



CIENCIA *ergo-sum*
Universidad Autónoma del Estado de México
ciencia.ergosum@yahoo.com.mx
E-ISSN: 2395-8782

Aproximación a los fármacos como contaminantes emergentes en la producción pecuaria de tres cantones de Costa Rica

Brenes-Alfaro, L., González-Zúñiga, M., García-Fallas, J., Ramírez-Morales, D. y Rodríguez-Rodríguez, C. E. (2026). Aproximación a los fármacos como contaminantes emergentes en la producción pecuaria de tres cantones de Costa Rica. [*Postprint*].

CIENCIA *ergo-sum*, 33.

<https://doi.org/10.30878/ces.v33n0a81>

Sección: Ciencias Naturales y Agropecuarias

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



Esta versión del artículo es una “versión final del autor” que fue aceptada por un proceso de **evaluación por pares ciegos**. Este documento diferirá en formato respecto a la “versión del editor”, la cual se someterá a un proceso de corrección de estilo y de diseño editorial. De ninguna forma se modificará el contenido. Todas las ideas que se presentan son responsabilidad del autor.

**Aproximación a los fármacos como contaminantes emergentes en la
producción pecuaria de tres cantones de Costa Rica**
**An approach to pharmaceuticals as emerging contaminants in livestock
production in three cantons of Costa Rica**

**Laura Brenes-Alfaro, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA),
Universidad de Costa Rica, Costa Rica¹**

ROR: <https://ror.org/02yzgww51>

Correo electrónico: lauramaria.brenes@ucr.ac.cr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6785-7664>

**Marianela González-Zúñiga, Instituto de Investigación en Educación (INIE), Universidad de
Costa Rica, Costa Rica**

ROR: <https://ror.org/02yzgww51>

Correo electrónico: marianela.gonzalez@ucr.ac.cr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3036-7271>

**Jacqueline García-Fallas, Instituto de Investigación en Educación (INIE), Universidad de
Costa Rica, Costa Rica**

ROR: <https://ror.org/02yzgww51>

Correo electrónico: jackeline.garcia@ucr.ac.cr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4236-4323>

**Didier Ramírez-Morales, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA),
Universidad de Costa Rica, Costa Rica**

ROR: <https://ror.org/02yzgww51>

Correo electrónico: didier.ramirezmorales@ucr.ac.cr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2257-231X>

**Carlos E. Rodríguez-Rodríguez, Centro de Investigación en Contaminación Ambiental
(CICA), Universidad de Costa Rica, Costa Rica**

ROR: <https://ror.org/02yzgww51>

Correo electrónico: carlos.rodriguezrodriguez@ucr.ac.cr

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6923-7258>

Recepción: 24 de octubre de 2025

Aprobación: 19 de agosto de 2026

RESUMEN

Entre 2017 y 2019 se desarrolló un estudio exploratorio con productores pecuarios de tres cantones de Costa Rica para generar información sobre fármacos como contaminantes emergentes y sensibilizar acerca de la presencia de residuos de medicamentos veterinarios y humanos en las aguas, y sus posibles riesgos ambientales. Se aplicó una metodología mixta que incluyó entrevistas estructuradas, muestreos de aguas residuales en instalaciones lecheras y porcinas, y actividades de capacitación sobre buenas prácticas pecuarias. En las muestras analizadas se detectaron

¹ Autora para correspondencia.

principalmente acetaminofén, ibuprofeno, naproxeno y cafeína. Además, se identificó un desconocimiento generalizado del tema entre los productores, lo que limita la adopción de medidas preventivas. El estudio permitió sensibilizar a los participantes sobre los posibles riesgos ambientales derivados de estos contaminantes.

PALABRAS CLAVE: fármacos, ganadería, contaminación ambiental, agua residual, recursos hídricos.

ABSTRACT

Between 2017 and 2019, an exploratory study was conducted with livestock producers in three cantons of Costa Rica to gather information on pharmaceuticals as emerging contaminants and to raise awareness about the presence of veterinary and human drug residues in water and their potential environmental risks. A mixed-methods approach was used, including structured interviews, wastewater sampling at dairy and swine facilities, and training on good livestock practices. The samples analyzed mainly contained acetaminophen, ibuprofen, naproxen, and caffeine. In addition, a widespread lack of knowledge on the subject was identified among producers, which limits the adoption of preventive measures. The study helped raise participants' awareness of the potential environmental risks posed by these contaminants.

KEYWORDS: pharmaceuticals, livestock, environmental pollution, wastewater, water resources.

INTRODUCCIÓN

Los contaminantes emergentes (CE) son compuestos que están ampliamente presentes en el ambiente, pero no son monitoreados comúnmente y se identifican como un riesgo potencial para el ambiente y la salud humana. En la actualidad, es poca la información para determinar su riesgo y falta aún más investigación y ordenamiento jurídico para establecer ciertos parámetros y límites de trazas permitidos en aguas (Ramakrishnan et al., 2015; Geissen et al., 2015). Los CE abarcan un amplio grupo de compuestos orgánicos de uso intensivo y generalizado, pero de escasa o nula regulación internacional en términos ambientales (Barceló, 2003). En este grupo se incluyen los surfactantes, fármacos, antibióticos, productos de aseo personal, drogas ilícitas, y retardantes de llama, entre otros compuestos.

En Costa Rica se han realizado pocos estudios para evaluar la presencia y los riesgos de los CE en el ambiente. En el 2011 se publicó un estudio, realizado por la Universidad de Toledo (Estados Unidos), con el apoyo del Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA-UCR) y el Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR-

UCR), en el cual se analizaron los niveles de 34 productos farmacéuticos y productos de cuidado personal en las aguas superficiales y en las localidades costeras de todo el país, la cual reveló hallazgos similares a los registrados en todo el mundo (Spongberg et al., 2011). Otro estudio del 2014 se centra en el análisis de riesgo del consumo de 38 antibióticos usados en el distrito de riego Arenal-Tempisque, donde se desarrollan múltiples actividades agropecuarias extensivas: acuicultura de tilapia y camarón y la crianza de ganado vacuno de engorde y cerdos (de la Cruz et al., 2014). Este estudio mostró que las tetraciclinas, en especial la oxitetraciclina, eran los antibióticos más utilizados en agricultura y veterinaria.

