guía internacional propuesta por IPCC (2003) para la medición de carbono almacenado.

Paso 1. Para la determinación de la biomasa vegetal se utilizó un diseño completamente aleatorizado, se seleccionaron cinco exclusiones al azar (16 m²) en cada SSP. Se midió la altura total de los árboles y diámetro a 1,30 m de altura.

La determinación de la biomasa arbórea se utilizó mediante fórmulas alométricas según las ecuaciones propuestas en la Tabla 1.

Tabla 1. - Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa sobre el suelo (kg de materia seca por árbol)

Especie	Ecuación Alométrica	Tipo de Bosque	Fuente
Aliso (<i>A. glutinosa</i>)	$B = \exp(-2,14 + 2,23 \cdot \ln(DAP))$	Bosque tropicales de América del Sur y Central.	Acosta <i>et al.</i> , 2002; Chave <i>et al.</i> (2005)
Acacia (<i>A. dealbata</i>)	$BA = 0,0673 \times (DM \times (DAP^2 \times altura)^{0,976})$	Árboles de <i>A. megaloxylon</i>	Chave <i>et al.</i> (2005)
Guabo (<i>Inga edulis</i>)	$**\log_{10} Biomass = -0,889 + 2,317 (\log_{10} dbh)$	Bosque de <i>I. edulis</i>	Segura <i>et al.</i> , (2006)

donde: Y = materia seca sobre el suelo, DAP: Diámetro a la altura del pecho BA: Biomasa aérea; DM: Densidad de madera; db: diámetro de la base, MS/árbol, h: altura.

Paso 2. Cálculo de biomasa arbórea por hectárea (Ecuación 1).

$$BA = (AU/1000) \times (10000 / \text{área de la parcela}) \quad (1)$$

Donde:

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

AU = Sumatoria de la biomasa arbórea de todos los árboles de la parcela (kg M.S./área de la parcela);

Factor 1000 = Conversión de las unidades de la muestra de kg MS/t MS

Factor 10000 = Conversión del área (m²) a hectárea

Cálculo de stocks de carbono en la biomasa arbórea (Ecuación 2).

$$\dot{A}CBA = (BA * FC) \quad (\text{ISSP, 2003}) \quad (2)$$



Donde:

ÁCBA = Cantidad de carbono en la biomasa sobre el suelo (t C/ha);

BA = Biomasa arbórea sobre el suelo (t MS/ha);

FC = Fracción de carbono (t C /t MS). El valor estándar del IPCC para FC = 0,5.

Determinación de indicadores productivos y de manejo en los sistemas silvopastoriles

Para la evaluación de la producción se tuvieron en cuenta indicadores tales como: la producción total de leche (L), los días de pastoreo, el número de vacas en pastoreo y los litros producidos diariamente por vaca $L\ v^{-1}\ d^{-1}$. Para determinar la producción de leche por cada SSP se registraron diariamente los litros de leche producidos 48 horas después de ingresadas las vacas al SSP hasta las 48 horas después de salida de los animales.

Análisis estadístico

Se emplearon análisis estadísticos descriptivos para la comparación de las medias de cada sistema silvopastoril. Cuando la población siguió una distribución normal se emplearon la media aritmética y desviación estándar; la comparación de las medias se realizó mediante las pruebas ANOVA y Tukey ($p < 0,05$). En el caso en que los datos siguieron una distribución diferente de la normal, se emplearon como estadígrafos descriptivos la mediana y el rango intercuartil. La comparación de las variables se realizó mediante la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis, con comparación múltiple por parejas, siendo más adecuadas para este tipo de población según lo establecido por Field (2013). Para corroborar los resultados productivos se realizó un análisis de correlación de Spearman entre la producción de leche y los días de pastoreo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de pH reportados en los suelos en todos los sistemas son similares, superiores a 8, lo cual se considera alcalino según escala propuesta por el (INIAP, 2010) (Tabla 2)

