



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i62.759>

Artículo

Evaluación financiera y económica de un sistema silvopastoril intensivo bajo riego

Financial and economic evaluation of an intensive low-irrigation silvopastoral system

Venancio Cuevas-Reyes¹, Juan Esteban Reyes Jiménez², Mercedes Borja Bravo³, Alfredo Loaiza Meza², Blanca I. Sánchez-Toledano^{4*}, Tomas Moreno Gallegos² y Cesar Rosales Nieto⁵

Abstract

Silvopastoral systems have proved to be important for the environmental and economic sustainability of the producers who carry them out. Therefore, the aim of this work was to evaluate the financial and economic profitability of the intensive silvopastoral system *Leucaena leucocephala* in association with cross-bred *Bermuda* grass (*Cynodon dactylon*) under irrigation in the production of beef calves in Southern *Sinaloa*, in order to contribute information to productive, economic and environmental sustainability in tropical regions. By following up on the technical and economic information regarding a 20-ha production unit in southern *Sinaloa* for 3 years, a financial and economic evaluation was carried out considering the payment for the carbon sequestration environmental service provided by the intensive silvopastoral system (ISS). The financial analysis methodology was used, in which the three main indicators used in the evaluation of projects were estimated: Net Current Value (NCV), Internal Rate of Return (IRR) and Cost Benefit Ratio (CBR). In a time frame of 10 years of planning, the ISS is profitable, as it exhibits a NCV of 7 605 792.14 MXN, an IRR of 27.9 % and a CBR of 1.21 in the financial evaluation, and of 1.24 in the economic evaluation. The results of the present research show that calves can be developed in an ISS in a profitable and sustainable way, which is why greater institutional support is required to spread, promote and support these silvopastoral systems in tropical regions.

Key words: Carbon, technological components, greenhouse gases, cattle, sustainability, tropics.

Resumen

Los sistemas silvopastoriles son importantes para la sustentabilidad ambiental y económica de los productores que los utilizan. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la rentabilidad financiera y económica del sistema silvopastoril intensivo *Leucaena leucocephala* en asociación con pradera bermuda cruzada (*Cynodon dactylon*), bajo riego en la producción de becerros de engorda en el sur de Sinaloa; a fin de contribuir con información a la sustentabilidad productiva, económica y ambiental en regiones tropicales. Mediante el seguimiento de información técnica y económica a una unidad de producción de 20 ha ubicadas en el sur de Sinaloa, durante 3 años se realizó una evaluación financiera y económica, en la que se consideró el pago por servicio ambiental de captura de carbono del sistema silvopastoril intensivo (SSPi). Se aplicó la metodología del análisis financiero, en el cual se estimaron los tres principales indicadores que se utilizan en la evaluación de proyectos: Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y Relación Beneficio Costo (R B/C). En un horizonte de 10 años de planeación, el SSPi es rentable; ya que presenta un VAN de \$7 605 792.14, una TIR de 27.9 % y una R B/C de 1.21 en la evaluación financiera, y de 1.24 en la económica. Los resultados de la presente investigación muestran que es factible desarrollar becerros en SSPi de manera rentable y sustentable, por lo que se requiere mayor apoyo institucional para difundir, promover y apoyar estos sistemas silvopastoriles en las regiones tropicales.

Palabras Clave: Carbono, componentes tecnológicos, gases efecto invernadero, ganado bovino, sustentabilidad, trópico.

Fecha de recepción/Reception date: 20 de abril de 2020

Fecha de aceptación/Acceptance date: 21 de septiembre de 2020

¹Campo Experimental Valle de México, CIR-Centro. INIFAP. México.

²Campo Experimental Valle de Culiacán. CIR-Noroeste. INIFAP. México.

³Campo Experimental Pabellón. CIR-Norte Centro. INIFAP. México.

⁴Campo Experimental Zacatecas. CIR-Norte Centro. INIFAP. México.

⁵Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México.

*Autor de correspondencia; Correo-e: sanchez.blanca@inifap.gob.mx

Introducción

La agroforestería o los sistemas agroforestales (SAF) son sistemas de producción con un enfoque integral que se consideran alternativas viables para contribuir con la productividad y sustentabilidad de las actividades agropecuarias (Casanova-Lugo *et al.*, 2011). En general, los SAF son aquellos que tienen entre sus componentes fijos a los árboles; de tal forma que pueden existir diversos tipos de SAF: silvoagrícola (árboles, más cultivos agrícolas); silvopastoril (árboles, más ganado); o bien agrosilvopastoril (árboles, más cultivos agrícolas y ganado), entre muchos otros. Los arreglos productivos o topológicos de los SAF varían en función de las condiciones ambientales y geográficas donde se implementan, y es en esta parte en la que se requiere de mayor trabajo de los centros de investigación y enseñanza, para identificar los componentes adecuados que junto con los árboles puedan mejorar la productividad, los aspectos ambientales y el bienestar de las comunidades rurales.

