



Enfoque de índices de sostenibilidad para sistemas integrados de producción animal (SIPA) en el Chaco seco paraguayo

Diego Avilio Ocampos Olmedo¹ ✉  Pedro Luís Paniagua Alcaraz ✉ 

Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Asunción. Ruta Mcal. José F. Estigarribia, Km 11 Campus de la UNA.
San Lorenzo - Paraguay

Resumen: El incremento en la demanda de alimentos y la necesidad de reducir los impactos ambientales representan desafíos clave para el sector ganadero. En el Chaco Seco Paraguayo, los sistemas de producción extensivos predominan, donde el pastoreo juega un rol esencial en la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). No obstante, la sostenibilidad de estos sistemas depende en gran medida del manejo eficiente de la carga animal y de la integración de dimensiones productivas, ambientales y sociales. Este estudio propone el desarrollo del Índice de Sostenibilidad (iSos) adaptado a los Sistemas Integrados de Producción Animal (SIPA), basado en los lineamientos SAFA (*Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems*) de la FAO (. El índice abarca cuatro dimensiones clave: resiliencia económica, bienestar social, integridad ambiental y buena gobernanza. Para su construcción, se utilizaron principios del método *Analytic Hierarchy Process* (AHP), con la participación de 42 expertos en producción animal sostenible. Los resultados indican que la resiliencia económica obtuvo mayor prioridad sobre las dimensiones ambiental y social, destacándose indicadores como ingresos netos, flujo de caja y manejo del agua. Este estudio resalta la necesidad de incorporar herramientas de evaluación de sostenibilidad en la ganadería para mejorar su eficiencia, rentabilidad y responsabilidad ambiental. El iSos se presenta como una herramienta práctica y de bajo costo para evaluar la sostenibilidad en el Chaco Seco Paraguayo, proporcionando información valiosa para productores, formuladores de políticas e investigadores.

Palabras clave: Ganadería sostenible, SAFA, Impacto ambiental, Chaco, Evaluación de sostenibilidad.

Sustainability index approach for integrated animal production systems (ISAP) in the paraguayan dry Chaco

Abstract: The increasing demand for food production while reducing environmental impacts is one of the main challenges for the livestock sector. In the Paraguayan Dry Chaco, extensive livestock production systems are predominant, with pastures playing a key role in mitigating greenhouse gas (GHG) emissions. However, sustainability in these systems is highly dependent on proper grazing management and the integration of productive, environmental, and social dimensions. This study aims to develop a Sustainability Index (iSos) adapted to Integrated Animal Production Systems (ISAP), using the SAFA (*Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems*) guidelines established by the FAO. The iSos index incorporates four key dimensions: economic resilience, social well-being, environmental integrity, and good governance. Indicators were selected and weighted through the Analytic Hierarchy Process (AHP) with the participation of 42 experts in sustainable livestock systems. The results revealed that economic resilience was prioritized over environmental and social factors, with indicators such as net income, cash flow, and water management being the most valued. The study highlights the need to integrate sustainability tools into livestock production to enhance efficiency, profitability, and environmental responsibility. The iSus index serves as a practical, low-cost tool for evaluating sustainability in the Paraguayan Dry Chaco, providing valuable information for producers, policymakers, and researchers.

Keywords: Sustainable livestock, SAFA, Chaco, Sustainability assessment.

Abordagem de índices de sustentabilidade para sistemas integrados de produção animal (SIPA) no Chaco seco paraguaio

Resumo: O aumento da demanda por alimentos e a necessidade de reduzir os impactos ambientais representam desafios fundamentais para o setor pecuário. No Chaco Seco Paraguuaio, os sistemas de produção extensivos predominam, onde o pastoreio desempenha um papel essencial na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). No entanto, a sustentabilidade desses sistemas depende em grande medida da gestão eficiente da carga animal e da integração das dimensões produtiva, ambiental e social. Este estudo propõe o desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade (iSos) adaptado aos Sistemas Integrados de Produção Animal (SIPA), com base nas diretrizes SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems) da FAO. O índice abrange quatro dimensões-chave: resiliência econômica, bem-estar social, integridade ambiental e boa governança. Para sua construção, foram utilizados princípios do método Analytic Hierarchy Process (AHP), com a participação de 42 especialistas em produção animal sustentável. Os resultados indicam que a resiliência econômica recebeu maior prioridade em relação às dimensões ambiental e social, destacando-se indicadores como renda líquida, fluxo de caixa e gestão da água. Este estudo ressalta a necessidade de incorporar ferramentas de avaliação da sustentabilidade na pecuária para melhorar sua eficiência, rentabilidade e responsabilidade ambiental. O iSos se apresenta como uma ferramenta prática e de baixo custo para avaliar a sustentabilidade no Chaco Seco Paraguuaio, fornecendo informações valiosas para produtores, formuladores de políticas e pesquisadores.

Palavras-chave: Pecuária sustentável, SAFA, Impacto ambiental, Chaco, Avaliação da sustentabilidade.

Introducción

Aumentar la producción de alimentos y reducir los impactos ambientales de las actividades agroganaderas serán los principales desafíos para los ganaderos y la comunidad investigadora en las próximas décadas (Calicioglu *et al.*, 2019). En los próximos años, los procesos agroganaderos que empleen modelos de producción convencionales, basados en el uso de monocultivos forrajeros y un ajuste inadecuado de la carga animal, con escasa biodiversidad asociada, probablemente requerirán transformaciones profundas hacia esquemas más sostenibles (Carvalho *et al.*, 2018). En este sentido, la intensificación sostenible propone principios y prácticas que buscan aumentar la eficiencia en el uso de los recursos naturales, promoviendo sinergias entre procesos productivos y minimizando pérdidas (Garnett *et al.*, 2013; Godfray, 2015; Adegbeye *et al.*, 2020).

