

Artículo original

Acceso abierto

Adaptación al cambio climático con enfoque de economía circular para reducir la vulnerabilidad del sector ganadero extensivo en México: estado del arte

Adaptation to climate change with a circular economy approach in order to reduce the vulnerability of the extensive livestock sector in Mexico: the state of the art

María del Rosario Villavicencio Gutiérrez

María del Pilar Salazar Vargas

Janet Meléndez Campillo

Correspondencia: mrillavicenciogtz@gmail.com

Postdoctorante. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8869-5892>

Correspondencia: pilar.salazar@inecc.gob.mx
Directora de Economía Ambiental y de Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Correspondencia: janet.melendez@inecc.gob.mx
Subdirectora de Riegos por Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

Fecha de recepción:
29-noviembre-2021

Fecha de aceptación:
18-octubre-2022

Resumen

El sector agropecuario mexicano tiene un doble reto frente al cambio climático: adaptarse a sus impactos y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), además de los impactos ambientales generados a lo largo de su cadena de valor. La economía circular se presenta como una oportunidad para que el sector agropecuario trabaje en modelos de aprovechamiento más sustentables. El objetivo de este artículo consiste en mostrar los avances de la aplicación de la economía circular en el sector ganadero en el sureste de México a fin de evidenciar sus potenciales aportaciones en la adaptación al cambio climático. Este objetivo se cumplió mediante una revisión sistemática de literatura nacional e internacional especializada en ganadería extensiva y economía circular, disponible para el periodo de 2010 a 2021, la cual permitió identificar la importancia de implementar buenas prácticas de manejo y estrategias regenerativas en los sistemas ganaderos, para promover su adaptación al cambio climático.

Palabras clave: vulnerabilidad al cambio climático, adaptación, economía circular, ganadería extensiva.

Abstract

The Mexican livestock sector is facing the twofold challenge of adapting to the impacts of climate change and reducing both Greenhouse Gas (GHG) emissions and the environmental effects that are generated all along the value chain. The circular economy is seen as an opportunity for the livestock sector to develop more sustainable productive models. This article sets out to show the advantages of implementing the circular economy in the livestock sector in southwest Mexico so as to demonstrate the potential contributions to adapt to climate change. This objective was achieved by means of a systematic review of both the Mexican and international specialized literature on extensive livestock rearing and circular economy that was published between 2010 and 2021, that enabled to understand the importance of adopting good management practices and regenerative strategies in livestock systems in order to help the latter to adapt to climate change.

Key words: vulnerability to climate change, adaptation, circular economy, extensive livestock rearing.

Introducción

La ganadería es una actividad económica estratégica por su contribución económica, social y ambiental para el desarrollo sustentable. Asimismo, ocupa un lugar destacado en las actividades primarias a nivel mundial, al contribuir con 40% de la producción agrícola en los países desarrollados y 20% en los países en desarrollo (FAO, 2021a). Esta actividad resulta clave para garantizar la seguridad alimentaria de la población mundial, mejorar la nutrición humana, contribuir a la disminución de la pobreza y el desarrollo económico. Además, mediante la adopción de prácticas de manejo sustentables, posee un amplio potencial para contribuir a las acciones contra el cambio climático y a la conservación de los ecosistemas y sus servicios ambientales.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), las actividades ganaderas son fuente de ingresos para más de 1 billón de personas a nivel mundial, mientras que aproximadamente 616 millones de personas del medio rural en situación de pobreza tienen ingresos parciales de esta actividad y obtienen de ella su sustento diario (FAO, 2021b).

El sector ganadero se ha visto beneficiado por el aumento en la demanda de los productos de origen animal, asociado al crecimiento poblacional, cambios en el estilo de vida y patrones de consumo, y la expansión de los mercados internacionales. La demanda mundial presentó un incremento anual del 2.45%, mientras que en América Latina y el Caribe se presentó un crecimiento superior, con una tasa anual de 3.7%, y una participación de poco más del 23% en la producción de carne de bovino (FAO, 2021b), producto que ocupa el tercer lugar a nivel mundial, con un consumo anual per cápita en 2020 de 6.4 kg (OECD, 2021a). Para 2030 se pronóstica que la carne de ganado vacuno tendrá un crecimiento del 5.8% respecto a 2018 equivalente a 75 Millones de Toneladas (Mt) (OECD, 2021b).

El aumento en la producción y consumo de productos de origen animal, además de representar beneficios para las familias productoras, tiene impacto en los sectores productivos asociados a su cadena de valor, dado que la demanda de insumos presenta tendencias al alza. Estas dinámicas, junto con la manera poco sustentable en la que se realiza esta actividad, generan diversos efectos ambientales y climáticos directos e indirectos en las diferentes etapas de sus encadenamientos productivos. De acuerdo con datos del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI), la ganadería mexicana aporta el 15%

de las emisiones de GEI generadas en el país (INECC, 2020a); a esto, se suma la erosión del suelo originada por sobrepastoreo, pérdida de vegetación por pastos cultivados e inducidos, degradación de recursos naturales y deforestación por cambios de uso de suelo, así como un alto consumo de agua y contaminación de cuerpos de agua y suelo por la aplicación de insumos químicos altamente tóxicos en las actividades agrícolas, por mencionar algunos (Cotler, 2010; FGM, 2020).

Por otro lado, los sistemas ganaderos en México son actividades económicas particularmente vulnerables ante los efectos del cambio climático, especialmente a aquellos relacionados con la falta o el exceso de precipitación pluvial y con mayor frecuencia a las temperaturas extremas (INECC, 2019). Esta vulnerabilidad y sus efectos negativos son visibles en el país, principalmente en las explotaciones de agostadero de regiones áridas y semiáridas, teniendo impactos como el incremento de la mortalidad del ganado, aumento del sobrepastoreo, disminución de la eficiencia productiva y la disminución de la capacidad de carga animal (INECC, 2019).

En el sureste de México, la ganadería extensiva está asociada a la pérdida de vegetación por la expansión de pastos cultivados e inducidos (Cotler, 2010), las prácticas tradicionales de quema y desmonte para implementar zonas de pastoreo representan un impacto ambiental para las regiones productoras (González, 2013). No obstante, estos sistemas tienen la capacidad de mitigar entre el 20% y 40% de las emisiones empleando estrategias como secuestro de carbono de las praderas, la alimentación de los animales y mejoramiento genético (Hernández-Medrano y Corona, 2017).

La ganadería bovina enfrenta grandes retos, tales como: satisfacer la demanda de un mercado creciente y atender la relación bidireccional que tiene con el cambio climático, ya que este produce efectos sobre la ganadería y viceversa (Sánchez et al., 2020). Para lograr que los sistemas ganaderos sean más sustentables, es necesario que sus estrategias consideren al menos tres aspectos clave: eficiencia productiva, adaptación y mitigación al cambio climático (FAO, 2018). En este sentido, resulta necesario el diseño de estrategias económicas integrales que busquen reducir la vulnerabilidad del sector ganadero, integrando enfoques restaurativos y regenerativos, y que a su vez estén vinculados a la economía circular y contribuyan a mejorar su eficiencia productiva y ambiental, lo que implica repensar la forma en la que se realizan las actividades a lo largo de su cadena de valor e identificar cambios sistémicos potenciales y a largo plazo en los modelos de suministro, producción y consumo (Cerantola y Ortiz, 2018).

