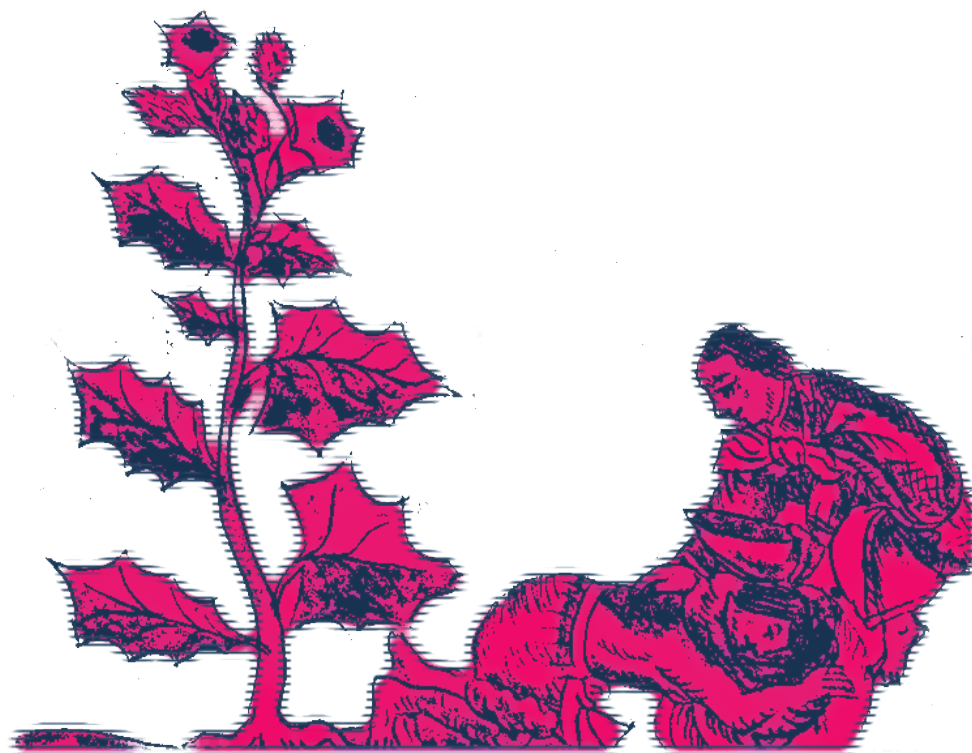


DE LA HERBOLARIA A LA PRODUCCIÓN PECUARIA:

EXTRACTOS VEGETALES COMO ALTERNATIVA BIOTECNOLÓGICA ANTE LA MULTIRRESISTENCIA ANTIMICROBIANA

/// MARINA WINTER-DENDENA¹, HÉCTOR OSCAR OROZCO-GREGORIO¹, JAVIER CASTRO-ROSAS², JESÚS GUADALUPE PÉREZ-FLORES², LIZBETH ANAHÍ PORTILLO-TORRES^{1*}



¹Universidad Politécnica de Francisco I. Madero, Domicilio Conocido s/n, Tepatepec, Francisco I., Madero 42660, México.

²Área Académica de Química, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo km 4.5, 42184 Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

*Autor de correspondencia, lportillo@upfim.edu.mx.



Palabras clave: etnoveterinaria; extractos vegetales; ingredientes naturales; multirresistencia antimicrobiana; sistemas pecuarios sostenibles.

Keywords: ethnoveterinary; multidrug resistance; natural ingredients; plant extracts; sustainable livestock production systems

RESUMEN

El uso masivo de antibióticos en la producción pecuaria ha permitido controlar infecciones que antes causaban pérdidas graves, además de acelerar el crecimiento de los animales. Sin embargo, el beneficio trajo consigo un desafío global: la multirresistencia antimicrobiana, que hoy preocupa tanto a la producción pecuaria como a la salud pública. En este panorama, los extractos vegetales han surgido como una alternativa natural prometedora, con propiedades antimicrobianas, antioxidantes e inmunomoduladoras, capaces de apoyar la salud animal sin afectar el rendimiento productivo. El uso de plantas como bioinputs no solo rescata la sabiduría etnobotánica, sino que impulsa aplicaciones biotecnológicas alineadas a enfoques sostenibles como el promovido por la Organización Mundial de la Salud y organismos internacionales, bajo el modelo de Una Salud. Estas evidencias muestran que la transición hacia ingredientes naturales bioactivos puede contribuir a sistemas pecuarios más responsables, resilientes y armónicos con el ambiente.

ABSTRACT

The widespread use of antibiotics in livestock production has enabled the control of infections that previously caused severe economic losses, as well as accelerated animal growth. However, these benefits have been accompanied by a global challenge: multidrug resistance (MDR), which now poses a major concern for both livestock production and public health. Within this context, plant extracts have emerged as a promising natural alternative due to their antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory properties, which can support animal health without compromising productive performance. The use of plants as bioinputs not only rescues ethnobotanical knowledge but also promotes biotechnological applications aligned with sustainable approaches such as those advocated by the World Health Organization and other international agencies under the One Health framework. Collectively, this evidence indicates that the transition toward natural bioactive ingredients may contribute to more sustainable, resilient, and environmentally sound livestock production systems.

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos precolombinos, las sociedades mesoamericanas han mantenido una relación estrecha con las plantas, utilizándolas no solo como fuente de alimento, sino también como parte fundamental de sus sistemas de creencias, prácticas culturales y medicina tradicional. La etnobotánica, entendida como el estudio del conocimiento y uso de las plantas en la vida cotidiana de los pueblos, ha permitido documentar estas interacciones a lo largo de la historia. Una de las obras más representativas de este legado es el *Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis* (1552), también conocido como el Códice de la Cruz-Badiano, manuscrito del médico indígena Martín de la Cruz. En esta obra se recopilan decenas de plantas con fines terapéuticos, reflejo del avanzado conocimiento medicinal desarrollado por la cultura mexicana. De manera complementaria, el Códice Florentino (Figura 1) también documenta la utilización de diversas hierbas con propiedades curativas, reforzando la profunda tradición herbolaria de los pueblos nahuas (Figura 2). Este saber ancestral no solo enriqueció la medicina humana, sino que hoy también representa una valiosa fuente de inspiración para enfoques contemporáneos en salud y sostenibilidad (Casas *et al.*, 2016; Peña *et al.*, 2023).



Figura 1. Representación del toloatzin, hierba empleada tradicionalmente para tratar inflamaciones. Códice Florentino, Libro XI, folio 142v. Disponible en: Getty Research Institute, Florentine Code

Hay dos tipos; el nombre de otro es toloatzin. ² Y el tlapatl es algo alto; sus flores y su follaje se extienden hacia arriba. Quien tiene gota o tiene la carne hinchada se frota con él. Se mezcla con humo negro. No es potable.

Figura 2. Fragmento del Florentine Codex (Libro XI) donde se describe el uso medicinal del toloatzin. Florentine Codex, Libro XI, folio 142v. Disponible en: Getty Research Institute, Florentine Codex.



Figura 3. Puesto de venta de hierbas medicinales Mercado de Sonora de la CDMX, 2023.

Pero el conocimiento herbolario no quedó en el pasado. Aún hoy, los mercados locales (Figura 3) y las zonas rurales de México siguen siendo espacios de transmisión y preservación de este legado. Desde el sureste del Estado de México, las comunidades continúan empleando plantas para el tratamiento de afecciones en animales domésticos, incluyendo padecimientos digestivos, respiratorios y cutáneos, mostrando cómo las prácticas etnobotánicas se adaptaron al cuidado animal dentro del campo de la etnoveterinaria (Reyes *et al.*, 2024).