Socialmente, el término de CE es poco conocido en Costa Rica, ya que las campañas y procesos de sensibilización en el ámbito nacional y local se centran en la gestión integrada de residuos, especialmente sólidos. Los principales tipos de residuos son los ordinarios no valorizables (no peligrosos y sin alternativas viables de recuperación); ordinarios valorizables (orgánicos, envases, aluminio, papel y cartón); y de manejo especial (vidrio, llantas, muebles, chatarra, restos de construcción, entre otros) (Hernández-Valverde, 2018). En esta categoría se incluyen residuos infectocontagiosos, químicos y punzocortantes, relacionados con consultorios médicos institucionales, así como sustancias químicas como ácido de batería, plomo, pilas o baterías, tintas y pinturas, productos de limpieza, soluciones ácidas de la limpieza química, aceites y gasolina, disolventes, entre otros (Hernández-Valverde, 2018).

Otras preocupaciones ligadas a las labores agrícolas se relacionan con la presencia de plaguicidas en el ambiente, especialmente con aguas de consumo humano, donde diversas investigaciones han documentado la situación de algunas zonas del país. En ese sentido, existen diferentes reglamentos sobre el registro, uso y control de plaguicidas (Reglamento N° 33495), así como el Decreto para la Protección de los Recursos Hídricos Subterráneos (Decreto N° 42015-MAG-MINAE-S-MIVAH), y el Reglamento para la Calidad del Agua Potable (N° 38924-S). Los parámetros universales de análisis obligatorio en aguas residuales de tipo ordinario y especial en el país son: caudal, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5,20}), Demanda Química de Oxígeno (DQO), potencial de hidrógeno (pH), grasas y aceites (GyA), sólidos sedimentables (SSed), sólidos suspendidos totales (SST), sustancias activas al azul de metileno (SAAM), y temperatura (T). Para la actividad ganadera se debe

complementar con los análisis de nitrógeno total y fosfatos (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2007). Sin embargo, como ocurre en la mayor parte del mundo, no se incluye el análisis de CE, referido a medicamentos veterinarios.

A pesar de ser un tema presente en las investigaciones científicas mundiales desde hace varios años (Daughton y Ternes, 1999; Heberer, 2002; Barceló, 2003; Daughton, 2004; Petrović et al., 2009), en el caso de Costa Rica los CE no son parte de la reglamentación nacional. Por esta razón el concepto no es ampliamente conocido, a diferencia de los plaguicidas y los desechos sólidos. La reglamentación costarricense actual establece requisitos para la disposición final de medicamentos, materias primas y sus residuos, desde una perspectiva sanitaria y ambiental, “en aras de proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos que se puedan derivar de la generación, transporte y manejo de desechos peligrosos y otros desechos, incluyendo los desechos de productos farmacéuticos” (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2010, p. 55), aunque no establece rangos mínimos o máximos de tolerancia de los compuestos en el ambiente. Los principales estudios ambientales y consideraciones con respecto al estado de los cuerpos de agua superficiales, cercanos a las fincas y a los asentamientos humanos, no consideran a los CE como parte de los análisis. Esto a pesar de que la introducción de estos compuestos al ambiente es un efecto generado por las diversas actividades desarrolladas dentro de la vida diaria en la sociedad actual.

Costa Rica es un país con extensiva explotación de la actividad agropecuaria (agricultura, pecuaria, silvicultura y pesca), ya que un 8,66 % del producto interno bruto (PIB) del país dependía de esta actividad en el año 2014 (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria [SEPSA], 2014, p. 13). Para ese año, el 47,1 % de la superficie del país estaba destinada a labores agropecuarias (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2015a). La participación de la actividad pecuaria en el valor agregado agropecuario fue de un 18,41 %, sólo superada por la agricultura (SEPSA, 2014). En cuanto al volumen, del 2014 al 2018, la producción pecuaria presentó una tendencia al alza, lo que se evidencia en la tasa de crecimiento promedio anual del 1,8 % (SEPSA, 2018). Según datos del Censo Agropecuario del 2014, “las fincas con actividad principal pecuaria en el país sumaron 30 248, en las que se incluyen las dedicadas al ganado vacuno, porcino, avícola, y otras, como cabras, ovejas y búfalos” (INEC, 2015b, p.14). Del total de fincas censadas, el 28,5 % tenía

como actividad principal la producción de ganado vacuno lo que representaba 26 489 fincas (SEPSA, 2014; INEC, 2015a); mientras que se identificaron 14 355 fincas con ganado porcino² (INEC, 2015a). La producción o tenencia de ganado vacuno, porcino y caballar ocupan los primeros lugares en cuanto a cantidad de animales y número de fincas existentes (INEC, 2015a).

La actividad porcina nacional es de gran importancia por su contribución en el valor agregado de la economía, generación de divisas, empleos y su papel en la seguridad alimentaria de la población rural (Vargas-Céspedes et al., 2018; Castellanos, 2025). Para el 2021, la cría de cerdos tuvo un valor agregado de 33 465,04 millones de colones, con una participación relativa del 9,63 % (Banco Central de Costa Rica [BCCR], 2023). En el caso del ganado vacuno, representó el 72,5 % del PIB de la producción pecuaria entre los años 2018 y 2021, aproximadamente un 0,7 % del PIB total nacional (SEPSA, 2022), con valores agregados siempre por encima de las otras actividades pecuarias (cerdos, pollos, etc.). En el 2017, Costa Rica aportó el 1,5 % de leche de toda la producción de Latinoamérica, siendo parte de los diez primeros países en ese tipo de producción (los demás se refieren a carne de res, cerdo, aves de corral y oveja) y, a la vez, fue su principal aporte a la región referido a la actividad pecuaria (Williams y Anderson, 2019).