La cobertura geográfica de los SAF a nivel mundial, regional y nacional es significativa; por ejemplo, Nair *et al.* (2009) estimaron un total de 1 023 millones de hectáreas bajo SAF en el ámbito global; de estos, alrededor de 63 % corresponden a sistemas silvopastoriles (SSP) y el resto a otros arreglos agroforestales. La FAO (2017) señala que la agroforestería es practicada por más de 1 200 millones de personas en el mundo.

Los SAF contribuyen a mejorar la seguridad alimentaria, ya que proveen servicios ecosistémicos de suministro directo y otros no relacionados con el suministro (HLPE, 2017). Además, los árboles empleados en los SAF actúan como secuestradores de Carbono (Pandey, 2002; Casanova-Lugo *et al.*, 2011), por lo que contribuye a la sustentabilidad ambiental de los territorios donde se implementan. Se ha identificado que la cantidad de Carbono fijado en los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) depende de múltiples interacciones entre los componentes que lo integran: árbol, pasto, suelo y animal (Shibu, 2009).

Los SSP han sido ampliamente estudiados (Ávila *et al.*, 2001; Alonso, 2011; Anguiano *et al.*, 2013; Murgueitio *et al.*, 2014; Arciniegas-Torres y Flórez-Delgado, 2018); constituyen una alternativa para los sistemas pecuarios de producción en los trópicos, ya que ofrecen una mayor disponibilidad de alimento para el ganado, mismo que se transforma en más producción de carne y leche, aunado a la obtención de múltiples beneficios ambientales, como: captura de CO₂, fijación de nitrógeno, reducción de gases efecto invernadero (GEI), mejora en el contenido de materia orgánica, así como en el clima e incremento de la diversidad en comparación con el tradicional monocultivo (Bacab *et al.*, 2013).

En Colombia, los SSPi son una alternativa tecnológica para su implementación de forma paulatina, y se ha identificado que “pueden reducir la estacionalidad de la producción vegetal y animal; y por lo tanto, pueden mitigar los efectos del cambio climático y adaptarse a ellos” (Cuartas *et al.*, 2014).

En México, se tienen múltiples experiencias de manejo agroforestal con ganado bovino de doble propósito (Bacab y Solorio, 2011; Absalón-Medina *et al.*, 2012; Bacab *et al.*, 2013), además de varias evaluaciones productivas y económicas (González, 2013; Estrada-López *et al.*, 2018) y la caracterización general de los sistemas de doble propósito (Cuevas-Reyes y Rosales-Nieto, 2018). No obstante, aún hay pocas evidencias de estudios sobre sistemas agroforestales que muestren el impacto financiero, y que valoren los beneficios económicos de mejoras ambientales por secuestro de carbono, los cuales se obtiene al implementar y adoptar componentes tecnológicos en los SSPi.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar la rentabilidad financiera y económica del sistema silvopastoril intensivo *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit en asociación con pradera bermuda cruzada dos (*Cynodon dactylon* L.), bajo riego en la producción de becerros de engorda en el sur de Sinaloa; con la finalidad de contribuir con información a la sustentabilidad productiva, económica y ambiental en regiones tropicales.

Materiales y Métodos

Localización de la zona de estudio

El estado de Sinaloa se ubica dentro de la Planicie Costera noroccidental, que a su vez colinda directamente con la Sierra Madre Occidental. Geográficamente, Sinaloa se localiza al noroeste de la república mexicana, colinda al norte con los estados de Sonora y Chihuahua, al este con Durango, al sur con Nayarit y al oeste con el océano Pacífico y Golfo de California. La investigación se llevó a cabo en el sur de Sinaloa, en la localidad de Los Pozos, rancho Las Flores en el municipio El Rosario, situado entre las coordenadas geográficas 22°47'35" y 25°30'00" latitud norte y 105°11'16" y 106°03'02" longitud oeste; el clima en la zona es cálido subhúmedo con lluvias en verano y temporadas de sequía marcadas. La temperatura media anual es de 22 °C y una precipitación promedio anual de 827 mm (Inegi, 2017).

Instrumento de colecta de datos

La información se obtuvo a través del seguimiento técnico y económico de manera mensual, durante los primeros días de cada mes y cuando los aspectos técnicos de los componentes lo requirieron. El seguimiento se realizó durante el periodo de enero de 2017 a noviembre de 2019. Para esta actividad se tuvo la participación de un productor cooperante y un técnico del municipio El Rosario, Sinaloa.

Las visitas para la planeación, implementación, seguimiento y evaluación del SSPi incluyeron las siguientes etapas: 1) identificación y delimitación del Rancho donde se implementaría el SSPi; 2) visitas para verificar el establecimiento y manejo del SSPi formado por *Leucaena leucocephala* variedad Cunnimghan y el pasto bermuda cruzados en los meses de enero a junio de 2017; 3) visitas para verificar el buen funcionamiento del sistema de los cercos perimetrales y la instalación del cerco eléctrico para la división de potreros durante todo el año 2017; 4) visitas para la adecuación del área de producción, la cual asciende a 20 ha de riego por aspersión

(cabe señalar que en el área de estudio el manto freático de agua dulce está a 2 m de profundidad); 5) visitas para el diseño de abrevaderos en los potreros; 6) visita para el establecimiento y operación del sistema de riego por aspersión; 7) apoyo e identificación de la obtención del crédito para la obtención de 200 becerros para la preengorda; y 8) visitas para la supervisión del manejo de la preengorda y asesoría técnica del manejo integral de los componentes implementados.