Este puente entre tradición y aplicación práctica nos lleva a una pregunta crucial en la actualidad: ¿puede ese mismo conocimiento contribuir a resolver desafíos modernos? Uno de los más urgentes en la producción pecuaria es la multirresistencia antimicrobiana, problema que ha limitado la eficacia de los antibióticos empleados durante décadas en sistemas pecuarios. Ante este panorama, la investigación científica ha volteado a ver los recursos naturales documentados desde la tradición, comenzando a estudiar los extractos vegetales como una alternativa biotecnológica viable (Li *et al.*, 2023). Cuando la ciencia entra en juego, el saber ancestral no se pierde: se reinterpreta. Así, el estudio de extractos vegetales con actividad antimicrobiana no solo rescata la memoria etnobotánica, sino que también genera soluciones innovadoras, respetuosas del ambiente, alineadas con el enfoque global de Una Salud. La sinergia entre el conocimiento tradicional y las herramientas biotecnológicas modernas perfila un camino prometedor hacia prácticas más sostenibles y culturalmente pertinentes para la producción pecuaria. El presente artículo tiene como objetivo analizar la importancia del uso de extractos vegetales bioactivos como alternativa biotecnológica para promover la salud animal en los sistemas pecuarios y contribuir a su sostenibilidad.

EL PAPEL DE LOS ANTIBIÓTICOS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA

Históricamente, a inicios de la década de 1940 surgió la práctica de adaptar antibióticos desarrollados para uso humano a animales de producción, principalmente con fines terapéuticos, es decir, para tratar enfermedades en animales que ya presentaban signos clínicos. Estudios de la época documentan el uso de sulfonamidas y de penicilina durante la Segunda Guerra Mundial para el tratamiento de mastitis en vacas, una inflamación de la ubre causada generalmente por bacterias, que provoca dolor, reducción en la producción de leche y alteraciones en su calidad sensorial e higiénica (Lees *et al.*, 2021; Prescott, 2017).

Tras su éxito inicial, entre finales de 1940 y principios de 1950, los antibióticos demostraron ser eficaces incluso contra infecciones que antes se consideraban imposibles de tratar en los sistemas pecuarios (Prescott, 2017). Esto impulsó nuevas estrategias de uso en la producción pecuaria, especialmente de manera profiláctica, que implica administrar antibióticos de forma preventiva antes de que aparezcan signos clínicos, y de manera metafiláctica, que consiste en tratar a todo un grupo de animales cuando solo algunos presentan infección, para frenar su propagación (Low *et al.*, 2021; Trinchera *et al.*, 2025).

Un hallazgo clave ocurrió en 1949, durante investigaciones que buscaban una fuente económica de vitamina B12 para la alimentación de pollos. En esos ensayos se empleó un subproducto tipo "puré", obtenido de la fermentación de maíz con la bacteria *Streptomyces aureofaciens*. Los investigadores notaron que los pollos que lo consumían crecían más rápido y no se enfermaban (Stokstad *et al.*, 1949).

Estudios posteriores permitieron identificar que el compuesto responsable de ese efecto era la clortetraciclina, comercializada poco después como aureomicina, demostrando que la inclusión de antibióticos en el alimento estimulaba el crecimiento y mejoraba el desempeño productivo de las aves de corral (Coates *et al.*, 1951; Stokstad y Jukes, 1950; Whitehill *et al.*, 1950). Para 1951, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos permitió el uso de antibióticos como promotores de crecimiento en alimento de granja sin necesidad de receta veterinaria. Más tarde, entre 1950 y 1960, varios países europeos emitieron regulaciones locales que favorecieron su incorporación al alimento ganadero. En México, su uso se popularizó entre 1960 y 1970, siguiendo tendencias internacionales que buscaban aumentar la productividad a bajo costo (Low *et al.*, 2021).

En el contexto de austeridad que siguió a la Segunda Guerra Mundial, la introducción de los antibióticos a los sistemas pecuarios se asumió como un símbolo de progreso. Permitieron reducir drásticamente la mortalidad por infecciones y mejorar la ganancia de peso en distintas especies, lo que aceleró la producción de carne y leche para satisfacer la demanda creciente de proteína animal. Su adopción fue celebrada tanto en Occidente como en países del otro lado de la Cortina de Hierro, consolidando así su papel central en la producción pecuaria moderna (Figura 4) (Lees *et al.*, 2021).

DEL CRECIMIENTO ACCELERADO A LA MULTIRRESISTENCIA BACTERIANA: EL OTRO LADO DE LOS ANTIBIÓTICOS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA

Lo que fue un gran avance para mejorar la salud y productividad en animales de producción también trajo consigo un desafío poco visible en su momento: la multirresistencia antimicrobiana. A partir de 1960, se comenzó a notar en las granjas que algunas infecciones ya no respondían a los tratamientos con antibióticos habituales, un hecho que sorprendió tanto a veterinarios como a productores (Anderson, 1968). Este fenómeno motivó cuestionamientos dentro de la comunidad científica, que comenzó a examinar las consecuencias del uso continuo de los antimicrobianos en los sistemas pecuarios, particularmente la presencia de bacterias resistentes en animales, la posible transferencia de genes de resistencia entre bacterias de diferentes especies y el riesgo de diseminación de estos patógenos a humanos a través de la cadena alimentaria y el ambiente (Anderson y Datta, 1965; Levy *et al.*, 1976; Morales *et al.*, 2023).

Este hallazgo abrió una conversación que no se ha detenido desde entonces. A partir de la década de 1960, el desarrollo de nuevos antibióticos disminuyó de forma notable, debido a que la industria farmacéutica priorizó la producción masiva de los compuestos ya conocidos

EVOLUCIÓN DEL USO DE ANTIBIÓTICOS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

IMPACTO GLOBAL



Figura 4. Evolución del uso de antibióticos en la producción animal: impacto global.

por su eficacia. La repetición constante de estos generó una fuerte presión evolutiva sobre las bacterias, favoreciendo la aparición de mecanismos como: inactivación enzimática del antibiótico, la reducción de su acumulación intracelular debido a cambios en la permeabilidad de la membrana, lo que impide que el fármaco alcance concentraciones efectivas dentro de la célula, y las modificaciones en los sitios blanco del antibiótico, que evitan su unión y acción. Así, la herramienta que aceleró la productividad también aceleró la adaptación bacteriana (Loureiro *et al.*, 2016; Low *et al.*, 2021).

Al mismo tiempo, comenzaron a difundirse prácticas inadecuadas en las granjas, muchas de ellas impulsadas por la desinformación. Tratamientos demasiado cortos o excesivamente largos, dosis incorrectas e incluso el uso de compuestos no indicados para el tipo de infección, contribuyeron a reducir su eficacia y a fortalecer el problema. También influyó su administración como medida profiláctica en grupos completos de animales y su uso como promotores de crecimiento nutricional, especialmente en modelos donde las regulaciones sanitarias eran aún laxas o inexistentes (Low *et al.*, 2021).

Entre los grupos de antibióticos más empleados se encuentran los β -lactámicos (penicilinas), tetraciclinas, aminoglucósidos, macrólidos, sulfonamidas y fluoroquinolonas, lo que ha favorecido la aparición de cepas multirresistentes de *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. (Marshall y Levy, 2011).