En Paraguay, con aproximadamente 12 millones de cabezas de ganado y 16 millones de hectáreas dedicadas a la actividad ganadera, la producción de carne vacuna es mayoritariamente pastoril, y solo el 14 % de los animales sacrificados provienen de corrales de engorde (SENACSA, 2024). Esta realidad abre una oportunidad estratégica para reposicionar a los sistemas pastoriles como parte de la solución al cambio climático y no como fuente exclusiva del problema. La sostenibilidad de los sistemas ganaderos extensivos, especialmente en regiones semiáridas como el Chaco Seco, representa uno de los principales desafíos y oportunidades para la producción agropecuaria en América Latina. Estos sistemas, históricamente

asociados con emisiones elevadas de gases de efecto invernadero (GEI), están siendo reevaluados a partir de nuevas evidencias que destacan su potencial como aliados clave en la mitigación del cambio climático.

La gestión adecuada de pastizales naturales incluyendo la carga animal ajustada, la rotación planificada y la integración con especies leñosas, puede promover el secuestro de carbono, reducir la degradación del suelo y aumentar la resiliencia de los ecosistemas (Herrero *et al.*, 2010; Ocampos *et al.*, 2023). Estudios recientes indican que estos sistemas bien manejados pueden capturar entre 1,0 y 3,0 toneladas de CO₂-eq por hectárea al año, dependiendo de las características del manejo y del contexto ecológico (Adegbeye *et al.*, 2020). Esta capacidad de mitigación resulta especialmente relevante en el Chaco, donde la presión sobre los recursos naturales demanda esquemas productivos más resilientes. Los modelos silvopastoriles, al integrar vegetación leñosa y pasturas, contribuyen además al balance de carbono y fomentan la biodiversidad funcional, actuando como amortiguadores ecológicos frente a eventos climáticos extremos (Carvalho *et al.*, 2018).

Tal como argumentan Schiere y Gregorini (2023), la efectividad de los sistemas pastoriles extensivos para mitigar GEI no se limita a aspectos biofísicos individuales, sino que depende de su funcionamiento como sistemas complejos adaptativos. Bajo condiciones de baja presión antrópica, adecuada cobertura vegetal y ciclos de pastoreo compatibles con la regeneración

del ecosistema, estos sistemas pueden evitar colapsos funcionales y operar como sumideros netos de carbono. Además, permiten conservar procesos ecológicos clave como el reciclaje de nutrientes y la conectividad ecológica, es decir, servicios ecosistémicos esenciales, especialmente en regiones altamente estacionales como el Chaco (Navarro *et al.*, 2020).

Desde principios del siglo XXI, se ha debatido sobre los efectos del avance de la agricultura sobre las áreas ganaderas y su impacto en la cadena de producción de carne bovina (Grau *et al.*, 2008; Barcellos *et al.*, 2004). Muchos otros aspectos han sido estudiados en sistemas ganaderos tradicionales (Freitas *et al.*, 2019). A partir de enfoques generales, se ha investigado la biodiversidad en el Chaco Seco (Giraud *et al.*, 2014), la gestión del agua (Berger *et al.*, 2017) y la resiliencia de los sistemas productivos. Sin embargo, se carece de estudios que aborden de manera integral las dimensiones de la sostenibilidad en los sistemas agroganaderos del Chaco Seco.

Entre los años 2000 y 2022, se ha registrado una disminución en la extensión de áreas de bosques nativos en el Bioma Chaqueño de aproximadamente un 38% (equivalente a unos 2,3 millones de hectáreas), mientras que la superficie destinada a cultivos de soja

ha experimentado un incremento considerable de acuerdo con el Censo Agropecuario Nacional (CAN 2022). Estas tendencias resaltan la relevancia de evaluar los sistemas productivos chaqueños en términos ambientales, económicos y sociales.

Diversas iniciativas a nivel global han desarrollado herramientas de evaluación de la sostenibilidad para diferentes cadenas de suministro, como las directrices de Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas Alimentarios y Agrícolas (SAFA) de la FAO (2013). Su implementación presenta desafíos en sistemas productivos integrados de producción animal que buscan, a través de la diversificación, lograr sostenibilidad ambiental y económica. Asimismo, el método de jerarquía analítica (AHP, por sus siglas en inglés) desarrollado por Saaty T. L. (1990) permite identificar y cuantificar la percepción de expertos en determinados temas.

En este sentido, el objetivo del presente estudio fue desarrollar un índice sencillo y práctico, basado en conocimiento científico sólido, que permita medir y evaluar la sostenibilidad en los sistemas ganaderos integrados (Sistemas Silvopastoriles / agrosilvopastoriles / ganadería bajo sombra) del Chaco Seco, con bajos costos de adopción.

Materiales y Métodos

Región de estudio

El estudio se desarrolló en la región del Chaco Seco de Paraguay, una vasta área que abarca aproximadamente 85.000 km² (Dinerstein *et al.*, 1995). Esta región se caracteriza por su heterogeneidad ecológica, la cual se puede dividir en tres subregiones: **Chaco Árido**: Ubicada en el oeste, presenta condiciones climáticas más áridas; **Chaco Semiárido**: Situada al este, con condiciones semiáridas; **Chaco Transicional**: En la frontera con el Chaco Húmedo, posee un clima más húmedo. Esta clasificación geoclimática es esencial para comprender la diversidad y los desafíos ambientales del Chaco Seco, especialmente en lo que respecta a la conservación y el manejo de sus recursos naturales.