Para el caso de los cantones de Vázquez de Coronado, conocido también como Coronado, (10°00'19.3" latitud norte y 83°57'26.8" longitud oeste) y Moravia (10°00'29.4" latitud norte y 84°00'45.1" longitud oeste), ambos de la provincia de San José, la cantidad de fincas corresponde a 143 y 98 (0,19 % del total de hectáreas a nivel nacional), respectivamente (INEC, 2015a; INEC, 2015b). Esto se considera como una pequeña cantidad con respecto a otros cantones de la misma provincia, pero con la salvedad de que ambos se encuentran en la Gran Área Metropolitana (GAM), con una cercanía importante con centros de población y con la presencia de múltiples cuerpos de agua superficiales –entre ellos, el nacimiento del Río Virilla³– y subterráneos.

² Una misma finca puede presentar una o más actividades pecuarias.

³ La sub-cuenca del Río Virilla cuenta con una extensión territorial de 917,6 km². En sus alrededores habitan 2 063 935 habitantes, aproximadamente, lo que representa el 48 % de la población del país (INEC, 2017, como se citó en Herrera-Murillo et al., 2019). Este río provee numerosos servicios ecosistémicos, incluyendo una

Por su parte, el cantón de Turrialba ($9^{\circ}58'07.1''$ latitud norte y $83^{\circ}44'18.7''$ longitud oeste), perteneciente a la provincia de Cartago, se ubica en el tercer puesto de cantones con mayor cantidad de fincas, con 3 469, las cuales corresponden a una extensión de 49 438,7 hectáreas (INEC, 2015a; INEC, 2015b). También ocupó el tercer lugar en cantidad de ganado vacuno para la producción de leche, con 15 287 animales (INEC, 2015b).

La actividad pecuaria, debido a su importancia económica en Costa Rica conlleva importantes implicaciones ambientales. Uno de los aspectos críticos es el uso de medicamentos veterinarios, los cuales se emplean para prevenir, tratar, controlar o diagnosticar una enfermedad, o para mejorar la productividad de un animal (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2018). Dichos medicamentos y sus metabolitos pueden contaminar las aguas superficiales, subterráneas, así como el suelo, debido a la disposición de fármacos y antibióticos activos.

El tratamiento de aguas provenientes de fincas pecuarias es regulado en Costa Rica por el “Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales” (Decreto Ejecutivo 26042-S-MINAE) y el “Reglamento de Granjas Porcinas” (Decreto N° 32312-S), y mediante la aplicación de buenas prácticas agropecuarias (BPA), referentes a las

pautas generales básicas que se deben aplicar en la producción agropecuaria, para minimizar los riesgos de degradación del ambiente y de contaminación física, química y biológica de los productos agropecuarios, especialmente de aquellos cuyo consumo es en fresco (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2008, p. 15).

En Costa Rica, “los residuos sanitarios y restos de medicamentos tienen la consideración de sustancias tóxicas y por ella deben ser tratados como tal” (Consejo de Salud Ocupacional [CSO], 2014, p. 14). Esto subraya la importancia de implementar prácticas adecuadas de manejo y tratamiento de residuos en las explotaciones pecuarias para evitar la contaminación ambiental y proteger la salud pública:

los desechos deben manejarse de acuerdo con lo establecido en el plan para el manejo de los desechos (líquidos, sólidos y la cerdaza), así como, cumplir lo indicado en el manual de operaciones del sistema de tratamiento, aprobado por el Ministerio de Salud. Estos deberán ser separados, recolectados, acumulados, utilizados cuando proceda, sujetos a tratamiento y disposición final de manera que se evite o disminuya en lo posible la contaminación del aire, suelo o de las aguas (MAG, 2005, p. 15).

fuentes de agua para uso doméstico, industrial y agrícola, por lo que desempeña un papel importante para el desarrollo de la economía y la sociedad (Herrera-Murillo et al., 2019).

En la actividad porcina se solicita la instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales con la finalidad de mejorar la calidad del agua residual, de tal manera que posteriormente pueda ser vertida, infiltrada o reusada y emplearse como fuente de energía, fertilizante, enmienda o mejorador de suelos como sustrato de cultivos agrícolas, o bien, se utilice en dietas de animales (Ministerio de Salud, 2005).

Según el Censo Agropecuario del 2014, el tratamiento de aguas residuales en las fincas de Costa Rica muestra diversas prácticas. Un 46,9 % de las fincas emplean pastos para ese fin, mientras que un 34,6 % utiliza lagunas de oxidación y un 10,2 % dispone de estanques de sedimentación (INEC, 2015b, p. 93). Este panorama varía significativamente entre los diferentes cantones del país. Por ejemplo, en Vásquez de Coronado, entre 25 y menos de 75 fincas en el cantón implementan algún tipo de tratamiento de aguas residuales, mientras que en Moravia menos de 25 fincas (INEC, 2015b). Es importante destacar que estas cifras deben valorarse con respecto al número total de fincas del cantón. Un caso particular es el de Turrialba, pues 754 fincas utilizaban alguna forma de tratamiento de aguas residuales, lo que posiciona a este cantón como el tercero en el país con mayor cantidad de fincas que realizan este tipo de prácticas (INEC, 2015b). Sin embargo, en muchos casos los tratamientos consisten en campos empastados, práctica que puede generar la diseminación de microcontaminantes.

Considerando lo expuesto, este estudio busca describir el trabajo realizado en el proyecto “CEmerge – Contaminantes Emergentes: Monitoreo y diseño de estrategias para la mitigación de su impacto ambiental”, que incluye la identificación de CE en instalaciones pecuarias de dos zonas pecuarias de Costa Rica (Coronado y Moravia, de San José, y Turrialba, de Cartago), los tres cantones de la Región Central del país, mediante una metodología mixta de tipo exploratoria que incluyó entrevistas a productores pecuarios, toma de muestras de aguas residuales de las instalaciones pecuarias y su correspondiente cuantificación de CE, así como las acciones de acercamiento y sensibilización realizadas con los productores pecuarios, entre los años 2017 y 2019. El estudio tuvo como fines generar datos de monitoreo, informar y capacitar a un pequeño grupo del sector pecuario de los tres cantones mencionados, para sensibilizar acerca de la presencia de residuos de medicamentos veterinarios y humanos en las aguas, y sus posibles riesgos. La **INTRODUCCIÓN** no se

enumera.