En América Latina se ha documentado la presencia de *S. aureus* con perfiles relevantes de resistencia antimicrobiana en unidades de producción lechera. En el suroeste de Brasil, Freu *et al.* (2022) analizaron 84 cepas de *S. aureus* aisladas de vacas con mastitis clínica en 13 rebaños lecheros. Los aislamientos fueron evaluados frente a 10 antimicrobianos que pertenecían a diferentes familias, incluyendo β -lactámicos (penicilina, ampicilina, cefalotina, ceftiofur y oxacilina), macrólidos (eritromicina), tetraciclinas (tetraciclina), lincosamidas (pirlimicina) y sulfonamidas (sulfadimetoxina). Se observó una alta similitud genotípica entre las cepas y resistencia frente a varios de los antibióticos evaluados, particularmente a los β -lactámicos. Estos resultados sugieren la posible diseminación de cepas resistentes entre rebaños y un riesgo para la eficacia de los tratamientos convencionales.

De manera similar, en México se ha reportado una prevalencia del 42 % de mastitis subclínica asociada a *S. aureus*, cuyos aislamientos presentaron genes relacionados con resistencia a tres familias de antibióticos, incluyendo fluoroquinolonas, tetraciclinas

y β -lactámicos (cefalosporinas). Además, se identificaron genes asociados con virulencia, invasión y supervivencia bacteriana, lo que resalta la capacidad adaptativa del patógeno (Aguirre *et al.*, 2024).

Estudios con *E. coli* provenientes de animales de producción como pollos de engorda, cerdos y bovinos han reportado resistencia a familias de antibióticos, incluyendo β -lactámicos, tetraciclinas, sulfonamidas y fluoroquinolonas, lo que evidencia la presencia de cepas multirresistentes en los sistemas pecuarios (Marshall y Levy, 2011; Nhung *et al.*, 2017).

Con el paso de los años, esta situación se convirtió en una lección biológica inevitable para los sistemas pecuarios. Aunque el uso de antibióticos tuvo como objetivo mejorar la salud animal, proteger la producción y sostener la economía de los productores, con el tiempo se evidenció que sus efectos trascendieron el ámbito de las granjas, generando implicaciones sanitarias y económicas de alcance global. La multirresistencia antimicrobiana ha ocasionado importantes pérdidas asociadas al incremento en los costos de tratamiento, la disminución de la productividad y el aumento de la mortalidad animal, lo que impacta directamente la sostenibilidad de los sistemas pecuarios. A nivel mundial, el sector pecuario desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria y en el sustento de millones de personas; sin embargo, la creciente resistencia antimicrobiana representa una amenaza significativa para la disponibilidad, seguridad y sostenibilidad de los productos de origen animal (Enshaie *et al.*, 2025; Panicker *et al.*, 2025).

En la actualidad, la discusión ya no gira solo en torno a producir más, sino a producir mejor. Esta nueva visión impulsa la búsqueda de estrategias novedosas, naturales y biotecnológicas que permitan proteger tanto la productividad como la salud animal, humana y ambiental.

PLAN DE ACCIÓN MUNDIAL FRENTE A LA MULTIRRESISTENCIA A LOS ANTIMICROBIANOS

La multirresistencia bacteriana evidenció que la producción pecuaria y la salud humana comparten el mismo entorno biológico, por lo que el problema debía atenderse de manera coordinada y global. Bajo esta necesidad de colaboración, en 2015 se lanzó el Plan de Acción Mundial (GAP), impulsado por organismos internacionales como la OMS, la FAO y la OIE. Este plan propuso por primera vez un enfoque articulado de "Una Salud", entendiendo que prevenir la multirresistencia antimicrobiana implica actuar simultáneamente en sectores humanos, animales, vegetales y ambientales.



Figura 5. De la etnobotánica a la biotecnología: revalorización de plantas medicinales ancestrales. Imagen generada mediante ChatGPT (OpenAI, 2025).

Un año después, en 2016, la 71.^a Asamblea General de las Naciones Unidas respaldó el plan mediante una declaración política de alto nivel, comprometiéndolo a los países a su implementación en escala regional y nacional. El GAP estableció ejes estratégicos clave, como: el uso responsable de antimicrobianos, la concienciación social, la vigilancia sanitaria y la investigación de nuevas alternativas terapéuticas (Wernli *et al.*, 2022).

La adopción del GAP motivó cambios importantes en distintas partes del mundo. Algunos países optaron por prohibiciones totales de antibióticos como promotores de crecimiento, como ocurrió en la Unión Europea en 2006 y más recientemente en Chile en 2023. Otros implementaron restricciones específicas sobre compuestos concretos como: colistina, avoparcina, vancomicina, bacitracina, tilosina, virginiamicina y tiamulina, estrategia adoptada por países como China en 2016, India en 2019, México en 2007 y Brasil en 2020 (Comisión Europea, 2005; da Silva *et al.*, 2023; Hennessey *et al.*, 2025; Walsh y Wu, 2016).

Aunque estas decisiones no surgieron con la intención de afectar la productividad, sino de proteger la salud, hoy han impulsado una interrogante cada vez más presente: ¿Cómo mantener la producción pecuaria sin depender tanto de los antibióticos? Esta pregunta ha abierto la puerta a alternativas naturales estudiadas desde la biotecnología moderna, donde los extractos vegetales están comenzando a ocupar un papel importante.

DE LA ETNOBOTÁNICA A LA PRODUCCIÓN PECUARIA: EXTRACTOS VEGETALES

El desafío global de la multirresistencia antimicrobiana ha llevado a replantear el uso de antibióticos en la producción pecuaria y ha acelerado la búsqueda de alternativas naturales, como extractos ricos en taninos, aceites esenciales o compuestos fenólicos. Países e instituciones han impulsado regulaciones para limitar su empleo como promotores de crecimiento, lo que abre una oportunidad científica para explorar nuevas estrategias que protejan tanto la productividad animal como la salud del ecosistema completo. Este cambio de paradigma invita a ver a las plantas desde una nueva perspectiva: de tradición cultural a solución biotecnológica (Figura 5).

Los extractos vegetales concentran compuestos bioactivos que las plantas producen en respuesta adaptativa ante amenazas como herbívoros, estrés ambiental o interacciones competitivas. Estas moléculas no aparecen al azar: son parte de sistemas naturales de defensa. Por ejemplo, el sabor amargo de muchas plantas proviene de los taninos, sustancias que dificultan su consumo por herbívoros. De manera similar, la cafeína en el café, la nicotina en el tabaco o el mentol en la menta funcionan como repelentes o tóxicos para ciertos insectos. Lo que la planta fabrica para sobrevivir, la ciencia lo estudia hoy para sanar (Rasheed *et al.*, 2024; Rutkowska y Pasqualone, 2025).

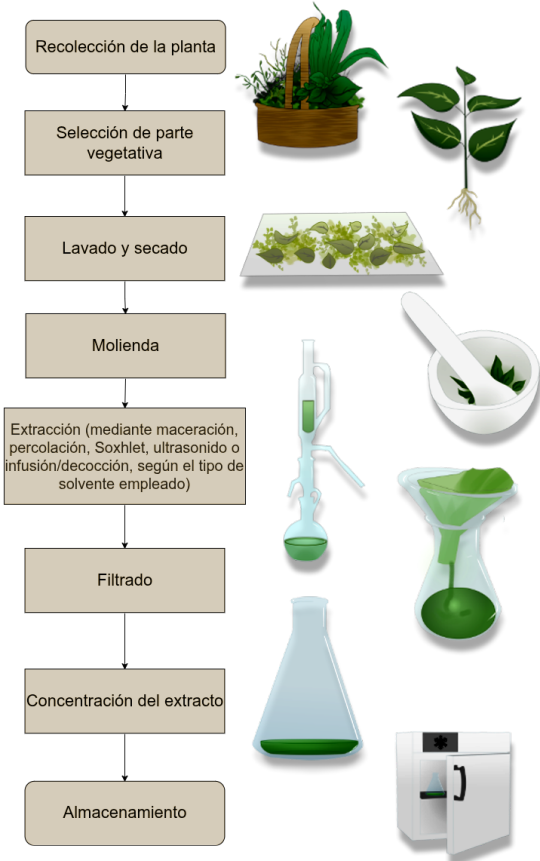


Figura 6. Proceso general para la obtención de extractos vegetales.