Selección de propiedades y participantes

Las propiedades evaluadas trabajaban en asociación con la Alianza para el desarrollo sostenible (https://www.wwf.org.py/nuestro_trabajo/proyectos/alianza_para_el_desarrollo_sostenible_fase_2/), que agrupa propiedades ubicadas mayoritariamente en la ecorregión del Chaco Seco. Estas propiedades fueron seleccionadas considerando la vocación de los propietarios por adoptar sistemas silvopastoriles de ganadería o ganadería bajo

monte nativo, lo que las ubica dentro de los denominados Sistemas Integrados de Producción Animal (SIPA).

Construcción del Índice de Sostenibilidad (iSos)

Propuesta del Índice de Sostenibilidad (iSos): El índice de sostenibilidad propuesto se fundamenta en los lineamientos establecidos por el Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems (SAFA) de la FAO (2013), adaptados para el contexto del Chaco Seco. Este índice se estructura en cuatro dimensiones clave: Resiliencia económica (ECO); Bienestar social (SOC); Integridad ambiental (ENV); Buena gobernanza (GOV). Para su construcción, se utilizaron los principios del Sistema de Autoevaluación en Ganadería Sostenible (SAGAS), el cual abarca seis principios: recursos naturales, individuos y comunidad, salud y bienestar animal, alimentos, eficiencia e innovación, y viabilidad económica. De acuerdo con las directrices de SAFA, se seleccionaron indicadores específicos para cada dimensión, tema y subtema, que fueron validados mediante consultas con un panel de expertos y encuestas dirigidas a productores e investigadores.

Tabla 1. Dimensiones, temas, subtemas e indicadores seleccionados y del SAFA (FAO).

Dimensiones	Temas		Subtemas		Indicadores	
	SAFA	Seleccionado	SAFA	Seleccionado	SAFA	Seleccionado
Buen gobierno /gobernanza	5	-	14	-	19	-
Integridad ambiental	6	4	14	-	52	8
Resiliencia económica	4	3	14	-	26	6
Bienestar Social	6	3	16	-	19	6
Total	21	10	58	-	116	20

Selección de indicadores

Los indicadores fueron seleccionados en función de su relevancia para el contexto del Chaco Seco y la viabilidad de medición en las propiedades estudiadas. Se priorizaron aquellos que permitieron valorar

adecuadamente la diversificación de la producción y los sistemas integrados. La Tabla 1 muestra las dimensiones, temas y subtemas, junto con los indicadores seleccionados tanto de SAFA como de SAGAS.

Tabla 2. Dimensiones, temas y abreviaturas de indicadores seleccionados para el índice de Sustentabilidad para análisis de SIPA en el Chaco seco paraguay.

Dimensión	Tema	Indicador	Abreviación
Resiliencia Económica REc	Inversiones	Ingresos Netos	NRe
		Costos de Producción	CPr
	Vulnerabilidad	Diversificación de Producto	DPr
		Flujo de Caja Neto	FCn
	Información del Producto y Calidad	Sistema de trazabilidad	STr
		Producción certificada	PCe
	Agua	Manejo de agua	MAa
	Tierra	Estructura física del suelo	EFs
Integridad ambiental INa	Biodiversidad	Materia Orgánica del Suelo	Mos
		Cambio de uso y cobertura de suelo	CUc
		Abundancia y diversidad de especies claves	ADe
		Diversificación Productiva	DiPr
	Salud Animal	Salud animal	SAn
		Buenas Prácticas Ganaderas	BPg
	Medios de vida dignos	Nivel salarial	NSa
Bienestar Social BAn	Derechos laborales	Desarrollo de capacidades	DCa
		Relaciones Laborales	RLa
	Salud Humana y Seguridad	Trabajo infantil	TIn
		Capacitación en seguridad y salud	CSs
		Cobertura de Salud y acceso a atención medica	CSa

Fueron seleccionados y presentados con un enfoque de SIPA tres dimensiones, 10 temas y 20 indicadores (Tabla 2). Estudios recientes analizaron temas e indicadores con similitudes con este trabajo (Australian Sustainability Beef Framework, 2024; Van der Linden *et al.*, 2020).

Proceso de Jerarquización de Indicadores

Con el fin de establecer la prioridad de los indicadores, se implementó un proceso de jerarquización analítica utilizando el método AHP (Saaty T.L., 1990). Para ello, se realizó una encuesta

semi-estructurada dirigida a 42 expertos, seleccionados con base en su experiencia en producción animal (15 años mínimo) y sistemas silvopastoriles, así como contar con título habilitante relacionada a actividades ganaderas y al menos un título de postgrado (especialización, maestría o doctorado). Para garantizar mayor transparencia y robustez en el proceso de jerarquización, los expertos fueron seleccionados considerando una distribución representativa de especialidades. Aproximadamente el 40 % de los participantes tenían experiencia principal en manejo de



pasturas y nutrición animal, un 20 % en salud y bienestar animal, un 20 % en economía ganadera y sistemas de comercialización, y el restante 20 % en temas de conservación ambiental, agroecología y gobernanza. En cuanto a su procedencia institucional, un 40 % provenía del sector académico (universidades y centros de investigación), un 20 % de instituciones técnicas y organismos públicos vinculados a la producción agropecuaria, y el 40 % restante eran productores o asesores técnicos privados con experiencia en el Chaco Seco. Esta diversidad permitió una visión integral y equilibrada en la priorización de los indicadores de sostenibilidad.