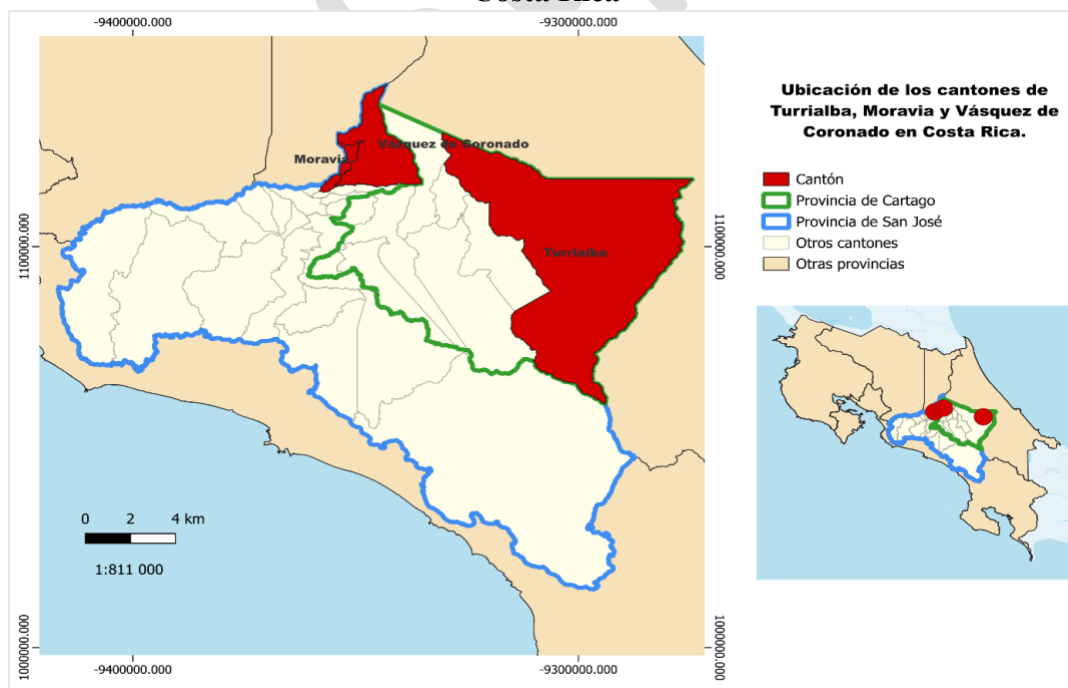
1. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio se empleó una metodología mixta de tipo exploratoria, en la recopilación de información sobre prácticas pecuarias (entrevistas estructuradas) y la intervención educativa. Los datos de las campañas de muestreo y análisis de aguas residuales de las instalaciones de las fincas se obtuvieron mediante un protocolo de muestreo puntual y fueron analizados por medio de un método analítico multirresidual. Esta elección metodológica responde a que es una problemática poco estudiada en el país y con escaso conocimiento tanto técnico como popular, además de la ausencia de legislación específica.

1. 1. Áreas de estudio y población participante

Las áreas de estudio del proyecto fueron Vásquez de Coronado y Moravia, de la provincia de San José, y el distrito de Santa Cruz, cantón de Turrialba, de la provincia de Cartago, Costa Rica (Figura 1). La investigación se centró en productores pecuarios, específicamente de porcinos, en los cantones de San José, y vacunos en Turrialba.

Figura 1
Mapa de ubicación de los cantones de Vásquez de Coronado, Moravia y Turrialba en Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

El cantón de Vázquez de Coronado fue seleccionado por su significativa extensión agropecuaria (aproximadamente el 12 % del cantón) (Municipalidad de Vázquez de Coronado, 1998), su cercanía a los centros urbanos y la ciudad capital (San José), y la abundancia de ríos y quebradas que nacen en sus montañas, como parte de las vertientes del Caribe y del Pacífico. Su proximidad con Moravia, también con fincas pecuarias en las zonas altas, destaca a ambos cantones en la GAM como áreas clave de este sector productivo (Proyecto de Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana [PRUGAM], 2008).

Por otro lado, el cantón de Turrialba cuenta con la mayor cantidad de fincas agropecuarias de la provincia de Cartago (Municipalidad de Turrialba, 2015; INEC, 2015a). Es reconocido en el ámbito nacional por su producción de leche y quesos con “denominación de origen”, siendo el cantón de Santa Cruz “donde se encuentra localizada la mayor cantidad de unidades queseras del país de producto ‘queso blanco fresco’, seguido por San Carlos, Guanacaste y Zarcero” (Cordero et al., 2001, como se citó en Granados y Álvarez, 2007, p. 39).

Dado el carácter exploratorio de este estudio y las limitaciones de información disponible específica, se estableció un trabajo coordinado con la Agencia de Extensión Agrícola (AEA) de Coronado, oficina local del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), para identificar, atender y asesorar a los productores agropecuarios de Vázquez de Coronado y Moravia. En Turrialba, la selección de participantes se realizó en conjunto con la Asociación de Productores Agropecuarios de Santa Cruz de Turrialba (ASOPROA), que facilitó un listado de asociados. Se trabajó con seis productores en Coronado y Moravia y siete en Turrialba, quienes accedieron a participar, permitiendo la recolección de muestras en sus fincas y proporcionaron información sobre sus actividades.

1. 2. Aproximación a productores pecuarios

Inicialmente, se estableció contacto con algunos productores vía telefónica o por medio de los funcionarios de la AEA-Coronado, para explicar el objetivo del estudio. Posteriormente, se realizaron visitas para presentar el proyecto en detalle y explicar las actividades, que incluyeron: a) recopilación de información de prácticas pecuarias, mediante la técnica de entrevista estructurada; b) campañas de muestreo de aguas residuales de las instalaciones; y

c) sobre buenas prácticas pecuarias (BPP) y los CE. También se realizó el muestreo y análisis de aguas de cuerpos de agua superficial en las zonas de estudio, según lo expuesto en Ramírez-Morales et al. (2021a) y Ramírez-Morales et al. (2024).