Desde la biotecnología moderna, estos extractos se obtienen (Figura 6) a partir de hojas, raíces, flores, semillas o corteza mediante métodos como destilación, extracción con agua o alcoholes, así como tecnologías emergentes asistidas por presión, temperatura o ultrasonido. Gracias a su diversidad química, los extractos de plantas han mostrado actividades de alto interés en la producción pecuaria, como potencial antimicrobiano, antioxidante e incluso inmunomodulador (Bhadange *et al.*, 2024).

En este marco, divulgar los avances y retos de los ingredientes vegetales bioactivos contribuye a informar, concienciar y promover opciones sostenibles para los animales de producción (Figura 7), sin comprometer la salud humana ni el entorno ambiental. Así, esta ciencia, con raíces culturales profundas, permite comprender la importancia del uso de extractos vegetales bioactivos como alternativa biotecnológica para promover la salud animal en los sistemas pecuarios desde un enfoque sostenible.

LA DEFENSA NATURAL DE LAS PLANTAS BAJO LA LUPA DE LA BIOTECNOLOGÍA

Las investigaciones sobre extractos vegetales comenzaron a ganar fuerza entre finales del siglo XVIII e inicios del siglo XIX, un periodo marcado por avances decisivos en química y botánica. Esta

etapa transformó la forma de estudiar a las plantas: del conocimiento empírico a la experimentación científica, con métodos más sistemáticos y herramientas de análisis cada vez más precisas. Uno de los primeros hitos científicos ocurrió en 1805, cuando el químico Friedrich Sertürner aisló la morfina del opio, convirtiéndola en el primer alcaloide vegetal purificado y documentado científicamente por su acción analgésica, lo que abrió el camino formal a la química de productos naturales (Krishnamurti y Rao, 2016).

Más de un siglo después, en 1897, investigadores de la época desarrollaron el ácido acetilsalicílico, conocido como aspirina, derivado de la corteza del sauce, consolidándolo como uno de los compuestos más influyentes de origen vegetal en la historia de la farmacología (Montinari *et al.*, 2005). De igual forma, el curare, una preparación vegetal utilizada ancestralmente en América del Sur como veneno para flechas, dio origen al estudio y aislamiento de la tubocurarina en el siglo XX, compuesto que encontró una aplicación específica como relajante muscular durante procesos de anestesia (Lee, 2005).

Estos descubrimientos reflejan una nueva narrativa en torno a las plantas: ya no solo se observan sus efectos, ahora se descifran, se aíslan y se aplican de forma dirigida. Este recorrido histórico demuestra que los extractos vegetales son una fuente inagotable de innovación, tanto para la medicina humana como para nuevas aplicaciones en salud animal y producción sostenible en el sector pecuario.



Figura 7. Uso de extractos vegetales en la producción animal. Imagen generada mediante ChatGPT (OpenAI, 2025).

APLICACIONES DE EXTRACTOS VEGETALES EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA

En los últimos años, distintas investigaciones han evaluado la eficacia de los extractos obtenidos de plantas en especies de producción pecuaria, especialmente frente a enfermedades frecuentes que afectan al sector pecuario (Lopes *et al.*, 2020). Estos estudios reportan resultados prometedores en el control de la mastitis bovina, la reducción de infecciones digestivas y respiratorias en pollos de engorde, así como en la disminución de la incidencia de diarrea en lechones post-destete (Tomanić *et al.*, 2024; Upadhaya y Kim, 2017; Windisch *et al.*, 2008). Estas evidencias coinciden en que los bioactivos vegetales actúan como moléculas defensivas que la biotecnología puede transformar en herramientas funcionales para la salud, la nutrición y el bienestar animal.

La literatura científica ha mostrado que compuestos de origen vegetal, como flavonoides, terpenoides, polifenoles y alcaloides, no sólo presentan actividad antimicrobiana, sino también efectos antioxidantes e inmunomoduladores (Gessner *et al.*, 2017; Greathead, 2003; Windisch *et al.*, 2008), influyendo favorablemente en la salud intestinal, la fisiología de la mucosa digestiva, la estabilidad de la microbiota y la conversión eficiente del alimento en crecimiento (Gessner *et al.*, 2017; Hashemi y Davoodi, 2011; Upadhaya y Kim, 2017).

USO PROFILÁCTICO DE EXTRACTOS VEGETALES

La antisepsia de los pezones antes y después del ordeño, conocida como pre-dipping y post-dipping, es una de las medidas más eficaces para reducir la mastitis en vacas. Este procedimiento evita que las bacterias presentes en la piel del pezón entren a la ubre durante la ordeña, ayudando así a proteger la salud mamaria y la calidad higiénica de la leche. Los extractos vegetales han demostrado ser capaces de disminuir la carga microbiana, posicionándose como alternativas viables frente a los antisépticos químicos tradicionales, con beneficios adicionales para el cuidado de la piel del pezón (do Nascimento *et al.*, 2025).

Un estudio reciente realizado en Brasil evaluó dos formulaciones a base de extractos de papaya (*Carica papaya*), sábila (*Aloe barbadensis*), andiroba (*Carapa guianensis*), copaiba (*Copaifera officinalis*), árbol de té (*Melaleuca alternifolia*) y barbatimão (*Stryphnodendron barbatiman*). En la primera etapa, se verificó su actividad antimicrobiana *in vitro* frente a bacterias asociadas a mastitis bovina, como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae* y *Escherichia coli*. Posteriormente, en pruebas *in vivo*, las formulaciones

se aplicaron en los pezones antes y después del ordeño, logrando una reducción de la carga microbiana superior al 80%, con una eficacia comparable al yodo y al peróxido de hidrógeno, antisépticos de uso convencional en granja (do Nascimento *et al.*, 2025).

De manera complementaria, otro estudio evaluó la acción antibacteriana de extractos de clavo, citronela y albahaca, y desarrolló formulaciones en aerosol para su uso como desinfección postordeño. En ensayos en vacas, el aerosol de citronela mostró una reducción del 99.9% de bacterias en la piel del pezón en solo 1 minuto, comparable a un protocolo de desinfección con yodo al 0.54%. Estos resultados posicionan a la citronela como una de las opciones más prometedoras para uso profiláctico postordeño, con alta eficacia antimicrobiana y excelente tolerancia en la piel del pezón bajo condiciones reales de ordeña en granja (Aiemsraad *et al.*, 2023).

En este panorama, los extractos vegetales bioactivos se presentan como herramientas biotecnológicas de origen natural que permiten cuidar la salud preventiva en animales, sin agregar presión evolutiva innecesaria sobre las bacterias presentes en los sistemas de producción pecuaria.

USO TERAPÉUTICO DE EXTRACTOS VEGETALES

Los compuestos bioactivos de las plantas han despertado el interés de la ciencia veterinaria por su capacidad para combatir microorganismos, modular la microbiota intestinal y estimular la respuesta inmune del animal. Estas propiedades los posicionan como aliados terapéuticos y han impulsado su estudio como suplementos funcionales en la producción pecuaria. En la Tabla 1 se presentan estudios recientes que muestran que estos compuestos pueden reducir infecciones bacterianas y parasitarias, además de mejorar las defensas naturales del animal, respaldando el potencial de las plantas como herramientas terapéuticas en la salud animal.

