



Uso de antimicrobianos en producción animal: monitoreo, manejo responsable y desafíos frente a resistencia antimicrobiana

Antimicrobial use in animal production: monitoring, responsible management, and challenges against antimicrobial resistance

Brahian Camilo Tuberquia-López^{1,2*} ; Nathalia M Correa-Valencia¹ .

¹Universidad de Antioquia UdeA, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación Centauro. Medellín (Colombia).

²Corporación Universitaria Remington, Facultad de Medicina Veterinaria, Grupo de Investigación GINVER. Medellín (Colombia).

*Correspondencia: brahian.tuberquia@udea.edu.co

Recepción: agosto 2025 | Aprobación: diciembre 2025 | Publicación: febrero 2026

RESUMEN

Los agentes antimicrobianos son ampliamente utilizados en animales destinados al consumo humano para el tratamiento y prevención de enfermedades infecciosas, así como promotores del crecimiento. Este uso intensivo responde al incremento de la demanda global de proteína animal, especialmente en sistemas de producción intensiva, generando una presión selectiva que favorece el desarrollo de resistencia antimicrobiana. El consumo mundial de antimicrobianos en animales representa aproximadamente el 73 % del total global utilizado, con una marcada variabilidad regional, lo que resalta la necesidad de sistemas de vigilancia más robustos y estandarizados. La resistencia antimicrobiana constituye una grave amenaza para la salud pública, animal y ambiental, reconocida globalmente bajo el enfoque “Una Salud”. Aunque países desarrollados han implementado programas efectivos para monitorear y gestionar el uso de antimicrobianos en producción animal, los países en desarrollo continúan enfrentando limitaciones en la generación de información y en la implementación de estrategias sostenibles. En regiones como América Latina, los sistemas de vigilancia y monitoreo presentan aún un desarrollo incipiente. Esta revisión tiene como objetivo examinar de manera crítica las estrategias actuales para la cuantificación, monitoreo y gestión del uso de antimicrobianos en sistemas de producción bovina, con énfasis en métricas de consumo, sistemas de vigilancia y enfoques de uso responsable. En conjunto, la evidencia destaca la necesidad de avanzar hacia marcos estandarizados de medición, fortalecer los sistemas de monitoreo y adoptar enfoques integrales que permitan mitigar la resistencia antimicrobiana, garantizando la sostenibilidad productiva y la protección de la salud global.

Palabras clave: Bienestar animal; dosis diaria definida; enfoque una salud; ganadería; inocuidad alimentaria; sistemas de producción animal; vigilancia epidemiológica (*Fuentes: DeCS, CAB*).

ABSTRACT

Antimicrobial agents are widely used in food-producing animals for the treatment and prevention of infectious diseases, as well as for growth promotion. This intensive use is driven by the increasing global demand for animal protein, particularly in intensive production systems, generating selective pressure that favors the development of antimicrobial resistance. Global antimicrobial consumption in animals accounts for approximately 73% of total antimicrobial use, with marked regional variability, highlighting the need for more robust and standardized surveillance systems. Antimicrobial resistance represents a serious threat to public, animal, and environmental health and is globally recognized under the “One Health” framework. While developed countries have implemented effective programs to monitor and manage antimicrobial use in animal production, developing countries continue to face limitations in data generation and the implementation of sustainable strategies. In regions such as Latin America, surveillance and monitoring systems remain

Como citar (Vancouver).

Tuberquia-López BC, Correa-Valencia NM. Uso de antimicrobianos en producción animal: monitoreo, manejo responsable y desafíos frente a resistencia antimicrobiana. Rev Colombiana Cienc Anim. Recia. 2026; 18(1):e1236. <https://doi.org/10.24188/recia.v18.n1.2026.1236>

underdeveloped. This review aims to critically examine current strategies for the quantification, monitoring, and management of antimicrobial use in bovine production systems, with an emphasis on consumption metrics, surveillance systems, and responsible use approaches. Overall, the available evidence highlights the need to advance toward standardized measurement frameworks, strengthen monitoring systems, and adopt integrated approaches to mitigate antimicrobial resistance, ensuring sustainable production and the protection of global health.

Keywords: Animal production systems; animal welfare; defined daily dose; epidemiological surveillance; food safety; livestock farming; one health approach (*Sources: DeCS, CAB*).

INTRODUCCIÓN

Los agentes antimicrobianos (AAM) se utilizan ampliamente en animales domésticos y de producción para el tratamiento de enfermedades infecciosas, la prevención de infecciones (profilaxis) y, en algunos contextos, como promotores del crecimiento, contribuyendo a mejorar la conversión alimenticia, la tasa de crecimiento y el rendimiento productivo (1). Aunque su uso terapéutico es fundamental para garantizar la sanidad animal, una proporción significativa de los AAM se destina a usos no terapéuticos, particularmente profilaxis y promoción del crecimiento (2), en respuesta a la creciente demanda global de proteína animal en la última década (3). Esta demanda ha impulsado la intensificación de los sistemas de producción animal, donde los AAM se emplean de manera rutinaria como herramientas de manejo sanitario y productivo (4).