La economía circular ha sido propuesta como un nuevo modelo económico que no solo genera oportunidades de negocios, sino que proporciona además beneficios socioambientales. El enfoque circular tiene su origen en la conservación de los recursos disponibles y los objetivos que persigue son: reducir la utilización de insumos y recursos naturales; aumentar la proporción de recursos renovables y energía; reducir las emisiones, disminuir la pérdida de materiales y mantener el valor de los productos extendiendo su vida útil, empleando técnicas de reciclaje para aprovechar los residuos (Cerde y Khalilova, 2016). La búsqueda de estos objetivos ayudaría a mejorar la resiliencia de los ecosistemas (EEA, 2016). Los principios fundamentales de la economía circular son: eliminar residuos y contaminación desde el diseño, mantener productos y materiales en uso, y regenerar los sistemas naturales (EMF, 2017).

Si bien, la aplicación de los principios teóricos de economía circular puede aportar ventajas significativas a los sistemas productivos, estos aún no se han adaptado al campo de la ganadería y no se ha establecido su relación con el cambio climático en materia de adaptación, por lo que este artículo caracteriza los avances de la aplicación de la economía circular en el sector ganadero en México a partir del análisis de literatura, lo cual permita evidenciar los elementos mínimos que puede aportar a la agenda de adaptación al cambio climático para el país.

En las siguientes secciones se realiza el análisis de la doble vinculación¹ de la ganadería extensiva y las principales estrategias de adaptación al cambio climático que han sido implementadas en sistemas de ganadería bovina extensiva en México. Posteriormente, se presenta la aproximación de la economía circular a la adaptación al cambio climático de la ganadería extensiva con el propósito de identificar los principales conceptos y principios de la economía circular que pueden contribuir al proceso de adaptación al cambio climático.

Marco conceptual

La ganadería es clasificada en extensiva, intensiva y semi-intensiva de acuerdo con el medio en el que se desarrolla. La ganadería extensiva se define como aquella en que los animales pastan libremente en grandes terrenos o pastizales; en este sistema, los costos por alimentación del ganado son bajos, sin embargo, existe un menor control de los animales ya que deben

¹ Esta doble relación consiste en la relación simultánea que tiene la ganadería con el cambio climático, al ser un sector generador de emisiones e impactos ambientales y, al mismo tiempo, al ser un sector vulnerable ante los efectos del cambio climático.

desplazarse para buscar agua y alimento (Pérez y Lamothe, 2019). Mientras que la ganadería intensiva es aquella en la que las actividades de cría de ganado y producción de leche se realizan en confinamiento total, bajo condiciones controladas con una elevada productividad y altos costos por consumo de energía, fabricación de alimentos balanceados y transporte (CEDRSSA, 2020). Finalmente, los sistemas semi-intensivos se describen como aquellos en los que la producción se realiza tanto en confinamiento como en pastoreo en praderas introducidas, con el objetivo de reducir los altos costos por alimentación del ganado (SADER, 2019).

Las principales diferencias entre estos sistemas de producción ganadera son el tipo de alimentación que reciben, la movilidad, la dependencia de insumos externos, flujos energéticos y materiales, la forma de alojamiento, los servicios ecosistémicos que proporcionan y el impacto ambiental que generan (Herrera, 2020). Por su relación con el cambio climático destacan los sistemas ganaderos extensivos, reconocidos por su capacidad de adaptabilidad y resiliencia a condiciones externas. Si bien estos sistemas generan altos niveles de emisiones y pérdida de vegetación, las experiencias en diferentes países, incluyendo México, muestran que con buenas prácticas productivas se pueden reducir las emisiones y generar capacidades de adaptabilidad y resiliencia bajo condiciones climáticas variables.

La adaptación de la ganadería extensiva al cambio climático se refiere al conjunto de medidas y ajustes necesarios en las prácticas productivas para disminuir los efectos negativos del cambio climático. Las medidas de adaptación incluyen modificaciones del sistema de producción y manejo, estrategias de mejoramiento, así como cambios institucionales y de políticas, avances científicos y tecnológicos, y cambios en la percepción de capacidad de adaptación de los productores (Rojas-Downing, Harrigan y Woznicki, 2017), con la finalidad de que los sistemas ganaderos proporcionen servicios ecosistémicos, como el mantenimiento de los hábitats naturales, la captura y secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad.

En este sentido, es conveniente que las medidas de adaptación sean diseñadas siguiendo un proceso que permita evaluar su funcionalidad. El proceso de adaptación, desarrollado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2020b) es una guía útil para el diseño de medidas de adaptación que podría ajustarse a la ganadería extensiva. Este proceso consta de cuatro fases: 1) Evaluación de la vulnerabilidad actual y futura; 2) Diseño de medidas de adaptación; 3) Implementación de las medidas y 4) Monitoreo y evaluación.

El diseño de medidas de adaptación se refiere a las acciones o estrategias que tienen como objetivo principal la disminución de la vulnerabilidad a través de la reducción de la sensibilidad

o del aumento de la capacidad adaptativa (INECC, 2020b). Estas medidas deben ser diseñadas en el contexto de las condiciones locales, tanto socioambientales como financieras. Los enfoques que pueden ser empleados en el diseño de medidas de adaptación son:

- Adaptación basada en Ecosistemas (AbE): utiliza la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como parte de una estrategia general de adaptación. Incluye la gestión sostenible, la conservación y restauración de los ecosistemas para proporcionar servicios que ayuden a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático (CBD, 2009).
- Adaptación basada en Comunidades (AbC): su objetivo principal es mejorar la capacidad de las comunidades locales para adaptarse a los impactos del cambio climático. Requiere de un enfoque que combine el conocimiento tradicional con estrategias innovadoras que además de abordar las vulnerabilidades actuales, también desarrollen la resiliencia de las personas para enfrentar desafíos frente al cambio climático. Busca proteger y sostener los ecosistemas de los que dependen las personas para su sustento (CARE, 2010).
- Adaptación basada en la Reducción de Riesgo de Desastres (AbRRD): tiene como objetivo evitar o reducir los impactos adversos de los peligros sobre las personas y el medio ambiente, a través de actividades y medidas de prevención, mitigación y preparación ante los riesgos relacionados con el cambio climático (ADPC, 2013).

Para evaluar las medidas de adaptación al cambio climático en los sistemas productivos, se recomienda realizar un análisis de los criterios que se enfocan en la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático, estos son: atienden condiciones climáticas, cuentan con enfoque sistémico, son viables. pueden medirse, fortalecen las capacidades, consideran el contexto social, fortalecen la gobernanza con el enfoque de género, se alinean a las políticas públicas, se sostienen en el tiempo, buscan la distribución justa de beneficios, propician cobeneficios sociales y tienen la capacidad de ser flexibles y reversibles (INECC, 2020b).

El concepto de economía circular se desarrolla a partir de una visión sistémica, que centra su enfoque en la sabiduría de la naturaleza para responder a las necesidades sociales y ambientales. Es considerada como un elemento clave en el cumplimiento de las metas climáticas, al mismo tiempo que ofrece una respuesta sistemática a la crisis ambiental, al reducir las emisiones y aumentar la resiliencia a los efectos del cambio climático. Asimismo, permite cumplir otros

objetivos como crear ciudades más sustentables, distribuir el valor de manera más justa en la economía e incentivar la innovación (EMF, 2019).