Componentes tecnológicos y costos de producción

Los componentes que integraron el módulo con el SSPi fueron los siguientes: establecimiento de leucaena y de pradera bermuda (*Cynodon dactylon*) cruzados, ambos manejados mediante sistema de riego por aspersión para la preengorda de becerros, cuyo peso inicial ronda los 180 kg hasta media ceba (330 kg.) en 150 días. El peso de los animales solo se registró al inicio del pastoreo y al final de la preengorda. El riego por aspersión se realizó con cañones de 60 m de diámetro en las etapas de establecimiento y manejo del SSPi, la frecuencia fue de 7 a 10 días, con una lámina de riego de 5 a 7 cm, una duración de 6 a 8 horas y con dos o tres cambios de cada cañón por día, esto en función de la época del año.

El terreno donde se implementó el SSPi es plano con un suelo de textura arenosa y con pobre contenido de materia orgánica; el uso del suelo previo era la producción de cocoteros y en algunos años la producción de chile verde.

La siembra de leucaena se realizó de forma mecánica mediante semilla en surcos, con 8 kg ha⁻¹. Los surcos tuvieron una amplitud de 1.8 m. El control de malezas fue, principalmente, de especies de hojas anchas y zacates anuales. La población inicial de leucaena fue de cuatro plantas promedio por metro lineal, equivalente a 22 000 plantas ha⁻¹ (5 500 metros lineales por cuatro plantas).

Para el establecimiento de la pradera con bermuda cruzada, primero se realizó un marcado de surcos en la parte central de aquéllos que tenían leucaena y la

plantación fue con material vegetativo; se utilizaron ocho jornales por hectárea y 1 500 kilogramos de material vegetativo. Esta actividad se llevó a cabo cuando la leucaena había alcanzado una altura de 80 cm.

Para obtener la información económica de los componentes involucrados, se consideraron todos los costos e ingresos involucrados en el establecimiento y mantenimiento de los componentes tecnológicos. Los costos de establecimiento del SSPi se contabilizaron durante el primer año y fueron los siguientes:

Costos de inversión que incluyeron cuatro apartados: 1) terrenos para establecer el SSPi; 2) establecimiento de leucaena; 3) establecimiento de la pradera; y 4) elaboración de corrales de manejo.

Los costos de establecimiento de leucaena incluyeron la preparación del terreno, siembra y fertilización, control de plagas y malezas. Posterior a su establecimiento, se consideró a partir del segundo año el gasto de mantenimiento por fertilización y control de malezas. En el caso de la pradera incluyeron los costos por preparación del terreno, siembra y fertilización, control de plagas y malezas. A partir del segundo año los costos de mantenimiento fueron costo por uso de fertilizantes y control de malezas.

Otros rubros integrados en la evaluación económica fueron los costos de operación del SSPi, como los conceptos relacionados con la alimentación (sales minerales) del ganado, mano de obra, sanidad, electricidad, mantenimiento de equipo, combustibles y lubricantes, así como el seguro del vehículo y costos de aretes para los becerros.

Análisis de la información

De acuerdo a García (2008) la evaluación financiera es de tipo empresarial y con fines de lucro, tiene por objetivo medir la eficiencia del capital aportado para financiar un proyecto; por lo cual, en ella se determina la capacidad financiera, la rentabilidad y el retorno de capital propuesto en la inversión. En cambio, la

evaluación económica consiste en realizar una comparación entre los recursos utilizados y los beneficios esperados, con el fin de determinar la buena asignación de recursos (Rosales, 2007); en este tipo de evaluación se determina el retorno de los beneficios y mejores condiciones de vida en la sociedad (a nivel país y beneficios en el ambiente u otros) derivados de la inversión realizada.

La evaluación financiera del SSPi se realizó con la metodología del análisis financiero, en el cual se estimaron los indicadores propuestos por Gittinger (1982): Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) y Relación Beneficio Costo (R B/C). La evaluación consideró un horizonte de tiempo de 10 años. La tasa de descuento real y libre de riesgo utilizada fue de 9 %, la cual usaron los bancos comerciales en la región de estudio, durante el año 2019 (Cuadro 1). En la evaluación económica se consideró el beneficio ambiental de captura de carbono de US\$10 por hectárea (Ávila *et al.*, 2001) (Cuadro 2). Además, se efectuaron comparaciones del SSPi con estudios hechos en el sur de Sinaloa para la identificación de otras externalidades positivas: biodiversidad, fijación de nitrógeno y conservación de suelo. En la presente investigación se omitieron el costo de posibles externalidades negativas (uso de agroquímicos, fertilizantes, contaminación de mantos freáticos). No obstante, cabe señalar que con el uso de leucaena se logra una alta fijación de nitrógeno; por tanto, el uso de fertilizantes es reducido.