Tabla 2. - Propiedades edáficas en suelos no cultivados

Sistemas silvopastoriles (n=160)		pH (H ₂ O)	Ca	Mg	K	CIC ¹	M.O ²	P ₂ O ₅
			----- cmol _c kg ⁻¹ -----				%	mg.kg ⁻¹
Testigo	Media	8,74a	8,35a	4,71a	0,46b	9,10b	1,29b	12,10b
	±D.E	0,42	3,13	0,6	0,31	1,69	0,44	5,28
A. dealbata	Media	8,7b	6,85b	3,72c	0,37c	7,81c	0,99c	13,05b
	±D.E	0,33	2,24	0,88	0,19	1,93	0,45	11,34
A. glutinosa	Media	8,88a	7,76a	4,10b	0,39c	8,81b	1,24b	15,04b
	±D.E	0,28	1,81	0,93	0,24	1,80	0,47	9,13
I. edulis	Media	8,77a	8,85a	4,66a	0,63a	10,04a	1,60a	34,58a
	±D.E	0,28	2,58	0,68	0,31	1,83	0,56	19,61

¹Capacidad de intercambio catiónico, ²materia orgánica, D.E. desviación estándar



Estos valores de pH elevado obedecen a las características del suelo que son de origen volcánico, y que han evolucionado en una subregión árida. Otro de los elementos que puede haber contribuido a la elevación del pH es el agua de riego que proviene de la subcuenca del río Cutuchí que conduce efluentes con aguas contaminadas producto las actividades antrópicas del sector. El agua de riego contaminada contiene sólidos solubles totales que pueden contribuir al incremento del pH (Pereira *et al.*, 2017).

Los contenidos de las bases cambiables calcio, magnesio y potasio mostraron diferencias en los SSP que responden al efecto del crecimiento y desarrollo de las especies arbóreas sobre los pastos. Se conoce que las leguminosas como *I. edulis* por ejemplo, pueden adaptarse a suelos poco fértiles por sus altas potencialidades para la fijación biológica del nitrógeno secuestro de carbono y conservación de la biodiversidad entre otras bondades (Batista *et al.*, 2017).

El Ca^{2+} mostró valores superiores a 7,7 meq/100g tanto en el testigo como en los sistemas *A. glutinosa* y *I. edulis*. Estos valores se consideran medios según la escala de valores propuesta por (INIAP, 2010). Los contenidos de estos nutrientes en el suelo varían de acuerdo a las características de las especies arbóreas que en la etapa inicial o fomento extraen considerables cantidades de nutrientes que contribuyen a la reducción de los contenidos de estos elementos en el suelo. El Mg^{2+} y K^{+} tuvieron un comportamiento similar. Estos valores se consideran altos en ambos elementos y es característico de este tipo de suelo.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) tuvo un comportamiento similar al contenido de nutrientes esenciales. El mayor valor de este indicador se obtuvo en el sistema *I. edulis*, seguido del testigo y *A. glutinosa* con valores de 10,04, 9,1 y 8,8 meq100g⁻¹ respectivamente. Estos valores indican que la introducción de sistemas silvopastoriles especialmente el *A. glutinosa* y *I. edulis* contribuyen a elevar o al menos mantener la CIC en los agroecosistemas. Medina *et al.* (2008), informaron que *A. dealbata* y *A. glutinosa* se adaptan bien a suelos pobres y cumplen el papel fundamental de fijar nitrógeno atmosférico en forma simbiótica; sin embargo, en el sistema *A. dealbata* se observó un valor de CIC de 8 meq100g⁻¹ indicando que esta especie, al menos en la fase inicial es la menos recomendada para contribuir a la recuperación de la fertilidad en el suelo.

El contenido de materia orgánica fue inferior a 1,7 % en todos los SSP, lo cual se clasifica como bajo según la escala de clasificación del (INIAP, 2010). Estos suelos por naturaleza de su proceso de formación y los procesos erosivos a los cuales han estado sometidos presentan un bajo contenido de materia orgánica. Sin embargo, puede observarse como el sistema con *I. edulis* muestra una tendencia al incremento de esta importante propiedad del suelo con un valor de 1,6 % significativamente superior al resto. Esta especie de rápido crecimiento puede incrementar significativamente el contenido de MO, específicamente en el entorno entre 1 y 3 m alrededor de los árboles, en dependencia del tipo de suelo.

El sistema *I. edulis* presentó valores de fósforo soluble de 34,6 mg kg⁻¹, significativamente superior al resto de los sistemas en estudio que no presentaron diferencias significativas entre ellos. Estos suelos presentan bajos contenidos de fósforo de forma natural. El incremento de este elemento también fue reportado por Panaifo *et al.*, (2021) al introducir un sistema agroforestal en Valle del Monzón, Perú obteniendo un valor de 16.82 mg kg⁻¹ muy superior al testigo. Este incremento responde a



alteraciones en su ciclo biogeoquímico, provocado por cambios en la actividad de los microorganismos en la rizosfera, el enriquecimiento en nutrientes y MO.

