



Índice de sostenibilidad de las explotaciones de ganado bovino cárnico en la Sierra Norte de Puebla



José Luis Jaramillo-Villanueva ^{a*}

Lissete Abigail Rojas-Juárez ^a

^a Colegio de Postgraduados. Boulevard Forjadores de Puebla No. 205, Santiago Momoxpan, Municipio de San Pedro Cholula, 72760, Puebla, México.

* Autor de correspondencia: jaramillo@colpos.mx

Resumen:

Los desafíos que enfrentan los sistemas agroalimentarios a escala global, requieren de la formulación de estrategias que mejoren los rendimientos ganaderos para garantizar una producción eficiente, sin afectar el bienestar animal y, que simultáneamente mitiguen las presiones sobre los recursos naturales. El objetivo de este estudio fue evaluar la sostenibilidad de las explotaciones de ganado bovino cárnico mediante un indicador compuesto, útil para describir el desempeño de los sistemas ganaderos de la Región Norte de Puebla. Se utilizó el marco de evaluación de la sostenibilidad (SAFE) y un análisis de componentes principales, basado en una muestra de 120 productores de ganado bovino cárnico. Se generaron tres índices sintéticos de sostenibilidad (uno por cada dimensión: ambiental, económica y social) y uno global; se determinaron puntuaciones máximas y mínimas que se interpretaron en baja o alta sostenibilidad de las explotaciones ganaderas, categorizadas de acuerdo a la escala o finalidad productiva. Se utilizó análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados para generar y categorizar los índices. El procedimiento estadístico utilizado resultó adecuado. La prueba de esfericidad de Bartlett y Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) fueron significativas ($P \leq 0.05$). La dimensión ambiental alcanzó la puntuación más alta (64.5), seguida de la económica (62.3) y la social (44.6). Este estudio confirma que el fomento a la producción de ganado bovino bajo condiciones extensivas o semi-extensivas puede ser un referente para diseñar prácticas tecnológicas más sostenibles, que fomenten sistemas productivos resilientes y que permitan satisfacer las necesidades de desarrollo presentes y futuras.

Palabras clave: Sostenibilidad, Ganado bovino, Sistema extensivo, Índice global.

Recibido: 09/10/2025

Aceptado: 06/01/2026

Publicado: 06/03/2026

Introducción

La población mundial alcanzará 9,700 millones de personas en 2050 y 10,400 millones en 2100⁽¹⁾. Esto representa un desafío para los sistemas agroalimentarios a escala global. La creciente demanda de alimento deberá cubrirse con aumentos de productividad, con métodos sostenibles⁽²⁾. Al respecto, la Asamblea General de Naciones Unidas propusieron, dentro de los 17 objetivos de desarrollo sostenible, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos, y reducir los impactos negativos al medio ambiente mediante la adopción de prácticas agrícolas que fomenten sistemas alimentarios más resilientes y productivos⁽³⁻⁶⁾. Sin embargo, la transformación hacia prácticas agroalimentarias sostenibles incorpora varios enfoques y actores que interactúan en la gestión y conservación de recursos a fin de asegurar la satisfacción de necesidades presentes y futuras⁽⁷⁾. Entre ellos están los sistemas ganaderos, instituciones, tecnologías, y consumidores, así como impulsores externos (cambio climático, globalización, política)⁽⁸⁾. En este sentido, se requiere formular estrategias que mejoren los rendimientos ganaderos y simultáneamente mitiguen las presiones que generan estas actividades sobre los recursos ambientales⁽⁹⁾. Particularmente, el ganado aporta a las sociedades de todo el mundo productos ricos en proteínas, contribuye a la economía rural y apoya a otras actividades agrícolas⁽¹⁰⁾.

En México, la ganadería bovina de carne es muy relevante debido a que aporta a la seguridad alimentaria, la generación de empleo e ingresos en el sector⁽¹¹⁾ pero también se le atribuyen presiones como deforestación, pérdida de biodiversidad, emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación de suelo y agua; mismas que son consideradas como riesgos que amenazan la viabilidad económica, la seguridad alimentaria, el bienestar animal y la salud pública^(12,13). En ese marco, alcanzar la sostenibilidad de las explotaciones ganaderas es encontrar la combinación ideal de viabilidad económica para los productores, solidez ambiental y aceptabilidad social al respetar a los animales y a los humanos⁽¹⁴⁾, de tal manera que mantenga un desempeño ambientalmente sostenible y un comportamiento responsable⁽¹⁵⁾.

Actualmente, la producción de becerros para engorda, bajo un sistema extensivo, se concentra en las regiones las tropicales de México, siendo éstas, las principales proveedoras

en las que se ha implementado sistemas pastoriles a base de monocultivo⁽¹⁶⁾. De continuar bajo este sistema de producción, a largo plazo se podrían generar importantes impactos como la reducción de la diversidad genética vegetal, degradación de suelos y aumentos en la demanda de insumos⁽¹⁷⁾. Por tanto, el sector ganadero mexicano necesita implementar estrategias que vinculen las dimensiones de la sostenibilidad y guiar hacia un futuro más sostenible de la producción de carne⁽¹⁸⁾.

Considerando que existen muchos factores que influyen en la sostenibilidad, se torna complejo el incluir y cuantificar las cuestiones ambientales, económicas y sociales^(19,20). Al respecto, diversos estudios han propuesto variedad de herramientas para evaluar la sostenibilidad de sistemas de producción ganadera^(21,22), entre los que se encuentran: Evaluación del ciclo de vida, Análisis de costo-beneficio, Evaluación del impacto ambiental y Estándares de sostenibilidad con principios, criterios e indicadores⁽²³⁾.

En México se han registrado estudios que evalúan la sostenibilidad de sistemas de ganado lechero y doble propósito; sin embargo, existe un número limitado sobre producción de carne. En la región Zoque de Chiapas se realizó una evaluación para explotaciones de ganado lechero, los autores⁽²⁴⁾, señalaron que es necesaria una metodología que identifique los cambios y sus posibles consecuencias para definir estrategias de intervención. Otro estudio de sistemas ganaderos de doble propósito en Yucatán señaló la necesidad de promover una ganadería con bajo impacto ambiental y propuso generar más información para generar políticas e incentivos para una producción ganadera sustentable⁽²⁵⁾. En un análisis de ranchos ganaderos lecheros en la Costa de Oaxaca se planteó una evaluación de los agroecosistemas y proporcionaron una estimación de la sostenibilidad de cada rancho, identificando que los factores que afectan la rentabilidad fueron el alimento, la mano de obra y los combustibles⁽²⁶⁾.

A pesar de la importancia económica y social de la ganadería bovina carne, la revisión de literatura mostró resultados escasos sobre la sostenibilidad de sistemas ganado carne en México, sin embargo la literatura internacional ofrece guía para el estudio de la sostenibilidad mediante índice compuesto y métodos holísticos de la sostenibilidad integrando las dimensiones ambiental, económica y social⁽²⁷⁾. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la sostenibilidad de las explotaciones de ganado bovino cárnico mediante un indicador compuesto, útil para describir el desempeño de los sistemas ganaderos en Puebla México.