La economía circular consiste en un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva y mejora el capital natural, optimiza el uso de los recursos y minimiza los riesgos del sistema, al gestionar una cantidad finita de existencias y flujos renovables (EMF, 2013). Es importante resaltar que la economía circular va más allá del reciclaje o gestión de residuos, se trata de ver el funcionamiento real de un sistema en el cual la existencia y el flujo de recursos son interdependientes, en donde el término “circular” refiere a la noción de que, por intención y diseño, los circuitos de retroalimentación funcionan para enriquecer, nutrir y agregar valor (Webster y EMF, 2020).

Métodos y materiales

Con miras a identificar los avances en la aplicación de los principios de economía circular en el sector ganadero y su potencial vínculo con la adaptación al cambio climático, se realizó una revisión sistemática de la literatura disponible en el periodo de 2010 a 2021. Para este ejercicio se consultaron las bases de datos Science Direct y Redalyc, y se incluyó literatura “gris” de la Fundación Ellen MacArthur, organización pionera en la promoción de economía circular. La búsqueda literaria se basó en palabras clave tales como: “ganadería”, “cambio climático”, “economía circular”, “México”. Se encontraron 37 artículos, de los cuales se seleccionaron 30 que incluían elementos de adaptación al cambio climático aplicados a la ganadería extensiva y contenían alguno de los principios de economía circular. De este modo, se encontraron 13 estudios de caso de economía circular aplicada al sector agroalimentario, de los cuales se seleccionaron 5 por su relación directa con la ganadería extensiva.

Resultados

La ganadería extensiva y su relación bidireccional con el cambio climático

El papel del sector ganadero frente al cambio climático es complejo, sin embargo, es reconocido como uno de los pocos sectores con capacidad para adaptarse al cambio climático y reducir las emisiones de GEI (Morales-Crispin, Rosendo y Becerril 2016). El Instituto Interamericano de

Cooperación para la Agricultura (IICA) reconoce la importancia de impulsar la sustentabilidad, productividad y competitividad de la ganadería extensiva en México, así como su potencial para contribuir a la adaptación y mitigación del cambio climático. A su vez, es una actividad clave en términos de seguridad alimentaria al constituir el sustento y el patrimonio de gran parte de los hogares dedicados a la producción familiar (IICA, 2021).

Las investigaciones de la ganadería extensiva y su relación con el cambio climático están dirigidas a la búsqueda de estrategias que incluyan la implementación de buenas prácticas y criterios de sustentabilidad ambiental para optimizar los sistemas y generar beneficios múltiples. A nivel mundial se han reconocido la agroforestería, la agroecología y las buenas prácticas ganaderas como estrategias viables para la adaptación y mitigación al cambio climático (Jiménez et al. 2015).

Estrategias de adaptación al cambio climático en sistemas ganaderos extensivos

En México se identificaron doce documentos de investigación desarrollados durante la última década, los cuales proponen los sistemas silvopastoriles como una estrategia para contribuir a la adaptación y mitigación al cambio climático.

Un ejemplo interesante es el proyecto “Sistema Silvopastoril Intensivo”, implementado en 2006 por la Fundación Produce Michoacán, A. C., en el que se identifican tecnologías y buenas prácticas de manejo, con las cuales lograron incrementar los parámetros productivos,² disminuir la mortalidad del ganado, incrementar la cobertura de las especies forrajeras nativas, disminuir la temperatura de los microclimas y la producción de biocarbono (ver Tabla 1). Además, lograron aumentar el empleo y mejorar las condiciones de vida de 1,260 productores (CEDRSSA, 2020).

² De acuerdo con Arce et al. (2017), los parámetros productivos del hato ganadero son aquellos indicadores que permiten identificar si los animales están expresando su potencial productivo y se consideran: aumento de peso del ganado, incremento de la producción de leche, disminución de la morbilidad y mortalidad.

Tabla 1. Características de los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPI)

Tecnologías	Buenas prácticas de manejo
<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo de leguminosas herbáceas y arbustivas • Empleo de especies vegetales nativas para la alimentación del ganado • Uso de cercas vivas • Cría de razas rústicas bajo condiciones edafoclimáticas 	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación la forma en la que el ganado se desplaza en el terreno • Implementación de prácticas de conservación del suelo • Manejo de pastos • Regulación de la carga animal y la presión del pastoreo. • Construcción de obras de captación y almacenamiento de agua de lluvia. • Manejo de aguas residuales • Empleo de fuentes alternativas de energía. • Mantenimiento de árboles cerca de las fuentes de agua • Mejoramiento de manejo zoonosanitario

Fuente: elaboración propia, con base en CEDRSSA (2020).

En el sur del país, en los estados de Campeche, Chiapas y Tabasco, se han implementado los sistemas silvopastoriles como estrategia para disminuir las emisiones de GEI y promover la sustentabilidad de los sistemas, mediante el uso de especies vegetales nativas con potencial forrajero (Alayón-Gamboa et al., 2016). En Chiapas se ha presentado una masificación de los sistemas silvopastoriles como una alternativa de mejoramiento y transformación de los sistemas ganaderos convencionales (Apan-Salcedo et al., 2021).

En términos de adaptación al cambio climático, las investigaciones realizadas en torno a la ganadería extensiva coinciden en que el uso de especies vegetales nativas, así como el manejo y reproducción del ganado criollo son clave para hacer frente a los efectos del cambio climático (ver Tabla 2).

Recientemente, el INECC y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C. (FMCN) buscan promover la ganadería regenerativa, el manejo integrado de paisajes, prácticas de producción sostenible de alimentos y cadenas de valor responsables, y la conservación y restauración de hábitats naturales, mediante el proyecto Conectando la salud de las cuencas con la producción ganadera y agroforestal sostenible (CONNECTA), para los estados de Chiapas, Chihuahua, Jalisco y Veracruz, cuyo objetivo es la recuperación de la fertilidad de los suelos y la restauración de los ciclos de nutrientes de energía y del agua (ver Tabla 3) (FMCN, 2020).

Tabla 2. Amenazas que atienden las medidas de adaptación en los sistemas silvopastoriles

Autor(es)	Medidas de adaptación	Amenaza que atiende
CONANP (2014)	Administración de suplementos alimenticios al ganado (por ejemplo: bloques nutricionales)	Heladas extremas
	Cercos de regeneración natural y reforestación con pastos nativos	Sequías
	Sistemas de captación de agua de lluvia	Sequías
	Programa de manejo ganadero sustentable ³	Sequías
Morales-Crispin et al. (2016) y Gómez et al. (2016)	Empleo de recursos ganaderos locales (razas de animales criollas)	Sequias prolongadas y lluvias erráticas o torrenciales
Quero, Miranda y Villanueva (2017)	Uso de variedades de gramíneas nativas: <i>Bouteloua curtipendula</i> (conocido comúnmente como pasto banderita); <i>B. chondrosioides</i> ; <i>B. dactyloides</i> ; <i>B. chasei</i> ; <i>B. dimorfica</i> ; <i>B. erecta</i> ; <i>B. repens</i> ; <i>B. radicata</i> , entre otras.	Sequías

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Principios de la ganadería regenerativa

Principios	Descripción
Suelos sanos y fértiles	Mantenimiento y mejora de la salud del suelo
Ecosistemas diversos	Conservación e incremento de la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas
Menos carbón	Secuestro de carbono de la atmósfera y reducción de las emisiones de CO ₂ .
Buenas prácticas ganaderas	Rotación de potreros Ensilado de pasto Bancos forrajeros Establecimiento de cercas vivas Árboles dispersos Elaboración de bloques nutricionales Construcción de Biodigestores Actualización de los registros de sanidad animal

Fuente: elaboración propia, con base en FMCN (2020).