1. 3. Entrevistas a productores pecuarios

Las entrevistas cualitativas, aplicadas entre febrero y julio de 2019, recopilaron información sobre los sistemas pecuarios presentes en las zonas de estudio, la identificación de prácticas locales asociadas y posibles temas para el ciclo de charlas. Estas entrevistas abarcaron cinco secciones: a) datos generales de la persona informante; b) información sobre la finca; c) manejo de los desechos o contaminantes; d) prácticas pecuarias en finca; e) capacitación e información.

Los datos se procesaron por medio de una hoja electrónica de *Excel* y el ordenamiento de la información se realizó considerando los apartados contenidos en la entrevista.

1. 4. Muestreo de aguas residuales de fincas pecuarias

Los muestreos de aguas residuales se realizaron en seis fincas de productores porcinos, los cuales contaban con algún tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales. En todas se analizó el afluente, es decir, el agua que ingresa a las instalaciones, en este caso, aguas de lavado de las porquerizas, y el efluente, que es la salida de aguas⁴ (Rodríguez-Rodríguez, 2019). Para las fincas vacunas, debido a la falta de sistemas de tratamiento *in situ*, los muestreos se realizaron únicamente en los efluentes no tratados de las instalaciones.

El muestreo se realizó en cada estación: época lluviosa (octubre 2018), época seca (marzo y abril 2019) y de transición (junio 2019). Se cuantificaron CE de acuerdo con el método analítico multirresidual, como se describe en Ramírez-Morales et al. (2021a), mediante el empleo de técnicas de extracción en fase sólida (EFS) para la concentración de las muestras filtradas. El análisis químico se ejecutó a través de cromatografía líquida de ultra alto rendimiento acoplada a un espectrómetro de masas de triple cuadrupolo (UHPLC-MS/MS), siguiendo el sistema de gradiente de Sáenz-Roblero et al. (2020). En el tratamiento estadístico

⁴ Según las instalaciones de cada productor: a) aguas residuales posteriores al biodigestor; o b) aguas residuales posteriores a la laguna de oxidación.

de los compuestos farmacéuticamente activos (PhAC), cuando las señales se ubicaban entre el límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ) se asignó una concentración igual al valor del LOQ. En el caso específico de las aguas residuales (afluente/efluente), cuando una muestra fue cuantificable y su contraparte se ubicó por debajo del LOD, se le asignó analíticamente el valor del LOD a esta última. El método analítico se basó en una optimización previa de 70 compuestos, de los cuales se validaron 42 conforme a los criterios de Ramírez-Morales et al. (2021b).

1. 5. Ciclo de charlas

En octubre de 2019, con la información de las entrevistas procesadas y los resultados de los muestreos, se ofrecieron tres charlas a los productores de las zonas de estudio. Estos encuentros, se realizaron coordinadamente con la AEA – Coronado y ASOPROA. La convocatoria se realizó mediante llamadas telefónicas, envío de invitaciones por medio de la aplicación *WhatsApp*⁵, y entrega física de las invitaciones gracias a las visitas que regularmente realizan los funcionarios de la AEA - Coronado.

El ciclo de charlas abarcó los temas: enfermedades porcinas y vacunas, medicamentos de uso veterinario, administración de fincas pecuarias y facturación electrónica, bioseguridad y enfermedades exóticas, manejo de aguas residuales en instalaciones pecuarias, administración de granjas (como reforzamiento), consideraciones sobre una cuenca hidrográfica, efecto de los biodigestores en sistemas productivos pecuarios, y resultados preliminares del proyecto. Participaron expertos de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional (UNA), de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL), del Programa de Innovación y Transferencia de Tecnológica en Cerdos (PITTA-Cerdos), la Cámara Costarricense de Porcicultores y del CICA-UCR. Los productores evaluaron las charlas mediante un instrumento completado por quienes participaron, luego de cada sesión.

2. RESULTADOS

2. 1. Información sociodemográfica y de la producción

Los entrevistados fueron hombres, con edades entre 48 y 59,5 años, en su mayoría con un

⁵ De amplia utilización en el país entre adultos post 50 años (Vargas, 2015), e identificadas mediante las entrevistas a los productores.

nivel educativo de primaria completa. Todas las personas entrevistadas reportaron ser dueños de la finca, a excepción de un productor.

Entre una zona y otra, las fincas difieren mucho en su extensión, siendo que en Coronado y Moravia las fincas tienen una extensión promedio de 24 ha, mientras que en Turrialba el promedio es de 4 ha. La producción porcina implica más animales que la bovina, dado que en la primera se comercializa la carne (hato comercial) mientras que “el hato ganadero está compuesto por animales dedicados a la producción de carne, leche y doble propósito (comprende la producción de carne y leche)” (BCCR, 2020, p. 2).

La cantidad de animales varía entre una zona y otra, pues en Coronado y Moravia hay un promedio de 206 cerdos en las fincas donde se aplicó la entrevista, y en Turrialba los productores cuentan, en promedio, con 17 vacas. Aun considerando esa cantidad de porcinos, a los entrevistados se les clasifica como parte de una “producción en granja pequeña”, de acuerdo con el Reglamento sobre granjas porcinas (Poder Ejecutivo de Costa Rica, 2012). Coronado también es zona de producción lechera, por lo que tres de los productores entrevistados poseen también ganado vacuno, cuyo promedio es de 19 animales.

En cuanto a otros usos de las fincas, ninguno de los productores consultados las destina para actividades agrícolas. En Turrialba, la mayoría de las personas productoras se dedica principalmente a la producción lechera, mientras que sólo dos también crían ganado porcino. En el caso de Coronado y Moravia, se observa una mayor diversidad de animales: todos los productores poseen vacas y cerdos, y algunos crían otros animales de granja en menor cantidad como ovejas, cabras y gallinas.