Material y métodos

Para evaluar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos este estudio se basó en una metodología en tres etapas⁽²⁸⁾:

Etapa 1. Selección de indicadores de sostenibilidad

Se utilizó el marco “Evaluación de la Sostenibilidad de la Agricultura y el Medio Ambiente” o SAFE (Sustainability Assessment of Farming and the Environment Framework)⁽²⁹⁾, que sugiere un marco jerárquico. Este se basó en los bienes y servicios que proporcionan los ecosistemas agrícolas/ganaderos, dando como resultado el primer nivel jerárquico; los principios o dimensiones (económica, social y ambiental). A partir de estos principios se derivaron los “criterios” o segundo nivel de la jerarquía. Los criterios son los estados resultantes de los agroecosistemas cuando los principios son respetados y conducen a la sostenibilidad.

Para aplicar este marco teórico a los estudios de caso, se comenzó elaborando un catálogo de criterios e indicadores de sostenibilidad ganadera para cada una de las dimensiones o “principios” de sostenibilidad. Este catálogo se basó en una revisión de la literatura, de la cual se recopilaban los criterios e indicadores utilizados en estudios previos realizados por investigadores individuales. A partir de este catálogo, se realizó la selección de los indicadores base, considerando la factibilidad técnica y económica. Los criterios de no inclusión fueron indicadores que presentaban un grado alto de complejidad técnica y no estaban al alcance en términos de presupuesto. Mediante este procedimiento se obtuvo una jerarquía que comprendía tres principios, nueve criterios y nueve indicadores (Cuadro 1).

Cuadro 1: Definición de indicadores de sostenibilidad de las explotaciones de ganado bovino cárnico en la Sierra Norte de Puebla

Dimensiones	Criterios	Indicadores	Definición
Económico	Garantía de ingreso de los ganaderos	Relación beneficio costo	-Mide la relación que existe entre los costos y los beneficios. Se obtuvo dividiendo ingreso promedio anual por venta de ganado entre los costos promedios totales. (\$/unidad pecuaria).
	Minimización de dependencia externa	Autonomía Laboral	-Hace referencia a la dependencia del factor externo de mano de obra mostrando el nivel de autosuficiencia laboral (en mayor o menor grado) de la explotación.
	Minimización del impacto de riesgos	Autonomía Alimentaria	-Muestra la dependencia de insumos (concentrados y suplementos) que no son cubiertos con pastoreo determinando autosuficiencia alimentaria en mayor o menor grado.
Ambiental	Formación de capital humano	Carga ganadera	Mide el grado de intensificación de las ganaderías mostrando la relación entre la cantidad de animales y la superficie ganadera (UA/ha/año).
	Condiciones óptimas de trabajo	Fertilizante	Indica si los productores aplican sustancias químicas para mejorar las características del suelo y permitan el desarrollo de mejor pastoreo (SÍ/NO).
		Sistema de producción	Muestra la disponibilidad de espacio cerrado o abierto al alimento, consumo de agua, acceso a refugios y cuidado en mayor o menor grado.

Social	Minimizar el deterioro de la biodiversidad	Escolaridad	Se refiere al nivel de formación de la persona titular de la explotación ganadera mostrando su capacidad de adaptación (mayor o menor grado).
	Mantenimiento de la calidad física/química del suelo	Experiencia	Cuantifica los años de experiencia de la actividad ganadera considerando que productores más jóvenes pueden aceptar participar en programas de formación (mayor o menor grado).
	Minimización del gasto energético	Rotación	Muestra la práctica de contener y mover animales de los pastos en beneficio de la salud del suelo, plantas y animales (SÍ/NO).

Una vez que se determinó el número de indicadores, se requirió de información primaria derivada de entrevistas directas a productores. Se aplicaron encuestas en los municipios: Francisco Z. Mena, Pantepec, Venustiano Carranza, Xicoteppec, Jopala y Jalpan ubicados de la Sierra Norte de Puebla, los cuales registran el 14 % de las unidades de producción pecuarias a nivel estatal y 60 % a nivel de la Sierra Norte⁽³⁰⁾ y que se dedican a la producción de ganado bovino en pie y engorda principalmente, bajo sistemas extensivos o semi extensivos basados en pasturas^(31,32). A partir de un marco de población ganadera de 4,453 unidades de producción, se utilizó un muestreo aleatorio simple con un nivel de confianza del 95 % y una precisión del 5 %. De 185 productores ganaderos, se obtuvo una muestra representativa de 120 entrevistas, que se calculó mediante la fórmula de muestreo aleatorio para poblaciones finitas⁽³³⁾. Se utilizó un cuestionario estructurado en tres secciones; características sociodemográficas de los titulares de las unidades de producción; características técnicas y productivas de las explotaciones ganaderas, y los costos e ingresos de las unidades de producción. Los nueve indicadores seleccionados describen las características de todo el ciclo productivo ganadero.

Para la construcción del Índice Compuesto Global, se inició con la integración de los indicadores relativos al pilar económico que determinarían la viabilidad económica en función de los ingresos y la autonomía financiera derivada de la dependencia de factores externos que se pueden tener en el sistema (trabajo e insumos); para el pilar ambiental se delimitó a indicadores que consideran la carga ganadera, el uso de fertilizantes y el aprovechamiento de los recursos naturales, que afectan la calidad de conservación de suelo y causan un efecto dañino en la conservación de los recursos naturales. Para el pilar social se describieron las características individuales de los productores relacionados con aspectos sociodemográficos como la escolaridad, experiencia y prácticas de rotación que ayudan a mejorar el bienestar animal y del suelo.

Etapa 2. Análisis multivariado

Previo a realizar el análisis de componentes principales (ACP), los índices estuvieron expresados en diferentes escalas, por lo que se procedió a estandarizarlos o normalizarlos y así, evitar valores extremos y adecuarlos a los requerimientos del método ACP. La normalización fue con cambio de magnitud a escala fija, y para ello se utilizó el método de

normalización min-max que transforma a una escala cero a uno (0-1). En tal sentido, la distribución original se mantuvo y los indicadores seleccionados se clasificaron hacia un valor máximo X_{\max} (1) para que se evidenciara un valor de “cuanto mayor mejor” o más sostenible, y viceversa mínimo X_{\min} “cuanto menor peor” o poco sostenible (0). El Cuadro 2 describe las variables y los indicadores de cada pilar.