Cuadro 1. Evaluación Financiera del SSPi en Sinaloa México (2019).

Año	Ingresos (\$)	Costos (\$)	Flujo de efectivo (\$)	Tasa (1+t)-n (\$)	Ingresos actualizados (\$)	Egresos actualizados (\$)
0	-	7 061 500.00	-7 061 500.00	1.00	-	7 061 500.00
1	5 662 800.00	3 782 000.00	1 880 800.00	0.92	5 195 229.36	3 469 724.77
2	5 945 940.00	3 971 100.00	1 974 840.00	0.84	5 004 578.74	3 342 395.42
3	6 243 237.00	4 169 655.00	2 073 582.00	0.77	4 820 924.47	3 219 738.71
4	6 555 398.85	4 378 137.75	2 177 261.10	0.71	4 644 009.81	3 101 583.16
5	6 883 168.79	4 597 044.64	2 286 124.16	0.65	4 473 587.44	2 987 763.59
6	7 227 327.23	4 826 896.87	2 400 430.36	0.60	4 309 419.09	2 878 120.89
7	7 588 693.59	5 068 241.71	2 520 451.88	0.55	4 151 275.27	2 772 501.78
8	7 968 128.27	5 321 653.80	2 646 474.47	0.50	3 998 934.89	2 670 758.59
9	8 366 534.69	5 587 736.49	2 778 798.20	0.46	3 852 184.99	2 572 749.10
10	8 784 861.42	5 867 123.31	2 917 738.11	0.42	3 710 820.40	2 478 336.29
Total	71 226 089.85	54 631 089.57	16 595 000.28		44 160 964.46	36 555 172.32

Nota: Ingresos obtenidos por la obtención de dos engordas por año.



Cuadro 2. Evaluación Económica del SSPi en Sinaloa México (2019).

Año	Ingresos (\$)	Costos (\$)	Flujo de efectivo (\$)	Tasa (1+t)-n (\$)	Ingresos actualizados (\$)	Egresos actualizados (\$)
0	-	7 061 500.00	7 061 500.00	1.00	-	7 061 500.00
1	5 810 400.00	3 782 000.00	2 028 400.00	0.92	5 330 642.20	3 469 724.77
2	6 100 920.00	3 971 100.00	2 129 820.00	0.84	5 135 022.30	3 342 395.42
3	6 405 966.00	4 169 655.00	2 236 311.00	0.77	4 946 581.12	3 219 738.71
4	6 726 264.30	4 378 137.75	2 348 126.55	0.71	4 765 055.21	3 101 583.16
5	7 062 577.52	4 597 044.64	2 465 532.88	0.65	4 590 190.80	2 987 763.59
6	7 415 706.39	4 826 896.87	2 588 809.52	0.60	4 421 743.43	2 878 120.89
7	7 786 491.71	5 068 241.71	2 718 250.00	0.55	4 259 477.61	2 772 501.78
8	8 175 816.30	5 321 653.80	2 854 162.50	0.50	4 103 166.51	2 670 758.59
9	8 584 607.11	5 587 736.49	2 996 870.62	0.46	3 952 591.59	2 572 749.10
10	9 013 837.47	5 867 123.31	3 146 714.15	0.42	3 807 542.36	2 478 336.29
Total	73 082 586.79	54 631 089.57	18 451 497.22		45 312 013.12	36 555 172.32

Nota: Se incluye el ingreso por pago potencial de captura de carbono.

Resultados y Discusión

Descripción del SSPi

El SSPi se estableció en una superficie de 20 ha, con 10 becerros por hectárea (1 800 kg de peso vivo ha⁻¹) y un peso promedio inicial de 180 kg, en una preengorda de 150 días. El manejo incluyó un pastoreo rotacional intensivo, con rotación de potreros cada día y de uno a dos días de ocupación, el área de pastoreo fue de 20 m², con una oferta de forraje de 60 kg de forraje (día/becerro), y un periodo de descanso de 30 a 45 días. Los animales finalizaban con un peso

promedio de 330 kilogramos. El precio de venta considerado para un becerro en pie fue de \$44.00 kg⁻¹, para la obtención de los ingresos finales del SSPi.

Evaluación financiera del módulo SSPi

En el Cuadro 3 se muestra la inversión fija, en pesos mexicanos, requerida para la implementación de un módulo silvopastoril intensivo (SSPi) de preengorda de becerros bajo la modalidad de riego.

Cuadro 3. Inversión Fija para establecimiento del módulo SSPi (\$).

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Aportación del productor
Terreno	ha	20	200 000.00	-	4 000 000.00
Leucaena	ha	20	13 740.00	274 800.00	
Pradera	ha	20	6 940.00	138 800.00	
Infraestructura				700 500.00	
Sub total				1 114 100.00	4 000 000.00
Total					5 114 100.00

Fuente: Elaboración propia.