A nivel global, el uso de antimicrobianos (UAM) en animales representa aproximadamente el 73% del total de AAM utilizados (4). En 2020, se estimó un consumo cercano a 99.502 toneladas en animales de producción, con una proyección de incremento del 8% hacia 2030, alcanzando las 107.472 toneladas (5). Este panorama se caracteriza por una marcada variabilidad entre países, con valores que oscilan entre 8 mg por unidad de corrección poblacional (UCP) en Noruega y 318 mg/UCP en China (6). En Estados Unidos, cerca del 70% de los AAM comercializados para el tratamiento de infecciones humanas también se utilizan en la producción animal (7), mientras que en Europa se han documentado patrones comparables en múltiples países (8). No obstante, en regiones en desarrollo, la información disponible es limitada y fragmentada, aunque las estimaciones sugieren un uso amplio y, en muchos casos, no regulado de AAM en sistemas productivos (4,9,10).

El UAM en animales, independientemente de su propósito, constituye un determinante clave en la aparición y propagación de la resistencia antimicrobiana (RAM) y en la emergencia de patógenos resistentes a antimicrobianos (PRA). La RAM se reconoce actualmente como una consecuencia de la exposición prolongada, repetida o inadecuada a tratamientos antimicrobianos. Los PRA de origen animal pueden transmitirse a los humanos a través de múltiples vías, incluyendo el medio ambiente (11), los alimentos de origen animal (12) y el contacto directo con animales o personal agropecuario (13). Aunque la naturaleza multifactorial y ecológica de este fenómeno dificulta establecer relaciones causales directas, existe evidencia consistente que demuestra asociaciones entre la prevalencia de PRA en animales y humanos (14,15), así como entre los niveles de UAM en poblaciones animales y la ocurrencia de resistencia tanto en animales (16,17) como en humanos (16,18).

A pesar de la relevancia del problema, la disponibilidad de información científica en contextos regionales, particularmente en América Latina, sigue siendo limitada, lo que dificulta la realización de evaluaciones comparativas robustas y la implementación de estrategias efectivas para la reducción del UAM y el control de la RAM. Esta brecha de conocimiento representa un desafío significativo para el desarrollo de políticas basadas en evidencia y para la toma de decisiones en sistemas productivos, especialmente en aquellos donde confluyen factores sociales, económicos y sanitarios complejos.

En respuesta a esta problemática, organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Mundial de Sanidad Animal (OMSA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) han promovido el uso prudente y racional de los AAM en el marco del enfoque «Una Salud». En este contexto, se han desarrollado diversos sistemas de vigilancia del UAM, como el *European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption* (ESVAC), el *Global Antimicrobial Resistance and Use Surveillance System* (WHO-GLASS) y los sistemas de monitoreo coordinados por la OMSA. Sin embargo, estos programas se encuentran predominantemente implementados en países desarrollados, donde existen capacidades técnicas y regulatorias más consolidadas. En contraste, en muchos países en desarrollo, la implementación de sistemas de vigilancia sigue siendo incipiente y heterogénea.

El monitoreo sistemático del UAM en animales de producción permite no solo cuantificar la magnitud del consumo, sino también identificar patrones de uso, evaluar tendencias temporales, integrar información con datos de RAM y valorar la efectividad de las estrategias de gestión implementadas. Adicionalmente, dado que la necesidad de tratamientos antimicrobianos está estrechamente relacionada con la situación sanitaria de las poblaciones animales, el seguimiento del UAM constituye un indicador indirecto del estado de salud animal, permitiendo evaluar el impacto de intervenciones como programas de vacunación, cambios en las condiciones de manejo o la emergencia de nuevas enfermedades.

Asimismo, herramientas como el *benchmarking* han cobrado relevancia como mecanismos para comparar el UAM entre explotaciones o sistemas productivos, identificando unidades con consumos elevados y generando incentivos para la adopción de prácticas más responsables. La visibilidad de estos datos puede inducir cambios en el comportamiento de los actores involucrados, promoviendo la reducción del uso imprudente de AAM mediante mecanismos de presión social, fenómeno descrito como un «efecto de vergüenza pública» en grandes consumidores (19).

Dadas las condiciones descritas, resulta necesario avanzar hacia una comprensión integrada y crítica del UAM en sistemas de producción bovina, particularmente en contextos donde la información es limitada y heterogénea. En este sentido, la presente revisión tiene como objetivo examinar las estrategias actuales para la cuantificación, monitoreo y gestión del UAM, incorporando herramientas de vigilancia, métricas estandarizadas y enfoques de uso responsable.

Para ello, se implementó una estrategia de búsqueda y selección de literatura estructurada, descrita a continuación. Este enfoque permite no solo sintetizar la evidencia disponible, sino también identificar brechas de conocimiento y desafíos persistentes para la implementación efectiva de programas de uso prudente, en el marco del enfoque “Una Salud”.

Estrategia de búsqueda y selección de la literatura

Este estudio corresponde a una revisión narrativa con enfoque estructurado, orientada a sintetizar la evidencia disponible sobre el UAM en animales de producción, con énfasis en sistemas bovinos.

La búsqueda bibliográfica se realizó en bases de datos científicas internacionales, incluyendo PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science y Google Scholar, con el fin de asegurar una cobertura amplia de literatura indexada y literatura gris relevante.

Se utilizaron combinaciones de palabras clave en inglés y español, tales como: “antimicrobial use”, “antimicrobial consumption”, “livestock”, “cattle”, “bovine”, “antimicrobial resistance”, “surveillance”, “defined daily dose”, así como sus equivalentes en español. Los términos fueron combinados mediante operadores booleanos (AND, OR) para optimizar la sensibilidad y especificidad de la búsqueda.