Cuadro 2. Indicadores y variables de sostenibilidad de las explotaciones de ganado bovino cárnico en la Sierra Norte de Puebla

Índice	Variables	Mínimo	Máximo	Media	Error Est.	Desv. Est.
Económico	Relación beneficio costo	0.6	5.2	2.05	0.092	0.962
	Autonomía laboral	0.0	1.0	0.55	0.048	0.500
	Autonomía alimentaria	0.4	0.9	0.79	0.011	0.112
Ambiental	Carga ganadera	0.1	1.0	0.80	0.027	0.286
	Fertilizante	0.0	1.0	0.94	0.023	0.245
	Sistema de producción	0.0	1.0	0.91	0.023	0.236
Social	Escolaridad	0.0	1.0	0.53	0.025	0.258
	Experiencia	0.0	1.0	0.42	0.022	0.229
	Rotación	0.5	1.0	0.53	0.012	0.123

Posteriormente, dentro del programa SPSS (versión 18) y a partir de la matriz de variables originales con valores normalizados, se procedió a estandarizar las variables para obtener los índices, Z_1, Z_2, \dots, Z_p no correlacionados especificando su variación de forma ordenada: $\text{Var}(Z_1) \geq \text{Var}(Z_2) \geq \dots \geq \text{Var}(Z_p)$. Una vez estandarizados los índices, se procedió a la prueba estadística ACP para obtener una representación simplificada (menor dimensión) para cada uno de los indicadores correlacionados (X_1, X_2, \dots, X_p). Se obtuvo la matriz de correlaciones, los estadísticos KMO y Bartlett, las comunalidades, la varianza total explicada de cada componente y la matriz de componentes. Se extrajo un componente que representó el índice de sostenibilidad respectivo. Posterior al análisis de cada índice se verificó que se cumplieran cuatro condiciones, primero, que el estadístico KMO fuera mayor a 0.5 y que la prueba de Bartlett fuera significativa ($P \leq 0.05$); segundo, las variables presentaran alta comunalidad (extracción > 0.5); tercero, que el componente presentara un porcentaje alto de varianza total explicada y finalmente cargas factoriales altas en el componente seleccionado.

Etapa 3. Cálculo de índices de sostenibilidad

Una vez determinados los factores económico, social y ambiental del ACP, se observaron valores con un rango de variación negativos (mínimo) a positivos (máximo), por lo que se procedió a transformar nuevamente en una escala de 0 a 100 ($N(X_q) = (X_q - X_{\min}) / (\text{valor obtenido} / \text{valor máximo} * 100)$) para cada uno de los factores. Dados los resultados de los índices obtenidos del ACP, en escala de 0 a 100, el valor medio del índice compuesto de

sostenibilidad en las explotaciones de ganado bovino cárnico en relación a su escala productiva (pequeños, medianos y grandes productores) o a su finalidad (cría, engorda y mixto) de la Sierra Norte de Puebla se determinaron los índices de sostenibilidad económica, social y ambiental. Por último, para precisar el índice sintético de la sostenibilidad fue necesario asumir igual importancia de cada una de las tres dimensiones, por lo que se sumaron los valores de los tres índices y la sumatoria se dividió entre tres. Una vez obtenido el índice sintético de sostenibilidad (global) se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar posibles diferencias estadísticas entre los diferentes estratos (pequeños, medianos, y grandes) y finalidad productiva (cría, engorda, mixto).

Resultados y discusión

Los principales resultados del ACP para generar los índices económico, ambiental y social se muestran en Cuadro 3. El test KMO mostró que existe una proporción de varianza común entre las variables suficiente para que la muestra sea adecuada para el ACP. Debido a que el test de Bartlett fue significativo ($P < 0.05$), entonces, las variables están suficientemente correlacionadas. Con respecto a la varianza total explicada, esta fue alta, entre 75 y 78 % de la variación total del conjunto de datos original se conserva en la componente principal generada⁽³⁴⁾. Resultados en la misma dirección fueron reportados en un estudio sobre evaluación de sistemas pecuarios en México.

Cuadro 3: Principales resultados del ACP para la obtención de los factores

Dimensiones	Variab les iniciales	COM	KMO test	Bartlett test	VE	MC
Índice económico	Rentabilidad	0.625	0.58	Sig. (0.007)	75.34	.724
	Autonomía laboral	0.614				.717
	Autonomía alimentaria	0.558				.599
Índice ambiental	Carga animal	.538	0.57	Sig. (0.011)	74.95	.734
	Fertilización	.569				.607
	Sistema de producción	.571				.686
Índice social	Escolaridad	.620	0.65	Sig. (0.001)	78.2	.788
	Experiencia	.512				.716
	Rotación	.520				.565

COM = comunalidades; VE= varianza explicada; MC= matriz de componente.

En este estudio, se extrajo solo un componente, que representó cada uno de los tres índices (económico, ambiental y social). Los valores en el Cuadro 3 muestran comunalidades altas, es decir, que cada variable está bien representada por el modelo de componentes. Además, la matriz de componentes expresa cargas factoriales altas, que son las correlaciones entre las variables originales y cada nuevo componente principal, indicando qué variable es más relevante para definir el factor; en el caso del índice económico, la variable más relevante fue la rentabilidad; en el caso del índice ambiental fue la carga animal, y para el índice social fue los años de escolaridad. Diferentes trabajos sobre construcción de índices sintéticos de sostenibilidad han mostrado adecuación de los datos a la técnica de ACP^(35,36).

Sostenibilidad económica

Los datos del Cuadro 4 demuestran que, el estrato de pequeños productores y el sistema cría en esta región obtuvieron la mayor puntuación (73.06 y 66.74) del índice económico. Como se refiere en la investigación de factores que definen la rentabilidad en sistemas de producción de ganado bovino en pequeña escala de Michoacán⁽³⁷⁾ el cálculo de la renta en una empresa agropecuaria se basa en la determinación de los costos de producción, los cuales pueden afectar de manera positiva o negativa la rentabilidad de la misma. En este sentido, los costos de producción de este estudio, son similares a lo encontrado en tal estudio, ya que presentaron diferencias significativas entre las unidades de producción debido a que dependen de la cantidad y precios de los insumos utilizados en el proceso productivo que cada una realiza, reportando ingresos por venta de cría que oscilan entre \$ 9,000 a \$12,000 mensuales, así como un valor de \$ 280/kg por becerro de engorda. Estos hallazgos también concuerdan con lo mencionado en la caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México⁽³⁸⁾, en el cual la relación beneficio-costos varía entre unidades de producción, ya que dependen de las utilidades generadas y de los costos totales de producción.

El factor de autonomía laboral representa la autosuficiencia del uso del factor externo (mano de obra), que tienen los pequeños productores de ganado en la región, derivado de que ellos mismos son quienes realizan las actividades de alimentación y manejo del ganado. Esto coincide con lo descrito en el trabajo sobre la contribución de la ganadería familiar en los aspectos económicos de las familias rurales en la sierra Norte de Puebla⁽³⁹⁾, el cual, menciona que la producción animal de la región involucra al titular y a los integrantes de la familia (generando autoempleo) contratándose excepcionalmente o por temporadas, mano de obra externa asalariada para el manejo y cuidado animal, y resalta que en muchos casos la mano de obra femenina no recibe retribución económica alguna.