La infraestructura fue depreciada a diferentes periodos de vida útil: 20 años (red de riego, red eléctrica, corral de manejo y báscula), 15 años (cerco perimetral, cerco eléctrico, transformador eléctrico), 10 años (cañón de riego, arrancador, motobomba riego, remolque ganadero) y 5 años (comederos y bebederos). El

monto total de inversión ascendió a \$5 114 100.00 pesos, con una aportación del productor de 78 %, ya que poseía la superficie agrícola donde se implementó el SSPi.

Los costos de operación o costos variables del proyecto fueron de \$1 947 400.00 pesos mexicanos del 2019. Estos incluyeron la compra de 200 becerros de 180 kilogramos por ciclo de preengorda, a un precio de \$7 920.00 (\$44.00 kg⁻¹). La compra de los animales representaron 81.3 % de los costos; el segundo lugar (8.9 %) correspondió a la producción de forrajes; en tercer lugar, la mano de obra; y por último, la compra de medicamentos y vacunas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Costos de operación del módulo del SSPi por ciclo (\$).

Concepto	Unidad	Cantidad/tiempo	Costo unitario \$	Costo total
Beceros de 180 kg	Cabezas	200	7 920.00	1 584 000.00
Forrajes*	Varios	Seis meses	173 800.00	173 800.00
Medicinas**	Varios	Seis meses	73 400.00	73 400.00
Equipo veterinario	Varios	Seis meses	1 000.00	1 000.00
Mano de obra anual	Jornal	12	9 600.00	115 200.00
Costo de operación				1 947 400.00

Fuente: Elaboración propia. *Incluye el costo de mantenimiento y uso de leucaena y de la pradera de bermuda cruzada, así como el otorgamiento de sales minerales; **Medicinas y vacunas incluye implantes, uso de desparasitante interno y externo, bacterina y vitamina ADE.

La producción de forrajes en sistemas tradicionales representó una erogación económica importante para el pequeño productor. No obstante, en Sinaloa se generan al año, aproximadamente, 5 millones de toneladas de esquilmos agrícolas

que pueden ser utilizados para alimentar el ganado (López *et al.*, 2018); esta abundancia de esquilmos es más accesible para las grandes empresas, lo que les permite obtener una mayor rentabilidad en la producción de carne de bovino bajo el sistema de estabulación, a través de la disminución de costos de alimentación en las preengordas y engordas de su ganado.

A un periodo de 10 años del proyecto se obtendrá un flujo de ingresos actualizados de \$ 44 160 964.46 y un flujo de egresos actualizado de \$ 36 555 172.32 (Cuadro 1). En la evaluación económica se incluyó el ingreso derivado de la captura de carbono, con ello se obtuvo un flujo de ingresos actualizados de \$ 45 312 013.12 y un flujo de egresos actualizado de \$ 36 555 172.32 (Cuadro 2). Desde el punto de vista financiero el proyecto es rentable con un VAN de \$7 605 792.14, una TIR de 27.9 % y una relación B/C de 1.21. De la misma forma, bajo el análisis económico se obtuvo un VAN de \$ 8 756 840.81 pesos mexicanos, una TIR de 30.4 % y una R B/C de 1.24 (Cuadro 5), es decir, por efecto de la captura de carbono en el SPPi, el VAN incrementaría en 1.1 millones de pesos, en tanto, la rentabilidad del proyecto incrementaría en 2.5 %.

Cuadro 5. Indicadores de evaluación financiera y económica del SSPi.

Indicador	Evaluación Financiera (\$)	Evaluación económica (\$)*
VAN	7 605 792.14	8 756 840.81
TIR (%)	27.9	30.4
R B/C	1.21	1.24

Fuente: Elaboración propia. *Considerando una captura de 35.7 t C ha⁻¹ en un SAF con *Leucaena* en Colima, México (Anguiano *et al.*, 2013) y un precio de 10 US\$ t⁻¹ de C (Anguiano *et al.*, 2013); tipo de cambio utilizado \$19.68 por US\$ (30 de septiembre de 2019).

Los resultados evidencian que el SSPi propuesto es rentable y genera un aumento en la productividad animal (ganancia en peso de los becerros; inician con 180 kg y se venden en 150 días con un peso de 330 kg), y por tanto mejores condiciones de ingresos para los productores. Además, de obtener mayor productividad, tiene un uso eficiente de los recursos naturales que resulta relevante para la adaptación y mitigación de los efectos del cambio climático. Al respecto, los SSP se convierten en una herramienta fundamental para lograrlo (Buitrago-Guillen *et al.*, 2018).

Algunos estudios señalan que a medida que avanza el tiempo y aumenta la utilización de los componentes de SSPi, se producen incrementos de la producción animal, a través de una mayor disponibilidad de biomasa vegetal, más producción de hojarasca que favorece mejoras en el contenido de materia orgánica, reciclaje de los nutrientes y la fertilidad del suelo (Crespo, 2008). Otros autores han identificado que los SAF pueden fijar y almacenar entre 12 y 228 t⁻¹ C, que incluyen el carbono orgánico del suelo, lo cual representa entre 20 y 46 % del C secuestrado en los bosques primarios (Andrade e Ibrahim, 2003; Beer *et al.*, 2003).