Se incluyeron artículos científicos originales, revisiones, reportes técnicos y documentos de organismos internacionales (OMS, OMSA, FAO, EMA) que abordaran el uso, cuantificación, monitoreo o gestión de AAM en animales de producción. Se excluyeron estudios sin pertinencia directa al contexto de producción animal, aquellos enfocados exclusivamente en medicina humana sin vínculo con el enfoque “Una Salud”, y documentos con información insuficiente para su análisis conceptual o metodológico.

El periodo de búsqueda abarcó principalmente literatura publicada entre 2000 y 2024, priorizando estudios recientes sin excluir documentos considerados fundamentales para la comprensión conceptual del tema.

La selección de los documentos se realizó mediante un proceso en dos etapas: (i) revisión de títulos y resúmenes para evaluar relevancia inicial, y (ii) evaluación del texto completo para confirmar su elegibilidad. En total, se analizaron aproximadamente 90 documentos que cumplieron con los criterios establecidos y aportaron información relevante para los objetivos de la revisión. No se aplicaron restricciones geográficas, con el fin de capturar variabilidad en patrones de uso y sistemas de monitoreo a nivel global.

La información fue organizada de manera temática, priorizando enfoques relacionados con la cuantificación del UAM, sistemas de vigilancia, prácticas de uso responsable y su relación con la resistencia antimicrobiana en el contexto de la producción bovina.

Aunque no se siguió un protocolo de revisión sistemática formal (e.g., PRISMA), se adoptaron criterios estructurados de búsqueda y selección con el fin de garantizar transparencia, consistencia y rigor metodológico.

Cuantificación del uso de antimicrobianos: métricas e indicadores

La cuantificación del UAM en animales de producción constituye un componente esencial para la vigilancia epidemiológica de la RAM y para la evaluación de estrategias orientadas a su uso responsable. La disponibilidad de métricas estandarizadas permite describir patrones de consumo, comparar entre sistemas productivos y monitorear tendencias en el tiempo, facilitando la toma de decisiones basadas en evidencia.

El término AAM se refiere a sustancias naturales, semisintéticas o sintéticas capaces de inhibir el crecimiento o destruir microorganismos, incluyendo bacterias, hongos y protozoos (20,21). Aunque frecuentemente se utiliza como sinónimo de antibiótico, este último corresponde específicamente a compuestos con actividad antibacteriana. En el contexto de la medicina veterinaria, el uso del término AAM resulta más apropiado, dado que abarca un espectro más amplio de agentes farmacológicos implicados en el fenómeno de la RAM (20).

Los AAM se utilizan ampliamente en medicina humana, veterinaria y, en menor medida, en la agricultura (1). En animales de producción, su uso incluye aplicaciones terapéuticas, profilácticas y metafilácticas, así como su empleo histórico como promotores del crecimiento, particularmente mediante la administración de dosis subterapéuticas en el alimento (22).

Sin embargo, la distinción entre estos usos no siempre es clara en la práctica, lo que puede favorecer esquemas de administración colectiva sin confirmación diagnóstica, incrementando la presión selectiva sobre poblaciones bacterianas.

El uso excesivo o inadecuado de AAM en animales destinados al consumo humano es reconocido como uno de los principales factores impulsores del desarrollo de RAM (23). En 2019, el 26 % de los países miembros de la OMSA reportaron el UAM como promotores del crecimiento (24). Este uso ejerce una presión selectiva significativa, favoreciendo la aparición y diseminación de genes de resistencia, incluso cuando los AAM son utilizados de forma correcta, debido a la presencia de residuos en animales, humanos y el medio ambiente (25,26).

Aunque el consumo de AAM en humanos y animales es comparable (133 mg/kg y 118 mg/UCP, respectivamente), el mayor volumen de biomasa animal amplifica el riesgo de selección de bacterias resistentes (6). En este contexto, el uso continuo de dosis subterapéuticas, particularmente en sistemas intensivos, genera condiciones propicias para el desarrollo y diseminación de RAM. Diversos estudios han demostrado una correlación positiva entre la cantidad de AAM utilizados y los niveles de resistencia en poblaciones animales (27,28). Asimismo, se ha documentado que la exposición repetida a AAM puede alterar el microbioma intestinal, favoreciendo la emergencia de resistencia cruzada entre diferentes clases de AAM (29).

En países en desarrollo, el crecimiento de la producción animal y el aumento del consumo de proteína de origen animal han contribuido a la persistencia del UAM como promotores del crecimiento (30). Sin embargo, evidencia económica sugiere que esta práctica no necesariamente se traduce en beneficios productivos sostenibles, y que estrategias basadas en manejo sanitario preventivo pueden ser más eficientes (31,32).

En respuesta a la creciente amenaza de la RAM, el Plan de Acción Mundial sobre la Resistencia a los Antimicrobianos (GAP-AMR) enfatiza la necesidad de fortalecer la vigilancia y la generación de evidencia sobre el UAM en humanos y animales (20). No obstante, mientras que el sector de salud humana ha avanzado significativamente en este ámbito, la vigilancia del UAM en animales presenta un desarrollo más limitado y heterogéneo (33). De los países encuestados por la OMSA, solo una fracción ha logrado generar datos cuantitativos consistentes en el tiempo (24). En contraste, en Europa, el sistema ESVAC proporciona información sistemática y estandarizada sobre el consumo de AAM en animales (34).