Cuadro 4: Estadísticos descriptivos de los índices de sostenibilidad por estrato y finalidad de las explotaciones de ganado bovino cárnico en la Sierra Norte de Puebla

Índice	Estrato/ Finalidad	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Económico	Pequeño	73.06	19.88	5.89	99.95
	Mediano	43.72	17.75	0.00	66.98
	Grande	37.53	14.17	8.54	53.72
	Cría	66.64	21.65	9.54	99.95
	Engorda	58.07	8.16	49.65	70.00
	Mixto	22.04	21.32	0.00	66.36
	Compuesto	62.29	24.10	0.00	99.95
Ambiental	Pequeño	66.80	21.00	0.00	99.96
	Mediano	60.67	25.58	0.00	83.50
	Grande	58.93	21.74	0.00	83.50
	Cría	67.54	20.03	0.00	99.96
	Engorda	49.42	25.68	16.43	83.50
	Mixto	48.35	27.59	0.00	83.50
	Compuesto	64.49	22.08	0.00	99.96
Social	Pequeño	43.57	18.89	5.21	99.93
	Mediano	45.53	21.19	13.18	99.31
	Grande	47.73	22.10	0.00	93.49
	Cría	43.63	18.99	0.00	99.93
	Engorda	49.90	25.13	5.21	87.97
	Mixto	48.64	22.01	22.99	99.31
	Compuesto	44.55	19.69	0.00	99.93

Particularmente en este estudio se registró que el 91 % de los titulares de las explotaciones ganaderas son hombres y el 9 % son mujeres, esto es semejante a lo encontrado en explotaciones ganaderas del distrito de Santa Cruz de Turrialba, Costa Rica⁽⁴⁰⁾ donde la participación y el rol de las mujeres en la actividad ganadera es muy reducida, y a pesar de no estar registradas sus actividades, cuentan con el conocimiento y un hábil desempeño en las labores de la ganadería, como la alimentación y el cuidado del hato.

Asimismo, el estudio de competitividad de la ganadería de doble propósito realizado en la Costa de Oaxaca, México⁽⁴¹⁾ confirma que el costo de los recursos domésticos está sesgado en contra de las actividades que dependen en gran medida de los factores internos, como lo es, en este caso, la mano de obra; por tanto, las ventas son suficientes para pagar los gastos de operación pero no los gastos por mano de obra, lo que podría explicar la baja rentabilidad de los pequeños productores.

Con respecto a la autonomía alimentaria de este estrato, denotó una reducida dependencia de insumos externos, debido a que la mayoría de los productores basan la alimentación en pastoreo. Esto coincide con lo reportado en el análisis técnico económico de sistemas de

bovinos doble propósito en Tejupilco, Estado de México que basan la alimentación de los animales en pastoreo y mencionan que son muy pocos los productores que proporcionan alimento debido a los precios altos por estos insumos concentrados⁽⁴²⁾, También concuerda con lo reportado en el estudio integral sobre sostenibilidad de la ganadería lechera tropical en Oaxaca⁽²⁶⁾, en donde los sistemas de producción más pequeños mostraron una menor dependencia de la alimentación comprada.

En caso contrario, como se observa en el Cuadro 4, el estrato de productores grandes de ganado bovino, representó el valor medio del índice de sostenibilidad económica más bajo de 37.53 indicando que, a pesar de obtener una mejor rentabilidad, se vió afectada su autonomía laboral y alimentaria a causa de los elevados costos de mano de obra y el uso de otros concentrados y suplementos. Esto último se reafirma con lo presentado en el estudio de impactos de los precios de granos forrajeros y precios de la carne en Estados Unidos, el cual enfatiza que los costos de producción aumentan drásticamente para el sector ganadero afectando primordialmente en corrales de engorda⁽⁴³⁾, el cual impacta directamente el índice económico de sostenibilidad de este estrato.

Con respecto a la finalidad, como se mencionó anteriormente, el índice de sostenibilidad económica para la cría de ganado bovino en la Sierra Norte de Puebla, centrada en el cuidado y alimentación temprana de los terneros, fue el más alto (66.64) a consecuencia de que la rentabilidad era mayor tanto para las explotaciones de mayor productividad como para las que obtuvieron mejores precios de venta por becerro de calidad; y también derivado de que reportaron bajo requerimiento de insumos (mano de obra y alimentación) para su producción, basando su sistema de cría en el consumo de pasturas y forraje fresco de la explotación; esto es compatible con lo encontrado en la evaluación técnico-productiva de sistemas de producción de ganado bovino en la región de Amazonas⁽⁴⁴⁾, el cual refiere que los bovinos como animales forrajeros por naturaleza, tanto las pasturas como los forrajes se convierten en los alimentos principales con las que cubren todas sus necesidades clave para la nutrición del ganado de este sistema.

En términos generales, los resultados obtenidos del índice de sostenibilidad económica muestran similitud a los encontrados en la evaluación de estrategias para mejorar la sostenibilidad ambiental y económica de los sistemas de producción de vacas y terneros en Kansas, EE. UU.⁽⁴⁵⁾, en el cual se determinó que, el forraje es el principal recurso alimenticio y generalmente el más económico que mejora la eficacia del sistema y conlleva un impacto significativo en la sostenibilidad económica.

Sostenibilidad ambiental

Continuando con el Cuadro 4, con respecto al valor medio del índice de sostenibilidad ambiental, el estrato de pequeños productores obtuvo la mayor puntuación (66.8), presentando baja carga ganadera en las explotaciones y baja aplicación de fertilizantes. Por tanto, se infiere que la producción basada en el sistema extensivo, permite el aprovechamiento de los recursos naturales y otorgan capacidad a los animales para alimentarse por sí mismos a través del pastoreo. Esto se basa en estudios de evaluación de sostenibilidad ambiental^(46,47), en los que sostienen que, este tipo de prácticas y la alimentación basada en sólo forraje son estrategias que permite aumentar la tasa de ganancia de peso de los animales al no utilizar sustancias o tratamientos adversos que afecten la salud animal, por lo que generan calidad de la carne en la producción; y que el mantenimiento de estos hábitats de pastizales seminaturales gracias a la gestión extensiva y adecuada del pastoreo, es clave para mantener esos hábitats y su rica biodiversidad.

Con respecto al índice de sostenibilidad ambiental relacionado a la finalidad, también, la cría mostró el mejor desempeño (67.5), dado que su carga ganadera no presenta altos niveles de intensificación respetando la UA/ha/año. Lo anterior es porque reportaron que la permanencia de la lactancia dentro del sistema extensivo es de 8 o 12 meses, y que tampoco realizan aplicación de fertilizantes para el bienestar de la cría. De acuerdo con estudios que han evaluado los impactos ambientales del ganado en pastoreo^(48,49), estas acciones como el aprovechamiento del sistema pastoral para la cría, conlleva principios sostenibles que reducen las presiones ambientales, al no generar una intensificación a través de los incrementos en la capacidad de carga animal por unidad de superficie; también mencionan que una gestión adecuada del pastoreo de las explotaciones ganaderas protegen los ecosistemas y los espacios abiertos al apoyar la conservación de pastizales.

En este contexto, los resultados coincidieron con la evaluación de la sustentabilidad de las explotaciones de ganado en el trópico mexicano⁽²⁵⁾, en el que sugiere que las granjas de ganado en pequeña escala son las más sustentables, debido a efectos positivos como lo es la conservación de la biodiversidad.

Sostenibilidad social

Específicamente, la variable escolaridad, obtuvo mayor peso dentro del análisis del índice de sostenibilidad social, arrojando una puntuación baja para los tres estratos (pequeño, mediano y grande). Esto deduce una baja sostenibilidad relacionada directamente con el bajo nivel de formación del productor, en el que sólo el estrato de grandes productores (47.7), llegó a presentar un promedio de escolaridad y experiencia equivalente a 10 y 29 años, respectivamente. Estos resultados muestran a una población relativamente educada con

estudios a nivel secundaria con suficiente experiencia, el cual pudiera influir directamente en la disponibilidad de los titulares en adoptar nuevas tecnologías para la producción. Esto coincide con lo reportado en el estudio de ganadería bovina para carne en la Sierra Norte de Puebla en el que los dueños de las unidades de producción tenían un promedio de escolaridad de 8 años y la experiencia de los productores ganaderos era de 27 años⁽³¹⁾; así como en los sistemas productivos de bovinos criollos en Campeche, México⁽⁵⁰⁾, el cual presentaron un promedio de escolaridad de 13 años y 25 años de experiencia en la actividad ganadera.