Desde la perspectiva económica, la producción porcina se comercializa mediante la venta de carne a una cooperativa al por menor, ya sea directamente en las fincas o mediante mataderos. En cuanto a la producción vacuna, se centra en la elaboración de leche y quesos.

En términos de alimentación, el ganado suele recibir alimento concentrado, aunque también se utilizan forrajes, pastos, granos y vegetales o sus cáscaras. En la producción porcina, dos productores alimentan a sus cerdos con sobras de restaurantes, mientras que uno utiliza suero de leche y residuos de queso como complemento.

2. 2. Perfil del uso de medicamentos veterinarios y manejo de aguas residuales

La mayoría de los productores vive en su propia finca, con solo dos excepciones, en las cuales sus viviendas se ubican a distancias que oscilan entre 20 a 200 metros de la actividad pecuaria. El abastecimiento de agua para la vivienda y la finca se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1
Origen del agua utilizada para abastecimiento de la finca pecuaria

Origen del agua	Coronado-Moravia ⁽²⁾	Turrialba
Agua de ASADA ⁽¹⁾	2	5
Agua de naciente propia (cuerpo de agua subterráneo)	4	2
Agua de lluvias	2	0
Agua de quebrada (cuerpo de agua superficial)	1	0

Fuente: Elaboración propia.

Notas:

Se refiere a las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAS), las cuales administran los sistemas de acueducto y alcantarillado comunales, bajo un esquema de delegación de la administración, acordado con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) (Dirección de Agua [DA], 2018).

Los productores obtienen el agua de diversas fuentes, por lo que las cantidades no coinciden con el conteo total de productores entrevistados.

La proximidad de cuerpos de agua superficiales a las actividades pecuarias en las fincas estudiadas varía según la zona. En Coronado, la distancia entre las actividades pecuarias y los cuerpos de agua superficiales, es de 25 a los 100 metros. Además, se identificaron varias fuentes de agua subterráneas en forma de nacientes. En Turrialba, en cinco de las siete fincas existen cuerpos de agua a una distancia promedio de aproximadamente 550 metros del área de ordeño. Cabe resaltar que, según la legislación costarricense, las áreas que rodean nacientes permanentes, definidas en un radio de cien metros medidos de manera horizontal, deben declararse áreas de protección forestal (Asamblea Legislativa de Costa Rica, 1996).

La producción porcina implementa frecuentemente procesos para el tratamiento de desechos animales, dado que por ley “las granjas porcinas en funcionamiento deben contar con sistemas de tratamiento de desechos sólidos y aguas residuales debidamente aprobados por el Ministerio de Salud, de los cuales se generan efluentes y algunos residuos” (Poder

Ejecutivo de Costa Rica, 2020, p. 122).

En ese sentido, los productores entrevistados tienen sistemas de tratamiento como biodigestores, separadores y lagunas de tratamiento, además de la práctica del compostaje, que contribuían a reducir parcialmente el número de compuestos, la frecuencia, la concentración peligro estimado y ecotoxicidad en las aguas residuales, atenuando así el posible impacto ambiental (Ramírez-Morales et al., 2021a). En contraste con la producción de ganado vacuno, los desechos suelen ser depositados en las fincas (pastizales) sin tratamiento adicional, ya sea apiñado o esparcido por la finca como abono, lo que aumenta el riesgo de contaminación de los ecosistemas circundantes (Ramírez-Morales et al., 2024).

Todos los productores utilizan productos farmacéuticos veterinarios, a excepción de uno que emplea exclusivamente medicinas naturales. Los productos veterinarios más comúnmente utilizados por los entrevistados se indican en la Tabla 1.

Tabla 1
Productos veterinarios que utilizan los entrevistados

Producto indicado por el productor	Ingrediente activo	Tipo de medicamento ⁽¹⁾	Tipo de animales ⁽¹⁾
Emicina	Oxitetraciclina	Antibiótico de amplio espectro	Bovinos, ovinos y caprinos
Oxitocina	Oxitocina	Hormona para la estimulación de las contracciones uterinas y glándulas mamarias	Animales domésticos y de granja (cabras, vacas, ovejas, vacas)
Histaminex	Clorfeniramina maleato	Antihistamínico	Bovinos, caninos, caballos, ovinos, gatos
Dectomax	Doramectina	Antiparasitario de amplio espectro	Bovinos, ovinos y cerdos
Dexametasona	Dexametasona fosfato	Glucocorticoide sintético, antiinflamatorio, inmunosupresor, analgésico	Porcino, caballos, perros y gatos
Tilosina	Tilosina tartrato	Antibiótico macrólido	Bovinos y porcinos

Oxitetraciclina	Oxitetraciclina	Antibiótico de amplio espectro	Bovinos, equinos, porcinos, ovinos, caprinos, animales domésticos, aves
Baytril	Enrofloxacin	Antibiótico	Bovinos, caprinos, ovinos, porcinos, animales domésticos
Penicilina	Penicilina G	Antibiótico	Bovinos, caprinos, ovinos, porcinos, animales domésticos
Amoxicilina	Amoxicilina trihidrato	Antibiótico betalactámico de amplio espectro	Porcinos, aves
Ivergalen	Ivermectina	Antiparasitario	Bovinos, equinos, ovinos, porcinos
Clortetraciclina	Clortetraciclina	Antibiótico	Bovinos, porcinos, aves
Florfenicol	Florfenicol	Antibiótico de amplio espectro	Porcino, ovino y bovino
Albendazol	Albendazol	Antiparasitario	Bovino

Fuente: Elaboración propia con base en la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS), 2018.

Otros medicamentos o suplementos para el manejo de enfermedades abarcan el uso de hierro, vitaminas, calcio y sueros; así como el uso diverso de antibióticos, según las enfermedades. Dentro de los padecimientos más comúnmente tratados se encuentran: mastitis, la eclampsia o fiebre de leche (carencia de calcio), tuberculosis, brucelosis, micoplasma (respiratoria), diarreas, anaplasmosis (en vacas), coccidiosis (en cabras), circovirus (en cerdos), piroplasmosis, y ectoparásitos como las garrapatas.