A nivel global, el consumo de AAM en producción animal alcanzó aproximadamente 93.309 toneladas en 2017, con proyecciones de incremento hacia 2030 (4,35). Sin embargo, existen importantes diferencias regionales en la disponibilidad y calidad de los datos. Mientras que en Europa se reportan consumos promedio de 84,4 mg/UCP (36), en otras regiones como Asia y África la información es fragmentaria o limitada (37,38). Esta heterogeneidad dificulta la comparación entre sistemas productivos y resalta la necesidad de métricas estandarizadas.

En este contexto, la recopilación de datos confiables sobre el UAM es fundamental para el diseño, implementación y evaluación de programas de vigilancia. Las variables utilizadas para describir el consumo de AAM pueden clasificarse en dos categorías principales: variables basadas en la cantidad administrada y variables basadas en la frecuencia de aplicación (39). Mientras las primeras permiten estimar el volumen total de AAM utilizados, las segundas aportan información sobre la intensidad y dinámica del tratamiento, siendo ambas necesarias para una caracterización integral del UAM.

VARIABLES BASADAS EN CANTIDAD. Las variables basadas en cantidad describen el volumen total de AAM administrados y constituyen la base para comparaciones a gran escala. Entre los conceptos fundamentales se encuentran la dosis (cantidad de principio activo administrado en una aplicación) y la dosificación (cantidad de principio activo por kilogramo de peso corporal) (40).

La cantidad total representa la suma de todas las dosis administradas en una población durante un período determinado, generalmente expresada en kilogramos o toneladas (41). Aunque proporciona una visión general del consumo, presenta limitaciones al no considerar diferencias en especies, categorías animales o esquemas de tratamiento (42).

La dosis diaria definida por animal (DDDA), introducida por el sistema VETSTAT y adoptada por la Agencia Europea del Medicamento, corresponde a la dosis promedio diaria recomendada para una sustancia activa en una especie determinada (43,44). Esta métrica facilita la comparación entre sistemas productivos y regiones, aunque su carácter teórico puede diferir de las prácticas reales en campo (45). La DDDA veterinaria se basa en el concepto de dosis diaria definida (DDD) utilizado en medicina humana (46,47), y presenta variaciones metodológicas en distintos países europeos (48).

La dosis diaria utilizada (DDU) refleja la cantidad real de AAM administrada en la práctica, considerando el número de animales tratados y la duración del tratamiento (49). Esta métrica permite una aproximación más precisa al uso real, y su comparación con la DDDA ofrece información sobre la adecuación de los tratamientos, siendo aceptable un rango de variación entre 0,8 y 1,25 (48).

La dosis diaria prescrita (DDP) se refiere a la cantidad de antimicrobiano prescrita por el veterinario en función del peso de los animales, el número de individuos tratados y la duración del tratamiento (50). Esta variable resulta particularmente útil para evaluar patrones de prescripción y adherencia a las recomendaciones terapéuticas (47).

VARIABLES BASADAS EN FRECUENCIA. Las variables basadas en frecuencia permiten caracterizar la intensidad del UAM en una población, independientemente de la cantidad total administrada. Estas métricas aportan una perspectiva dinámica del UAM, facilitando aproximaciones epidemiológicas comparables entre poblaciones y sistemas productivos (39).

El número de tratamientos describe cuántas veces un antimicrobiano es prescrito o administrado en una población durante un período determinado. Este indicador refleja indirectamente el estado sanitario del hato y la presión de enfermedad, aunque no proporciona información sobre la dosis ni la duración del tratamiento (40).

La aplicación única y el número de dosis diarias utilizadas (nDDU) permiten estimar la frecuencia de administración de AAM a nivel individual o poblacional. Una aplicación única corresponde al tratamiento de un animal con una sustancia activa en un día específico, y la suma de estas aplicaciones permite cuantificar el número total de intervenciones realizadas en un período determinado, independientemente de la cantidad de principio activo administrado (44,51). Este enfoque resulta útil para describir patrones de uso, aunque no captura variaciones en dosificación.

La frecuencia de tratamiento (FT) representa el número promedio de días en los que un animal recibe tratamiento con AAM durante el período de observación. Este indicador es conceptualmente equivalente a la incidencia acumulada en epidemiología, lo que permite realizar comparaciones entre poblaciones con diferentes tamaños y estructuras productivas (40,42).

Por su parte, la incidencia del tratamiento (IT) o densidad de tratamiento, propuesta por Timmerman et al., incorpora el tiempo en riesgo en su cálculo, proporcionando una medida más precisa de la exposición a AAM en la población (49). Esta métrica permite evaluar la probabilidad de tratamiento en un intervalo de tiempo determinado, pero su aplicación requiere información detallada a nivel de hato, lo que limita su uso en contextos con baja disponibilidad de datos (52).

En conjunto, las variables basadas en frecuencia complementan las métricas basadas en cantidad, permitiendo una caracterización más integral del UAM. No obstante, su implementación depende en gran medida de la calidad y nivel de desagregación de los datos disponibles, lo que representa un desafío importante en sistemas de producción donde los registros son limitados o no estandarizados.