USO DE EXTRACTOS VEGETALES COMO PROMOTOR DE CRECIMIENTO

El crecimiento de los animales en granjas y sistemas pecuarios está íntimamente ligado a la salud intestinal. Un intestino saludable no solo digiere y absorbe nutrientes de forma eficiente, también mantiene una barrera física protectora, regula la respuesta inmune en la mucosa digestiva y alberga una microbiota equilibrada. Este conjunto de bacterias benéficas actúa como un componente funcional esencial, porque participa activamente en la defensa del organismo, optimiza la digestión y se comunica incluso con el sistema nervioso del animal, influyendo en su fisiología general y bienestar.

Tabla 1. Estudios *in vivo* sobre el uso de extractos vegetales, aceites esenciales y compuestos fitoquímicos en enfermedades de animales de producción.

Producto / Extracto vegetal	Principales compuestos bioactivos	Especie animal	Patógeno o infección	Principales efectos observados	Referencia
Mezcla fitogénica: fenogreco (<i>Trigonella foenum-graecum</i>) y cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>), combinada con aceites esenciales.	Trans-anetol y carvacrol	Lechones postdestete	<i>E. coli</i>	Reducción de excreción bacteriana en heces y aumento de células productoras de mucina intestinal.	Alberto <i>et al.</i> , 2025
Mezcla de aceites esenciales: Ajo (<i>Allium sativum</i>) y Ajenjo (<i>Artemisia absinthium</i>).	Polifenoles y flavonoides, tocoferoles, esteroides vegetales, compuestos azufrados y lactonas sesquiterpénicas.	Cerdos	<i>Eimeria</i> , <i>Cryptosporidium</i> , <i>Ascaris suum</i> , <i>Trichuris suis</i>	Reducción significativa de la carga parasitaria y mejora del estado sanitario.	Băieș <i>et al.</i> , 2024
Mezcla de aceites esenciales: Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>), tomillo silvestre (<i>Thymus serpyllum</i>), orégano (<i>Origanum vulgare</i>), ajedra de montaña (<i>Satureja montana</i>)	Terpenoides como timol y carvacrol	Vacas lecheras	Mastitis asociada a <i>Candida spp.</i>	Reducción significativa de aislamientos de <i>Candida</i> y efecto sinérgico con antibióticos.	Tomanić <i>et al.</i> , 2024
Mezcla de aceites esenciales	Trans-cinamaldehído, eugenol, carvacrol, timol, disulfuro de dialilo	Lechones postdestete	<i>E. coli</i>	Mejora del equilibrio de la microbiota intestinal y aumento de la relación lactobacilos/coliformes.	Montoya <i>et al.</i> , 2021
Extractos vegetales + propóleo.	Curcuminoides, flavonoides naringínicos, derivados carnósicos, derivados salicílicos, artemipilina-C	Lechones postdestete	<i>E. coli</i>	Mejora de la morfología intestinal y reducción de la respuesta inflamatoria.	Montoya <i>et al.</i> , 2021
Extracto acuoso de <i>Combretum glutinosum</i> (corteza)	Taninos y otros fitoquímicos fenólicos	Ovejas	Helmintos gastrointestinales (<i>Haemonchus contortus</i> y <i>Trichostrongylus colubriformis</i>)	Reducción de excreción de huevos, mejora de peso corporal y parámetros hematológicos.	Toklo <i>et al.</i> , 2023
<i>Medicago polymorpha</i> y <i>Medicago sativa</i>	Saponina	Ovejas	Estrongílidos gastrointestinales ovinos	Inhibición significativa de larvas y huevos.	Maestrini <i>et al.</i> , 2020
Nanoemulsión de aceites esenciales: Clavo (<i>Syzygium aromaticum</i>) Canela (<i>Cinnamomum verum</i>)	Eugenol, aldehídos y terpenos	Gallinas ponedoras	Ácaro rojo de las aves (<i>Dermanyssus gallinae</i>)	Reducción >95% de ectoparásitos, mejora en producción de huevos, salud general, plumaje y piel; sin residuos detectables en huevos.	Pumnuan <i>et al.</i> , 2024

Tabla 1. Estudios *in vivo* sobre el uso de extractos vegetales, aceites esenciales y compuestos fitoquímicos en enfermedades de animales de producción.

Producto / Extracto vegetal	Principales compuestos bioactivos	Especie animal	Patógeno o infección	Principales efectos observados	Referencia
Cúrcuma (<i>Curcuma longa</i>) Fenogreco (<i>Trigonella foenum-graecum</i>)	Curcuminoides (curcumina, desmetoxicurcumina) Saponinas, flavonoides	Pollos de engorde	<i>Salmonella entérica</i> y <i>E. coli</i>	Reducción de diseminación bacteriana y mejoría de algunos parámetros patológicos y microbiológicos.	Kerek <i>et al.</i> , 2023
Germen de trigo, extracto de lúpulo, extracto de semilla de uva	Polifenoles, proantocianidinas y tocoferoles	Pollos de engorde	<i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i>	Reducción de emisiones de gases nocivos en las heces, así como los niveles fecales de <i>E. coli</i> y <i>Salmonella</i> , e incrementar los niveles de <i>Lactobacillus</i> .	Zou <i>et al.</i> , 2023

Los extractos vegetales concentran compuestos como aceites esenciales, polifenoles, flavonoides y otros metabolitos que las plantas producen para defenderse. La biotecnología moderna ha comenzado a leer ese lenguaje químico para usarlo en beneficio de la salud y nutrición animal. Las propiedades antimicrobianas, antioxidantes e inmunomoduladoras de estos ingredientes ayudan a equilibrar el ambiente intestinal, estabilizar la microbiota y mejorar la conversión del alimento en peso corporal, sin recurrir exclusivamente a moléculas sintéticas (Obianwuna *et al.*, 2024).

En México, la combinación de inulina obtenida del agave junto con aceite esencial de orégano mexicano probó ser eficaz para incrementar el peso vivo y mejorar la conversión alimenticia en pollos de engorde, efectos asociados a cambios positivos en el intestino y su microbiota (Sánchez *et al.*, 2019). De la misma forma, en China se evaluó un extracto acuoso de orégano en pollos de engorda, obteniendo mejoras en la inmunidad de la mucosa intestinal y el fortalecimiento de su función de barrera, efectos mediados por modificaciones favorables en la composición microbiana. Las moléculas vegetales responsables, como terpenoides y fenoles, son ejemplo de compuestos defensivos que hoy encuentran un uso terapéutico y nutricional dirigido, especialmente en condiciones de producción intensiva (Zhang *et al.*, 2023).

En América Latina, países como Brasil también han estudiado extractos de plantas locales con potencial en nutrición pecuaria. En ovinos alimentados en pastoreo en regiones semiáridas, la inclusión del extracto de mezquite

mejoró la digestibilidad, optimizó la eficiencia de uso del nitrógeno y favoreció la conversión de proteínas en músculo, traducándose en mayor ganancia de peso final y mejor rendimiento productivo, en comparación con ovinos alimentados solo con pasto (Férrer *et al.*, 2021).

En conjunto, estos estudios muestran que los extractos vegetales pueden impulsar el crecimiento desde una mejora biológica, no desde la dependencia química, reforzando su potencial como ingredientes bioactivos en sistemas pecuarios más sostenibles y resilientes.

LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS

A pesar del creciente interés en los extractos vegetales como alternativa a los antimicrobianos en la producción pecuaria, aún existen diversas limitaciones que deben considerarse. En primer lugar, la composición química de los extractos vegetales puede variar considerablemente según factores como la especie vegetal, la parte de la planta utilizada, las condiciones de cultivo, el momento de cosecha y el método de extracción empleado. Esta variabilidad dificulta la estandarización de los productos y la comparación directa entre estudios (Alami *et al.*, 2024). Asimismo, algunos compuestos pueden presentar efectos adversos o tóxicos a altas concentraciones, así como problemas de palatabilidad debido a sabores u olores intensos que pueden afectar el consumo del alimento (Adetunji *et al.*, 2025; Ahmadi *et al.*, 2025).

Otra limitación importante es que muchos de los trabajos disponibles se han realizado en condiciones experimentales controladas o con tamaños de muestra reducidos, lo que limita la extrapolación de los resultados a sistemas productivos comerciales. Además, en algunos casos aún se desconocen con precisión los mecanismos de acción de los compuestos bioactivos, así como sus posibles interacciones con la microbiota intestinal, la dieta o los tratamientos veterinarios convencionales (Biswas y Kim, 2025).

En este contexto, las investigaciones futuras deberán enfocarse en la estandarización de extractos vegetales, la identificación de los compuestos activos responsables de sus efectos biológicos y la evaluación de su eficacia mediante estudios *in vivo* a mayor escala. Asimismo, el desarrollo de tecnologías de formulación, como nanoemulsiones o sistemas de liberación controlada, podría mejorar la estabilidad y biodisponibilidad de estos compuestos en los animales.

Algunos compuestos fitoquímicos ya han sido incorporados en productos comerciales utilizados en la nutrición animal. Los denominados aditivos fitogénicos o phytogetic feed additives incluyen mezclas de aceites esenciales, extractos vegetales y compuestos bioactivos derivados de plantas, como carvacrol, timol, cinamaldehído y capsaicina. Estos productos se utilizan actualmente en dietas para aves, cerdos y rumiantes con el objetivo de mejorar la salud intestinal, estimular la respuesta inmunológica y optimizar el rendimiento productivo. De hecho, algunos ya han recibido autorización regulatoria en la Unión Europea como aditivos zootécnicos (Lillehoj *et al.*, 2018).

Entre los ejemplos se encuentra Digestarom®, un aditivo formulado a partir de aceites esenciales y extractos de plantas como orégano, anís e hinojo, empleado en dietas de aves, cerdos y rumiantes para mejorar la digestibilidad y el rendimiento productivo. De manera similar, Activo® es un producto basado en aceites esenciales microencapsulados ricos en carvacrol, timol y cinamaldehído, diseñado para modular la microbiota intestinal y mejorar la conversión alimenticia en aves y cerdos. Otro ejemplo es XTRACT®, formulado con compuestos como carvacrol, capsaicina y cinamaldehído, que ha sido utilizado en distintas especies pecuarias para estimular la digestión y favorecer el crecimiento animal (Lillehoj *et al.*, 2018).

La presencia de estos productos en el mercado refleja cómo el conocimiento sobre compuestos bioactivos de origen vegetal ha comenzado a trasladarse desde la investigación científica hacia aplicaciones prácticas dentro de los sistemas de producción pecuaria.

CONCLUSIÓN

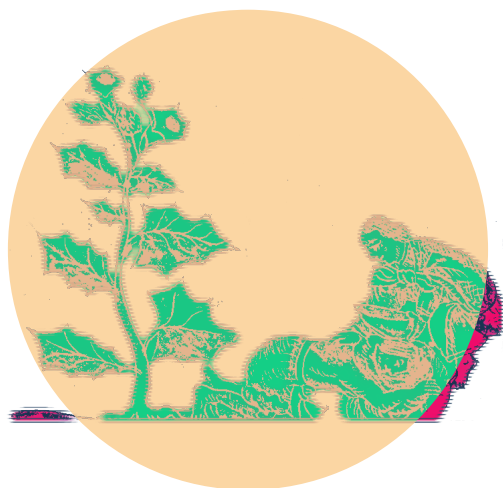
La convergencia entre la etnobotánica y la biotecnología se consolida como un camino esencial para afrontar la resistencia antimicrobiana en la producción pecuaria. Los saberes ancestrales sobre el uso de las plantas no representan únicamente un legado cultural, sino un punto de partida científico que la biotecnología moderna ha comenzado a reinterpretar, caracterizar y transformar en herramientas funcionales.

El avance en técnicas analíticas permite hoy identificar moléculas vegetales bioactivas con mayor precisión, mientras que los nuevos métodos de formulación pueden garantizar su estabilidad y biodisponibilidad. No obstante, el verdadero salto biotecnológico ocurrirá cuando comprendamos sus mecanismos específicos y validemos su seguridad en modelos clínicos animales, sin comprometer la productividad ni el equilibrio ambiental.

A pesar de estos desafíos pendientes, los ingredientes vegetales bioactivos ya han demostrado ser soluciones necesarias, viables y prometedoras. Solo mediante la integración de la ciencia rigurosa y las prácticas sostenibles podremos transformar la herencia de la etnobotánica en una estrategia de salud global. En última instancia, aprovechar el potencial de los extractos vegetales permitirá avanzar hacia sistemas de producción pecuaria más saludables, responsables y resilientes frente a los desafíos sanitarios y ambientales del futuro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica de Francisco I. Madero y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.