Desde este punto de vista, tanto el índice tecnológico como el conocimiento de la actividad por parte de los productores, son factores que permiten el uso eficiente de la mano de obra y aprovechar estas ventajas comparativas del capital humano proporcionando a los sistemas de gran escala la posibilidad de mantener el sistema de producción⁽⁵¹⁾.

Para el índice de sostenibilidad social la finalidad de engorda representó el mejor desempeño (49.9) a comparación de la finalidad de cría y mixto; este segmento representa al 13 % de los productores de la región, quienes cuentan con alto grado de formación, experiencia y realizan buenas prácticas como la rotación. Estos resultados coinciden con el estudio de engorda de ganado vacuno⁽⁵²⁾ donde enfatizan que las personas alfabetizadas participan más en el negocio de engorda. También es similar a la descripción de productores de engorda de ganado en el distrito de Mymensingh⁽⁵³⁾, en el que un alto nivel educativo no implica limitaciones para adquirir habilidades técnicas y empresariales, así como para mejorar sus medios de vida; al contrario, la educación amplía las perspectivas de las personas, impulsándolas a ser progresistas e innovadoras para un mejor rendimiento en el engorde de su ganado.

Lo anterior confirma lo encontrado en el estudio de la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas ganaderos del trópico mexicano⁽²⁵⁾, al reconocer que a mayor conocimiento y capacitación como factores clave en los sistemas, permiten mejorar la sostenibilidad en las fincas. Y con el estudio de sostenibilidad de ganado lechero en Zoque Chiapas⁽²⁴⁾ en donde el fortalecimiento de las capacidades de las prácticas técnico-económicas del manejo del hato, permite implementar nuevas estrategias para aumentar la eficiencia, la productividad y las ganancias de las unidades de producción.

En cuanto a los resultados del análisis ANOVA (Cuadro 5) por estrato productivo, demostraron que la sostenibilidad económica fue significativa ($P \leq 0.05$) en el cual, los estratos de grandes y medianos productores formaron un subconjunto homogéneo; mientras que en la sostenibilidad ambiental y social no existió diferencia en ningún estrato; y por finalidad productiva mostraron que la sostenibilidad económica y ambiental contaban con diferencia significativa ($P \leq 0.05$) en el cual, las finalidades de cría y engorda formaban un subconjunto homogéneo; mientras que en la sostenibilidad social no existió diferencia entre los tipos de finalidad. Investigaciones sobre sostenibilidad de ganado bovino también identificaron diferencias significativas entre sistemas productivos^(24,25).

Cuadro 5: ANOVA del índice global y sus dimensiones por finalidad y estratos productivos

Índice/subíndice	Finalidad productiva			Estratos productivos		
		Media	DE		Media	DE
Índice económico	Cría	66.64 ^a	21.65	Pequeño	73.06	19.88
	Engorda	58.07 ^a	8.16	Mediano	43.72	17.75
	Mixto	22.04 ^b	21.32	Grande	37.53	14.17
Índice ambiental	Cría	67.54 ^b	20.03	Pequeño	66.80	21.00
	Engorda	49.42 ^a	25.68	Mediano	60.67	25.58
	Mixto	48.35 ^a	27.59	Grande	58.93	21.74
Índice social	Cría	43.63 ^a	18.99	Pequeño	43.57	18.89
	Engorda	49.90 ^a	25.13	Mediano	45.53	21.19
	Mixto	48.64 ^a	22.01	Grande	47.73	22.10
Índice global	Cría	59.27 ^a	11.20	Pequeño	61.14 ^b	11.20
	Engorda	52.46 ^a	11.17	Mediano	49.98 ^a	11.17
	Mixto	39.68 ^b	12.67	Grande	48.06 ^a	12.67

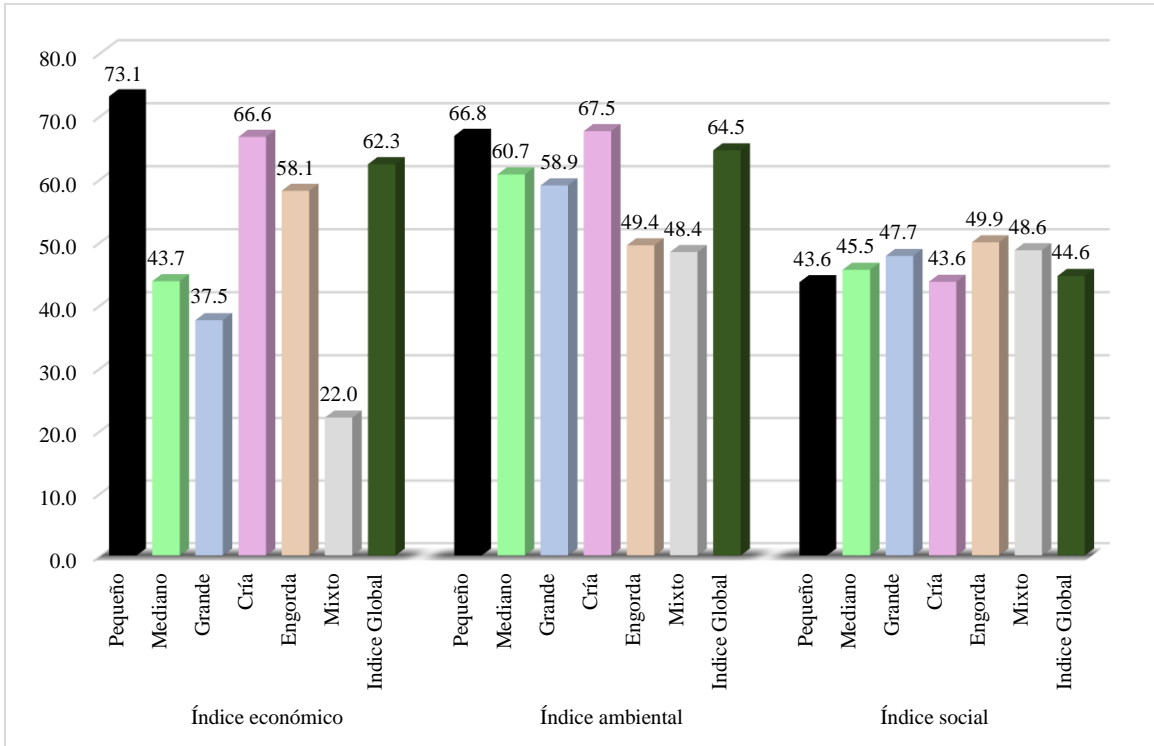
DE= desviación estándar.

^{ab} Letras iguales en la misma columna son significativos (pertenecen al mismo grupo).