Los expertos evaluaron las dimensiones, temas e indicadores utilizando una escala de prioridad de 1 a 9, donde 1 indicaba igual prioridad entre los parámetros y 9 la máxima prioridad.

El análisis de las prioridades globales se realizó mediante el cálculo de valores ponderados, utilizando las ecuaciones (1) y (2), con el objetivo de consolidar una estructura jerárquica de prioridades en función de los resultados obtenidos.

$$WT_i = LD_i * LT_i \dots \dots \dots (1)$$

$$WI_i = LD_i * LT_i * LI_i \dots \dots \dots (2)$$

dónde,

WT_i = prioridad global del i-ésimo tema
 LD_i = prioridad local de la i-ésima Dimensión
 LT_i = prioridad local del i-ésimo tema
 LI_i = prioridad local del i-ésimo indicador.

Desarrollo del Índice de Sostenibilidad y análisis de consistencia

El índice de sostenibilidad se calcula mediante la suma ponderada de los indicadores, utilizando la siguiente fórmula:

$$iSus = \sum w_i * VI_i$$

dónde,

$iSus$ = Índice de sostenibilidad
 w_i = prioridad global para el i-ésimo indicador
 VI_i = valor de evaluación para el i-ésimo indicador

El valor final del índice varía entre 1 y 5, donde 1 indica que los parámetros establecidos no están

identificados, y 5 que están completamente identificados. Los valores se obtienen a partir de la información proporcionada por las fincas participantes en el programa Alianza para el Desarrollo sostenible. Para garantizar la coherencia en el proceso de jerarquización, se realizó un análisis de consistencia utilizando el índice de consistencia (IC) y la ratio de consistencia (CR), siguiendo las metodologías de Saaty T. L. (1990) y Vargas (2010). Los valores de consistencia fueron evaluados para asegurar que las calificaciones de prioridad otorgadas por los expertos fueran consistentes y válidas dentro del marco de análisis.

Para la comparación de las ponderaciones asignadas a cada dimensión del índice de sostenibilidad (económica, ambiental y social), se empleó el estadístico no paramétrico de Kruskal-Wallis con un nivel de significancia del 5 %, dada la naturaleza ordinal de los datos. Asimismo, para contrastar las prioridades asignadas a los diferentes indicadores dentro de cada dimensión, se aplicó la prueba de Tukey posterior al análisis de varianza, con el objetivo de identificar diferencias estadísticamente significativas entre medias ponderadas. Además, se utilizó la prueba de Chi-cuadrado para analizar la distribución de frecuencias relativas asociadas a las preferencias de los expertos respecto a los temas e indicadores seleccionados. Esta prueba permitió determinar si las diferencias observadas en la elección de prioridades por dimensión se debían al azar o reflejaban patrones significativos en la percepción del panel de expertos. La inclusión de este análisis complementario permitió reforzar la interpretación cualitativa de las jerarquizaciones obtenidas a partir del método AHP.

Con el objetivo de validar la aplicabilidad práctica del índice desarrollado, se implementó una prueba piloto en cuatro fincas adicionales que no formaron parte del conjunto de propiedades utilizadas en la construcción inicial del iSos. Estas fincas fueron seleccionadas por su accesibilidad, disponibilidad de datos y diversidad en cuanto a tamaño, localización y grado de adopción de prácticas sostenibles. El índice fue aplicado por técnicos entrenados de una empresa de certificación local adherida. Se recopilaban observaciones cualitativas y cuantitativas sobre su facilidad de uso, comprensión de los indicadores y utilidad percibida. Los resultados de la prueba piloto permitieron ajustar la redacción de algunos ítems e identificar oportunidades de mejora en la guía de aplicación del índice.

Resultados y Discusión

Prioridades generales del índice iSos

Las calificaciones del panel de expertos mostraron una consistencia adecuada ($CR < 0,1$), lo que garantiza la validez del proceso de jerarquización empleado. La dimensión económica obtuvo la mayor prioridad relativa, seguida de la dimensión ambiental y, en último lugar, la social. No obstante, según la prueba de Kruskal-Wallis, estas diferencias no fueron

estadísticamente significativas ($p = 0,733$) Figura 1. Estos resultados se alinean con estudios previos como los de Irisarri *et al.* (2019) y Dos Reis *et al.* (2020), quienes destacaron la importancia de la rentabilidad en sistemas productivos sostenibles, especialmente en regiones de alta variabilidad productiva como el Chaco.