Literatura citada



- Adetunji, A.O., J. Price, H. Owusu, E.F. Adewale, P.A. Adesina, T.P. Saliu, Z. Zhu, C. Xedzro, E. Asiamah, S. Islam. 2025. Mechanisms by which phytogetic extracts enhance livestock reproductive health: Current insights and future directions. *Frontiers in Veterinary Science*. 12: 1568577. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1568577>
- Aguirre-Sánchez, J.R., N.C. del Campo, J.A. Medrano-Félix, A.O. Martínez-Torres, C. Chaidez, J. Querol-Audi. 2024. Genomic insights of *Staphylococcus aureus* associated with bovine mastitis in a high livestock activity region of Mexico. *Journal of Veterinary Science*. 25(4). <https://doi.org/10.4142/jvs.23286>
- Ahmadi, F., H.A.R. Suleria, F.R. Dunshea. 2025. Role of plant bioactive compounds in improving ruminant resilience to heat stress. *Animal Production Science*. 65(6): AN23386. <https://doi.org/10.1071/AN23386>
- Aiemsaaard, J., G.N. Borlace, E. Thongkham, C. Jarassaeng. 2023. Antibacterial efficacy of essential oil spray formulation for post-milking disinfection in dairy cows. *Veterinary World*. 16(7): 1552-1561. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2023.1552-1561>
- Alami, M.M., S. Guo, Z. Mei, G. Yang, X. Wang. 2024. Environmental factors on secondary metabolism in medicinal plants: exploring accelerating factors. *Medicinal Plant Biology*. 3: e016. <https://doi.org/10.48130/mpb-0024-0016>
- Alberto, T.-P., A. Keiner, M. Le Gall, F. Molist, X. Guan, A. Middelkoop, E. Jiménez-Moreno, A. Balfagón, G. Mantovani, M. Nofrarias, T. Aumiller. 2025. Impact of a phytogetic feed additive on diarrhea incidence, intestinal histomorphology and fecal excretion of F4-fimbriated enterotoxigenic *Escherichia coli* in post-weaning piglets. *Stresses*. 5(1): 8. <https://doi.org/10.3390/stresses5010008>
- Anderson, E.S. 1968. Drug resistance in *Salmonella typhimurium* and its implications. *British Medical Journal*. 3(5614): 333-339. <https://doi.org/10.1136/bmj.3.5614.333>
- Anderson, E.S., N. Datta. 1965. Resistance to penicillins and its transfer in Enterobacteriaceae. *The Lancet*. 1(7382): 407-409. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(65\)90004-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(65)90004-8)
- Băieș, M.H., C. Lăcătușu, C. Mălăncioiu, D. Mierliță, D. Cucu, D. Moț, D.I. Hădărugă. 2024. Antiparasitic activity of plant-derived powders (garlic and wormwood) in pigs naturally infected with gastrointestinal parasites under low-input farm conditions. *BMC Veterinary Research*. 20(1): 99. <https://doi.org/10.1186/s12917-024-03983-3>
- Bhadange, Y.A., J. Carpenter, V.K. Saharan. 2024. A comprehensive review on advanced extraction techniques for retrieving bioactive components from natural sources. *ACS Omega*. 9(29): 31274-31297. <https://doi.org/10.1021/acsomega.4c02718>
- Biswas, S., I.H. Kim. 2025. A thorough review of phytogetic feed additives in non-ruminant nutrition: production, gut health, and environmental concerns. *Journal of Animal Science and Technology*. 67(3): 497-519. <https://doi.org/10.5187/jast.2025.e26>
- Casas, A., J. Blancas, R. Lira. 2016. Mexican ethnobotany: Interactions of people and plants in Mesoamerica. En: R. Lira, A. Casas, J. Blancas (eds). *Ethnobotany of Mexico*. Springer, New York, NY, pp. 1-19. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6669-7_1
- Coates, M.E., C.D. Dickinson, G.F. Harrison, S.K. Kon, W.F.J. Cuthbertson. 1951. A mode of action of antibiotics in the stimulation of growth of chicks. *Nature*. 168: 332-333. <https://doi.org/10.1038/168332a0>
- Comisión Europea. 2005. La prohibición de los antibióticos como promotores del crecimiento en la alimentación animal entra en vigor el 1 de enero de 2006. En: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_05_1687 (consultado el 21/10/2025).
- da Silva, R.A., N.E. Arenas, V.L. Luiza, J.A.Z. Bermudez, S.E. Clarke. 2023. Regulations on the use of antibiotics in livestock production in South America: A comparative literature analysis. *Antibiotics*. 12(8): 1303. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12081303>
- do Nascimento, G.M., R.A. Rodrigues, H.C. Brugnera, J.C. Barbosa, F.R. Favaron, G.A.M. Rossi, C.R.S. de Bragança, R.P. Schocken-Iturrino, F.A. de Ávila, M.V. Cardozo. 2025. Antimicrobial activity of teat antiseptic formulations based on plant extracts for controlling bovine mastitis: In vitro and in vivo evaluation. *Veterinary Sciences*. 12(4): 293. <https://doi.org/10.3390/vetsci12040293>
- Enshaie, E., S. Nigam, S. Patel, V. Rai. 2025. Livestock antibiotics use and antimicrobial resistance. *Antibiotics*. 14(6): 621. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14060621>
- Férrer, J.P., M.V. da Cunha, M.V.F. dos Santos, T.R. Torres, J.R.C. da Silva, R.M.L. Vêras, D.C. da Silva, A.H. da Silva, L.M.D. Queiroz, M.T. Férrer, E.L.S. Neto, D.M. Jaramillo, E.J.O. de Souza. 2021. Mesquite (*Prosopis juliflora*) extract as a phytogetic additive for sheep finished on pasture in the semiarid region. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 12(1): 14. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00556-2>
- Freu, G., T. Tomazi, A.F.S. Filho, M.B. Heinemann, M.V. dos Santos. 2022. Antimicrobial resistance and molecular characterization of *Staphylococcus aureus* recovered from cows with clinical mastitis in dairy herds from southeastern Brazil. *Antibiotics*. 11(4). <https://doi.org/10.3390/antibiotics11040424>
- Gessner, D.K., R. Ringseis, K. Eder. 2017. Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 101(4): 605-628. <https://doi.org/10.1111/jpn.12579>
- Greathead, H. 2003. Plants and plant extracts for improving animal productivity. *Proceedings of the Nutrition Society*. 62(2): 279-290. <https://doi.org/10.1079/pns2002197>
- Hashemi, S.R., H. Davoodi. 2011. Herbal plants and their derivatives as growth and health promoters in animal nutrition. *Veterinary Research Communications*. 35(3): 169-180. <https://doi.org/10.1007/s11259-010-9458-2>
- Hennessey, M., P. Alarcon, I. Samanta, G. Fournié, H. Paleja, K. Papaiyan, M. Gautham. 2025. Formulating antibiotic policy: Analysis of India's ban on colistin use in food producing animals. *Preventive Veterinary Medicine*. 240: 106534 <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106534>
- Kerek, Á., Á. Szabó, P.F. Dobra, K. Bárdos, L. Ózsvári, P. Fehérvári, Z. Bata, V. Molnár-Nagy, Á. Jerzele. 2023. Determining the in vivo efficacy of plant-based and probiotic-based antibiotic alternatives against mixed infection with *Salmonella enterica* and *Escherichia coli* in domestic chickens. *Veterinary Sciences*. 10(12): 706. <https://doi.org/10.3390/vetsci10120706>
- Krishnamurti, C., S.S.C. Rao. 2016. The isolation of morphine by Serturner. *Indian Journal of Anaesthesia*. 60(11): 861-862. <https://doi.org/10.4103/0019-5049.193696>
- Lees, P., L. Pelligand, E. Giraud, P.L. Toutain. 2021. A history of antimicrobial drugs in animals: Evolution and revolution. *Journal of Veterinary Pharmacology and Therapeutics*. 44(2): 137-171. <https://doi.org/10.1111/jvp.12895>
- Levy, S.B., G.B. Fitzgerald, A.B. Maccone. 1976. Changes in in-

