

Presencia e impactos de los microplásticos en sistemas ganaderos bovinos: una revisión bibliográfica

Presence and impacts of microplastics in bovine livestock systems: a literature review

Pablo Acuña-Fuentes¹, José Leyton^{1,2,4}, Matías Betancur^{1,5}, Sergio Moraga-Bustos^{1,6}, Daniela Valencia-Orge^{1,7}, Carla Sobarzo-Palma^{3,8}, Constanza García-Castillo^{1,9}, Andrés Pinto-Poblete^{1,10}

- 1 Universidad Adventista de Chile
- 2 Laboratorio de entomología y acarología agropecuaria, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción
- 3 Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción
- 4 ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8978-4706>
- 5 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0762-7175>
- 6 ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7491-6141>
- 7 ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1374-4967>
- 8 ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-1640-4616>
- 9 ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3349-034X>
- 10 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-9621>



ACCESO ABIERTO

REVISTA AGROCIENCIA

Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de El Salvador

ISSN 2522-6509
Enero-Junio 2026
Año X, Número 29
pp.29-35

DOI:
[10.66778/RA.a10n29.05](https://doi.org/10.66778/RA.a10n29.05)

Correspondencia:
andrespinto@unach.cl

Presentado:
10 de noviembre de 2025

Revisado:
16 de enero de 2026

Aceptado:
12 de febrero de 2026

Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



RESUMEN

La presente revisión sistemática sintetiza la evidencia disponible sobre la presencia, fuentes y efectos de microplásticos (MPs) y nanoplasticos (NPs) en sistemas bovinos de producción de leche y carne. La búsqueda se realizó en la base de datos Scopus entre enero y octubre de 2025, considerando publicaciones en inglés entre 2004 y 2025, siguiendo la declaración PRISMA 2020. Se incluyeron doce estudios revisados por pares que abordaron matrices como forrajes, concentrados, estiércoles, agua y productos lácteos. Los polímeros predominantes fueron polietileno (PE), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET) y poliamidas (PA), con tamaños generalmente inferiores a 500 µm y morfología fibrosa. Los alimentos ganaderos y el agua de bebida constituyen las principales vías de ingreso, mientras que los estiércoles representan un sumidero y un vector de recirculación ambiental. Se ha confirmado la presencia de MPs en leche cruda y proteínas lácteas, lo que sugiere una posible transferencia hacia productos de consumo humano. En condiciones in vitro, los MPs afectaron la fermentación ruminal, la microbiota metanogénica y la producción de metano. Asimismo, la aplicación de estiércoles contaminados favorece la acumulación progresiva de partículas en los suelos agrícolas. La evidencia disponible demuestra que los sistemas bovinos mantienen un ciclo interno de exposición a MPs, que abarca desde los insumos agrícolas hasta los productos animales, planteando implicancias para la salud animal, la inocuidad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Se destacan las limitaciones metodológicas existentes y la necesidad de estandarizar técnicas analíticas y unidades de reporte para avanzar en la evaluación del riesgo.

Palabras claves: Salud animal, Contaminación ambiental, Forrajes, Estiércol.

ABSTRACT

This systematic review synthesizes the available evidence on the presence, sources, and effects of microplastics (MPs) and nanoplastics (NPs) in dairy and beef cattle production systems. The search was conducted in the Scopus database between January and October 2025, considering English-language publications from 2004 to 2025, following the PRISMA 2020 guidelines. Twelve peer-reviewed studies were included, addressing matrices such as forages, concentrates, manure, water, and dairy products. The predominant polymers were polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyethylene terephthalate (PET), and polyamides (PA), with sizes generally less than 500 µm and fibrous morphology. Livestock feed and drinking water are the main entry routes, while manure represents a sink and vector for environmental recirculation. The presence of MPs has been confirmed in raw milk and dairy proteins, suggesting potential transfer to products consumed by humans. Under in vitro conditions, particulate matter (PM) affected ruminal fermentation, methanogenic microbiota, and methane production. Furthermore, the application of contaminated manure promotes the progressive accumulation of particles in agricultural soils. Available evidence demonstrates that bovine systems maintain an internal cycle of PM exposure, encompassing agricultural inputs and animal products, with implications for animal health, food safety, and environmental sustainability. Existing methodological limitations and the need to standardize analytical techniques and reporting units to advance risk assessment are highlighted.

Keywords: Animal health, Environmental pollution, Forage, Manure.

INTRODUCCIÓN

El uso de plásticos en la producción agropecuaria se ha expandido de forma sostenida durante las últimas décadas, abarcando desde los insumos y herramientas de manejo hasta los sistemas de almacenamiento y conservación de forrajes destinados al ganado bovino (Saxena, 2022). Se estima que, en 2019, cerca de 12,5 millones de toneladas de plásticos fueron empleadas en la agricultura y la ganadería, y más de 37 millones en el envasado de alimentos (FAO, 2021), lo que refleja una creciente dependencia de estos materiales a lo largo de la cadena agroalimentaria.