³ El gobierno mexicano, define la ganadería sustentable como una oportunidad de mejorar la productividad y competitividad ganadera, a través de la implementación de buenas prácticas que generen un menor impacto en los recursos naturales y que fortalezcan la conservación de las comunidades y unidades productivas (CONANP, 2018).

Particularmente para el estado de Veracruz, se identificaron algunos ejemplos importantes y beneficios obtenidos de ganadería regenerativa (ver Tabla 4). Es importante destacar en el caso de la comunidad El Limón, municipio Paso de ovejas, que aun cuando se han obtenido importantes beneficios para la ganadería por la implementación de prácticas regenerativas, existe la problemática por la aplicación de herbicidas y quema para el cultivo de maíz que se realiza de manera intensiva, lo que ha provocado afectaciones y degradación de la calidad del suelo en época de secas, por lo que resulta prioritario diseñar intervenciones que atiendan las diversas problemáticas a partir de un manejo integral.

Tabla 4. Ejemplos de ganadería regenerativa en el estado de Veracruz

Comunidad	Descripción del sistema	Beneficios
El Limón, municipio Paso de ovejas	Sistema silvopastoril (SSP) de bovinos con pastos nativos o introducidos y árboles dispersos de distintas especies.	Resistencia de las especies a las condiciones climáticas de la región y empleo de rastrojo para la alimentación del ganado, en época de secas.
Úrsulo Galván, Veracruz	Sistema silvopastoril con <i>Leucaena leucocephala</i> variedad Cunningham, pasto <i>Panicum máximum</i> cv. Tazania, en becerras destetadas de 7 meses de edad de raza Simmental.	El rendimiento de materia verde y seca el SSP se incrementó 22.6% más que en la pradera sin árboles. La condición animal se incrementó de 2.2 a 3.5 en SSP en comparación con 2.2 a 2.5 en pastizal.
Veracruz costa centro	Sistema silvopastoril integrado por <i>Guazuma ulmifolia</i> y las gramíneas <i>Digitaria eriantha</i> , <i>Brachiaria brizantha</i> y <i>Megathyrsus maximus</i> , para evaluar la calidad y cantidad del forraje ofertado, sobre la producción y ganancia de peso de becerras y ovejas bajo pastoreo-ramoneo	El incremento de peso del ganado fue superior en el pastoreo mixto (444.4 kg/ha/año) que en el pastoreo simple (321.7 kg/ha/año).

Fuente: elaboración propia, con base en Bautista-Tolentino et al. (2011), Gómez, Ruiz y Lavin (2019) y Manríquez-Mendoza et al. (2011).

A nivel local, los productores manifiestan interés por la implementación de sistemas silvopastoriles; sin embargo, existen barreras socioeconómicas, culturales y ambientales que dificultan la transición a una ganadería sustentable, dentro de las cuales destacan: la falta de

recursos económicos, el desconocimiento de manejo vegetativo de árboles y arbustos forrajeros locales, el arraigo en las prácticas ganaderas extensivas basadas en el desmonte de vegetación y uso exclusivo de pastos, así como la limitada organización social para la producción ganadera y silvopastoril, entre otras (Apan et al., 2021). Esta situación afecta principalmente a las mujeres rurales que se encuentran en desventaja para enfrentar los problemas derivados de las pérdidas agrícolas, la falta o degradación de los recursos productivos como la tierra y el agua, y el acceso a los subsidios, apoyos financieros y apoyos técnicos a los que acceden en menor grado y con mayores dificultades que los hombres (FAO, 2017).

Aproximación de la economía circular como factor habilitador para la adaptación al cambio climático de la ganadería extensiva

Considerando el marco conceptual, se puede definir la economía circular en la ganadería extensiva como una estrategia regenerativa y restaurativa, que tiene por objetivos contribuir a la seguridad alimentaria, garantizar el bienestar animal, contribuir a la adaptación y mitigación al cambio climático, y promover la sostenibilidad ambiental, económica y social (Velasco et al., 2021).

La economía circular responde a tres principios: 1) eliminar residuos y contaminación; 2) mantener productos y materiales en uso; y 3) regeneración de sistemas naturales, con los cuales se busca tener sistemas productivos sustentables y eficientes. El primer principio aplicado a la ganadería debe considerar minimizar y/o evitar el uso de productos químicos como desparasitantes, insecticidas y herbicidas, mediante el uso de prácticas agroecológicas, como la fertilización orgánica o composta (Núñez, 2000). De acuerdo con Martínez y Cruz (2009), en la zona ganadera de Xico, Veracruz, el uso de desparasitantes con antihelmínticos comerciales que tienen fenbendazol, ivermectina, albendazol o levamisol como principio activo, el uso de insecticidas organofosforados y piretroides para el control de moscas, y la aplicación de herbicidas principalmente picloram+2,4-D o glifosato para controlar malezas en los pastizales, son prácticas que afectan a los escarabajos que entierran el estiércol del ganado y otras especies del suelo, además de ser químicos tóxicos para la salud humana.

El segundo principio se refiere a la generación de valor de los productos y coproductos en todas las etapas de la cadena de valor, con la finalidad de dar una mayor utilidad a los recursos y generar valor a lo largo de la cadena (EMF, 2019). En términos productivos, el

estiércol producido en los sistemas de ganadería bovina representa una buena alternativa para los ganaderos, ya que puede ser considerado como un fertilizante natural para los cultivos forrajeros, manteniendo buenos rendimientos de forraje y calidad del suelo (Trejo et al., 2013).

En términos climáticos, el estiércol puede ser utilizado para la generación de biogás y la producción de energías limpias (Gutiérrez, 2018), mientras que en términos económicos representa una reducción de los costos de producción traducida en mayores ganancias netas y, por lo tanto, en mayores ingresos para los productores (Hernández et al., 2016).

El tercer principio, referido a la “regeneración de sistemas naturales”, ha dado lugar a la ganadería regenerativa, que es un sistema de producción que tiene por objetivo la conservación y empoderamiento de los ganaderos para lograr mejores niveles de rentabilidad económica, ambiental y cultural. La ganadería regenerativa tiene como objetivo la recuperación de la fertilidad de los suelos y la restauración de los ciclos de nutrientes, de energía y del agua. Este tipo de ganadería está basada en prácticas de pastoreo rotacional planeado, genética del ganado adaptado localmente, restauración de la fauna y prevención de la erosión. Estas prácticas permiten tener ecosistemas resilientes y productivos (GANARE, 2021).