En conjunto, la diversidad de métricas disponibles para cuantificar el UAM refleja tanto el avance metodológico en este campo como la falta de estandarización entre sistemas de monitoreo. Si bien indicadores como la DDDA, DDU, DDP y las variables basadas en frecuencia permiten aproximaciones complementarias al UAM, su aplicación heterogénea dificulta la comparabilidad entre estudios, regiones y sistemas productivos. Esta limitación es particularmente relevante en contextos donde la disponibilidad y calidad de los datos son variables, como ocurre en muchos países de ingresos medios

y bajos. En este sentido, avanzar hacia marcos armonizados de medición, junto con el fortalecimiento de los sistemas de registro a nivel de hato, constituye un paso clave para mejorar la vigilancia del UAM y orientar estrategias efectivas de mitigación de la resistencia antimicrobiana.

Monitoreo global del UAM en animales

La vigilancia del UAM es reconocida como un componente clave en la respuesta global frente a la RAM y constituye una prioridad del Plan de Acción Mundial sobre RAM (GAP-AMR). Un monitoreo efectivo requiere la generación de datos armonizados e integrados entre los sectores humano, animal y ambiental, en concordancia con el enfoque “Una Salud” (5).

A pesar de su relevancia, la vigilancia global del UAM en animales continúa siendo limitada y heterogénea. En Europa, el sistema armonizado ESVAC ha proporcionado información detallada y estandarizada desde 2005; sin embargo, fuera de esta región, pocos países reportan de manera sistemática datos sobre el consumo de AAM (33). Desde 2016, la OMSA ha recopilado datos voluntarios de hasta 157 países, pero estos suelen presentarse de forma agregada por regiones, lo que restringe el análisis a nivel país y dificulta la comparabilidad internacional.

Adicionalmente, las políticas regulatorias sobre el UAM en animales presentan una alta variabilidad entre países y continentes, lo que contribuye a la heterogeneidad en los patrones de uso. Por ejemplo, mientras que algunos países han implementado restricciones específicas, como la prohibición del uso de colistina como promotor de crecimiento en China, otros, como Brasil, aún carecen de marcos regulatorios sólidos en esta materia (53,54). Esta variabilidad regulatoria introduce incertidumbre en las estimaciones globales del consumo de AAM y resalta la necesidad de actualizar periódicamente los sistemas de monitoreo para capturar cambios en las políticas y prácticas de uso.

En conjunto, estas limitaciones evidencian una brecha significativa entre los avances conceptuales en vigilancia del UAM y su implementación efectiva a nivel global, particularmente en países de ingresos medios y bajos, donde las capacidades técnicas, regulatorias y de generación de datos son más limitadas.

Oportunidades para investigación futura

El fortalecimiento de los sistemas de monitoreo del UAM a nivel local representa una oportunidad estratégica para mejorar la generación de evidencia en regiones productivas clave, especialmente en América Latina y África, donde la información disponible es aún limitada. El desarrollo de sistemas de vigilancia adaptados a contextos específicos permitiría obtener datos más precisos y relevantes para la toma de decisiones.

Asimismo, existe una necesidad creciente de incorporar variables sociales, económicas y culturales en el análisis del UAM, reconociendo que las prácticas de uso están fuertemente influenciadas por factores como las percepciones de riesgo, el acceso a servicios veterinarios y las limitaciones económicas de los productores. La integración de estos enfoques podría contribuir a diseñar estrategias más efectivas y contextualizadas para el uso responsable de AAM.

Otra área prioritaria de investigación corresponde a la evaluación del impacto real de las políticas regulatorias sobre el UAM y la RAM. En particular, estudios que analicen los efectos de intervenciones como restricciones o prohibiciones específicas sobre la RAM y la productividad animal aportarían evidencia clave para orientar el debate entre regulación sanitaria y sostenibilidad productiva.

Finalmente, el desarrollo y evaluación de alternativas al UAM como promotores de crecimiento, junto con análisis económicos comparativos, representan líneas de investigación fundamentales para avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles y resilientes.

En este contexto, abordar estas brechas representa un paso fundamental para fortalecer la gobernanza del UAM y su integración efectiva en estrategias globales de control de la RAM.

Conclusiones

En conjunto, la evidencia disponible confirma que el UAM en sistemas de producción bovina constituye un determinante clave en la dinámica de la RAM, con implicaciones directas para la salud animal, humana y ambiental.

Aunque se han logrado avances importantes en la estandarización de métricas y en el desarrollo de sistemas de vigilancia en algunos países, persisten limitaciones significativas, especialmente en regiones como América Latina, donde la generación de datos es fragmentada y los sistemas de monitoreo aún son incipientes. Esta brecha limita la comparabilidad entre estudios y dificulta la toma de decisiones basada en evidencia.

La coexistencia de múltiples enfoques para cuantificar el UAM (e.g., DDDA, DDU, DDP), si bien enriquece el análisis, introduce desafíos metodológicos relacionados con la estandarización y la integración de información entre escalas y contextos productivos. En este sentido, avanzar hacia marcos armonizados de medición representa una prioridad para fortalecer la vigilancia y mejorar la comparabilidad de los datos.

Adicionalmente, la evidencia sugiere que las estrategias centradas exclusivamente en la restricción del UAM son insuficientes si no se acompañan de mejoras estructurales en bioseguridad, manejo sanitario y toma de decisiones clínicas. El uso responsable de AAM debe ser abordado como un proceso multifactorial que involucra de manera articulada a médicos veterinarios, productores, industria y autoridades regulatorias.