En los sistemas bovinos, el uso intensivo de plásticos para la producción y conservación de alimentos, el manejo de estiércoles y la infraestructura de los establos ha contribuido a mejorar la eficiencia y estabilidad de los sistemas, pero también ha introducido nuevos desafíos ambientales (Ramachandran et al., 2021). En este contexto, los microplásticos (MPs; <5.0 mm) y nanoplásticos (NPs) emergen como contaminantes de alto riesgo, dada su persistencia, capacidad de fragmentación y potencial de transferencia dentro de los sistemas productivos (Khanna et al., 2024)

La ganadería bovina, por su magnitud e interacción directa con el ambiente, representa un sistema clave para evaluar la presencia de estos contaminantes emergentes. Además de las presiones ya conocidas asociadas a las emisiones de gases de efecto invernadero, la lixiviación de nitratos y la gestión de purines (Statham et al., 2017), y la posible incorporación y recirculación de MPs plantea un nuevo componente de riesgo para la calidad del suelo, del agua y de los productos derivados (Olmo y Holman, 2025). Estas partículas, al fragmentarse y acumularse en matrices agropecuarias, pueden alterar las propiedades físicas del suelo, modificar la retención hídrica y afectar la actividad microbiana responsable de los ciclos biogeoquímicos (De Souza Machado et al., 2020). En sistemas ganaderos, la reincorporación de estiércoles contaminados con MPs puede contribuir a la dispersión de partículas persistentes hacia el ambiente y al eventual retorno de estas al animal a través de los forrajes (Sheriff et al., 2023). Lo anterior podría intensificar la exposición y la transferencia trófica de contaminantes, comprometiendo la sostenibilidad de los sistemas bovinos y la inocuidad de los productos alimentarios (Lackner y Branka, 2024). A pesar del creciente reconocimiento internacional sobre este problema, los estudios enfocados en el sector pecuario, y especialmente en sistemas bovinos de América Latina, siguen siendo escasos, considerando que la región tiene grandes exponentes en la producción de carne nivel regional, tales como Brasil, Argentina y México, quienes alcanzan superan el 65% de la producción regional, responsable del 23% a nivel global (FAO, 2023). Además, a escala global el interés científico por la contaminación por MPs en suelos agrícolas ha aumentado de manera significativa, pasando de menos de veinte publicaciones antes de 2016 a más de cien en 2022, lo que refleja una tendencia de crecimiento exponencial en este campo de investigación (Liu et al., 2023). En este contexto, la presente revisión sistemática busca aportar una visión actual sobre la presencia y circulación de MPs en sistemas bovinos y su importancia dentro del ciclo productivo y ambiental. La revisión plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es la evidencia disponible sobre la presencia, las rutas de exposición y los efectos de los microplásticos en sistemas bovinos, y su posible transferencia hacia productos y suelos agrícolas?

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión se desarrolló conforme a la declaración PRISMA 2020 (Page et al., 2020), con el objetivo de reunir y analizar críticamente la evidencia científica sobre la presencia y los efectos de los MPs y NPs en sistemas bovinos de producción de carne y leche. El proceso incluyó las etapas de búsqueda bibliográfica, selección de registros, extracción de información y síntesis de resultados.

La pregunta de investigación abordó la evidencia disponible sobre la presencia de MPs y NPs en matrices asociadas a la producción bovina, sus posibles efectos sobre la salud y el desempeño animal, y la eventual transferencia de estas partículas a productos y suelos agrícolas.

Las búsquedas se realizaron entre enero y octubre de 2025 en la base de datos Scopus, considerando únicamente artículos revisados por pares en inglés y publicados entre 2004 y 2025 (Tabla 1). Se seleccionó esta base por su cobertura interdisciplinaria y su reconocida calidad en la indexación de literatura científica (Visser et al., 2021).

La estrategia combinó descriptores controlados (DeCS y MeSH) y términos libres (Lefebvre et al., 2022) relacionados con microplastic, nanoplastic, livestock, cattle, swine, poultry, feed, forage, manure, milk y meat, complementando la búsqueda con referencias cruzadas (snowballing). Se seleccionaron estudios que reportaron la presencia o efectos de MPs-NPs en matrices ganaderas bovinas o productos animales, y se excluyeron trabajos sin datos cuantitativos, sin descripción metodológica o no vinculados a sistemas productivos, desde el título, resumen o tras la revisión completa del texto. Los registros se gestionaron mediante Mendeley Reference Manager versión 2.118.

El análisis se realizó de forma narrativa, agrupando los resultados por matriz (forraje, estiércol, agua, leche y carne). Finalmente, se identificaron las principales fuentes de contaminación, rutas de transferencia y vacíos de información existentes.

Esta revisión no involucró experimentación con animales ni personas y se basó exclusivamente en fuentes de acceso público.

Tabla 1
Etapas del proceso de selección de artículos según PRISMA 2020

Proceso	Número de artículos
Identificados en Scopus	124
Excluidos por título/resumen	84
Excluidos tras lectura completa	72
Incluidos en la síntesis final	12

RESULTADOS

La revisión sistemática identificó 11 estudios revisados por pares publicados entre 2021 y 2025 que documentan la presencia, fuentes y efectos de MPs y NPs en sistemas bovinos de carne y leche (Tabla 2). Los polímeros predominantes fueron polietileno (PE), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET) y poliamida (PA), con tamaños mayoritariamente inferiores a 500 μm , lo que indica un alto potencial de movilidad y exposición interna.