De los 13 casos de estudio de economía circular aplicada al sector agroalimentario, se seleccionaron cinco por su relación directa con la ganadería, en los cuales se han aplicado los principios de economía circular. Destaca el caso de la empresa Nestlé, la cual a partir de un Análisis de Ciclo de Vida de su cadena de valor identificó la emisión de 92 millones de toneladas de GEI, de las cuales 32.4 millones provenían de la cadena de suministros lácteos y ganaderos, por lo cual se abrió una planta de producción de biogás agrícola, considerada como la más grande de Suiza. Esta planta utiliza 25,000 toneladas de estiércol de vacas locales para generar energía renovable para la empresa Henniez, embotelladora de agua mineral. La instalación de esta planta también generará energía verde para la red eléctrica suiza, suficiente para abastecer a más de 1,000 hogares al año. De esta forma ha contribuido a reducir sus emisiones y agregar valor a los subproductos del sector primario.

En los dos estudios de caso analizados (Nestlé y la Finca de un acre) se han identificado dos elementos de suma importancia para la implementación de estrategias circulares: la cadena de valor y el análisis de ciclo de vida. La transición de un sector productivo con prácticas convencionales hacia la economía circular requiere conocer y repensar el funcionamiento de su cadena de valor y en su caso sus encadenamientos productivos (ver Tabla 5).

Tabla 5. Principios de la economía circular aplicados a la ganadería extensiva

Estudio de caso	Principio (s)	Acciones aplicadas
Grupo Balbo, Brasil	Eliminar residuos y contaminación	Programa de fertilización orgánico en los cultivos
Nestlé, Suiza	Eliminar residuos y contaminación Mantener productos y materiales en uso	Producción de biogás y electricidad a partir de estiércol vacuno
Evian de Danone, Francia	Mantener productos y materiales en uso	Creación de un biodigestor para procesar el estiércol a nivel local e integración de una cooperativa de agricultores para apoyar la implementación de prácticas de fertilización sostenibles Producción de biogás y electricidad a partir de estiércol
Granja Winona, Australia.	Regeneración de sistemas naturales	Empleo de especies de pastos nativos, modificación de métodos tradicionales de cultivo. Pastoreo de control de tiempo a corto plazo
La finca de un acre, Uganda, África Oriental	Eliminar residuos y contaminación Mantener productos y materiales en uso Regeneración de sistemas naturales	Sistema de agricultura mixta que integra ganado y cultivos de plantas en una relación simbiótica. Utilización de hidroponía y acuaponía para la producción de forraje para ganado, altamente nutritivo y utilización de aguas residuales tratadas para cultivos de verduras. Digestión anaeróbica, utilización de los desechos del ganado para la generación de biogás.

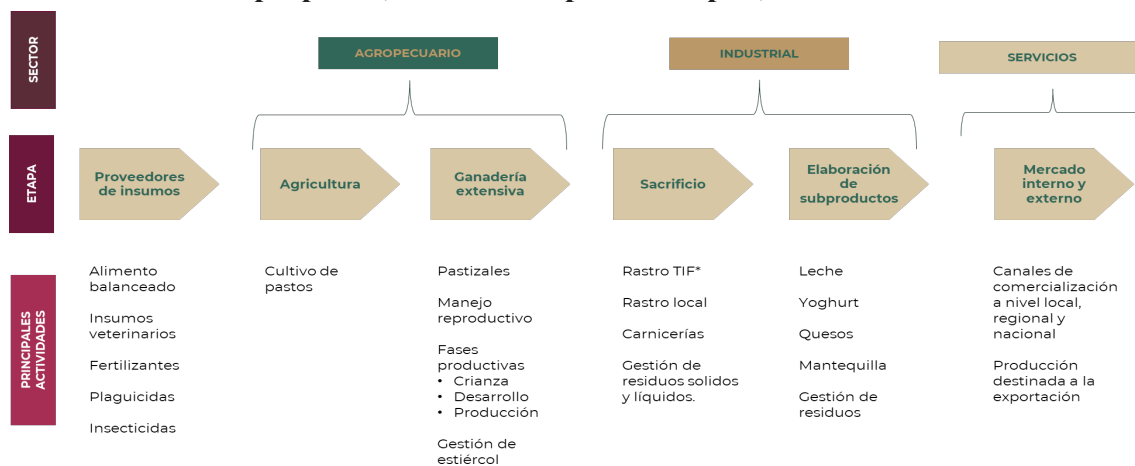
Fuente: elaboración propia, con base en EMF (2017; 2021), Nestlé (2021) y SoilsForLife (2021).

Discusión

Tomando estos elementos como base para la aplicación de la economía circular a la ganadería extensiva en México, deben considerarse todos los procesos y agentes, desde el cultivo de pastos hasta la comercialización de carne, productos lácteos y derivados, los procesos de fabricación de alimentos balanceados, cría de animales, gestión de estiércol, sacrificio y gestión de residuos sólidos y líquidos durante la etapa de sacrificio, transformación y comercialización. Asimismo, considerar a los agentes dentro de este flujo productivo resulta vital, tales como los proveedores, productores, intermediarios, distribuidores, consumidores y las localidades en las que se desarrollan estas dinámicas productivas.

A modo de ejemplo, la cadena de valor de la ganadería extensiva en el municipio de Tuxpan Veracruz, diseñada con base en el proyecto “Zonas de intervención para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Veracruz” (FGM, 2020), puede observarse que la economía está determinada por encadenamientos productivos hacia atrás (capacidad de un sector para arrastrar a otros ligeramente ligados a él y hacia adelante, ocurre cuando un sector ofrece sus productos a otro sector (ver Figura 1).

Figura 1. Esquema general de la cadena de valor de la producción ganadera de doble propósito, en el municipio de Tuxpan, Veracruz



*Tipo Inspección Federal⁴

Fuente: elaboración propia.

En México, Sosa et al. (2017) identificaron a partir de la Matriz Insumo Producto publicada en 2012 que los principales encadenamientos productivos de las actividades pecuarias se encuentran en su interior (hacia atrás) con una demanda de insumos del 69% para los sistemas ovino-caprino, 52% para el bovino, 46% para el porcino y 45% para el avícola, siendo el cultivo de semillas oleaginosas, leguminosas y cereales el que suministró en promedio el 10% de los insumos. Mientras que sus encadenamientos hacia adelante muestran un elevado nivel de autoconsumo que en promedio representan el 77% de los insumos ofertados, en esta

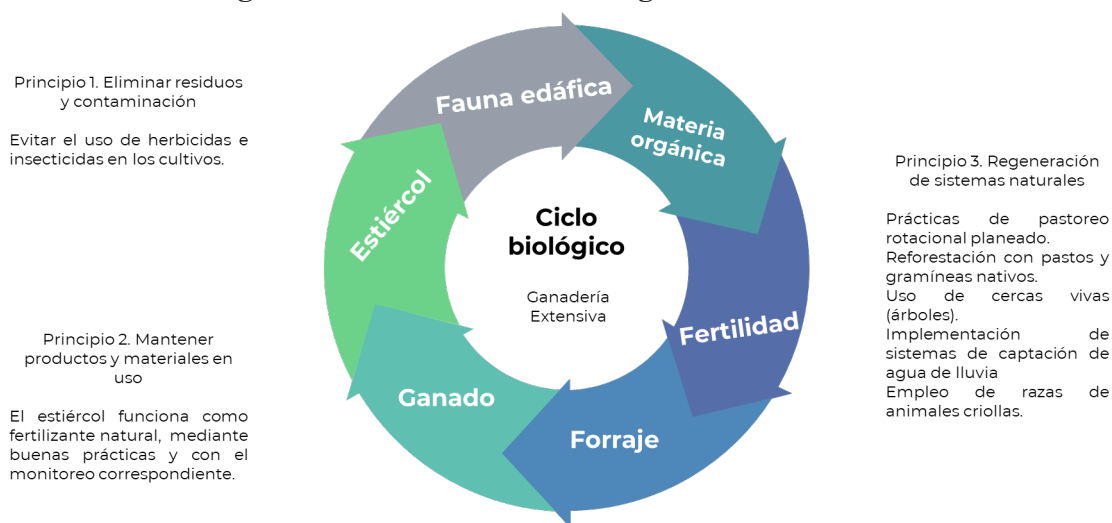
⁴ Certificación otorgada por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), a las empresas dedicadas al sacrificio y procesamiento de carne en México. Se da esta certificación a los establecimientos que tienen instalaciones adecuadas y cumplen con las normas de higiene e inocuidad de los productos cárnicos.