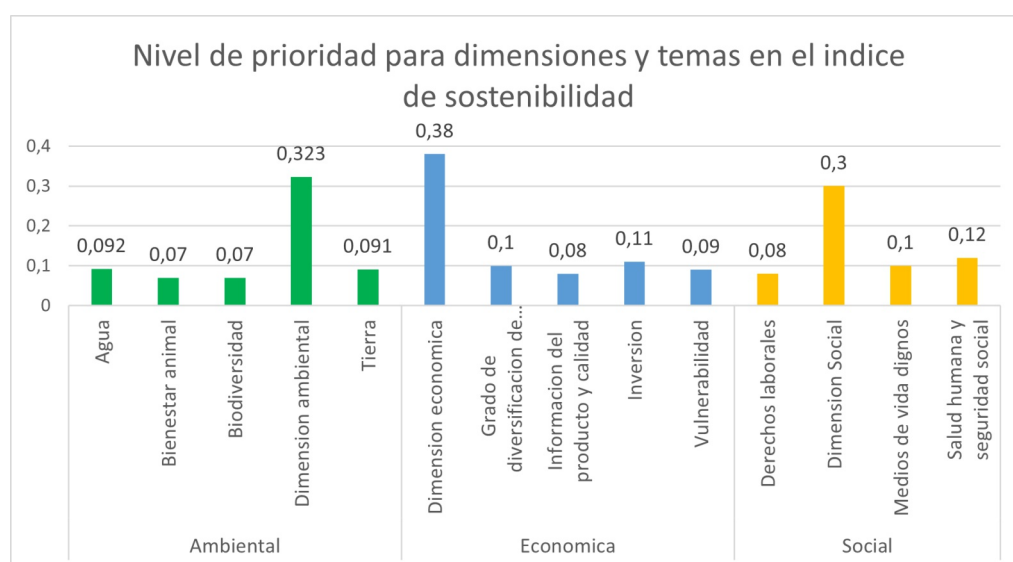


Figura 1. Nivel de prioridad para dimensiones y temas en el índice de sostenibilidad según percepción de panel de expertos mediante análisis chi-cuadrado y nivel de significancia.

El análisis de los promedios de prioridad globales de los indicadores de sostenibilidad reveló diferencias significativas entre ellos ($p < 0,05$), lo que permitió clasificar los indicadores en cuatro grupos según su prioridad: alta, media-alta, media y baja. Tabla 3. Esta clasificación refleja la diversidad de factores que afectan la sostenibilidad en los Sistemas Integrados de Producción Animal (SIPA) en el Chaco Seco Paraguayo, así como la importancia relativa de cada uno de estos factores en el contexto regional.

Dimensión económica

Dentro de esta dimensión, los indicadores con mayor puntaje fueron los ingresos netos (INe) y el flujo de caja neto (FCn), seguidos por la diversificación de productos (DPr) y los costos de producción (CPr). Este hallazgo refuerza lo propuesto por Wedekin (2017) y Bell *et al.* (2021), quienes identifican que la estabilidad financiera y la diversificación productiva son claves para reducir la vulnerabilidad económica de los sistemas ganaderos. Además, la presencia de sistemas de trazabilidad (STr) y certificación (PCe), aunque de prioridad intermedia, reflejan un avance hacia prácticas más alineadas con mercados diferenciados y sostenibles, como lo discuten Pérez-Lombardini *et al.* (2021).

La relativa priorización de la dimensión económica sobre las dimensiones ambiental y social se sustenta probablemente en la naturaleza misma de los sistemas ganaderos del Chaco Seco, donde la viabilidad financiera es frecuentemente el principal factor determinante de adopción de prácticas sostenibles. En contextos de recursos limitados y elevada incertidumbre climática y de mercado, como el que caracteriza esta región, los productores priorizan prácticas que aseguren su rentabilidad y permanencia en el sistema productivo (Bell *et al.*, 2021; Carvalho *et al.*, 2018; Godfray, 2015). Desde una perspectiva teórica, esta elección responde al enfoque de sostenibilidad incremental, donde primero se busca estabilizar el sistema desde el punto de vista económico antes de introducir mejoras en aspectos ambientales o sociales (Garnett *et al.*, 2013). Adicionalmente, diversos estudios han señalado que los beneficios ambientales y sociales de los sistemas agropecuarios sólo se consolidan cuando existe una base económica estable (Alary *et al.*, 2016; Herrero *et al.*, 2010). Esto se traduce en que inversiones realizadas para mejora en la gestión del agua, preservación de la biodiversidad o salud laboral incremental requieren previamente cierta capacidad de ahorro o acceso a crédito. En este sentido, la priorización de la dimensión económica no implica

desconocer la relevancia de las demás dimensiones, sino más bien reconocer su carácter habilitante para un

tránsito efectivo, sostenido e incremental hacia modelos integrales de sostenibilidad.

Tabla 3. Clasificación de indicadores según niveles de prioridad para la sostenibilidad en sistemas ganaderos del Chaco Seco.

INDICADOR	Abreviatura	Puntuación	Ranking de Prioridad
Abundancia y diversidad de especies claves	ADe	0,02 ^e	BAJO
Cambio de uso y cobertura de suelo	CUc	0,024 ^{de}	BAJO
Trabajo infantil	TIn	0,025 ^{de}	BAJO
Salud animal	SAn	0,04 ^{cde}	BAJO
Buenas Prácticas Ganaderas	BPg	0,04 ^{bcd}	MEDIO
Nivel salarial	NSa	0,04 ^{bcd}	MEDIO
Estructura física del suelo	EFs	0,04 ^{bcd}	MEDIO
Diversificación Productiva	DiPr	0,045 ^{bcd}	MEDIO
Producción certificada	PCe	0,045 ^{bcd}	MEDIO
Sistema de trazabilidad	STr	0,046 ^{bcd}	MEDIO
Desarrollo de capacidades	DCa	0,047 ^{bcd}	MEDIO
Materia Orgánica del Suelo	MOs	0,049 ^{bcd}	MEDIO
Relaciones Laborales	RLa	0,051 ^{abcde}	MEDIO
Diversificación de Producto	DPr	0,055 ^{abcde}	MEDIO ALTO
Costos de Producción	CPr	0,058 ^{abcde}	MEDIO ALTO
Cobertura de Salud y acceso a atención medica	CSa	0,064 ^{abcde}	MEDIO ALTO
Flujo de Caja Neto	FCn	0,072 ^{abcde}	ALTO
Capacitación en seguridad y salud	CSs	0,078 ^{abc}	ALTO
Ingresos Netos	INe	0,082 ^{ab}	ALTO
Manejo de agua	MAg	0,099 ^a	ALTO

(^{a,b,c})Medias con letras minúsculas distintas difieren con un nivel de significancia $p < 0,05$.