Los alimentos ganaderos (ensilados, heno, concentrados) y el agua de bebida constituyeron las principales rutas de ingreso, con detección de MPs en la mayoría de las muestras analizadas y predominio de polímeros tipo LDPE y PP. El estiércol bovino se consolidó como el principal sumidero interno, reflejando la transferencia directa desde los insumos plásticos hacia el animal y su posterior excreción. Algunos estudios describieron retención parcial de partículas en el rumen y efectos sobre la fermentación ruminal, incluyendo reducción de metano y alteraciones en la microbiota metanogénica bajo condiciones *in vitro*. En la fracción láctea, se reportó la presencia de MPs en proteínas de leche y leche cruda, principalmente PP y PE.

DISCUSIÓN

Microplásticos como contaminante emergente en sistemas bovinos

Los sistemas bovinos constituyen una de las principales actividades agropecuarias a nivel global, con alto impacto en el uso de recursos, generación de residuos y emisiones asociadas (Singh et al., 2025). En este contexto, la presencia de MPs en la producción de leche y carne se ha consolidado como un nuevo factor de preocupación ambiental y sanitaria (Shrivastava et al., 2025). La revisión realizada evidencia que los MPs están presentes en distintos componentes del sistema bovino, incluyendo alimentos balanceados, ensilajes, forrajes, estiércoles y leche (van der Veen et al., 2022; Da Costa Filho et al., 2021; Glorio Patrucco et al., 2024; Grechi et al., 2023; Kaske et al., 2025; Tassone et al., 2025). Estos hallazgos confirman que el ganado bovino puede actuar como un vector y receptor activo dentro del ciclo de contaminación plástica agrícola (Corte Pause et al., 2024).

El uso intensivo de materiales plásticos para la conservación de forrajes, la logística alimentaria y el manejo de residuos representa una vía potencial de exposición constante, que podría verse amplificada por la degradación y fragmentación de polímeros en las etapas de almacenamiento o alimentación (Glorio Patrucco et al., 2024; Chang et al., 2024). Esta degradación puede ocasionarse por la radiación UV o por el daño mecánico (Xiao et al., 2025).

Los estudios incluidos en esta revisión muestran la presencia predominante de polímeros como polietileno (PE), polipropileno (PP) y poliamidas (PA), tanto en compuestos sólidos como líquidos, con tamaños generalmente inferiores a 500 μm . Esta distribución sugiere una combinación de fuentes directas, asociadas a insumos productivos (bolsas plásticas, coberturas de silos), e indirectas, derivadas del reciclaje ambiental mediante estiércoles (Guo et al., 2024; Wang et al., 2025).

La importancia de abordar este tema radica en que los MPs pueden interferir con procesos clave del sistema bovino, afectando la digestión, la microbiota ruminal y la inocuidad de productos derivados (Grechi et al., 2023; Tassone et al., 2025). Además, su persistencia en los estiércoles utilizados como fertilizante podría generar acumulación progresiva en los suelos agrícolas, cerrando un ciclo de exposición dentro del propio sistema productivo (Wang et al., 2025; Guo et al., 2024).

Al comparar estos resultados con otros sistemas de producción pecuaria, se observa una tendencia similar. En la producción porcina y avícola, se han identificado principalmente partículas de PE y PP en heces y tejidos comestibles potencialmente transmitibles a la cadena trófica, con concentraciones entre $1,4 \times 10^3$ y $5,8 \times 10^4$ partículas kg^{-1} , lo que confirma que los MPs están presentes de forma transversal en los sistemas ganaderos (Huang et al., 2023; Mohammadi et al., 2025; Wu et al., 2021).

Fuentes potenciales y rutas de exposición en sistemas bovinos

La presente revisión identifica tres grandes fuentes potenciales de ingreso: los materiales plásticos utilizados en la conservación de forrajes, la contaminación cruzada a través del agua o las instalaciones productivas, y la recirculación ambiental mediante estiércoles aplicados al suelo agrícola (Glorio Patrucco et al., 2024; Glorio Patrucco et al., 2025; Chang et al., 2024; Wang et al., 2025; Patrucco et al., 2025; Guo et al., 2024; Mohammadi et al., 2025; Wu et al., 2021).

El estudio de Glorio Patrucco et al. (2024) constituye una metodología orientada a la detección de MPs en alimentos de rumiantes y evidencia que todos los tipos de muestras analizadas, considerando ensilajes de maíz, heno, raciones mixtas totales y alimentos proteicos, contenían partículas plásticas, con concentraciones entre 8.3 ± 3.5 y 39.3 ± 7.0 MPs g^{-1} . Los polímeros predominantes fueron PE, PA y PET, en forma de fibras y fragmentos, con tamaños menores a 3 mm, lo que confirma que los insumos alimenticios constituyen una ruta primaria de exposición para el ganado bovino. Esta contaminación se vincula directamente con el uso intensivo de films y mallas para ensilaje, bolsas de almacenamiento y recubrimientos utilizados en la logística del alimento. Las condiciones de humedad, presión y temperatura durante la conservación y el manejo del forraje favorecen la fragmentación de estos materiales, lo que facilita su incorporación en las raciones (Glorio Patrucco et al., 2024; Chang et al., 2024).