Índice Compuesto Global

El Índice Compuesto Global, resultado del promedio de los subíndices, fue de 57.11 puntos, destacando que el valor medio del subíndice de sostenibilidad ambiental fue la puntuación más alta (64.5), seguida de la económica (62.3) y la social (44.6) (Figura 1). Este valor medio de las tres dimensiones de las explotaciones de ganado bovino cárnico en la Sierra Norte de Puebla, confirma que es necesario el fomento a la producción de ganado bovino bajo condiciones extensivas o semi-extensivas, ya que puede ser un referente para diseñar prácticas tecnológicas más sostenibles que permitan aprovechar oportunidades de mejora para incrementar su valor⁽⁵⁴⁾, fomentando sistemas productivos más resilientes^(6,19) que permitan satisfacer las necesidades de desarrollo presentes y futuras.

Figura 1: Índice de sostenibilidad por estratos, finalidad y global de explotaciones ganaderas en la Sierra Norte de Puebla



Considerando que, en México, existen investigaciones enfocadas en la sostenibilidad de los sistemas ganaderos⁽⁵⁴⁾ que se concentran en análisis generales de sostenibilidad con respecto a, emisiones GEI, sistemas lecheros, doble propósito y silvopastoriles, evaluados con diferentes metodologías, resulta necesario realizar más investigaciones en torno a la ganadería bovina de carne, que permitan confirmar o rechazar las hipótesis de este estudio o bien, se puedan proponer nuevas direcciones de investigación; por ello es necesario apoyarse de la bibliografía internacional.

En este contexto, los resultados encontrados de esta investigación fueron similares a la evaluación de sostenibilidad de los sistemas ganaderos en Brasil, que incluyeron variables semejantes para los indicadores de sostenibilidad; el capital, sistema de producción, capacidad de carga, educación y conocimientos, mismas que fueron consideradas en este estudio. También indicaron que los sistemas de producción integrados con la agricultura de cereales no eran más sostenibles económicamente a diferencia de los exclusivos a la actividad, que para lograr la sostenibilidad ambiental era importante mantener y promover sistemas ganaderos que se desarrollen exclusivamente en pastizales. Finalmente, indicaron que la falta de educación y conocimiento de los productores se convierten en debilidades de los sistemas ganaderos, y concluyen que cuanto mayor sea la calidad de las prácticas de

producción implementadas en los sistemas, mayor será la sostenibilidad global del sistema⁽⁵⁵⁾.

El análisis de varianza del índice global, por estrato y finalidad productiva se reporta en el Cuadro 5. Por finalidad productiva se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Cría y engorda tienen una media de sostenibilidad estadísticamente igual (pertenecen a un mismo grupo) y son estadísticamente diferentes a la media de sostenibilidad del grupo de productores con finalidad productiva mixta. En cuanto a tamaño, los estratos mediano y grande pertenecen a un mismo grupo, que es estadísticamente diferente al estrato de pequeños productores. Con propósitos de atención económica y técnica, estas diferencias sugieren estrategias diferenciadas. Sobre este punto, diversos estudios resaltan algunas estrategias de acción que permitirían alcanzar un mejor índice de sostenibilidad global: el análisis económico de engorda de ganado vacuno⁽⁵²⁾ denotan que para recomendar estrategias específicas para la mejora de la gestión del ganado vacuno y predecir el efecto de un sistema de producción mejorado en el sustento de los ganaderos, es importante comprender primero los factores socioeconómicos que impulsan a los miembros a emprender esta actividad, como la edad, nivel educativo, años de experiencia, duración de la engorda. Otro estudio sobre eficiencia técnica en la ganadería China⁽⁵⁶⁾ sobre el uso de piensos, considerara que el alimento es un factor importante en el proceso de crianza y engorda de los sistemas de producción, por lo tanto, la calidad de este insumo refleja en mayor o menor medida la ganancia de peso del animal pero, propone una estrategia diferenciada en centrarse en la eficiencia técnica del uso del alimento, es decir, en atender la capacidad de gestión del uso del alimento del productor en lugar de la calidad del alimento.

Por otra parte, el análisis de sostenibilidad de los sistemas ganaderos⁽⁵⁴⁾ también se menciona que los aspectos relacionados al bajo costo de la alimentación y al bajo impacto ambiental generado por la libre movilidad de los sistemas como lo encontrado en este estudio⁽⁵⁴⁾, son esenciales para el éxito de la actividad; en este sentido se sugiere que se deben aprovechar las ventajas comparativas que generan las explotaciones de ganado bovino cárnico en la Sierra Norte de Puebla. Estas perspectivas, no difieren de lo encontrado en la evaluación de la sostenibilidad en la producción de ganado vacuno de pequeña escala en Sudáfrica⁽⁵⁷⁾, cuyas dimensiones sociales y ambientales del sistema también fueron parcialmente sostenibles, enfatizando que es necesaria una mejor capacitación en estrategias holísticas del manejo de pastos naturales y ganado, esencial para la mejora del agroecosistema, y sugiere prácticas de mejora para los estratos de pequeños productores.

Finalmente, se menciona que la necesidad de generar este tipo de indicadores pueden aumentar la probabilidad de persistencia de estas empresas ganaderas a lo largo del tiempo⁽⁵⁸⁾, lo que permitiría tender hacia la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas de ganadería de carne, dentro del cual la dimensión económica se enfoque en combinar su valor de producción (ganado) y la generación de capital a largo plazo sin ser destructiva; la

dimensión ambiental considere mejoras de las operaciones para minimizar los impactos de la fauna y preserve su valor recreativo (belleza), y; la dimensión social busque el desarrollo y cuidado del capital humano para obtener una mejor calidad de las decisiones con el objetivo de crear valor a largo plazo.

Conclusiones e implicaciones

Los resultados de la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas ganaderos en la Sierra Norte de Puebla, muestran que, la dimensión ambiental en la producción de ganado bovino bajo condiciones extensivas o semi-extensivas presenta mayor sostenibilidad alcanzando la mejor puntuación, seguida de la sostenibilidad económica y finalmente la social. En la dimensión económica de los sistemas se pueden diseñar estrategias que mejoren la eficiencia técnica que busquen optimizar el uso de insumos como piensos y mano de obra para mejorar la situación. En la dimensión social, las puntuaciones mínimas pueden optimizarse con mejoras en formación profesional y capacitación para aprovechar las externalidades positivas del agroecosistema en que se desenvuelven. Este trabajo puede ser un referente para desarrollar prácticas más sostenibles para que el índice global mejore y sea lo más cercano a su óptimo, y fomente sistemas productivos resilientes que permitan satisfacer las necesidades de desarrollo presentes y de futuras generaciones. Cabe puntualizar que, la necesidad de abordar la evaluación de los sistemas productivos que involucran elementos de la sostenibilidad son herramientas que contribuyen a mitigar impactos negativos al medio ambiente y en beneficio de la salud humana.