estructura se hace evidente la relación que existe entre productos pecuarios con las actividades transformadoras, en el caso de la ganadería bovina la elaboración de productos lácteos ocupa el segundo lugar de importancia en oferta de insumos (Sosa et al., 2017).

Asimismo, de acuerdo con Sosa et al. (2017), las estimaciones realizadas en los encadenamientos productivos varían en función de cada región del país. Por citar un ejemplo, la explotación pecuaria se concentra en la región del altiplano, centro norte, región noroeste y región occidente, por lo cual este tipo de actividades son clasificadas como de mucha importancia para el desarrollo de las economías regionales, debido a que poseen una capacidad de arrastre significativa al estar relacionadas a la alimentación, generando una contribución a la economía no solo desde el ámbito de la producción por sus encadenamientos, sino también por su demanda final.

Por sus características productivas, el sector ganadero extensivo puede transitar hacia una economía circular mediante procesos regenerativos para eliminar las pérdidas y desperdicio durante todo el ciclo biológico y a lo largo de la cadena de valor, siendo una oportunidad para cerrar el ciclo en cada una de sus etapas y utilizar los subproductos de alimentos consumidos como materia prima (ver Figura 2) (MPCEIP y GIZ, 2021). Esto es explicado desde el ciclo natural de la ganadería (ver Figura 2), las propias heces y orina del ganado son elementos que pueden ser aprovechados como fertilizantes naturales que contribuyen a la salud del suelo (Islam, 2021).

Figura 2. Proceso natural de la ganadería extensiva



Fuente: elaboración propia.

Considerando sus principios y características, la economía circular resulta un modelo de gran interés que puede contribuir al cumplimiento de compromisos internacionales de México en materia de adaptación al cambio climático, para garantizar sistemas productivos resilientes y la seguridad alimentaria. De acuerdo con la revisión de la literatura de la ganadería extensiva en México, se puede observar que existen avances y oportunidades importantes para que los sistemas ganaderos transiten a sistemas sustentables, la transición a una ganadería regenerativa y de conservación podrá traer consigo beneficios sociales, económicos y ambientales.

Ejemplo de ello es la ganadería sustentable implementada en cinco regiones colombianas,⁵ en donde la implementación de sistemas silvopastoriles y prácticas regenerativas han beneficiado a 4,100 ganaderos, quienes lograron mejorar la producción y calidad de sus productos, además de tener un aumento del 30% en la biodiversidad de especies de aves, transformado 38,390 ha de pasturas degradadas, gracias a la plantación de más de tres millones de árboles (The Nature Conservancy, 2020).

Existe evidencia científica de cómo el enfoque de Adaptación basada en Ecosistemas (AbE) puede contribuir a disminuir o evitar los impactos de los eventos climáticos extremos. Vingola et al. (2015) afirman que la implementación de prácticas de gestión ganadera que aprovechan los servicios de los ecosistemas o los procesos ecológicos pueden ayudar a aumentar la capacidad del ganado para adaptarse a la variabilidad climática. Los sistemas silvopastoriles son una de las prácticas que utilizan la agrobiodiversidad (genética y especies forestales) y los servicios de los ecosistemas (ciclo de los nutrientes, regulación del agua, entre otros), por lo que la transición a este tipo de sistemas productivos puede ayudar a los productores a mantener y mejorar su productividad y asegurar su seguridad alimentaria.

Los sistemas silvopastoriles y prácticas regenerativas como estrategias para contribuir a la adaptación y mitigación al cambio climático tienen una fuerte relación con el modelo de economía circular, un nuevo modelo de suministro, producción y consumo que implica un cambio sistémico y construye resiliencia en el mediano y a largo plazo, genera oportunidades económicas y de negocios, y proporciona beneficios ambientales y sociales (EMF, 2017; VITARTIS, 2020).

Según Van Zanten, Van Iterssum y De Boer (2019), los sistemas ganaderos tienen dos funciones principales: aportar alimentos para el ser humano y reducir el impacto ambiental, lo

⁵ 1) Bajo Magdalena (Atlántico y Bolívar); 2) Valle del río Cesar (Cesar y la Guajira); 3) Boyacá y Santander; 4) Ecorregión Cafetera (Caldas, Quindío, Risaralda, Tolima y Valle); y 5) Piedemonte Orinicense (Meta).

cual puede lograrse mediante la adopción del concepto biofísico en los sistemas alimentarios en donde el ganado consume la biomasa no apta para el ser humano y producen excretas que deben ser utilizadas para mantener la fertilidad del suelo.

Los procesos naturales de la ganadería, conocidos como ciclos biogeoquímicos, regeneran los sistemas vivos, tal como el suelo, por lo que cuando existe un funcionamiento óptimo de estos ciclos, las actividades agropecuarias tienen la capacidad de proveer diversos servicios ecosistémicos (Power, 2010). Por ello, es prioritario que la ganadería pueda trascender hacia una práctica regenerativa, por ejemplo, el pastoreo rotativo con periodos de descanso prolongados (los animales pastan de 1 a 2 días, seguido de un período de descanso de 24 días), permiten mejorar la salud del suelo de los cultivos, una mayor producción de pasto y almacenamiento de carbono (Díaz et al., 2021).

La ganadería extensiva ha dividido opiniones respecto a su relación con el medio ambiente. Por un lado, algunos investigadores afirman que en la ganadería extensiva es inevitable la liberación de GEI, y que la única forma de reducir los impactos ambientales es disminuir el consumo de carne (Garnett et al., 2017). Por otro lado, la ganadería extensiva es considerada una herramienta de la economía circular, generadora de recursos y alimentos, así como por su capacidad de gestionar los riesgos climáticos, la conservación y gestión de los territorios, y por su importancia en la economía y generación de empleos en los medios rurales (Herrera et al., 2018).

La revisión de la literatura ha permitido identificar que los principios de la economía circular pueden contribuir a los procesos de adaptación y mitigación al cambio climático, y atender la doble relación presente en la ganadería extensiva en su relación con el cambio climático. Tomando como base los principios de la economía circular se podrán implementar estrategias de adaptación a partir de la regeneración y conservación de los ecosistemas, y estrategias de mitigación que contribuyan a la reducción de GEI e impactos ambientales (Rojas et al., 2017).