De acuerdo a los resultados de la presente investigación, se reconoce que uno de los factores limitantes más importantes para la implementación de los SSPi es la falta de crédito disponible y las políticas públicas que incentiven su establecimiento y utilización; otra restricción, sin duda, es la identificación e implementación de componentes tecnológicos adecuados para las condiciones geográficas y climáticas donde se pretendan establecer. Además, en el estado de Sinaloa existe alta concentración y compra de becerros por parte de empresas de la carne de bovino, que tienen el control de la cadena productiva y que al final fijan el precio de los animales en pie a lo largo del año, esas condiciones limitan el desarrollo de pequeños ganaderos que se inician en la producción de engorda de becerros en pequeña escala.

En la región de estudio, el precio de los becerros y del ganado en general ha perdido 24 % del valor alcanzado en 2015 (de \$ 58.00 kg⁻¹ a \$44.00 kg⁻¹ en 2019).

En contraste, el precio de la canal continúa en aumento y por lo tanto, el precio de la carne al público también se ha incrementado; todo ello sin generar un impacto directo en los pequeños productores que se dedican a esta actividad productiva.

La producción de carne en SSPi, no obstante puede ser una alternativa para la mejora de la productividad y rentabilidad de los pequeños productores; así como, una alternativa de sustentabilidad ambiental, en la cual los actores institucionales (centros de investigación y enseñanza y gobierno) deben de tener una participación más directa.

Sustentabilidad de los SSPi

En la región de estudio se tiene amplia experiencia en la generación de tecnología para la producción de forrajes (Cuevas-Reyes, 2019). Una de las estrategias seguidas es la obtención de tecnologías a través del establecimiento de módulos agropecuarios. En este sentido, en el módulo establecido con el SSPi en el sur de Sinaloa, y con base al seguimiento de tres años de trabajo se logró identificar un impacto ambiental, que de acuerdo a la literatura, es de entre 10 y 35.7 t de carbono secuestrado por hectárea, además de una mayor fijación de nitrógeno que puede ser de hasta 500 kg ha⁻¹ año⁻¹; así como, una mayor conservación tanto del del suelo como de la biodiversidad, y una menor contaminación de los mantos freáticos, los cuales en la zona de estudio se encuentran a 2 m de profundidad (Cuadro 6).



Cuadro 6. Sustentabilidad del módulo de SSPi en el sur de Sinaloa.

Indicador	Sistema de Manejo Tradicional⁺	Sistema Sisvolpastoril Intensivo (SSPi)*
Captura de carbono	Media 5-10 t ha ⁻¹ año ⁻¹	Alta 10-35.7 t ha ⁻¹ año ⁻¹
Biodiversidad	Limitada	Mayor interacción de los organismos
Fijación de Nitrógeno	Nula	200 a 500 kg ha ⁻¹ año ⁻¹⁺
Conservación de suelo	Menor acumulación de materia orgánica	Mayor acumulación de materia orgánica ⁺

Fuente: Elaboración propia. ⁺Manejo tradicional, son sistemas con un solo componente. Estudios previos realizados en el sur de Sinaloa (Perales *et al.*, 2000); *Anguiano *et al.* (2013) Secuestro de C con SAP que incluyen leucaena de 27.04 a 35.72 t C ha⁻¹ (Colima, Mx). Además, Ávila *et al.* (2001) citó 95 t de C ha⁻¹ en SAF con café (Costa Rica) y Miranda *et al.* (2008) documentó en un sistema de gramínea con leucaena hasta 126 t C ha⁻¹ (Cuba).

Estos resultados concuerdan con otros estudios que señalan ventajas respecto al establecimiento de SSPi, en comparación con monocultivos. En ese sentido, una investigación realizada en Cuba, en la cual se compararon un sistema silvopastoril (*Panicum maximum* Jacq y *Leucaena leucocephala*) contra un monocultivo (pradera de *Panicum maximum*) se identificó que el primero tuvo un incremento paulatino, a través del tiempo, de 54.4 a 65.3 t ha⁻¹ en el carbono almacenado en el suelo (CAS); en contraste, el sistema de monocultivo presentó signos de deterioro y disminución de CAS en el tiempo, al pasar de una concentración de 60.4 a 43.7 t ha⁻¹ (Lok *et al.*, 2013).

Los SSPi están constituidos por tecnologías que contribuyen con la remoción y reducción de gases de efecto invernadero (GEI), mediante el secuestro o captura de carbono en la biomasa vegetal y el suelo. Algunos autores indican que los SSPi son una alternativa para que la ganadería en regiones tropicales se adapte al cambio climático y participe en la mitigación de GEI: "dado que con el establecimiento de SSPi se pueden remover hasta 26.6 t de CO₂ equivalentes ha⁻¹ año⁻¹" (Cuartas *et al.*, 2014).

Los sistemas agroforestales, incluidos los SSPi, ofrecen estrategias comprobadas para el secuestro de carbono, el enriquecimiento del suelo, la conservación de la biodiversidad y la mejora de la calidad del aire y el agua no solo para los dueños del recurso forestal, sino también para la sociedad en general (Shibu, 2009). En resumen, ello significa un mayor beneficio para el productor y el ambiente. Por lo que, como señala Alonso (2011): "establecer un pago de incentivos por la generación de servicios ambientales podría cambiar la perspectiva hacia el uso y el manejo de las especies arbóreas en los sistemas ganaderos, debido a su efecto en la conservación de los agroecosistemas".