De acuerdo al análisis realizado la introducción de las diferentes especies arbóreas, en los SSP provocaron cambios importantes en las propiedades químicas y físico-químicas del suelo, incrementando fundamentalmente la CIC, el contenido de MO y el fósforo soluble, tal y como lo informaron Delgado *et al.* (2018) quienes concluyeron que los sistemas silvopastoriles son una buena opción para aumentar la fertilidad química de los suelos; en un estudio realizado en la Altillanura Plana de la Orinoquia en Colombia.

Evaluación del contenido de materia seca del pasto en la inclusión en los Sistemas Silvopastoriles

La producción de MS de los pastos está relacionada con las características varietales, las condiciones climatológicas y su manejo. Este indicador presentó diferencias en cada uno de los sistemas (Figura 1).

Los mejores resultados en este indicador se observaron para los sistemas *I. edulis* y *A. dealbata* con valores de 12,2 y 9,3 t ha⁻¹ respectivamente, superiores al testigo.

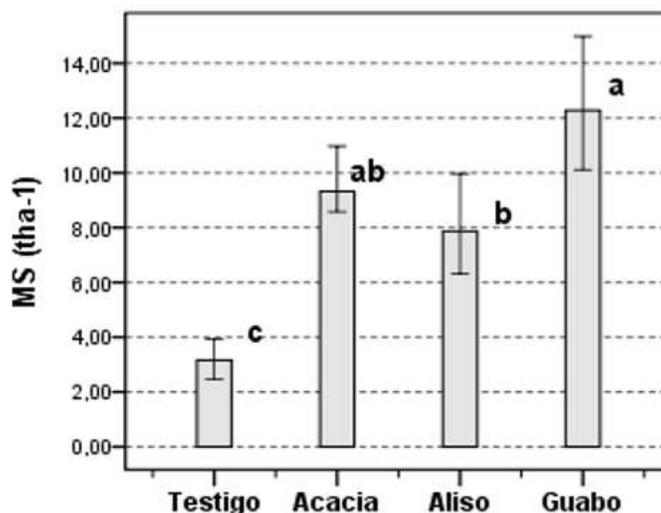


Figura 1. - Contenido de materia seca de los sistemas silvopastoriles. Las columnas indican la mediana y las barras verticales intervalos de confianza para $p < 0,05$

Estas dos especies arbóreas son fijadoras de nitrógeno y además intervienen en la solubilización del fósforo (Batista *et al.*, 2017), lo cual provoca que el pasto asociado mejore su crecimiento y calidad, haciéndolo en algunos casos más palatable para el animal.

Se ha comprobado que la copa de los árboles de *A. dealbata melanoxilum* favorecen el crecimiento y la calidad nutricional de praderas mixtas de *C. clandestinum* y *L. perenne* (Navas *et al.*, 2020) así como de *Brachiaria humidicola* (Tomita, 2018). En otro estudio realizado con varias especies arbóreas se demostró que el tratamiento con *A. dealbata* y gramíneas presentó los mejores indicadores en producción de biomasa en el pasto entre 0,88 a 1,44 kg MS/m² (Apráez *et al.*, 2019).



A pesar de las ventajas reportadas en este estudio respecto a la introducción de los SSP en la producción de MS, en la figura 2 se puede observar la tendencia de la producción de MS de los cuatro SSP en el periodo comprendido entre 2015 y 2018 (Figura 2).