Dimensión ambiental

El manejo de agua (MAg) fue el indicador más valorado dentro de esta dimensión, seguido por la estructura del suelo (EFs), la materia orgánica (MOs) y la biodiversidad (ADe). Esto coincide con investigaciones como las de Berger *et al.* (2017) y Carvalho *et al.* (2010), que subrayan el papel del agua y del suelo como elementos estratégicos para la resiliencia agroecológica. Aunque indicadores como el cambio de uso y cobertura del suelo (CUc) obtuvieron baja prioridad, su importancia en términos de impacto ambiental ha sido ampliamente documentada por Grau *et al.* (2008) y Navarro *et al.* (2020).

Desde una perspectiva de diseño sistémico, la dimensión ambiental en sistemas ganaderos debe ser abordada no como un conjunto de variables independientes, sino como parte de un entramado dinámico y complejo de interacciones socio-ecológicas. En este sentido, Schiere y Gregorini (2023) proponen analizar los sistemas basados en pastizales desde una lógica de sistemas adaptativos complejos, donde las transiciones ecológicas —como el colapso del orden actual y la emergencia de nuevas configuraciones— son eventos esperables y necesarios para la adaptación. Bajo esta lógica, la priorización del manejo de agua y suelo puede entenderse como una estrategia para sostener

puntos de equilibrio ecológicos en entornos inestables, donde las decisiones no lineales cobran mayor valor que las intervenciones mecanicistas tradicionales.

Además, estos autores destacan que las soluciones sostenibles en agroecosistemas deben considerar no solo la eficiencia de cada parte del sistema, sino también las emergencias del conjunto. Este enfoque permite incorporar de forma más amplia conceptos como la regeneración ecológica, los cambios en los paradigmas de manejo, y los valores comunitarios, todos ellos relevantes en territorios como el Chaco donde la presión productiva y la vulnerabilidad ambiental son altas.

La salud animal (SAn), pese a su bajo puntaje, es esencial para la sostenibilidad productiva, como lo sostienen Herrero *et al.* (2010). Sin embargo, dentro de una visión sistémica, este indicador puede adquirir mayor importancia cuando se analiza su vínculo con otros aspectos, como el bienestar animal, la calidad del suelo y el uso racional de antibióticos, todos elementos que pueden contribuir o afectar la resiliencia del sistema productivo.

Dimensión social

La dimensión social obtuvo una ponderación inferior, aunque se destacaron indicadores como la capacitación en seguridad y salud (CSs) y la cobertura de salud (CSa),

alineándose con las prioridades propuestas por Toro-Mujica *et al.* (2011). El trabajo infantil (TIIn) y las relaciones laborales (RLa) fueron valorados con menor prioridad, lo cual se interpreta dentro del contexto cultural del Chaco, donde la participación familiar en labores rurales aun es una práctica relativamente frecuente por lo cual deben contextualizarse dentro de la realidad local. Si bien la legislación paraguaya prohíbe explícitamente el trabajo infantil, el involucramiento de niños en actividades relacionadas con el campo, esta práctica a menudo responde a la cultura rural y no necesariamente a condiciones de explotación laboral. Al analizar en contexto se plantean desafíos para la interpretación de los indicadores en función de las prácticas locales y la comprensión de la realidad de los productores familiares en áreas remotas. Por otra parte se debe de tener presente que, el enfoque de derechos humanos, respaldado por FAO (2013), exige que estos indicadores no sean minimizados. El desarrollo de capacidades (DCa) fue otro aspecto relevante, relacionado con la necesidad de empoderamiento técnico de los trabajadores, como lo discute Marchand *et al.* (2014).

La literatura existente refuerza la necesidad de un enfoque integral y multifacético para evaluar la sostenibilidad en sistemas ganaderos. Investigaciones previas, como las de Herrero *et al.* (2010) y Toro-Mujica *et al.* (2011), destacan la relevancia de indicadores relacionados con la gestión del agua y la capacitación en seguridad y salud, subrayando la relevancia de estos aspectos interrelacionados tanto desde el punto de vista ambiental como social. Alary *et al.* (2016) también refuerzan la necesidad de evaluar la sostenibilidad a través de una combinación de factores económicos, sociales y ambientales para lograr una transición efectiva hacia prácticas más sostenibles en la ganadería.