Literatura citada:

1. UN. United Nations. Peace, dignity and equality on a healthy planet. Population. Our growing population. New York, USA. 2024. <https://www.un.org/en/global-issues/population>. Accessed January 2025.
2. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sustainable Food and Agriculture. 20 actions to guide decision-makers; 2025. <https://www.fao.org/sustainability/es#:~:text=La%20alimentaci%C3%B3n%20y%20la%20agricultura%20sostenibles%20contribuyen%20a%20los%20cuatro,%E2%80%94a%20ambiental%20social%20y%20econ%C3%B3mica>. Accessed May 20, 2025.
3. Kapa MJM, Soemarno, Bagyoyanuwiyadi S. Sustainability status of biology dimension of local beef cattle development in the dryland region, Indonesia. *J Eco Sustain Dev* 2017;8(6):102-108. <https://core.ac.uk/download/pdf/234647823.pdf>.
4. Piñeiro V, Arias J, Dürr J, Elverdin P, Ibáñez AM, Kinengyere A, *et al.* A scoping review on incentives for adoption of sustainable agricultural practices and their outcomes. *Nat Sustain* 2020;3:809-820. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00617-y>.

5. UN. United Nations. Sustainable development goals. Goal 2. Zero hunger. Goal 2 Targets. 2.4; 2024. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/hunger/>. Accessed Dec 15, 2024.
6. Altieri MA, Koohafkan P, Gimenez EH. Agricultura verde: fundamentos agroecológicos para diseñar sistemas agrícolas biodiversos, resilientes y productivos. *Agroecología* 2012;7(1):7-18. <https://agroeco.org/wp-content/uploads/2016/01/agricultura-verde-altieri.pdf>.
7. Slimi C, Prost M, Cerf M, Prost L. Exchanges among farmers' collectives in support of sustainable agriculture: From review to reconceptualization. *J Rural Stud* 2021;83:268-278. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.01.019>.
8. El Bilali H, Strassner C, Ben T. Sustainable agri-food systems: environment, economy, society, and policy. *Sustain* 2021;13(11):6260. <https://doi.org/10.3390/su13116260>.
9. Gaffney J, Bing J, Byrne P, Cassman K, Ciampitti I, Delmer D, *et al.* Science-based intensive agriculture: Sustainability, food security, and the role of technology. *Glob Food Sec* 2019;23:236-244. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.08.003>.
10. Nendissa DR, Alimgozhaevich IK, Sapaev IB, Karimbaevna TM, Bakhtiyarovna SZ, Abdullah D, *et al.* Sustainable livestock grazing in Kazakhstan practices, challenges, and environmental considerations. *Casp J Environ Sci* 2023;21(4):977-988. https://cjes.guilan.ac.ir/article_7156.html.
11. Puebla S, Rebollar S, Gómez G, Hernández J, Guzmán E. Factores determinantes de la oferta regional de carne bovina en México, 1994-2013. *Reg Soc* 2018;30(72):1-16. <https://doi.org/10.22198/rys.2018.72.a895>.
12. Devaux A, Goffart JP, Kromann P, Andrade J, Polar V, Hareau G. The potato of the future: opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. *Potato Res* 2021;64(4):681-720. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11540-021-09501-4>.
13. Mehrabi Z, Gill M, Wijk MV, Herrero M, Ramankutty N. Livestock policy for sustainable development. *Nat Food* 2020;1(3):160-165. <https://www.nature.com/articles/s43016-020-0042-9>.
14. Martin G, Barth K, Benoit M, Brock C, Destruel M, Dumont B, *et al.* Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. *Agric Syst* 2020;181:102821. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102821>.
15. Gerbens-Leenes PW, Moll HC, Schoot AJM. Design and development of a measuring method for environmental sustainability in food production systems. *Ecol Econ* 2003;46(2):231-248. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00140-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00140-X).

16. Guerra-Medina CE, Maldonado-Méndez JJ, Avendaño-Arrazate CH, Montañez-Valdez OD. Engorda de becerros en praderas de pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum* Schum), innovación productiva en el trópico. *Agro Divul* 2022;2(3):13-15. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8681881>.
17. Rivera A, Pérez F, Galindo F, Rubio LMS, Güereca LP. Análisis comparativo de dos herramientas para evaluar la sostenibilidad ganadera en el contexto mexicano. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2020;23(88):1-13. <https://www.researchgate.net/publication/347987680>.
18. Parlasca MC, Qaim M. Meat consumption and sustainability. *Annu Rev Resour Econ* 2022;14:17-41. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-111820-032340>
19. Broom DM. A method for assessing sustainability, with beef production as an example. *Biol Rev* 2021;96(5):1836-1853. <https://doi.org/10.1111/brv.12726>.
20. Rotz A. Environmental sustainability of livestock production. *Meat Muscle Biol* 2020;4(2). <https://doi.org/10.22175/mmb.11103>.
21. Hellyward J, Rachmat S, Rachmat A. The sustainability index of dairy cattle area in Padang Panjang City. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 2019;287(1):012038. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/287/1/012038/pdf>.
22. Van der Linden A, de Olde EM, Mostert PF, de Boer IJM. A review of European models to assess the sustainability performance of livestock production systems. *Agric Syst* 2020;182:102842. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102842>.
23. Chopin P, Mubaya CP, Descheemaeker K, Öborn I, Bergkvist G. Avenues for improving farming sustainability assessment with upgraded tools, sustainability framing and indicators. A review. *Agron Sustain Dev* 2021;41(19):1-20. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00674-3>.
24. Nahed J, González S, Grande D, Aguilar JR, Sánchez B, Ruiz JL, *et al*. Evaluating sustainability of conventional and organic dairy cattle production units in the Zoque Region of Chiapas, Mexico. *Agroecol Sustain Food Syst* 2019;43(6):605-638. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1534302>.
25. Pérez-Lombardini F, Mancera KF, Suzán G, Campo J, Solorio J, Galindo F. Assessing sustainability in cattle silvopastoral systems in the Mexican tropics using the SAFA framework. *Anim* 2021;11(1):109. <https://doi.org/10.3390/ani11010109>.

26. Rosales V, Bautista AJ, Peláez UV, Valenzuela JL, Herrera B, Cisneros P. A comprehensive case study on the sustainability of tropical dairy cattle farming in Oaxaca, Mexico. *Cienc Rural* 2023;53(11):e20210026. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210026>.
27. Freudenberg M. Composite indicators of country performance: a critical assessment. *OECD Scien Technol Ind Work Papers* 2003;(16) <https://www.researchgate.net/publication/273697960>.
28. Vázquez-González I, García-Suárez E, Ruiz-Escudero F, Caymmi G, García-Arias AI. Construcción de un índice de sostenibilidad para las ganaderías de bovino lechero en Cantabria. *Econ Agra Rec Nat* 2022;22(2):117-149. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.336041>.
29. Van Cauwenbergh N, Biala K, Biolders C, Brouckaert V, Franchois L, Ciudad V, *et al*. SAFE-A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agri Ecosyst Environ* 2007;120(2-4):229-242. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.006>.
30. PGN. Padrón Ganadero Nacional. Estadística Estatal. Estadística Pecuaria PGN Bovinos. Ganado Carne en Puebla, México. 2024. <https://www.pgn.org.mx/estadistica-rep.php>. Accessed Feb 15, 2025.
31. Jaramillo JL, Rojas LA, Vargas S. Escala de la producción y eficiencia técnica de la ganadería bovina para carne en Puebla, México. *Rev Mex Cienc Pecu* 2023;14(1):154-171. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i1.5537>.
32. Méndez-Cortés V, Mora-Flores JS, García-Salazar JA, Hernández-Mendo O, García-Mata R, García-Sánchez RC. Tipología de productores de ganado bovino en la zona norte de Veracruz. *Trop Subtrop Agroecosyst* 2019;22(2):305-314. <https://www.researchgate.net/publication/336497705>.
33. Sirwan KA. How to choose a sampling technique and determine sample size for research: A simplified guide for researchers. *Oral Oncol Reports* 2024;12:100662. <https://doi.org/10.1016/j.oor.2024.100662>
34. Pérez LC. Técnicas de análisis multivariante de datos, aplicaciones con R. 1ra ed. Madrid, España: Garceta Grupo Editorial; 2024.
35. Gómez-Limón JA, Sanchez-Fernandez G. Empirical evaluation of agricultural sustainability using composite indicators. *Ecol Econ* 2010;69(5):1062-1075. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.027>.