Conclusiones

Los sistemas silvopastoriles intensivos pueden contribuir a una mayor sustentabilidad ambiental y económica de los productores de las zonas rurales, a través de la captura de carbono y la fijación de nitrógeno por el uso de leguminosas; y a la producción de una mayor cantidad de forrajes y con ello aumentar la productividad del ganado. En este sentido, los SSPi permiten mejorar los parámetros productivos relacionados con la carga animal y las ganancias diarias de peso por animal, en consecuencia se logra aumentar la producción agropecuaria. Los resultados muestran la factibilidad de desarrollar becerros en sistemas silvopastoriles mediante la utilización rentable de *Leucaena leucocephala*, en asociación con pradera bermuda cruzada, ya que se obtiene una relación beneficio costo de 1.21; es decir, de cada peso que se invierte el productor obtiene de 21

centavos hasta 24 centavos de ganancia, cuando se considera un pago por el servicio ambiental del secuestro de carbono. Por lo anterior, se requiere de incentivos económicos para su implementación en las regiones tropicales, cuyos recursos naturales tengan potencial para la generación de dicho servicio ecosistémico. Los principales beneficios de la implementación de este tipo de sistemas, se reflejan en una mayor productividad, competitividad, protección del ambiente y desarrollo social. Para posibles estudios sobre los SSPi se recomienda la evaluación de posibles externalidades negativas que pudiesen causar el uso de agroquímicos y plaguicidas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al productor Cooperante Rodolfo Cáceres Vargas del Rancho “Las Flores” de la localidad de Los Pozos en el Rosario, Sinaloa, por su amable apoyo para compartir la información en el establecimiento de un sistema silvopastoril intensivo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Venancio Cuevas Reyes: planeación, análisis de datos y redacción del manuscrito; Juan Esteban Reyes Jiménez: planeación, supervisión y análisis de datos; Mercedes Borja Bravo: análisis de datos; Alfredo Loaiza Meza: toma de datos de campo; Blanca Isabel Sánchez Toledano: análisis de datos y revisión del manuscrito; Tomas Moreno Galleos: toma de datos de campo; Cesar Rosales Nieto: redacción y revisión del manuscrito.

Referencias

- Absalón-Medina, V. A., C. F. Nicholson, R. W. Blake, D. G. Fox, F. I. Juárez-Lagunes, E. G. Canudas-Lara and B. L. Rueda-Maldonado. 2012. Economic analysis of alternative nutritional management of dual-purpose cow herds in central coastal Veracruz, Mexico. *Tropical animal health and production* 44(6): 1143–1150. Doi:10.1007/s11250-011-0050-8.
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 45(2):107-115. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022245001.pdf> (4 de abril de 2020).
- Andrade J., H. y M. Ibrahim. 2003. ¿Cómo monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? *Agroforestería en las Américas* 10(39-40): 109-116. <http://hdl.handle.net/11554/6950> (6 de abril de 2020).
- Anguiano J., M., J. Aguirre y M. Palma J. 2013. Secuestro de carbono en la biomasa aérea de un sistema agrosilvopastoril de *Cocus nucifera*, *Leucaena leucocephala* var. Cunningham y *Pennisetum purpureum* Cuba CT-115. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17(1): 149-160. <http://ww.uco.mx/revaia/portal/pdf/2013/enero/8.pdf> (3 de abril de 2020).
- Arciniegas-Torres, S. P. y D. F. Flórez-Delgado. 2018. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. *Ciencia y Agricultura*, 15(2): 107-116. Doi: 10.19053/01228420.v15.n2.2018.8687.
- Ávila, G., F. Jiménez, J. Beer, M. Gómez y M. Ibrahim. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* 8(30):32-41. <http://www.fao.org/3/a-x6349s.pdf> (2 de abril de 2020).

Bacab H., M. y F. J. Solorio S. 2011. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13(3): 271-278. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=93920942003> (5 de enero de 2020).

Bacab H., M., B. Madera N., F. J. Solorio, F. Vera y D. F. Marrufo. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17(3): 67-81. <http://www.ganaderialaluna.com/pdf/5.pdf> (4 de abril de 2020).

Beer, J., C. Harvey, M. Ibrahim, M. Harmand J. E. Somarraba y F. Jiménez, F. 2003. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforestería en las Américas* 10: 80-87. <http://hdl.handle.net/11554/6806> (4 de abril de 2020).

Buitrago-Guillen, M.E., L.A. Ospina-Daza y W. Narváez-Solarte 2018. Sistemas silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín de Ciencias Museo Historia* 22(1): 31-42. Doi:10.17151/bccm.2018.22.1.2.

Casanova-Lugo, F., J. Petit A. y F.J. Solorio S. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(1):133-143. Doi:10.5154/r.rchscfa.2010.08.047.