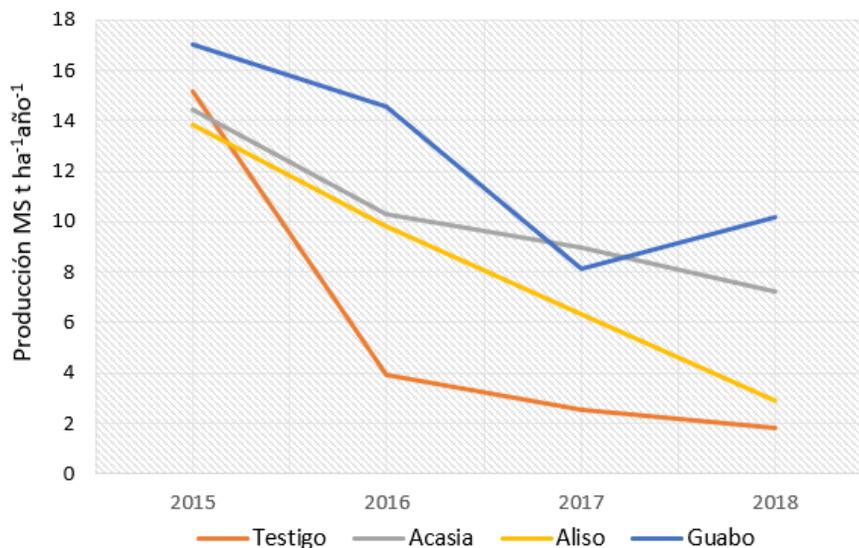


Figura 2. - Producción de materia seca para los SSP entre los años 2015 y 2018

Se evidenció una tendencia a la disminución de la producción de MS en todos los SSP, sin embargo, en el caso del sistema con *I. edulis* esta tendencia es más marcada entre los años 2016 y 2017, observándose una discreta recuperación en 2018. En el resto de los SSP se mantiene esta tendencia siendo el testigo el que muestra la disminución más marcada en este parámetro, seguido del *A. glutinosa*. Esto se debe a la baja capacidad de recuperación del testigo basado en una mezcla forrajera a base de gramíneas y leguminosas herbáceas, unido a la poca capacidad de estos sistemas para reciclar nutrientes del suelo. Mejía *et al.* (2017) sostuvieron que la producción de materia seca en pasturas como el kikuyo (*P. clandestinum*) depende en gran parte de la fertilidad y humedad del suelo para expresar un buen rendimiento. Es por ello que el sistema *I. edulis* con los mayores aportes a la fertilidad del suelo, propicia una mayor producción de materia seca de la pastura.

Evaluación de la biomasa arbórea en los SSP

El estudio de la producción de biomasa se muestra en la tabla 3, siendo los sistemas con *A. dealbata* y *I. edulis* los de mayor aporte con valores de 28,05 t MS ha⁻¹ y 27,49 t MS ha⁻¹ respectivamente (Tabla 3).



Tabla 3. - Producción de biomasa arbórea y carbono almacenado en los sistemas silvopastoriles estudiados

SSP	Biomasa (t MS ha ⁻¹)	Carbono (t ha ⁻¹)
<i>A. dealbata</i>	28,05	14,03
<i>A. glutinosa</i>	4,80	2,40
<i>I. edulis</i>	27,49	13,75
Total	60,34	30,18

De acuerdo con [Batista et al. \(2017\)](#) *A. dealbata* es una especie fijadora de nitrógeno; y además presenta una fuerte interacción con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA); estas circunstancias determinan una mayor productividad de biomasa. De acuerdo con [Echevarría et al. \(2019\)](#) los SSP adecuadamente manejados en América tropical pueden presentar una alta disponibilidad de biomasa comestible, superior a 30 t MS ha⁻¹año⁻¹. La producción de biomasa en el caso del sistema con *A. glutinosa* fue de 4,8 t MS ha⁻¹ inferior al resto de los sistemas. Esta reducción pudo estar dada porque esta especie es de más lento crecimiento y adaptación a suelos muy erosionados de regiones semiráridas como es el caso de este estudio lo cual limita la producción de biomasa sobre todo en los primeros cinco años de establecimiento.

Con relación al almacenamiento de carbono los resultados fueron similares a la acumulación de biomasa siendo los sistemas con *A. dealbata* y *I. edulis* los que presentaron los mejores resultados, con valores de 14,03 t ha⁻¹ y 13,75 t ha⁻¹ respectivamente. Estos resultados son similares a los valores medios de almacenamiento de carbono de los SSP a base de *I. edulis* y otras especies promisorias (23.1 ± 4.1 t ha⁻¹) reportados por [Hernández et al. \(2021\)](#); quienes demostraron en un SAF cacao-*A. dealbata* se logran mayores indicadores de acumulación de carbono que con otras especies maderables.

Estos valores son superiores a los valores que presentan los sistemas exclusivamente agrícolas de corta duración, lo cual nos demuestra la importancia del establecimiento de sistemas agroforestales para la recuperación del carbono en áreas anteriormente perturbadas por tumba y quema y usados para agricultura.