- testinal flora of farm personnel after introduction of a tetracycline-supplemented feed on a farm. *New England Journal of Medicine*. 295(11): 583-588. <https://doi.org/10.1056/NEJM197609092951101>
- Li, X., C. Xu, B. Liang, J.P. Kastelic, B. Han, X. Tong, J. Gao. 2023. Alternatives to antibiotics for treatment of mastitis in dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 10: 1160350. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1160350>
- Lillehoj, H.S., Y. Liu, S. Calsamiglia, M.E. Fernandez-Miyakawa, F. Chi, R.L. Cravens, S. Oh, C.G. Gay. 2018. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Veterinary Research*. 49: 76. <https://doi.org/10.1186/s13567-018-0562-6>
- Lopes, T.S., P.S. Fontoura, A. Oliveira, F.A. Rizzo, S. Silveira, A.F. Streck. 2020. Use of plant extracts and essential oils in the control of bovine mastitis. *Research in Veterinary Science*. 131: 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2020.04.025>
- Loureiro, R.J., F. Roque, A. Teixeira Rodrigues, M.T. Herdeiro, E. Ramalheira. 2016. Use of antibiotics and bacterial resistance: Brief notes on its evolution. *Revista Portuguesa de Saúde Pública*. 34(1): 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.rpsp.2015.11.003>
- Low, C.X., L.T.-H. Tan, N.-S. Ab Mutalib, P. Pusparajah, B.-H. Goh, K.-G. Chan, V. Letchumanan, L.-H. Lee. 2021. Unveiling the impact of antibiotics and alternative methods for animal husbandry: A review. *Antibiotics*. 10(5): 578. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10050578>
- Maestrini, M., A. Tava, S. Mancini, D. Tedesco, S. Perrucci. 2020. In vitro anthelmintic activity of saponins from *Medicago spp.* against sheep gastrointestinal nematodes. *Molecules*. 25(2): 242. <https://doi.org/10.3390/molecules25020242>
- Marshall, B.M., S.B. Levy. 2011. Food animals and antimicrobials: impacts on human health. *Clinical Microbiology Reviews*. 24(4): 718-733. <https://doi.org/10.1128/CMR.00002-11>
- Montinari, M.R., S. Minelli, R. De Caterina. 2005. The first 3500 years of aspirin history from its roots—A concise summary. *Vascular Pharmacology*. 43(3): 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.vph.2005.05.004>
- Montoya, D., M. D'Angelo, S.M. Martín-Orúe, A. Rodríguez-Sorrento, M. Saladrigas-García, C. Araujo, T. Chabrilat, S. Kerros, L. Castillejos. 2021. Effectiveness of two plant-based in-feed additives against an *Escherichia coli* F4 oral challenge in weaned piglets. *Animals*. 11(7): 2024. <https://doi.org/10.3390/ani11072024>
- Morales-Ubaldo, A.L., N. Rivero-Perez, B. Valladares-Carranza, V. Velázquez-Ordoñez, L. Delgadillo-Ruiz, A. Zaragoza-Bastida. 2023. Bovine mastitis, a worldwide impact disease: Prevalence, antimicrobial resistance, and viable alternative approaches. *Veterinary and Animal Science*. 21: 100306. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2023.100306>
- Nhung, N.T., N. Chansiripornchai, J.J. Carrique-Mas. 2017. Antimicrobial resistance in bacterial poultry pathogens: A review. *Frontiers in Veterinary Science*. 4: 126. <https://doi.org/10.3389/fvets.2017.00126>
- Obianwuna, U.E., X. Chang, V.U. Oloruh-Okoleh, P.N. Onu, H. Zhang, K. Qiu, S. Wu. 2024. Phytobiotics in poultry: Revolutionizing broiler chicken nutrition with plant-derived gut health enhancers. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 15: 169. <https://doi.org/10.1186/s40104-024-01101-9>
- Panicker, A., A. Changaroth, S.V. Gangadharan, T. Yamamoto, H. Noothalapati, M.K. Nambudiri, P. Poornachandran. 2025. From farms to homes: Navigating antimicrobial resistance landscapes from livestock to humans. *One Health Advances*. 3: 20. <https://doi.org/10.1186/s44280-025-00084-0>
- Peña, F.A.B., I.G. Rivas, L.C. Santos, M.S.O. Almanza. 2023. Uso actual de las plantas del Libellus de Medicinalibus Indorum Herbis o Códice de la Cruz-Badiano en México. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 80(1): e135. <https://doi.org/10.3989/ajbm.548>
- Prescott, J.F. 2017. History and current use of antimicrobial drugs in veterinary medicine. *Microbiology Spectrum*. 5(6). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.ARBA-0002-2017>
- Pumnuan, J., A. Lakyat, A. Klompanya, D. Taemchuay, A. Assavawongsanon, T. Doungnapa, S. Kramchote. 2024. Parasitocidal properties of nanoemulsion-based plant essential oil formulations for controlling poultry ectoparasites in farm conditions. *Insects*. 15(11): 829. <https://doi.org/10.3390/insects15110829>
- Rasheed, H.A., A. Rehman, A. Karim, F. Al-Asmari, H. Cui, L. Lin. 2024. A comprehensive insight into plant-derived extracts/bioactives: Exploring their antimicrobial mechanisms and potential for high-performance food applications. *Food Bioscience*. 59: 104035. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104035>
- Reyes-Carcano, M., E. Espinosa-Ayala, C. Chávez-Mejía, O. Márquez-Molina, P.A. Hernández-García. 2024. Plantas medicinales para uso etnoveterinario en dos mercados locales de la zona Suroriente del Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola*. 73: 1-18. <https://doi.org/10.5154/r.rga.2024.73.11>
- Rutkowska, J., A. Pasqualone. 2025. Plant extracts as functional food ingredients. *Foods*. 14(3): 374. <https://doi.org/10.3390/foods14030374>
- Sánchez-Zamora, N., R. Silva-Vázquez, Z.E. Rangel-Nava, C.A. Hernández-Martínez, J.R. Kawa-Garza, M.E. Hume, D.D. Herrera-Balandrano, G. Méndez-Zamora. 2019. Inulina de agave y aceite esencial de orégano mexicano mejoran el comportamiento productivo de pollos de engorde. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 6(18): 523-534. <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2197>
- Stokstad, E.L.R., T.H. Jukes. 1950. Further observations on the animal protein factor. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 73: 523-528.
- Stokstad, E.L.R., T.H. Jukes, J. Pierce, A.C. Page, A.L. Franklin. 1949. The multiple nature of the animal protein factor. *Journal of Biological Chemistry*. 180: 647-654.
- Toklo, P.M., K.P. Challaton, M.F. Assogba, G.-C.A. Akakpo, A.H. Kifouly, G.G. Alowanou, S. Hounzangbe-Adote, E.C. Yayi, J.D. Gbenou. 2023. Phytochemical screening, in vitro and in vivo effects of an aqueous extract of the bark of *Combretum glutinosum* Perr ex DC. (Combretaceae) on gastrointestinal strongyles. *Phytomedicine Plus*. 3(4): 100491. <https://doi.org/10.1016/j.phyflu.2023.100491>
- Tomanić, D., D.D. Božić, N. Kladar, M. Samardžija, J. Apić, J. Baljak, Z. Kovačević. 2024. Clinical evidence on expansion of essential oil-based formulation's pharmacological activity in bovine mastitis treatment: Antifungal potential as added value. *Antibiotics*. 13(7): 575. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13070575>
- Trinchera, M., S. De Gaetano, E. Sole, A. Midiri, S. Silvestro, G. Mancuso, T. Catalano, C. Biondo. 2025. Antimicrobials in livestock farming and resistance: Public health implications. *Antibiotics*. 14(6): 606. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14060606>
- Upadhaya, S.D., I.H. Kim. 2017. Efficacy of phytogenic feed additive on performance, production and health status of monogastric animals: A review. *Annals of Animal Science*. 17(4): 929-948. <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0079>
- Walsh, T.R., Y. Wu. 2016. China bans colistin as a feed additive for animals. *The Lancet Infectious Diseases*. 16(10): 1102-1103. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)30329-2](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)30329-2)
- Wernli, D., S. Harbarth, N. Levrat, D. Pittet. 2022. A whole of United Nations approach to tackle antimicrobial resistance. *BMJ Global Health*. 7(5). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-008181>
- Whitehill, A.R., J.J. Oleson, B.L. Hutchings. 1950. Stimulatory effect of aureomycin on the growth of chicks. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*. 74(1): 11-13. <https://doi.org/10.3181/00379727-74-17821>
- Windisch, W., K. Schedle, C. Plitzner, A. Kroismayr. 2008. Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry. *Journal of Animal Science*. 86(14 Suppl.): E140-E148. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>
- Zhang, F., J. Yang, Q. Zhan, H. Shi, Y. Li, D. Li, X. Yang. 2023. Dietary oregano aqueous extract improves growth performance and intestinal health of broilers through modulating gut microbial compositions. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 14(1): 77. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00857-w>
- Zou, Q., W. Meng, C. Li, T. Wang, D. Li. 2023. Feeding broilers with wheat germ, hops and grape seed extract mixture improves growth performance. *Frontiers in Physiology*. 14: 1144997. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1144997>