Cerdán, Ortiz y Cesar (2020) sugieren las estrategias de diversificación e implementación de prácticas agroecológicas para el desarrollo de sistemas agropecuarios resilientes, consideran que dichas prácticas permitirán regenerar los procesos ecológicos naturales, como el reciclaje de nutrientes, acumulación de materia orgánica, conservación de agua y suelo, los cuales son procesos claves tanto para la resiliencia de los agroecosistemas como para el desarrollo de estrategias ante los efectos adversos del cambio climático. De esta forma, las estrategias de economía circular basadas en ciclos biológicos pueden contribuir no solo a la reducción de las

emisiones de GEI, sino también a la adaptación de los sistemas ganaderos al cambio climático, al mejorar las condiciones de los ecosistemas y, por lo tanto, para los productores y productoras.

Conclusiones

Los sistemas ganaderos en México y en todo el mundo son señalados como un sector prioritario para la protección del medio ambiente por el nivel de las emisiones de GEI generados. Sin embargo, debe ser reconocido también como un sector que contribuye a garantizar la seguridad alimentaria y por los beneficios sociales y económicos que representa para las familias productoras. La ganadería es una alternativa para la generación de ingresos de las poblaciones rurales con mayor vulnerabilidad socioeconómica. Sin embargo, es necesario tener presente que cuando se realiza en pequeña escala se requiere de una serie de condiciones, como: acceso a créditos, tecnología y capacitación que deben ser proporcionados en condiciones de igualdad y equidad y conforme a las necesidades y percepciones de las comunidades beneficiadas.

Existe un doble reto para los sistemas ganaderos extensivos mexicanos: por un lado, deben reducir las emisiones generadas a lo largo de su cadena productiva y, por otro lado, necesitan adaptarse y ser resilientes a los fenómenos hidrometeorológicos extremos que generan impactos directos en su capacidad productiva para evitar pérdidas materiales, ambientales y económicas. La revisión de la literatura demuestra que los enfoques de adaptación al cambio climático y economía circular resultan convenientes para atender esta relación bidireccional, la cual puede ser contribuir en el diseño e implementación de buenas prácticas de manejo y la promoción de sistemas productivos basados en enfoques regenerativos.

La economía circular tiene una amplia relación con los conceptos de adaptación y mitigación al cambio climático, los objetivos que persigue y los principios que la integran tiene aportaciones tanto en materia de adaptación como de mitigación al cambio climático. Su aplicación en relación con la generación de nuevos modelos productivos busca la generación de cero residuos y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero; además, su visión sistémica enfocada en el funcionamiento de la naturaleza y los ciclos biológicos permite identificar estrategias resilientes en respuesta a los efectos del cambio climático.

Las investigaciones realizadas en torno a la ganadería extensiva coinciden en que el uso de especies vegetales nativas, así como el manejo y reproducción del ganado criollo son clave para hacer frente a los efectos del cambio climático. Para lograr que un sector produc-

tivo avance hacia la economía circular es necesario conocer el funcionamiento de todos los eslabones que forman parte de su cadena de valor. En este sentido, es fundamental identificar las prácticas, técnicas y acciones de manejo que requieren implementarse para reducir las emisiones generadas al medio ambiente y que además representan un elemento clave para la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático con enfoque en la economía circular, para fortalecer sus vínculos y aumentar su productividad, así como su competitividad económica y ambiental.

Referencias

- ADPC (2013). *Integrating Disaster Risk Management into Climate Change Adaption*. Disaster Risk Management Practitioner's Handbook Series.
- Alayón, J., Jiménez, G., Nahed, J. y Villanueva, G. (2016). Estrategias Silvopastoriles para Mitigar los Efectos del Cambio Climático del Sur de México. *Agroproductividad*, 9(9), 10-15.
- Apan, G., Jiménez, G., Nahed, J., Pérez, E. y Piñeiro, Á. (2021). Masificación de Sistemas Silvopastoriles: un largo y sinuoso camino. *Revista Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24(13), 1-17.
- Arce, C., Aranda, E., Osorio, M., González, R., Díaz, P. y Hinojosa, J. (2017). Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 8(1), 83-91.
- Bautista, M., López, S., Pérez, P., Vargas, M., Gallardo, F. y Gómez, F. (2011). Sistemas agro y silvopastoriles en la comunidad El Limón, municipio de Paso de Ovejas, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14, 63-76.
- CARE (2010). *Community-based adaptation toolkit*. https://www.climatelearningplatform.org/sites/default/files/resources/CARE_CBA_Toolkit.pdf
- CBD (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Montreal, *Technical Series*, 41, 126.
- CEDRSSA (2020). *Política pecuaria y ganadería sostenible*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable. Cámara de Diputados. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/34PoliticaPecuariaN.pdf>

- CONANP (2014). *Programa de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas del Complejo Cuenca del Río Grande*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza.
- Cerantola, N. y Ortiz, M. (2018). *La economía circular en el sector agroalimentario. Asociación de Usuarios de Bancos, Cajas y Seguros. Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social*. Gobierno de España.
- Cerdá, E. y Khalilova, A. (2016). Economía Circular. *Economía Industrial*, (401), 11-20.
- Cerdán, C., Ortiz, G. y Cesar, P. (2020). El sector agropecuario: causante y mitigante. En A. Tejada, B. del Valle, C. Welsh, C. Ochoa, e I. Méndez (Eds.). *Veracruz, una década ante el cambio climático* (pp. 103-114). Editora de Gobierno del Estado de Veracruz.
- Cotler, H. (2010). *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*. Pluralia.
- CONANP (2018). *Ganadería Sustentable*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas/ Gobierno de México.
- Díaz, X., Epelde, L., Arranz, J., Garbisu, C., Ruíz, R. y Mandaluniz, N. (2021). Regenerative rotational grazing management of dairy sheep increases springtime grass production and topsoil carbon storage. *Ecological Indicators*, 125, 107,484.
- EMF (2013). *Towards the economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation.
- _____ (2017). *What is a circular economy? A framework for an economy that is restorative and regenerative by design*. Ellen MacArthur Foundation.
- _____ (2019). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. Ellen MacArthur Foundation. www.ellenmacarthurfoundation.org/publications
- _____ (2021). *Circular economy examples and case studies*. Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/examples>
- EEA (2016). *Circular Economy in Europe. Developing the Knowledge base*. European Environment Agency Report No. 2. <https://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>
- FAO (2017). *Atlas de las Mujeres Rurales de América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- _____ (2018). *Soluciones ganaderas para el cambio climático*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/I8098ES/i8098es.pdf>
- _____ (2021a). *Producción animal. El papel de la FAO en la producción animal*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/animal-production/es/>
- _____ (2021b). *Producción pecuaria en América Latina y el Caribe. Prioridades Regionales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/americas/prioridades/produccion-pecuaria/es/>
- FGM (2020). *Zonas de intervención para la implementación de procesos de ganadería regenerativa en Veracruz. Diagnóstico ambiental y socioeconómico*. Fondo Golfo de México.
- FMCN (2020). *GANARE: Ganadería Regenerativa. La ganadería regenerativa como herramienta para la conservación de la biodiversidad*. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C. Institución privada.
- GANARE (2021). *Ganadería regenerativa y conservación de la biodiversidad*. Agence Française de Développement/Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, A. C.
- Garnett, T., Godde, C., Muller, A., Rööß, E., Smith, P., de Boer, I., Ermgassen, E., Herrero, M., van Middelaar, C., Schader, C. y van Zanten, H. (2017). *¿Rozado y confundido? Reflexionando sobre el ganado, los sistemas de pastoreo, el metano, el óxido nitroso, la cuestión del secuestro de carbono del suelo*. Red de Investigación sobre el Clima de los Alimentos, Universidad de Oxford.
- Gómez, A., Rosendo-Ponce, A., Becerril-Pérez, C. y Platas-Rosado, D. (2016). La raza bovina lechero tropical como alternativa de adaptación al cambio climático. Ponencia presentada durante el *I congreso Iberoamericano de Bioeconomía y Cambio Climático*. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.
- Gómez, B., Ruíz, L. y Lavin, C. (2019). Sistema silvopastoril intensivo, alternativa sustentable para ganado bovino de doble propósito en pastoreo. En Vega Murillo, V. E. y Hernández Beltrán, A. (Ed.) *Innovación en la ganadería veracruzana* (pp. 20-24). Asociación de Médicos Veterinarios Zootecnistas Especialistas en Bovinos del estado de Veracruz, A. C.