El presente estudio ha logrado desarrollar un índice sencillo y práctico, fundamentado en un conocimiento científico sólido, que permite medir y evaluar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos integrados (Sistemas Silvopastoriles, Agrosilvopastoriles y Ganadería bajo Sombra) en el Chaco Seco. Este índice se caracteriza por su bajo costo de adopción, lo que lo hace accesible para los productores de la región, sin comprometer la calidad de los análisis. Si bien podemos considerar la simplificación del índice, una limitación, esta característica fue seleccionada de manera deliberada para garantizar su agilidad y la reducción de costos operativos. El desarrollo de herramientas como esta tiene el potencial de incentivar la adopción de prácticas sostenibles en los sistemas productivos de la región, especialmente en aquellos que operan bajo el enfoque de

Consideraciones contextuales y validación del índice

Los estudios previos de Kassem *et al.* (2017) y Pérez-Lombardini *et al.* (2021) sobre las directrices SAFA respaldan el uso de indicadores flexibles y creíbles que puedan adaptarse a las condiciones locales, tal como se plantea en este estudio. La inclusión de indicadores georreferenciados podría ampliar su valor diagnóstico, como sugieren Kassem *et al.* (2017), pues permite obtener un diagnóstico más preciso, lo que facilita la identificación de problemas y la implementación de soluciones específicas para cada ecorregión. Este enfoque es especialmente relevante en el Chaco Seco, donde las percepciones de los expertos han sido cruciales para construir un índice que responda a las condiciones y necesidades locales.

La metodología utilizada para desarrollar este índice se enmarca en las herramientas de evaluación rápida de sostenibilidad (RSA) propuestas por Marchand *et al.* (2014). La simplificación y objetividad del índice permiten realizar diagnósticos rápidos y rentables, lo que facilita su aplicación a una amplia gama de sistemas productivos, por una parte, pero por la otra, esta misma simplificación, puede restringir la profundidad del análisis. No obstante, esta estrategia fue deliberadamente adoptada para mejorar su aplicabilidad a campo, tal como proponen Marchand *et al.* (2014).

El índice propuesto ofrece una herramienta útil para evaluar y priorizar los indicadores clave, lo que puede permitir orientar políticas y prácticas que fomenten la transición hacia sistemas más sostenibles y resilientes.

Conclusiones

sistemas integrados de producción animal (SIPA), con énfasis en los sistemas silvopastoriles (SSP). La aplicación de este índice podría permitir a los productores avanzar hacia una mayor sostenibilidad, al proporcionar una evaluación rápida y eficiente que les permita identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas.

Las percepciones de los expertos han sido fundamentales para la construcción de este índice, permitiendo que se adapten las evaluaciones de sostenibilidad a las prioridades regionales. En este sentido, se identificaron como de alta relevancia factores como la rentabilidad, la diversificación de los productos comercializables, la capacitación en seguridad y salud, y el manejo adecuado de los recursos hídricos y la tierra.

El índice propuesto contribuye al avance hacia sistemas de producción más sostenibles y resilientes en el Chaco Seco, promoviendo una evaluación objetiva y

accesible que facilite la adopción de prácticas agrícolas más responsables y eficientes.

Implicaciones y recomendaciones

Los resultados obtenidos permiten avanzar hacia la construcción de herramientas simples y adaptadas al contexto local para evaluar de manera rápida la sostenibilidad de sistemas ganaderos extensivos en regiones vulnerables como el Chaco Seco. La priorización de indicadores económicos por parte de los expertos revela la necesidad de políticas públicas que integren incentivos económicos con prácticas de conservación ambiental y bienestar social. Se

recomienda utilizar el índice iSos como herramienta diagnóstica inicial en procesos participativos con productores, técnicos y formuladores de políticas, de igual modo es necesario ajustarlo periódicamente con base en datos empíricos y retroalimentación local. Asimismo, se sugiere explorar su integración con plataformas de monitoreo territorial y certificación ambiental para fortalecer su aplicabilidad práctica.

Declaración de conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de interés que puedan haber influido de manera inapropiada en la realización de este estudio o en sus conclusiones.

Aprobación por comité de ética: Este estudio no involucró experimentación directa con animales ni procedimientos que requirieran evaluación ética. Por tanto, no fue necesaria la aprobación de un comité de ética.

Contribución de los autores: DAOO conceptualizó y coordinó el estudio. PLPA y CALR realizaron la recolección de datos y contribuyeron al análisis. LAG y LKRN participaron en la revisión bibliográfica y redacción del manuscrito. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final del artículo.

Financiamiento: Este estudio fue financiado parcialmente por la Alianza para el desarrollo sostenible a través de WWF-Py. Las instituciones financiadoras no participaron en el diseño del estudio, la recopilación y análisis de los datos, ni en la redacción del manuscrito.

Agradecimientos: Los autores agradecen el compromiso de los productores rurales, el acompañamiento académico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción, y el respaldo de la Alianza para el Desarrollo Sostenible. Su dedicación a la forma de vida del productor chaqueño, la conservación ambiental y el avance científico ha sido clave para el desarrollo y éxito de este proyecto.

Editado por: Omar Araujo-Febres

Literatura Citada

- Adegbeye, M. J., Reddy, P. R. K., Obaisi, A. I., Elghandour, M. M. M. Y., *et al.* 2020. Sustainable agriculture options for production, greenhouse gasses and pollution alleviation, and nutrient recycling in emerging and transitional nations – An overview. *J.Clean.Prod.*242: 118319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118319>.
- Alary, V., Corbeels, M., Affholder, F., Alvarez, S., Soria, A., Valadares-Xavier, J., da Silva, F., Scopel, E. 2016. Economic assessment of conservation agriculture options in mixed crop-livestock systems in Brazil using farm modelling. *Agric. Syst.* 144: 33-45.
- Australian Sustainability Beef Framework. 2024. Annual Report. Disponible en: <https://www.sustainableaustralianbeef.com.au/> (Accedido en octubre de 2024).
- Barcellos, J. O. J., Suñe, Y. B. P., Semmelmann, C. E. N., *et al.* 2004. A bovinocultura de corte frente à agriculturização no sul do Brasil. In: *Ciclo de Atualização em Medicina Veterinária*. 11: 13-30.
- Bell, L. W., Moore, A. D., Thomas, D. T. 2021. Diversified crop-livestock farms are risk-efficient in the face of price and production variability. *Agric. Syst.* 189: 103050. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103050>
- Berger, J., Hartway, C., Gómez, H. 2017. Water availability and use by livestock in the Chaco. In: *South American Camelids Research*. Springer, Cham. pp. 189-198.
- Calicioglu, O., Flammini, A., Bracco, S., Bellù, L., Sims, R. 2019. The future challenges of food and agriculture: An integrated analysis of trends and solutions. *Sustainability*. 11(1): 222. <https://doi.org/10.3390/su11010222>