Los MPs presentes en los alimentos se correlacionan con la detección de estas partículas en matrices biológicas. Grechi et al. (2023) demostraron la presencia de microplásticos de poliestireno (PS) en el fluido folicular de vacas lecheras, lo que confirma la capacidad de estas partículas para atravesar barreras fisiológicas y potencialmente afectar procesos reproductivos. De forma complementaria, Da Costa Filho et al. (2021) identificaron MPs en leche cruda y proteínas lácteas bovinas, principalmente PET, PE y PP, con tamaños de 5 a 100 μm analizados mediante $\mu\text{-FTIR}$ y pirólisis-GC/MS. Además, un estudio piloto desarrollado en los Países Bajos reportó la presencia de partículas plásticas en alimentos concentrados, sangre, leche y carne bovina, lo que refuerza la hipótesis de una posible transferencia interna a través de la cadena alimentaria (van der Veen et al., 2022).

Otros estudios como los de Tassone et al. (2025) y Kaske et al. (2025), exploraron el efecto de MPs sobre la fermentación ruminal utilizando sistemas *in vitro*, observando que las partículas de PE y PS en el rango de 100–500 μm modificaron la producción de ácidos grasos volátiles y la eficiencia metanogénica, demostrando cambios en la estructura de la microbiota ruminal, en particular en la abundancia relativa de bacterias fermentadoras, lo que sugiere que los MPs pueden adsorber nutrientes o interferir en la adherencia microbiana, alterando la cinética de fermentación.

Tabla 2

Estudios incluidos en la revisión sistemática sobre la presencia e impactos de microplásticos en sistemas ganaderos bovinos

Especie / Sistema ganadero	Autor(es) y año	Matriz estudiada	MPs	Diseño del estudio	Principales hallazgos o efectos observados	Categoría temática
Bovinos y aves de corral	Mohammadi et al., 2025 (Scientific Reports, 15:27228)	Estiércol	PP, PE, PAA, PET, PS, PVC, PTFE, PES	Experimental-descriptivo	MPs detectados en 71% de muestras; predominan fibras azules de PP y PE.	Presencia y caracterización de MPs y contaminantes en estiércoles ganaderos
Bovinos y ovinos	Bahrani et al., 2024 (Environ. Sci. Pollut. Res., 31:22145–22157)	Tejidos comestibles (carne, hígado, tripa)	Nylon, LDPE, PS; 25–5000 µm	Experimental-descriptivo	MPs en 93% de muestras; fibras negras; contaminación cruzada en mataderos.	Presencia y caracterización de MPs en tejidos comestibles de rumiantes
Bovinos (fluido ruminal in vitro)	Tassone et al., 2025 (Fermentation, 11(8):445)	Fluido ruminal	LDPE, PET, PA; 500–1000 µm	Experimental in vitro	PET degradado parcialmente (0.96 % a 72 h); capacidad degradativa microbiana ruminal.	Degradación ruminal in vitro de MPs en bovinos
Bovinos	Xiao et al., 2025 (Agronomy, 15(1):107)	Digestato de estiércol	PE, PP, PET; 50–150 µm	Experimental in vitro	MPs redujeron CH ₄ (–11 a –29%); alteraron microbiota metanogénica.	Efectos de MPs en digestión anaerobia y microbiota metanogénica
Bovinos	Kaseke et al., 2025 (Environ. Pollut., 383:126803)	Proteínas de leche	PP; MPs 63–180 µm, NPs 0.13–0.48 µm	Experimental in vitro	MPs ralentizan digestión de proteínas; NPs aumentan resistencia de β-lactoglobulina.	Efectos digestivos y de bioaccesibilidad en proteínas lácteas
Bovinos	Guo et al., 2024 (Chemosphere, 367:143639)	Estiércol y digestato	PLA; 1.5 mm	Experimental in vitro (37/55°C ± NBW)	PLA incrementó metano bajo termofilia y lo redujo en mesofilia; alteró microbiota.	Bioplásticos y digestión anaerobia ganadera
Cerdos, Bovinos, aves	Wu et al., 2021 (Environ. Pollut., 277:116790)	Estiércol y alimento	PP, PE, PR, PET; 125–500 µm	Descriptivo-analítico	MPs detectados en todas las especies; rutas, feedbags y agua; transferencia estiércol-suelo.	Rutas de transferencia de MPs desde estiércol y alimentación
Bovinos lecheros	Glorio Patrucco et al., 2025 (Sci. Total Environ., 1001:180479)	Alimentos ganaderos (ensilado, heno, concentrado)	LDPE, HDPE, PA; 0.03–5 mm	Descriptivo-analítico	MPs en todos los pienso; LDPE predominante; fuente primaria de exposición oral.	Contaminación de alimentos ganaderos y exposición primaria
Bovinos lecheros	Glorio Patrucco et al., 2024 (Sci. Total Environ., 947:174493)	Alimentos ganaderos (ensilado, TMR)	HDPE, LDPE, PA, PET, PS (<5 mm)	Metodológico	Protocolo no destructivo (KOH+Fenton); recuperaciones ≥85%; MPs en todas las muestras.	Protocolos analíticos para detección de MPs en alimentación ganadera
Bovinos lecheros	Da Costa Filho et al., 2021 (Environmental Pollution, 278:116823)	Leche y proteínas lácteas	PET, PE, PP; 5–100 µm	Experimental-analítico	Detección de MPs en leche cruda y productos lácteos; predominio de fibras y fragmentos de PE y PP; posible contaminación durante procesamiento y envasado.	Presencia de MPs en productos animales y riesgo de transferencia alimentaria.
Bovinos lecheros	Wang et al., 2025 (Sci. Total Environ., 1003:180611)	Suelo, alimento, atmósfera	CPI, PVC, PE, PS; MPs y NPs	Observacional multi-matrizial	93% <100 µm; suelo con estiércol 2.5× más contaminado; riesgo ecológico bajo.	Evaluación de riesgo ambiental y trazabilidad de MPs/NPs en sistemas lecheros
Bovinos lecheros	Chang et al., 2025 (Sci. Total Environ., 1003:180611)	Suelos con estiércol	PVC, CPI, PE; 20–500 µm	Observacional multi-matriz	MPs ubicuos; correlación alimento-suelo; riesgo humano bajo.	Riesgos y fuentes de MPs en granjas lecheras intensivas