2. 3. Resultados de los muestreos

Según Ramírez-Morales et al. (2021a), en las instalaciones pecuarias de Coronado y Moravia (Tabla 2) se detectaron ocho moléculas en las muestras de afluentes, siendo las más frecuentes: acetaminofén (50 %), ibuprofeno (50 %) y cafeína (38 %). También se identificaron naproxeno, ciprofloxacina, ketoprofeno, bacitracina y gemfibrozil. El

acetaminofén es uno de los analgésicos y antipiréticos más usados en el mundo debido a su disponibilidad sin receta, su alta efectividad y bajo costo, lo que hace que la formulación y la utilización de este fármaco sea muy común, tanto en la población adulta como en la pediátrica (Mancipe et al., 2010). Aunque podría emplearse en medicamentos veterinarios, actualmente no se reporta ningún fármaco con este ingrediente activo en Costa Rica según el Sistema de Medicamentos Veterinarios (SIMEV) (Servicio Nacional de Salud Animal [SENASA], 2023), por lo que probablemente su origen se debe al consumo humano. Igualmente, en el país no existen productos veterinarios con ibuprofeno como principio activo; sin embargo, este es uno de los seis medicamentos antiinflamatorios no esteroideo con mayor dosis por habitante por día en Costa Rica (Pérez-López et al., 2020). La cafeína, por su parte, se encuentra en un único medicamento veterinario aprobado (el C-M-22), destinado al tratamiento del síndrome de hipocalcemia-hipomagnesemia de vacas y ovejas (SENASA, 2023), aunque su presencia en los cuerpos de agua podría deberse a que prevalece en diversas bebidas recreativas incluyendo el café, este último de alto consumo en el país (Obando, 2018; Soto-Sibaja, 2023). Por tanto, el agua que ingresa a las instalaciones contiene, mayormente, compuestos de uso humano, cuando se refiere a estas tres moléculas.

En cuanto a otras moléculas identificadas en los afluentes, el naproxeno no se emplea en medicamentos veterinarios, mientras que la ciprofloxacina se usa como antibiótico para perros y gatos, y el ketoprofeno se encuentra presente en 17 medicamentos tanto para animales domésticos y de granja como para consumo humano. La bacitracina se emplea como antibiótico en cerdos, bovinos y perros, y el gemfibrozil es un regulador lípido que no se utiliza en medicamentos veterinarios en Costa Rica (SENASA, 2023; Ramírez-Morales et al., 2021a).

En efluentes se identificaron seis moléculas diferentes, siendo las más frecuentes el acetaminofén (43 %), ketoprofeno (29 %) y naproxeno (25 %). En menor proporción, se detectaron ibuprofeno, 1,7-dimetilxantina (metabolito de la cafeína), y risperidona (Ramírez-Morales et al., 2021a). El naproxeno no se registra en medicamentos veterinarios, según el SIMEV. Sin embargo, es utilizado en humanos comúnmente como antiinflamatorio no esteroideo (Hall-Ramírez et al., 2001) de venta libre en el país. En general, las aguas residuales de las granjas porcinas presentan una alta presencia de moléculas de analgésicos

y antiinflamatorios (Ramírez-Morales et al., 2021a).

En las instalaciones pecuarias de Turrialba (Tabla 2), los compuestos más frecuentemente identificados fueron el naproxeno y el acetaminofén, ambos analgésicos-antiinflamatorios no esteroideos (AINEs). El naproxeno presentó una alta frecuencia de detección, alcanzando hasta un 80 %, observado también en la zona de Coronado y Moravia. Le siguen el acetaminofén y el antibiótico ciprofloxacina (Ramírez-Morales et al., 2024).

De los 69 productos farmacéuticos muestreados, se detectó un total de ocho compuestos en las muestras de aguas residuales de siete instalaciones lecheras, obtenidas durante las tres campañas de muestreo. De esos compuestos, cinco son de uso mixto veterinario y humano (acetaminofén, albendazol, ciprofloxacina, clindamicina y ketoprofeno), mientras que los tres restantes corresponden a fármacos de uso humano (cafeína, naproxeno y lovastatina) (Ramírez-Morales et al., 2024).

En el caso de Turrialba, solo se tomaron muestras de agua residual durante el lavado del estiércol durante el ordeño, debido a la falta de métodos de tratamientos de las aguas en las instalaciones pecuarias.

Tabla 2
Compuestos detectados en instalaciones pecuarias de Vásquez de Coronado, Moravia y Turrialba, y su clasificación de riesgo ambiental según el Hazard Quotient (HQ)

Compuesto detectado	Cantón			Uso del compuesto
	Coronado - Moravia		Turrialba	
	Afluyente	Efluyente	Efluyente	
1,7-dimetilxantina			ND	Humano
Acetaminofén				Mixto
Albendazol	ND	ND		Mixto
Bacitracina			ND	Veterinario
Cafeína				Humano
Ciprofloxacina				Mixto
Clindamicina	ND	ND		Mixto
Gemfibrozil			ND	Humano
Ibuprofeno			ND	Humano
Ketoprofeno				Mixto
Lovastatina	ND	ND		Humano
Naproxeno				Humano
Risperidona			ND	Humano

Fuente: Elaboración propia con base en Ramírez-Morales et al. (2021a) y Ramírez-Morales et al. (2024).

ND: No detectado

Nota: Clasificación del riesgo ambiental con base en los valores de HQ: riesgo alto en rojo ($HQ > 1$); riesgo medio en naranja ($0,1 \leq HQ \leq 1$); riesgo bajo en verde ($HQ < 0,1$), de acuerdo con Ramírez-Morales et al., 2021a y Ramírez-Morales et al., 2024.