- CAN 2022. Censo Agropecuario Nacional. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección de Censos y Estadísticas agropecuarias -Paraguay. <https://www.datos.gov.py/dataset/censo-agropecuario-nacional-can-2022>. (Accessed in: January, 2025)
- Carvalho, P. C. F., Anghinoni, I., de Moraes, A., *et al.* 2010. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 88: 259–273.
- Carvalho, P. C. F., *et al.* 2018. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. *J. Anim. Sci.* 96(8): 3513–3525.
- Dinerstein, E., Bookbinder, M., Graham, D., *et al.* 1995. A conservation assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Dos Reis, J., Kamoi, M., Latorraca, D., *et al.* 2020. Assessing the economic viability of integrated crop-livestock systems in Mato Grosso, Brazil. *Renew. Agric. Food Syst.* 35(6): 631–642.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems (SAFA). Indicators. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/sustainability/sustainability-assessments-safa>
- Freitas, D. S., Oliveira, T. E., Oliveira, J. M. 2019. Sustainability in the Brazilian pampa biome: A composite index to integrate beef production, social equity, and ecosystem conservation. *Ecol. Indic.* 98: 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.012>
- Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., *et al.* 2013. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science.* 341(6141):33–34. <http://10.1126/science.1234485>
- Giraud, A. R., Bellocq, M. I. 2014. Avances en el conocimiento de la biodiversidad del Gran Chaco. *Rev. Asoc. Arg. Ecol. Paisajes.* 5(1): 43–57.
- Godfray, H. C. J. 2015. The debate over sustainable intensification. *Food Secur.* 7: 199–208.
- Grau, H. R., Gasparri, N. I., Aide, T. M. 2008. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. *Environ. Conserv.* 35(1): 62–72.
- Herrero, M., Thornton, P., Notenbaert, A., *et al.* 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science.* 327(5967): 822–825.
- Irisarri, J. G., Derner, J. D., Ritten, J. P., *et al.* 2019. Beef production and net revenue variability from grazing systems on semiarid grasslands of North America. *Livest. Sci.* 220: 93–99.
- Kassem, E., Trenz, O., Hřebíček, J., Faldik, O. 2017. Sustainability assessment and reporting in agriculture sector. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* 65(4): 1359–1369.
- Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., *et al.* 2014. Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecol. Soc.* 19(3): 46.
- Navarro, J. L., Hilgert, N. I., Quiroga, R. E. 2020. Efectos del cambio de uso de la tierra en la fauna silvestre del Gran Chaco Argentino: una revisión de la literatura. *Mastozool. Neotrop.* 27(2): 447–461.
- Ocampos, D. A., Paniagua, P. L., Alonzo Griffith, L. A., Portillo, G. A. 2023. Ciclo de carbono de los sistemas de producción de ganado vacuno de carne basados en pastos nativos en la zona del Pantanal del Chaco paraguayo. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 31(1): 103–114. <https://doi.org/10.53588/alpa.310107>
- Pérez-Lombardini, F., Mancera, K. F., Suzán, G., *et al.* 2021. Assessing sustainability in cattle silvopastoral systems in the Mexican tropics using the SAFA framework. *Animals.* 11(1): 109. <https://doi.org/10.3390/ani11010109>
- Saaty, T. L. 1990. How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process. *Eur. J. Oper. Res.* 48(1): 9–26.
- Schiere, J.B., Gregorini, P. 2023. Complexity, Crash and Collapse of Chaos: Clues for Designing Sustainable Systems, with Focus on Grassland-Based Systems. *Sustainability.* 15(5): 4356. <https://doi.org/10.3390/su15054356>
- SENACSA. 2024. Servicio Nacional de Calidad y Salud Animal. Archivos estadísticos históricos. Disponible en: <https://senacsa.gov.py/servicios/servicios-tecnicos/estadisticas/resumenes-estadisticos-historicos/> (Accessed in: January, 2025).
- Toro-Mujica, P., García, A., Gómez-Castro, G., *et al.* 2011. Sustainability of agroecosystems. *Arch. Zootec.* 60(229): 15–39.
- Van der Linden, A., de Olde, E. M., Mostert, P. F., de Boer, I. J. M. 2020. A review of European models to assess the sustainability performance of livestock production systems. *Agric. Syst.* 182: 102842.
- Vargas, R. V. 2010. Using the analytic hierarchy process (AHP) to select and prioritize projects in a portfolio. In: *PMI Global Congress.* 32(3): 1–22. Disponible en: http://iwave.ru/files/2272/ricardo_vargas_ahp_project_selection_en.pdf
- Wedekin, I. 2017. Economía da pecuária de corte. São Paulo: Wedekin Consultores. 180 p.