La presencia de MPs en el estiércol bovino confirma su excreción y la recirculación ambiental de estos contaminantes. Guo et al. (2024) y Wang et al. (2025) reportaron concentraciones entre 5.2×10^3 y 1.1×10^4 partículas kg^{-1} en estiércoles de sistemas intensivos, con predominio de fibras de PE y PP. Estos materiales, al aplicarse como fertilizantes orgánicos, favorecen la acumulación progresiva de MPs en suelos agrícolas y potencialmente en el forraje de ciclos posteriores. Chang et al. (2025) verificó que la reutilización de purines bovinos contaminados puede aumentar hasta en un 40% la carga de MPs del suelo superficial tras un solo ciclo de aplicación, respaldando la recirculación.

Algunos autores también mencionan fuentes secundarias de exposición, como el agua almacenada en estanques plásticos y el polvo ambiental de establos o corrales cubiertos, que podrían contribuir a la carga total de MPs ingeridos por los animales (Wang et al., 2025; Glorio Patrucco et al., 2025). Aunque estas vías han sido menos cuantificadas, representan un componente adicional de exposición en sistemas confinados.

Implicancias para la inocuidad y sostenibilidad ambiental

Los estudios analizados coinciden en que la presencia de microplásticos (MPs) en sistemas bovinos no se limita a la exposición a través de los alimentos, sino que puede extenderse a los productos de origen animal y al entorno agrícola asociado.

Los trabajos que abordaron matrices biológicas, como los de Da Costa Filho et al. (2021) y van der Veen et al. (2022), demuestran que los MPs pueden encontrarse en leche cruda y en proteínas lácteas procesadas,

con predominio de fragmentos y fibras de polietileno, polipropileno y tereftalato de polietileno. La similitud entre los polímeros detectados en la leche y los presentes en los forrajes y concentrados indica que los alimentos contaminados constituyen la principal fuente de ingreso. Aunque la transferencia directa aún debe confirmarse, la coincidencia en composición y tamaño sugiere un posible paso de partículas o aditivos durante el ordeño y el procesamiento.

El riesgo para la inocuidad alimentaria no se limita al consumo humano de leche o carne, sino que también se extiende a la posible ingestión crónica de partículas menores o aditivos adsorbidos en la superficie de los MPs (Pinto-Poblete et al., 2023). Estas partículas pueden actuar como vectores de contaminantes persistentes y metales, amplificando la exposición a compuestos que ya son relevantes en los sistemas intensivos. Grechi et al. (2023) observó que los MPs de poliestireno son capaces de atravesar barreras celulares y afectar procesos reproductivos en bovinos, lo que refuerza la necesidad de considerar estos contaminantes como un factor biológico activo dentro del metabolismo animal.

En términos ambientales, los estudios de Guo et al. (2024) y Wang et al. (2025) demostraron que el estiércol bovino es una fuente relevante de MPs hacia los suelos agrícolas. La aplicación reiterada de estiércoles contaminados produce acumulaciones que alcanzan hasta 11 000 partículas por kilogramo de suelo, con predominio de fibras plásticas finas. Estas partículas pueden alterar la porosidad del suelo, modificar la retención de agua y afectar procesos microbianos esenciales, lo que a largo plazo compromete la fertilidad y la funcionalidad del agroecosistema (Panda, 2024).

El uso de purines como fertilizante también contribuye a este ciclo de recirculación. Chang et al. (2024) evidenció incrementos en la carga

plástica del suelo tras la aplicación de purines provenientes de sistemas confinados, con un aumento de hasta 40% en la concentración superficial luego de un solo ciclo, demostrando que los MPs no se comportan como un contaminante puntual, sino como un residuo persistente.