- González, G. (2013). *Diagnóstico en la problemática de prácticas tradicionales de pastoreo en zonas ganaderas de Tuxpan, Veracruz*. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- Gutiérrez, J. (2018). *Situación actual y escenarios para el desarrollo del biogás en México hacia 2024 y 2030*. Red Mexicana de Bioenergía/Red Temática de Bioenergía de CONACYT.
- Hernández, J., Rebollar, A., Mondragon, J. Guzman, E. y Rebollar, S. (2016). Costos y competitividad en la producción de bovinos carne en corral en el sur del Estado de México. *Investigación y Ciencia*, 24(69), 13-20.
- Hernández-Medrano, J. y Corona, L. (2017). El metano y la ganadería bovina en México: ¿Parte de la solución o del problema? *Revista Agroproductividad*, 11(2). 46-51. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/117/99>
- Herrera, P. (2020). *Ganadería y cambio climático: un acercamiento en profundidad*. Fundación Entretantos/Plataforma por la Ganadería Extensiva/el Pastoralismo.
- Herrera, P., Majadas, J., de Abel, E., Ramírez, N. y Rico, L. (2018). *La ganadería extensiva, una actividad clave para nuestra alimentación*. Fundación Entretantos.
- IICA (2021). *La ganadería en México tiene un amplio potencial para contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura/Sistemas Agroalimentarios Sostenibles.
- INECC (2019). *Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf
- _____ (2020a). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2019*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- _____ (2020b). *Construcción de esquemas de monitoreo y evaluación de la adaptación en México para la formulación de políticas públicas basadas en evidencia: Síntesis (INECC-CONACYT)-Síntesis*. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).
- Jiménez, G., Soto, L., Pérez, E., Ayala, A. y Alayón, A. (2015). Ganadería y Cambio Climático. Avances y Retos de la mitigación y adaptación en la frontera Sur de México. *Revista Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 15(30), 51-70.

- Maníquez, L., López, S., Olguín, C., Pérez, P., Díaz, P. y López, Z. (2011). Productivity of silvopastoral system under intensive mixed species grazing by cattle and sheep. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13, 573-584.
- Martínez, I. y Cruz, M. (2009). *El uso de químicos veterinarios y agrícolas en la zona ganadera de Xico, centro de Veracruz, México, y el posible impacto ambiental*. Acta.
- MPCEIP y GIZ (2021). *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. Comercio exterior, inversiones y pesca Ministerio de producción & Sociedad Alemana de Cooperación Internacional, Eds.
- Morales, L., Rosendo, A. y Becerril, C. (2016). Los recursos ganaderos y la conservación de la biodiversidad frente al cambio climático. Ponencia presentada durante el *I congreso Iberoamericano de Bioeconomía y Cambio Climático*. Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz.
- Nestlé (2021). *Accelerate, Transform, Regenerate: Nestlé's Net Zero Roadmap*. <https://www.nestle.com/sites/default/files/2020-12/nestle-net-zero-roadmap-en.pdf>
- Núñez, M. (2000). *Manual de Técnicas Agroecológicas. Serie de Manuales y Capacitación Ambiental*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Islam, K. N., Sarker, T., Taghizadeh, F., Atri, A., y Alam, M. (2021). Renewable energy generation from livestock waste for a sustainable circular economy in Bangladesh. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110,695.
- OECD (2021a). *Meat consumption*. OECD/FAO Agricultural Outlook. <https://data.oecd.org/agroutput/meat-consumption.htm>
- _____ (2021b). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- Pérez, M. y Lamothe, C. (2019). La ganadería tradicional del norte del estado de Veracruz. *Nacameh*, 13(2), 25-36.
- Power, A. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *R. Soc. B. Biol. Sci.*, 365(1554), 2,959-2,971. 10.1098/rstb.2010.0143
- Quero, A., Miranda, L. y Villanueva J. (2017). Recursos genéticos de gramíneas para el pastoreo extensivo. Condición actual y urgencia de su conservación ante el cambio climático. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 21(3), 63-86.

- Rojas, M., Nejadhashemi, A., Harrigan, T. y Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate Risk Management*, 16, 145-163.
- SADER (2019). *Características del ganado bovino del Estado de Chiapas*. Biodiversidad y Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles.
- Sánchez, B., Flores, S., Rodríguez, E., Anaya, A. y Contreras, A. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y producción animal. *Revisión. Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 11(Supl. 2), 126-145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
- SoilsforLife (2021). *Australian case studies in regenerative agriculture*. <https://soilsforlife.org.au/case-studies/>
- Sosa, M., Martínez, F., Espinosa, J. y Buendía, J. (2017). Contribución del sector pecuario a la economía mexicana. Un análisis desde la Matriz Insumo Producto. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1), 31-41.
- The Nature Conservancy (2020). *Paisajes de acción. R2A en Colombia. Trabajando por una ganadería sustentable y regenerativa*. <https://www.nature.org/es-us/que-hacemos/nuestras-prioridades/proporcionar-agua-y-alimentos-de-forma-sostenible/r2a/paisajes-de-accion/colombia/>
- Trejo, H., Salazar, E., López, J. y Vázquez, C. (2013). Impacto del estiércol bovino en el suelo y producción de forraje de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 727-738.
- VITARTIS (2020). *Modelo de Economía Circular de adaptación y mitigación del Cambio Climático en la Industria Alimentaria de Castilla y León: Mencia*. <https://www.vitartis.es/portfolio-item/modelo-de-economia-circular-de-adaptacion-y-mitigacion-del-cambio-climatico-en-la-industria-alimentaria-de-castilla-y-leon-menc3ia/>
- Van Zanten, H., Van Iterssum, M. y De Boer, I. (2019). *The role of farm animals in a circular food system*. Global Food Security.
- Velasco, J., Mendoza, J., Aznar, J. y Gallego, A. (2021). Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators. *Resources, Conservation & Recycling*, 170, 105,618.
- Vingola, R., Harvey, C., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donnati, C. y Martínez, R. (2015). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: Definitions, opportunities

and constraints. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211(15), 126-132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.013>

Webster, K. y EMF (2020). *The circular economy: a wealth of flows*. Ellen MacArthur Foundation Publishing.