Evaluación de la producción de leche en los sistemas silvopastoriles

Otro de los beneficios esenciales de los SSP es el incremento en la producción de leche, no solo por el incremento y diversificación de la producción de MS en el agroecosistema, sino también porque la reducción del estrés calórico y la mejora del confort en el animal, permiten incrementar el consumo en el pastizal, lo cual tiene un impacto positivo en los resultados productivos.

En este estudio, la introducción de los SSP tuvo un discreto efecto en la producción de leche y otros indicadores productivos excepto en el caso del sistema con *I. edulis* (Tabla 4).



Tabla 4. - Indicadores de producción de leche en diferentes sistemas Silvopastoriles

Cultivo	Prod. leche (litros ha ⁻¹ año ⁻¹)	Días pastoreo	T.P./día	N.V.P.	L/V/d	UBA* ha ⁻¹ año ⁻¹	L ha ⁻¹ día ⁻¹	Costo leche (USD L ⁻¹)*
Testigo	7902,7 b	45,0 b	175,6	13,5	13,0	3,5	45,4	0,362
A. <i>dealbata</i>	7930,0 b	44,3 b	178,9	13,4	13,3	3,4	45,4	0,352
A. <i>glutinosa</i>	8216,3 b	47,3 b	173,6	13,4	13,0	3,6	47,5	0,332
I. edulis	13495,0 a	71,7 a	172,2	13,4	12,9	5,5	71,4	0,235

Letras iguales en la misma columna indican diferencias significativas para $p < 0.05$. *se incluye los años del 2014 al 2016. UBA-carga animal en unidades bovinas adultas.

En el SSP con *I. edulis* se registró el mejor comportamiento, en la producción de leche, 13495,0 litro ha⁻¹ año⁻¹ y 71,7 días de pastoreo. Además, en este sistema se soportó una carga animal de 5,5 UBA ha⁻¹ año⁻¹. El resto de los SSP tuvieron una producción similar entre ellos, con 7902,7, 7930,0 y 8216,3 litros ha⁻¹ para el testigo, *A. dealbata* y *A. glutinosa* respectivamente.

Este resultado es contradictorio puesto que, la inclusión de especies arbóreas como la *A. dealbata* y *A. glutinosa* permiten lograr incrementos productivos entre el 20 y el 40 %, en comparación con los sistemas a base de especies forrajeras como es el caso del testigo. En el caso del *A. glutinosa*, esta similitud pudo estar dada por ser una especie de lento crecimiento en suelos áridos de baja humedad, por lo que el efecto positivo sobre la mezcla forrajera que crece en el potrero es a más largo plazo. Por consiguiente, en la etapa de establecimiento, el árbol no favorece el desarrollo uniforme de las especies forrajeras predominando unas sobre otras debido a la competencia. En este estudio predominó el pasto kikuyo (*P. clandestinum*) sobre el resto de las especies. La introducción de los SSP influye en la composición químico-morfológica de los forrajes determinan la palatabilidad y el valor nutricional para el ganado, por lo cual influyen en la cantidad y calidad del alimento que se consume (Tomita, 2018).

El resto de los resultados productivos como la producción de leche por vaca por día por ejemplo fue similar para todos los sistemas (Tabla 4). En ocasiones la introducción de un SSP en comparación con el sistema de pastoreo tradicional, no permite apreciar diferencias en la producción de leche por individuos, sin embargo, al comparar la producción por hectárea si se encuentran diferencias, así lo reportaron Barragan *et al.* 2019, al no encontrar incrementos tangibles en la producción individual de leche ni en la calidad en SSP lecheros en Colombia.

En el caso del sistema con *I. edulis* se obtuvo un resultado productivo de 13495,0 litros ha⁻¹ significativamente superior al resto de los sistemas estudiados. El resultado anterior se corresponde con la producción de materia seca de los pastos en este sistema, donde el *I. edulis* presentó los mayores resultados y una mayor estabilidad en el tiempo (Figuras 1 y 2).



El mejor indicador de días pastoreo se observó en el sistema *I. edulis* con 71,7 (Tabla 4); debido a que en este sistema existe una mayor disponibilidad y calidad del pasto producido, lo cual se traduce en un mayor tiempo de pastoreo de los lotes. Para corroborar el resultado anterior se realizó un análisis de correlación entre la producción de leche y los días de pastoreo donde se obtuvo una alta correlación positiva entre ambos indicadores con un coeficiente de 0,886, reafirmando la importancia de la disponibilidad de pastos en los resultados productivos y su repercusión en el incremento en la producción de leche.