Además de los impactos físicos, algunos estudios sugieren que los MPs pueden influir en la dinámica microbiana del rumen y del suelo. Tassone et al. (2025) y Kaske et al. (2025) reportaron alteraciones en la producción de ácidos grasos volátiles y en la abundancia de grupos bacterianos responsables de la fermentación. Este tipo de cambios podría tener consecuencias indirectas sobre la eficiencia alimenticia y la emisión de gases de efecto invernadero (Zhang et al., 2025). A nivel del suelo, la presencia continua de MPs derivados de estiércoles contaminados podría alterar comunidades microbianas beneficiosas, afectando la descomposición de materia orgánica y la disponibilidad de nutrientes (Aralappanavar et al., 2024).

Limitaciones metodológicas y desafíos analíticos

La revisión evidenció que, aunque el conocimiento sobre la presencia de MPs en sistemas bovinos ha avanzado de manera significativa en los últimos 5 años, aún existen importantes limitaciones metodológicas que dificultan la comparación entre estudios y la evaluación del riesgo real (Olmo y Holman, 2025). La mayoría de las investigaciones analizadas utiliza enfoques analíticos distintos, con diferentes técnicas de extracción, digestión y cuantificación, lo que condiciona la interpretación global de los resultados.

Los trabajos de Glorio Patrucco et al. (2024) y Patrucco et al. (2025) aportan un avance sustancial al desarrollar protocolos específicos para matrices ganaderas, optimizados para evitar la degradación de los polímeros durante la digestión química y reducir los falsos positivos por contaminación cruzada. La combinación de digestión alcalina y oxidación controlada mediante reacciones de Fenton ha mostrado una recuperación superior al 85%, lo que representa un estándar prometedor para futuras aplicaciones.

Otra debilidad recurrente es la heterogeneidad de las unidades de reporte. Algunos estudios expresan las concentraciones en partículas por gramo de muestra, otros en partículas por kilogramo o por volumen, y en muchos casos no se detallan los límites de detección ni los criterios de clasificación de tamaño (Verrez-Bagnis, 2023). Esta variabilidad dificulta establecer comparaciones precisas o estimar cargas totales de MPs dentro del sistema productivo.

La identificación polimérica también presenta desafíos. Mientras algunos autores aplican espectroscopía FTIR o Raman, otros utilizan pirólisis acoplada a cromatografía y espectrometría de masas (Pyr-GC/MS), con distintos grados de sensibilidad y riesgo de sobreestimación. Estudios como los de Da Costa Filho et al. (2021) destaca la necesidad de aplicar controles de blancos y protocolos libres de plástico durante la preparación de las muestras, ya que incluso una contaminación mínima del laboratorio puede alterar las estimaciones finales.

A nivel experimental, persiste la falta de diseños que permitan distinguir entre contaminación ambiental y transferencia biológica real. La detección de MPs en fluidos y tejidos bovinos no siempre permite establecer si las partículas fueron ingeridas, absorbidas o introducidas por contaminación externa. En este sentido, los trabajos de Grechi et al. (2023) y Kaske et al. (2025) subrayan la importancia de implementar trazadores sintéticos y estudios controlados que evalúen la absorción y excreción de partículas bajo condiciones estandarizadas.

Otro aspecto crítico es la ausencia de marcos regulatorios o guías oficiales para el monitoreo de MPs en matrices ganaderas. Mientras en alimentos y agua existen normativas emergentes, la producción animal sigue careciendo de criterios específicos sobre métodos, tamaños o límites permisibles (Verrez-Bagnis, 2023; Corte Pause et al., 2024). Esto

genera un vacío normativo que impide establecer umbrales de seguridad y estrategias de mitigación.

CONCLUSIÓN

La evidencia recopilada demuestra que los microplásticos (MPs) están presentes en múltiples matrices de los sistemas bovinos, abarcando desde los insumos alimenticios hasta los productos de origen animal. Los polímeros más frecuentes son polietileno, polipropileno y polietileno tereftalato, con tamaños generalmente inferiores a 500 µm. Los forrajes, concentrados y estiércoles actúan como las principales fuentes de exposición, mientras que los suelos fertilizados y la leche funcionan como receptores finales dentro de un ciclo cerrado de contaminación. Los estudios experimentales y observacionales indican que los MPs pueden afectar la fermentación ruminal, alterar la microbiota y potencialmente reducir la eficiencia digestiva, además de comprometer la inocuidad de productos lácteos y cárnicos. A pesar de los avances recientes, persisten importantes brechas metodológicas y de conocimiento, especialmente en regiones productoras de América Latina. Se requiere fortalecer el monitoreo de MPs en los sistemas ganaderos, estandarizar protocolos analíticos y evaluar sus impactos a nivel fisiológico, productivo y ambiental.