En este contexto, fortalecer los sistemas de monitoreo del UAM a nivel de hato, promover la adopción de métricas estandarizadas e incorporar variables socioeconómicas en su análisis constituyen acciones prioritarias para mejorar la efectividad de las intervenciones. Asimismo, la evaluación del impacto real de las políticas implementadas y el desarrollo de alternativas al UAM representan líneas clave para futuras investigaciones.

Abordar estos desafíos permitirá avanzar hacia sistemas de producción más sostenibles, resilientes y alineados con los principios del enfoque “Una Salud”, contribuyendo de manera efectiva a la mitigación de la RAM a nivel global.

Conflicto de intereses

Los autores no reportan conflictos de interés.

Financiación

El presente estudio no recibió financiación externa y fue desarrollado con recursos propios de los autores.

Contribución de autores

Brahian Camilo Tuberquia-López y Nathalia M. Correa-Valencia: conceptualización del estudio, diseño metodológico, búsqueda y selección de literatura, análisis e interpretación de la información, redacción del manuscrito original, revisión crítica del contenido intelectual y aprobación de la versión final. Ambos autores contribuyeron de manera equitativa al desarrollo del manuscrito.

REFERENCIAS

1. Schwarz S, Kehrenberg C, Walsh TR. Use of antimicrobial agents in veterinary medicine and food animal production. *Int J Antimicrob Agents*. 2001; 17(6):431-437. [http://doi.org/10.1016/s0924-8579\(01\)00297-7](http://doi.org/10.1016/s0924-8579(01)00297-7)
2. Pokharel S, Shrestha P, Adhikari B. Antimicrobial use in food animals and human health: time to implement ‘One Health’ approach. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2020; 9(1):181. <http://doi.org/10.1186/s13756-020-00847-x>
3. OECD y Food and Agriculture Organization of the United Nations. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021–2030. Meat*. 2021; 163. <http://doi.org/1787/19428846-en>
4. Van Boeckel TP, Pires J, Silvester R, Zhao C, Song J, Criscuolo NG, Gilbert M, Bonhoeffer S, Laxminarayan R. Global trends in antimicrobial resistance in animals in low- and middle-income countries. *Science*. 2019; 365(6459):eaaw1944. <http://doi.org/10.1126/science.aaw1944>
5. Mulchandani R, Wang Y, Gilbert M, Van Boeckel TP. Global trends in antimicrobial use in food-producing animals: 2020 to 2030. *PLOS Glob Public Health*. 2023; 3(2):e0001305. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0001305>

6. Van Boeckel TP, Glennon EE, Chen D, Gilbert M, Robinson TP, Grenfell BT, et al. Reducing antimicrobial use in food animals. *Science*. 2017; 357(6358):1350-1352. <https://doi.org/10.1126/science.aao1495>
7. USDA (United States Department of Agriculture). Summary Report on Antimicrobials Sold or Distributed for Use in Food-Producing Animals. 2017. <https://www.fda.gov/downloads/ForIndustry/UserFees/AnimalDrugUserFeeActADUFA/UCM588085.pdf>
8. EMA (European Medicines Agency). Sales of Veterinary Antimicrobial Agents in 30 European Countries in 2015. 2017. Disponible: https://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Report/2017/10/WC500236750.pdf.
9. Carrique-Mas JJ, Choisy M, Van Cuong N, Thwaites G, Baker S. An estimation of total antimicrobial usage in humans and animals in Vietnam. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2020; 9(1):16. <http://doi.org/10.1186/s13756-019-0671-7>
10. Mouiche MMM, Wouembe FDK, Mpouam SE, Moffo F, Djuntu M, Toukam CMW, et al. Cross-Sectional Survey of Prophylactic and Metaphylactic Antimicrobial Use in Layer Poultry Farming in Cameroon: A Quantitative Pilot Study. *Front Vet Sci*. 2022; 18;9:646484. <http://doi.org/10.3389/fvets.2022.646484>
11. Hanna N, Sun P, Li X, Yang X, Ji X, et al. Presence of antibiotic residues in various environmental compartments of Shandong province in eastern China: Its potential for resistance development and ecological and human risk. *Environ Int*. 2018; 114:131-142. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2018.02.003>
12. Asai T, Hiki M, Ozawa M, Koike R, Eguchi K, Kawanishi M, et al. Control of the development and prevalence of antimicrobial resistance in bacteria of food animal origin in Japan: a new approach for risk management of antimicrobial veterinary medicinal products in Japan. *Foodborne Pathog Dis*. 2014; 11(3):171-176. <http://doi.org/10.1089/fpd.2013.1649>
13. Castillo Neyra R, Vegosen L, Davis MF, Price L, Silbergeld EK. Antimicrobial-resistant Bacteria: An Unrecognized Work-related Risk in Food Animal Production. *Saf Health Work*. 2012; 3(2):85-91. <http://doi.org/10.5491/SHAW.2012.3.2.85>
14. Gutema FD, Rasschaert G, Agga GE, Merera O, Duguma AB, Abdi RD, et al. Prevalence, Antimicrobial Resistance, and Molecular Characterization of *Salmonella* in Cattle, Beef, and Diarrheic Patients in Bishoftu, Ethiopia. *Foodborne Pathog Dis*. 2021; 18(4):283-289. <http://doi.org/10.1089/fpd.2020.2869>
15. Magnusson U, Moodley A, Osbjør K. Antimicrobial resistance at the livestock-human interface: implications for Veterinary Services. *Rev Sci Tech*. 2021; 40(2):511-521. <http://doi.org/10.20506/rst.40.2.3241>
16. Rahman MM, Alam Tumpa MA, Zehravi M, Sarker MT, Yamin M, Islam MR, et al. An Overview of Antimicrobial Stewardship Optimization: The Use of Antibiotics in Humans and Animals to Prevent Resistance. *Antibiotics (Basel)*. 2022; 11(5):667. <http://doi.org/10.3390/antibiotics11050667>
17. Al Sattar A, Chisty NN, Irin N, Uddin MH, Hasib FMY, Hoque MA. Knowledge and practice of antimicrobial usage and resistance among poultry farmers: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Vet Res Commun*. 2023; 47(3):1047-1066. <http://doi.org/10.1007/s11259-023-10082-5>
18. Lipsitch M, Samore MH. Antimicrobial use and antimicrobial resistance: a population perspective. *Emerg Infect Dis*. 2002; 8(4):347-354. <http://doi.org/10.3201/eid0804.010312>
19. Jacquet J, Hauert C, Traulsen A, Milinski M. Shame and honour drive cooperation. *Biol Lett*. 2011; 7(6):899-901. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2011.0367>
20. OMSA (Organización Mundial de Sanidad Animal). Código Sanitario para los Animales Terrestres. 2022. Disponible: <https://www.woah.org/es/que-hacemos/normas/codigos-y-manuales/acceso-en-linea-al-codigo-terrestre/>
21. Guardabassi L, Jensen LB, Kruse H. Guide to antimicrobial use in animals. Wiley-Blackwell, 2008.