Otro de los indicadores favorables en la investigación fue el costo de producción que en todos los SSP fue similar al testigo (Tabla 4). Si bien en los sistemas lecheros tradicionales, a base de pastos, el costo total de la producción es más bajo la productividad también disminuye lo que provoca una reducción del beneficio neto, si se compara con los SSP. Estos resultados son similares a los obtenidos en un estudio realizado por Pérez *et al.* (2019) en SSP con *A. glutinosa* y *A. dealbata* con valores de 0.38 USD y 0.35 USD respectivamente.

El sistema *I. edulis* presentó el menor costo (0,235 USD L⁻¹) y la mayor rentabilidad, por el incremento de la carga animal y en consecuencia de la producción de leche. La adopción de SSP y la eliminación gradual de insumos agroquímicos, permite reducir el costo de producción de la leche, aumentar la calidad y el precio de la misma (Lopera *et al.* 2015).

CONCLUSIONES

La introducción del componente arbóreo en los sistemas silvopastoriles estudiados mejora en las propiedades físico-químicas y químicas del suelo fundamentalmente en el contenido de calcio, materia orgánica y fósforo soluble; La especie que más aporta al incremento de nutrientes en el suelo es el *I. edulis* seguido de *Alnus. glutinosa*.

La introducción de los sistemas silvopastoriles demuestra ser una práctica agroecológica efectiva para el incremento y la estabilidad en el tiempo de la producción de materia seca, en las condiciones edafoclimáticas del área de estudio, por su aporte de biomasa y carbono a niveles superiores a las especies herbáceas, especialmente cuando se emplean el *I. edulis* y *A. dealbata*.

De los sistemas silvopastoriles evaluados el *I. edulis* es el único donde se logra obtener incrementos significativos en la producción total de leche, producto al incremento del número de días de pastoreo; los costos de producción son similares en todos los sistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, M., VARGAS, J., VELÁZQUEZ, A., & ETCHEVERS, J. D. 2002. Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, [en línea] vol 36 no. 6, pp. 725-736. [Consulta: 17 mayo 2021] Disponible en: <https://www.agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/download/225/225>



- APRÁEZ; A. GÁLVEZ; J. APRÁEZ 2019. Comparación de la producción y calidad nutricional de praderas en monocultivo y sistemas silvopastoriles en zona cafetera de Colombia. Memorias del X Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles por una producción sostenible. Asunción Paraguay. ISBN: 978-958-9386-91 -0. pp. 138-152. [Consulta: 17 mayo 2021] Disponible en: https://cipav.org.co/wp-content/uploads/2021/09/X_Congreso_Internacional_Silvopastoril.pdf
- BARRAGÁN, W. A., MAHECHA, L., ANGULO, J., & OLIVERA, M. 2019) Caracterización y clasificación de la calidad composicional de la leche de búfalo (*Bubalus bubalis*) y de vaca (*Bos spp.*) en Colombia/Characterization and classification of the compositional quality of milk from river buffaloes (*Bubalus bubalis*) and cows (*Bos spp.*) in Colombia. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia, [en línea]. vol. 66 no. 1. [Consulta: 17 mayo 2021] Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/6f262c451b81847d864ffc586d7a7a62/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035755>
- BATISTA, J. C. B.; MUIR, J. P.; APOLINÁRIO, V. X. O.; NAIR, P. K. R.; LIRA, M. A. and SOLLENBERGER, L. E. 2017. Tree legumes: an underexploited resource in warm-climate silvopastures. Revista Brasileira de Zootecnia. [en línea]. Vol. 46 no. 8: pp. 689-703. [Consulta: 17 mayo 2021] Disponible en: <https://www.scielo.br/j/rbz/a/X36WwkrWhF8cNnjDqfBCQDQ/abstract/?lang=en>
- CHAVE, J., ANDALO, C., BROWN, S., CAIRNS, M. A., CHAMBERS, J. Q., EAMUS, D., & YAMAKURA, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. Oecologia. [en línea]. Vol. 145 no. 1, pp. 87-99. [Consulta: 17 mayo 2021] Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00442-005-0100-x>
- DELGADO, H., RANGEL, J. A., SILVA, A. 2018. Caracterización de la fertilidad química de los suelos en sistemas productivos de la altillanura plana, meta, Colombia. Luna Azul. [en línea]. núm. 46, enero-junio, pp. 54-69 DOI: <https://doi.org/10.17151/luaz.2018.46.5>
- ECHIVARRÍA, M. G., PIZARRO, D. M., GÓMEZ, C. A. 2019. Alimentación de Ganadería en Sistemas Silvopastoriles de la Amazonia Peruana. Print: Lima, Peru. [Consulta: 17 mayo 2021] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Dante-Pizarro/publication/335542022_Alimentacion_de_ganaderia_en_sistemas_silvopastoriles_de_la_Amazonia_peruana/links/5d6c8adc299bf1808d5eab03/Alimentacion-de-ganaderia-en-sistemas-silvopastoriles-de-la-Amazonia-peruana.pdf
- FIELD, A. (2013). Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics. 4th ed. SAGE Publications. Great Britain. ISBN 978-1-84787-906-6.
- GARCÍA, Y., ARTEAGA, Y., CHÁVEZ D. & LAZO Y. 2017. Contribución de herramientas ecológicas en la formación agropecuaria y forestal en las condiciones amazónicas del Ecuador. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, [en línea]. Vol 18 no. 12, pp. 1-11. [Consulta: 17 mayo 2021] Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Dante-Pizarro/publication/335542022_Alimentacion_de_ganaderia_en_sistemas_silvopastoriles_de_la_A