REFERENCIAS

- Aralappanavar, VK; Mukhopadhyay, R; Yu, Y; Liu, J; Bhatnagar, A; Praveena, SM; Li, Y; Paller, M; Adyel, TM; Rinklebe, J; Bolan, NS; Sarkar, B. (2024). Effects of microplastics on soil microorganisms and microbial functions in nutrients and carbon cycling – A review (en línea). *Science of The Total Environment*, 924:171435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171435>.
- Chang, X; Li, Y; Han, Y; Fang, Y; Xiang, H; Zhao, Z; Zhao, B; Zhong, R. (2024). Polystyrene exposure induces lamb gastrointestinal injury, digestive disorders and inflammation, decreasing daily gain, and meat quality (en línea). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 277:116389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116389>.
- Corte Pause, F; Urli, S; Crociati, M; Stradaoli, G; Baufeld, A. (2024). Connecting the dots: livestock animals as missing links in the chain of microplastic contamination and human health (en línea). *Animals*, 14(2):350. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14020350>.
- Da Costa Filho, P. A., Andrey, D., Eriksen, B., Peixoto, R. P., Carreres, B. M., Ambühl, M. E., Descarrega, J. B., Dubascoux, S., Zbinden, P., Panchaud, A., & Poitevin, E. (2021). Detection and characterization of small-sized microplastics ($\geq 5 \mu\text{m}$) in milk products. *Scientific Reports*, 11, 24046. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03458-7>
- De Souza Machado, AA; Horton, AA; Davis, T; Maaß, S. (2020). Microplastics and their effects on soil function as a life-supporting system (en línea). En: He, D; Luo, Y (eds.). Cham, Springer International Publishing, vol.95:199-222. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-450-450>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2021). Assessment of agricultural plastics and their sustainability: a call for action (en línea). Roma, IT: FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/3/cb7856en/cb7856en.pdf>.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2023). Latin America and the Caribbean: livestock and enteric methane emissions (en línea). Roma, IT: FAO. Disponible en: <https://www.fao.org/in-action/enteric-methane/countries/latin-america/en>.
- Glorio Patrucco, S; Rivoira, L; Bruzzoniti, MC; Barbera, S; Tassone, S. (2024). Development and application of a novel extraction protocol for the monitoring of microplastic contamination in widely consumed ruminant feeds (en línea). *Science of The Total Environment*, 947:174493. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174493>.
- Glorio Patrucco, S; Abid, K; Rivoira, L; Bruzzoniti, MC; Barbera, S; Tassone, S. (2025). Microplastics contamination in ruminant feeds of Northwestern Italy: a preliminary assessment (en línea). *Science of The Total Environment*, 1001:180479. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180479>.
- Grechi, N.; Franko, R.; Rajaraman, R.; Stöckl, JB.; Trapphoff, T.; Dieterle, S.; Fröhlich, T.; Noonan, MJ.; Ferraz, MAMM. (2023). Microplastics are present in women's and cows' follicular fluid and polystyrene microplastics compromise bovine oocyte function in vitro (en línea). *eLife*, 12:e86791. DOI: <https://doi.org/10.7554/eLife.86791>
- Guo, P; Wang, T; Wang, J; Niu, J; Peng, C; Shan, J; Zhang, Y; Huang, H; Chen, J. (2024). Role of polylactic acid microplastics during anaerobic co-digestion of cow manure and Chinese cabbage waste enhanced by nanobubble (en línea). *Chemosphere*, 367:143639. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.143639>.
- Huang, Y; Zhang, Q; Zhao, S; Wang, W; Yang, L. (2023). Occurrence and characteristics of microplastics in livestock and poultry feed and feces in eastern China (en línea). *Journal of Hazardous Materials*, 451:132885. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132885>.
- Kaseke, T; Jovanovic, V; Wimmer, L; Vasovic, T; Mutic, T; Acimovic, J; Dailey, LA; Cirkovic Velickovic, T. (2025). Polypropylene micro- and nanoplastics affect the digestion of cow's milk proteins in infant model of gastric digestion (en línea). *Environmental Pollution* 383:126803. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126803>.
- Khanna, R; Chandra, A; Sen, S; Konyukhov, Y; Fuentes, E; Burmistrov, I; Kravchenko, M. (2024). Microplastics and nanoplastics as environmental contaminants of emerging concern: potential hazards for human health (en línea). *Sustainability*, 16(19):8704. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16198704>.
- Lackner, M; Branka, M. (2024). Microplastics in farmed animals—a review (en línea). *Microplastics* 3(4):559-588. DOI: <https://doi.org/10.3390/microplastics3040035>.
- Lefebvre, C; Glanville, J; Briscoe, S; Littlewood, A; Marshall, C; Metzendorf, MI; Noel-Storr, A; Rader, T; Shokraneh, F; Thomas, J; Wieland, LS. (2022). Searching for and selecting studies (en línea). En: Higgins, JPT; Thomas, J; Chandler, J; Cumpston, M; Li, T; Page, MJ; Welch, VA (eds.). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions*, version 6.3. Londres, RU: Cochrane. Disponible en: <https://training.cochrane.org/handbook>.
- Liu, Y; Zhang, H; Wang, X; Chen, X; Li, R. (2023). The microplastics pollution in agricultural soils: global trends and prospects—research bibliometric analysis (en línea). *Journal of Environmental Management*, 336:117657. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/372204850>.
- Mohammadi, M; Dargahi, A; Almasi, A; Mousavi, SA; Mohammadi, P. (2025). Occurrence of microplastic, antibiotics, hormones, and heavy metals in livestock and poultry manure in west Iran (en línea). *Scientific Reports*, 15:27228. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-03826-7>.
- Olmo, L; Holman, BWB. (2025). The sources and impact of microplastic intake on livestock and poultry performance and meat products: a review (en línea). *Animal Production Science*, 65(14):AN25022. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN25022>.
- Page, MJ; McKenzie, JE; Bossuyt, PM; Boutron, I; Hoffmann, TC; Mulrow, CD; Shamseer, L; Tetzlaff, JM; Akl, EA; Brennan, SE; Chou, R; Glanville, J; Grimshaw, JM; Hróbjartsson, A; Lalu, MM; Li, T; Loder, EW; Mayo-Wilson, E; McDonald, S; McGuinness, LA; Stewart, LA; Thomas, J; Tricco, AC; Welch, VA; Whiting, P; Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews (en línea). *BMJ* 372:n71. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Panda, S. (2024). Microplastic accumulation in agricultural soils – impacts on crop microbiomes and soil health (en línea). *Journal of Agriculture and Livestock Farming*. DOI: <https://doi.org/10.61577/jalf.2024.1000016>.
- Pinto-Poblete, A; Retamal-Salgado, J; Zapata, N; Sierra-Almeida, A; Schoebitz, M. (2023). Impact of polyethylene microplastics and copper nanoparticles: responses of soil microbiological properties and strawberry growth (en línea). *Applied Soil Ecology*, 184:104773. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104773>.
- Ramachandran, N; Singh, RK; Rai, B. (2021). Application of plastics in livestock production: an overview (en línea). *The Indian Journal of Animal Sciences* 91(3). DOI: <https://doi.org/10.56093/ijans.v91i3.114140>.
- Saxena, NN. (2022). A review paper on plasticulture (en línea). *International Journal of Innovative Research in Engineering & Management* 9(1):405-409. DOI: <https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.1.85>.
- Sheriff, I; Yusoff, MS; Manan, TSBA; Koroma, M. (2023). Microplastics in manure: sources, analytical methods, toxicodynamic, and toxicokinetic endpoints in livestock and poultry (en línea). *Environmental Advances*, 12:100372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100372>.
- Shrivastava, RK; Meena, S; Gaur, K. (2025). Microplastic interference in the food chain and its adverse effects on human health: a review (en línea). *International Journal of Latest Technology in Engineering Management & Applied Science*, 14(3):587-595. DOI: <https://doi.org/10.51583/IJLTEMAS.2025.140300062>.