22. Page SW, Gautier P. Use of antimicrobial agents in livestock. *Rev Sci Tech*. 2012; 31(1):145–188. <https://doi.org/10.20506/rst.31.1.2106>
23. Holmes AH, Moore LS, Sundsfjord A, Steinbakk M, Regmi S, Karkey A, et al. Understanding the mechanisms and drivers of antimicrobial resistance. *Lancet*. 2016; 387(10014):176–187. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)00473-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00473-0)
24. OMSA (Organización Mundial de Sanidad Animal). Fifth OIE Annual Report on Antimicrobial Agents Intended for Use in Animals. 2021. Disponible: <https://www.woah.org/app/uploads/2021/05/a-fifth-annual-report-amr.pdf>
25. Laxminarayan R, Duse A, Wattal C, Zaidi AK, Wertheim HF, Sumpradit N, et al. Antibiotic resistance-the need for global solutions. *Lancet Infect Dis*. 2013; 13(12):1057-98. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(13\)70318-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(13)70318-9)
26. Ding D, Wang B, Zhang X, Zhang J, Zhang H, Liu X, et al. The spread of antibiotic resistance to humans and potential protection strategies. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2023; 254:114734. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114734>
27. Chantziaras I, Boyen F, Callens B, Dewulf J. Correlation between veterinary antimicrobial use and antimicrobial resistance in food-producing animals: a report on seven countries. *J Antimicrob Chemother*. 2014; 69(3):827-834. <https://doi.org/10.1093/jac/dkt443>
28. Roth N, Käsbohrer A, Mayrhofer S, Zitz U, Hofacre C, Domig KJ. The application of antibiotics in broiler production and the resulting antibiotic resistance in *Escherichia coli*: A global overview. *Poult Sci*. 2019; 98(4):1791-1804. <https://doi.org/10.3382/ps/pey539>
29. Looft T, Johnson TA, Allen HK, Bayles DO, Alt DP, Stedtfeld RD, et al. In-feed antibiotic effects on the swine intestinal microbiome. *PNAS USA*. 2012; 109(5):1691-1696. <https://doi.org/10.1073/pnas.1120238109>
30. WHO (World Health Organization). Global and regional food consumption pattern and trends. 2021. Disponible : https://www.who.int/nutrition/topics/3_foodconsumption/en/index4.html
31. Graham JP, Boland JJ, Silbergeld E. Growth promoting antibiotics in food animal production: an economic analysis. *Public Health Rep*. 2007; 122(1):79-87. <https://doi.org/10.1177/003335490712200111>
32. Hosain MZ, Kabir SML, Kamal MM. Antimicrobial uses for livestock production in developing countries. *Vet World*. 2021; 14(1):210-221. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.210-221>
33. Schar D, Sommanustweechai A, Laxminarayan R, Tangcharoensathien V. Surveillance of antimicrobial consumption in animal production sectors of low- and middle-income countries: Optimizing use and addressing antimicrobial resistance. *PLoS Med*. 2018; 15(3):e1002521. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002521>
34. EMA (European Medicines Agency). European Surveillance of Veterinary Antimicrobial Consumption. Sales of veterinary antimicrobial agents in 26 EU/EEA countries in 2012. 2012. Disponible: https://www.ema.europa.eu/en/documents/report/sales-veterinary-antimicrobial-agents-26-european-union-european-economic-area-countries-2012-fourth-european-surveillance-veterinary-antimicrobial-consumption-report_en.pdf
35. Tiseo K, Huber L, Gilbert M, Robinson TP, Van Boeckel TP. Global Trends in Antimicrobial Use in Food Animals from 2017 to 2030. *Antibiotics*. 2020; 9(12):918. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9120918>
36. EMA (European Medicines Agency). Sales of veterinary antimicrobial agents in 31 European countries in 2021- Trends from 2010 to 2021- Twelfth ESVAC. European Medicines Agency. 2022. Disponible: https://www.ema.europa.eu/en/documents/report/sales-veterinary-antimicrobial-agents-31-european-countries-2021-trends-2010-2021-twelfth-esvac_en.pdf
37. Abe R, Takagi H, Fujimoto K, Sugiura K. Evaluation of the antimicrobial use in pigs in Japan using dosage-based indicators. *PLOS ONE*. 2020; 15(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0241644>
38. WOAH (World Organisation for Animal Health). Seventh annual report on antimicrobial agents intended for use in animals. 2023. Disponible: <https://www.woah.org/app/uploads/2023/05/a-seventh-annual-report-amu-final.pdf>