Crespo, G. 2008. Importancia de los sistemas silvopastoriles para mantener y restaurar la fertilidad del suelo en las regiones tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42(4):329-335. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193015490001.pdf> (3 de abril de 2020).

Cuartas C., A., F. Naranjo J., M. Tarazona A., E. Murgueitio, D. Chará J., J. Ku, V. F. J. Solorio, X. Flores M., B. Solorio and R. Barahona R. 2014. Contribution of intensive silvopastoral systems to animal performance and to adaptation and mitigation of climate change. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 27(2): 76-94. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295030559003> (8 de enero de 2020).

Cuevas-Reyes, V. 2019. Factores que determinan la adopción del ensilaje en unidades de producción ganaderas en el trópico seco del noroeste de México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 20(3): 467-477. Doi:10.21930/rcta.vol20_num3_art:1586.

Cuevas-Reyes, V., y C. Rosales-Nieto. 2018. Caracterización del sistema bovino doble propósito en el noroeste de México: productores, recursos y problemática. *Revista MVZ Córdoba* 23(1): 6448-6460. Doi:10.21897/rmvz.1240.

Estrada-López, I., S. Esparza J., B. Albarrán P., G. Yong A., A. A. Rayas A. y A. García M. 2018. Evaluación productiva y económica de un sistema silvopastoril intensivo en bovinos doble propósito en Michoacán, México. *CIENCIA ergo-sum*, 25(3):1-13. Doi:10.30878/ces.v25n3a7.

García, H. J. 2008. Evaluación económica, financiera y social ¿Cuáles son sus diferencias? *Equilibrio económico*, 4(9):77-82. <http://www.equilibrioeconomico.uadec.mx/descargas/Rev2008/Rev08Sem1Art4.pdf> (16 de septiembre de 2020).

Gittinger, J. P. 1982. *Economic analysis of agricultural projects*. 2nd ed. Johns Hopkins University Press. Baltimore, MD, USA. 505 p.

González J., M. 2013. Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPi), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México). *Avances en Investigación Agropecuaria* 17(13): 35-50. <http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2013/sept/3.pdf> (7 de enero de 2020).

Grupo de alto nivel de expertos (HLPE). 2017. Una actividad forestal sostenible en favor de la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma. <http://www.fao.org/3/a-i7395s.pdf> (15 de marzo de 2020)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI (Inegi). 2017. Anuario estadístico y geográfico de Sinaloa 2017.

https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/SIN_ANUARIO_PDF.pdf
(10 de enero de 2019).

Lok, S., S. Fraga, A. Noda y M. García. 2013. Almacenamiento de carbono en el suelo de tres sistemas ganaderos tropicales en explotación con ganado vacuno. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 47(1):75-82.

<https://www.redalyc.org/pdf/1930/193028545014.pdf> (4 de abril de 2020).

López H., de J., B. Chongo B., O. La O, E. Guerra J., H. López y M. Luna. 2018. Caracterización bromatológica de tres esquilmos agrícolas de interés en la alimentación de rumiantes, en Sinaloa, México. *Nota técnica. Cuban Journal of Agricultural Science* 52(2): 215-222. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v52n2/2079-3480-cjas-52-02-215.pdf> (16 de abril de 2020).

Miranda, T., R. Machado, H. Machado, J. Brunet y P. Duquesne. 2008. Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero. *Zootecnia Tropical* 26(3):187-189. <http://ve.scielo.org/pdf/zt/v26n3/art05.pdf> (5 de abril de 2020).

Murgueitio R., E., J. Chará O., R. Barahona R., C. Cuartas C y J. Naranjo, R. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos, herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17(3): 501-507. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93935728001> (4 de marzo de 2020).

Nair, P. K., B. M. Kumar and V. D. Nair. D. 2009. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 172: 10–23. Doi:10.1002/jpln.200800030.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2017. Agroforestería para la restauración del paisaje. Disponible en <http://www.fao.org/3/b-i7374s.pdf> (18 de marzo de 2020).

Pandey, D. N. 2002. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Climate Policy*, 2(4):367–377. Doi:10.3763/cpol.2002.0240.

Perales R., M. A., L. E. Fregoso T., C. O. Martínez A., V. Cuevas R., A. Loaiza M., J. E. Reyes J., T. Moreno G., O. Palacios V. y J. L. Guzmán R. 2000. Evaluación del sistema agrosilvopastoril del sur de Sinaloa. *In: Maserá, O. y L. López R. (Eds.). Sustentabilidad y sistemas campesinos: cinco experiencias de evaluación en el México rural.* Editorial Mundiprensa. México, D.F., México. 346 p.

Rosales, P. R. 2007. La formulación y evaluación de proyectos con énfasis en el sector agrícola. UENED. San José, Costa Rica. 250 p.

Shibu, J. 2009. Agroforestry for Ecosystem Services and Environmental Benefits: An Overview. *Agroforestry Systems* 76:1-10. Doi:10.1007/s10457-009-9229-7.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0* [Atribución-No Comercial \(CC BY-NC 4.0 Internacional\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.