- Singh, NK; Chandrakar, P; MT, M; Taye, T; Singh, IP; Singh, VP; Bara, S; Vithalrao, US. (2025). Environmental impact and mitigation approaches in livestock production systems: a review (en línea). *Archives of Current Research International*, 25(8):351-364. DOI: <https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i81423>.
- Statham, J; Green, M; Husband, J; Huxley, J. (2017). Climate change and cattle farming (en línea). *In Practice*, 39(1):10-19. DOI: <https://doi.org/10.1136/inp.j195>.
- Tassone, S; Issaoui, R; Balestra, V; Barbera, S; Fadda, M; Kaihara, H; Glorio Patrucco, S; Pragliola, S; Venditto, V; Abid, K. (2025). Degradation of microplastics in an in vitro ruminal environment (en línea). *Fermentation*, 11(8):445. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation11080445>.
- van der Veen, I; van de Riet, K; Mennen, M; de Boer, J; Leslie, HA. (2022). Plastic particles in livestock feed, milk, meat and blood: pilot study (en línea). Amsterdam, NL: Plastic Soup Foundation. Disponible en: <https://www.plasticsoupfoundation.org/rapporten/Final-Report-pilot-study-plastic-particles-in-livestock-feed-milk-meat-and-blood-SIGNED-1.pdf>.
- Verrez-Bagnis, V. (2023). Current challenges for the aquatic products processing industry (1.a ed., en línea). Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781394264728>.
- Visser, M; van Eck, NJ; Waltman, L. (2021). Large-scale comparison of bibliographic data sources: Scopus, Web of Science, Dimensions, Crossref, and Microsoft Academic (en línea). *Quantitative Science Studies*, 2(1):20-41. DOI: https://doi.org/10.1162/qss_a_00112.
- Wang, Y; Guo, Q; Wang, B; Zhao, J; Xing, B. (2025). Multidimensional risk assessment and source analysis of micro- and nanoplastics in dairy cattle farms: an Inner Mongolia case study (en línea). *Science of The Total Environment*, 1003:180611. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180611>.
- Wu, RT; Cai, YF; Chen, YX; Yang, YW; Xing, SC; Liao, XD. (2021). Occurrence of microplastic in livestock and poultry manure in South China (en línea). *Environmental Pollution*, 277:116790. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116790>.
- Xiao, J; Zhang, Z; Liu, P; Guo, X; Yang, X; Zhang, F; Li, F; Jiang, Y; Gong, Y. (2025). Microplastic-derived carbon emissions: from granular carbon to dissolved organic carbon and carbon dioxide under ultraviolet radiation (en línea). *Environmental Science & Technology*, 59(32):17310-17321. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c06601>.
- Zhang, M; Zhao, C; Yuan, T; Wang, Q; Zhang, Q; Yan, S; Guo, X; Cao, Y; Cheng, H. (2025). Effects of different microplastics on methane production and microbial community structure in anaerobic digestion of cattle manure (en línea). *Agronomy*, 15(1):107. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15010107>.