36. Magrini A, Giambona F. A composite indicator to assess sustainability of agriculture in European union countries. *Soc Indic Res* 2022;163(3):1003-1036. <https://doi.org/10.1007/s11205-022-02925-6>.
37. Ramírez M, Chávez R, Ramírez RE. Factores que definen la rentabilidad en sistemas de producción de gando bovino en pequeña escala. *Rev Mex Agroneg* 2025;54:617-630. <https://www.redalyc.org/journal/141/14179345007/html/>.
38. Bautista-Martínez Y, Herrera-Haro JG, Espinosa-García JA, Martínez-Castañeda FE, Vaquera-Huerta H, Morales A, *et al*. Caracterización económico-productiva del sistema bovino doble propósito en tres regiones tropicales de México. *ITEA-Inf Téc Econ Agrar* 2019;115(2):134-148. [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2019/115-2/ITEA_115-2\(134-148\).pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2019/115-2/ITEA_115-2(134-148).pdf).
39. Vázquez-Martínez I, Vargas-López S, Bustamante-González A, Calderón-Sánchez F, Jaramillo-Villanueva JL, Torres-Hernández G, Castro-González NP, Enríquez-García F. Contribución de la ganadería familiar en los aspectos socioeconómicos de las familias rurales en la Sierra Norte de Puebla. In: Cavallotti V, Beatriz A, editors. *La ganadería en la seguridad alimentaria de las familias campesinas*. Universidad Autónoma Chapingo. Ira. ed., México; 2013:157-166.
40. IICA. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. De la práctica a las políticas: experiencias latinoamericanas en género, cambio climático y agricultura. *Mujeres y Ganadería: Participación y toma de decisiones de las mujeres ganaderas en la mitigación y adaptación frente al cambio climático en el marco de NAMA GANADERÍA del distrito de Santa Cruz de Turrialba, Costa Rica*. Unión Europea. 2017. <https://www.researchgate.net/publication/321138046>.
41. Durán E, Ruiz A, Sánchez V. Competitividad de la ganadería de doble propósito en la Costa de Oaxaca, México. *Rev Mex Agroneg* 2018;43:76-88. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14158242007>.
42. Puebla S, Rebollar S, Albarrán B, García A, Arriaga CM. Análisis técnico económico de sistemas de bovino doble propósito en Tejupilco, estado de México en la época de secas. *Inv Cienc UAA* 2015;(65):13-19. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2015653577>.
43. Lawrence JD, Mintert J, Anderson JD, Anderson DP. Feed grains and livestock: Impacts on meat supplies and prices. *Agr Econ* 2018;23(29):11-15.
44. Maicelo JL, Bardales J. Caracterización de los sistemas de producción y formulación de indicadores de adaptabilidad del ganado bovino Simmental-Fleckvieh, región Amazonas. *Rev Invest Cienc Biotec Anim* 2017;1(1):19-26. <https://doi.org/10.25127/ricba.20171.163>.

45. Lancaster PA, Larson RL. Evaluation of strategies to improve the environmental and economic sustainability of cow–calf production systems. *Anim* 2022;12(3):385. <https://doi.org/10.3390/ani12030385>.
46. Rotz A. Environmental sustainability of livestock production. *MMB* 2020;4(2):1-18. <https://doi.org/10.22175/mmb.11103>.
47. Gerber PJ, Mottet A, Opio CI, Teillard F. Environmental impacts of beef production: Review of challenges and perspectives for durability. *Meat Sci* 2015;109:2-12. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.013>.
48. Parra-Cortés RI, Magaña-Magaña MA, Piñeiro-Vázquez AT. Intensificación sostenible de la ganadería bovina tropical basada en recursos locales: alternativa de mitigación ambiental para América Latina. *ITEA-Inf Téc Econ Agrar* 2019;115(4):342-359. <https://doi.org/10.12706/itea.2019.003>.
49. Oerly A, Johnson M, Soule J. Economic, social and environmental impacts of cattle on grazing land ecosystems. *Range* 2022;44(2):148-156. <https://doi.org/10.1016/j.rala.2021.12.003>.
50. Severino VH, Perezgrovas RA, Montiel F, Peralta JA, Segura JC. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas productivos con bovinos criollos en Campeche, México. *Acta Univ* 2022;31:1-14. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3102>.
51. Méndez-Cortés V, Mora-Flores JS, García-Salazar JA, Hernández-Mendo O, García-Sánchez RC, García-Mata R. Competitiveness of bovine meat production in the northern region of Veracruz. *Agr Soc Dev* 2023;20(1):52-65. <https://www.revista-asyd.org/index.php/asyd/article/view/1437/767>.
52. Sarma PK, Raha SK, Jorgensen H. An economic analysis of beef cattle fattening. *J Bangla Agri Univ* 2014;12(1):127-134. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.209908>.
53. Karim R, Islam MN, Uddin MM, Hossain MM. Livelihood improvement of farmers through cattle fattening of Mymensingh District: A socio-economic study. *JAFE* 2020;1(3):1-5. <http://doi.org/10.47440/JAFE.2020.1301>.
54. Ouali M, Belhouadjeb FA, Soufan W, Rihan HZ. Sustainability evaluation of pastoral livestock systems. *Anim* 2023;13(8):1335. <https://doi.org/10.3390/ani13081335>.
55. Almeida JG, Vendruscolo R, Pires VC, Ferreira FL, Mezzomo MP, Tourrand JF. Sustainability of livestock systems in the Pampa Biome of Brazil: an analysis highlighting the rangeland dilemma. *Sustainab* 2021;13(24):13781. <https://doi.org/10.3390/su132413781>.

56. Wei M, Zhou H, Ma J, Khan N, Cao J, Hu X. Research on technical efficiency of feed use for sustainable beef cattle breeding in China: evidence from 169 beef cattle farmers. *Sustainab* 2022;14(24):16430. <https://doi.org/10.3390/su142416430>.
57. Marandure T, Mapiye C, Makombe G, Dzama K. Indicator-based sustainability assessment of the smallholder beef cattle production system in South Africa. *Agro Sustainab Food Syst* 2017;41(1):3-29. <https://doi.org/10.1080/21683565.2016.1231152>.
58. Angón E, García A, Perea J, Barba C. Evaluación de la sostenibilidad en sistemas ganaderos. *Ambienta* 2016;116:82-89. https://www.revistaambienta.es/content/dam/revistaambienta/files-1/Revista-Ambienta/AMBIENTA/116/PDF_AM_Ambienta_2016_116_82_89.pdf.