mazonia_peruana/links /5d6c8adc299bf1808d5eab03/Alimentacion-de-ganaderia-en-sistemas-silvopastoriles-de-la-Amazonia-peruana.pdf

HERNÁNDEZ, H. E., ANDRADE, H. J., SUÁREZ, J. C., SÁNCHEZ A., J. R., GUTIÉRREZ, D. R., GUTIÉRREZ, G. A., TRUJILLO, E. & CASANOVES, F. 2021. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*. [en línea]. Vol 69 no. 1, pp. 352-368. DOI 10.15517/rbt.v69i1.42959

INIAP 2010. Metodología de determinación de la composición química del suelo del laboratorio de Suelos y Aguas de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP. Consultado: 14-de julio de 2022. Disponible en: <https://www.iniap.gob.ec/servicio-1/>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2003. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry, Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) IPCC. 628 pp. Consultado: 14-de junio de 2022 Disponible en: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf

LOPERA, J. J., MÁRQUEZ, S. M., OCHOA, D. E., CALLE, Z., SOSSA, C. P., MURGUEITIO, E. 2015. Producción agroecológica de leche en el trópico de altura: sinergia entre restauración ecológica y sistemas silvopastoriles. *Agroecología*. [en línea]. Vol. 10 no. 1, pp. 79-85. [Consulta: 23 diciembre 2021] Disponible en: <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300761>

LÓPEZ, O., SÁNCHEZ, T., IGLESIAS, J. M., LAMELA, L., SOCA, M., ARECE, J., & MILERA, M. C. (2017). Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical. *Pastos y forrajes*. [en línea]. Vol 40 no 2, pp. 83-95. [Consulta: 2 diciembre 2021] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-03942017000200001&script=sci_arttext&tlng=pt

MEDINA S, OROZCO, H., DÍEZ, M. C. 2008. Establecimiento de un sistema silvopastoril mediante las especies *Alnus acuminata* H.B.K. y *A. dealbata decurrens* Willd y respuesta al empleo de organismos rizosféricos en San Pedro (Antioquia). *Livestock Research for Rural Development*. [en línea]. Vol. 20 no. 1. [Consulta: 28 diciembre 2021] Disponible en: <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd20/1/medi20007.htm>

MEDINA, R., COBOS F., LOMBEIDA E., HASANG E. 2020. Evaluación de un sistema silvopastoril para la gestión sostenible de los recursos naturales de la Hacienda Aurora, Guayas Ecuador. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*. [en línea]. Vol 5 no. 1, pp. 79-95. [Consulta: 28 diciembre 2021] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7707874>

MEJÍA, E., MAHECHA, L., ANGULO, J. 2017. Consumo de materia seca en un sistema silvopastoril de *Tithonia diversifolia* en trópico alto. *Agronomía Mesoamericana*. [en línea]. Vol 28 no. 2, pp. 389-403. [Consulta: 28 diciembre 2021] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7707874>



Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.
Copyright (c) 2022 Wilfrido Román Cañizares, Alexei Yoan Martínez Robaina, Mileisis Benitez Odio, Hernán Patricio Bastidas Pacheco, Miguel Ángel Gutierrez Reinoso, Mariol Morejón García