39. van Rennings L, Merle R, von Münchhausen C, Stahl J, Honscha W, Käsbohrer A, Kreienbrock L. Variables describing the use of antibiotics in food-producing animals. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr.* 2013; 126(7-8):297-309. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23901585/>
40. Werner N, McEwen S, Kreienbrock L. Monitoring Antimicrobial Drug Usage in Animals: Methods and Applications. *Microbiol Spectr.* 2018; 6(4), <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.ARBA-0015-2017>
41. Chauvin C, Querrec M, Perot A, Guillemot D, Sanders P. Impact of antimicrobial drug usage measures on the identification of heavy users, patterns of usage of the different antimicrobial classes and time-trends evolution. *J Vet Pharmacol Ther.* 2008; 31(4):301-11. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2885.2008.00960.x>
42. Merle R, Hajek P, Käsbohrer A, Hegger-Gravenhorst C, Mollenhauer Y, Robanus M, et al. Monitoring of antibiotic consumption in livestock: a German feasibility study. *Prev Vet Med.* 2012; 104(1-2):34-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.prevetmed.2011.10.013>
43. Jensen VF, Jacobsen E, Bager F. Veterinary antimicrobial-usage statistics based on standardized measures of dosage. *Prev Vet Med.* 2004; 64(2-4):201-15. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.04.001>
44. EMA (European Medicines Agency). Revised ESVAC reflection paper on collecting data on consumption of antimicrobial agents per animal species, on technical units of measurement and indicators for reporting consumption of antimicrobial agents in animals. 2013. Disponible: <https://doi.org/EMA/286416/2012-Rev.1>
45. Agersø Y, Hald T, Helwigh B, Borck Høg B, Jensen LB, Jensen VF, et al. DANMAP 2010: Use of Antimicrobial Agents and Occurrence of Antimicrobial Resistance in Bacteria from Food Animals, Food and Humans in Denmark. National Food Institute, Søborg, Denmark. 2011. Disponible: <https://orbit.dtu.dk/files/6329669/Danmap+2010.pdf>
46. WHO (World Health Organization-Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology). Guidelines for ATC classification and DDD assignment 2013. 2012. Disponible: https://www.whocc.no/filearchive/publications/1_2013guidelines.pdf
47. Arnold S, Gassner B, Giger T, Zwahlen R. Banning antimicrobial growth promoters in feedstuffs does not result in increased therapeutic use of antibiotics in medicated feed in pig farming. *Pharmacoepidemiol Drug Saf.* 2004; 13(5):323-31. <https://doi.org/10.1002/pds.874>
48. Persoons D, Dewulf J, Smet A, Herman L, Heyndrickx M, Martel A, et al. Antimicrobial use in Belgian broiler production. *Prev Vet Med.* 2012; 105(4):320-5. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.02.020>
49. Timmerman T, Dewulf J, Catry B, Feyen B, Opsomer G, de Kruif A, et al. Quantification and evaluation of antimicrobial drug use in group treatments for fattening pigs in Belgium. *Prev Vet Med.* 2006; 74(4):251-63. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2005.10.003>
50. Merlo J, Wessling A, Melander A. Comparison of dose standard units for drug utilisation studies. *Eur J Clin Pharmacol.* 1996; 50(1-2):27-30. <https://doi.org/10.1007/s002280050064>
51. Hajek P, Merle R, Käsbohrer A, Kreienbrock L, Ungemach FR. 2010. Antibiotikaeinsatz in der Nutztierhaltung. Ergebnisse der Machbarkeitsstudie "VetCAB". *Dt Tierärzteblatt.* 2010; 4:476-480. https://www.bundestieraerztekammer.de/btk/dtbl/archiv/2010/artikel/dtb_04_s_476-481_antibio.pdf
52. Porta MS, Greenland S, Hernán M, dos Santos Silva I, Last JM. *A Dictionary of Epidemiology.* Oxford University Press, 2014
53. Dutra MC, Moreno LZ, Dias RA, Moreno AM. Antimicrobial Use in Brazilian Swine Herds: Assessment of Use and Reduction Examples. *Microorganisms.* 2021; 9(4):881. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040881>
54. Wang Y, Xu C, Zhang R, Chen Y, Shen Y, Hu F, et al. Changes in colistin resistance and mcr-1 abundance in *Escherichia coli* of animal and human origins following the ban of colistin-positive additives in China: an epidemiological comparative study. *Lancet Infect Dis.* 2020; 20(10):1161-1171. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30149-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30149-3)