Al no contar con legislación, la determinación del riesgo ambiental (Tabla 2) es una herramienta útil para establecer una priorización de los productos farmacéuticos que son motivo de preocupación. En Coronado-Moravia se destacan la risperidona, ciprofloxacina, cafeína, ketoprofeno e ibuprofeno – en afluentes- que se clasifican de alto riesgo, siendo la risperidona la que mostró el mayor peligro potencial tanto antes como después del tratamiento de aguas residuales (Ramírez-Morales et al., 2021a). Por su parte, los tres compuestos de mayor riesgo ambiental en Turrialba fueron albendazol, lovastatina y cafeína, aunque todos ellos con una baja frecuencia de detección (Ramírez-Morales et al., 2024). Esto sugiere, principalmente, que existe una mayor contribución de compuestos de uso humano en las aguas residuales de ambos lugares.

2. 4. Resultados del ciclo de charlas

En septiembre y octubre de 2019, se llevó a cabo un ciclo de charlas dirigidas a productores pecuarios de Santa Cruz de Turrialba, así como de Coronado y Moravia, bajo el título “Buenas prácticas pecuarias para disminuir el impacto ambiental por contaminantes emergentes”. En cada localidad se realizaron tres charlas, con el objetivo de sensibilizar a las personas participantes sobre los CE y promover las BPP, con un énfasis particular en el uso adecuado y responsable de fármacos veterinarios. Las charlas contaron con la asistencia de 25 personas en Turrialba y 45 en Coronado y Moravia. La participación es considerada alta en Coronado y Moravia, mientras que, a pesar de contar con apoyo organizacional, la participación fue menor en Turrialba en relación con el total de la población asociada de ASOPROA, la cual es de 124 productores.

Además, se elaboraron infografías dirigidas a productores y comunidades, que describen el flujo de los CE desde su origen hasta el destino y el potencial impacto en la contaminación de las aguas. Estas infografías fueron utilizadas tanto en el ciclo de charlas de los productores como en redes sociales, mostrando visualmente las principales fuentes de estos contaminantes (industria, viviendas y actividades ganaderas), y los mecanismos mediante los cuales pueden alcanzar los cuerpos de agua (Figura 2).

Figura 2
Infografía elaborada para el ciclo de charlas



Fuente: Elaboración propia.

Durante el ciclo de charlas se abordó el tema de los CE, específicamente en medicamentos veterinarios y humanos, y se presentaron resultados preliminares de los muestreos realizados en las zonas correspondientes. También, se divulgaron los estudios de degradación de estos contaminantes, desarrolladas dentro del marco del proyecto, como herramientas potenciales para el manejo de aguas residuales. Los resultados de los monitoreos de instalaciones pecuarias y aguas superficiales se compartieron a los productores, de manera anónima.

Las valoraciones de las charlas reflejan alta satisfacción de los participantes con respecto a los temas abordados. Los asistentes manifestaron preferencia por temas como el manejo de enfermedades porcinas y bovinas, la administración de fincas para reducir costos y aumentar la producción, y mostraron interés en aspectos de la producción orgánica. Asimismo, lograron identificar algunos contaminantes emergentes vinculados con su actividad pecuaria.

3. DISCUSIÓN

El perfil de la población considerada para este estudio es congruente con el contexto nacional, en el cual los hombres dedicados principalmente a la actividad agropecuaria predominan por sobre las mujeres, y poseen un nivel educativo de primaria.

Los CE detectados muestran mayor correspondencia con el uso humano que con el veterinario, lo cual no sorprende porque puede producirse contaminación cruzada con residuos domésticos; aunque hay moléculas que también están presentes en algunos productos farmacológicos veterinarios. Se identifica que hay una escasa correspondencia entre los compuestos que mencionan usar, según las entrevistas, con los compuestos encontrados en los afluentes y efluentes de las instalaciones pecuarias, aunque esto también se explica en parte por el alcance de la metodología analítica empleada en su cuantificación. Esto confirma el uso frecuente de medicamentos como acetaminofén, ibuprofeno y naproxeno en la población humana, así como la alta ingesta de cafeína.

Aunque el impacto de los medicamentos de uso veterinario parece menos significativo que el de consumo humano, es importante resaltar la ausencia de sistemas de tratamiento de las aguas residuales de las instalaciones pecuarias, particularmente, en el manejo de ganado vacuno en el caso de las fincas en estudio. Esta falta de tratamiento genera afectaciones de las comunidades sensibles en los ecosistemas de las aguas subterráneas y superficiales. De igual manera, es preocupante la ausencia de opciones para el desecho adecuado de medicamentos vencidos o no utilizados, tanto en humanos como de uso veterinario; los participantes en las charlas informativas indicaron no conocer prácticas correctas para la disposición de esos residuos y expresaron la necesidad de contar con mayor orientación para un manejo seguro de los desechos. Como tal, no conocían el concepto de CE ni el papel de los fármacos como contaminantes ambientales. Este estudio fue una oportunidad para explorar la viabilidad de instalar centros de acopio de medicamentos en las zonas, para su adecuado descarte o su traslado a sitios de recolección especializados. Por ejemplo, la Facultad de Farmacia de la Universidad de Costa Rica, organiza campañas para recolectar medicamentos vencidos y mediante contenedores en el campus para este propósito (Jiménez Córdoba, 2022).

Las entrevistas revelaron proximidad de las actividades pecuarias con cuerpos de agua superficiales, así como el uso de aguas subterráneas naturales (nacientes) y agua potable de ASADAS en las instalaciones. En Turrialba, los desechos se liberan al ambiente en pastizales de manera no controlada, lo cual expone a los cuerpos de agua a posibles contaminaciones, no solo por CE sino también por potenciales patógenos microbianos. A pesar de la existencia

de diferentes sistemas de tratamiento, en Coronado y Moravia no se evidencia la eliminación significativa de los CE, por lo que su liberación al ambiente es alta. Estos sistemas no contemplan procesos específicos para la degradación de los CE, sino que tiene como objetivo eliminar el contenido de materia orgánica proveniente de los desechos fecales animales, en gran parte porque la legislación vigente solo considera este tipo de parámetros fisicoquímicos generales sin tener en cuenta a los microcontaminantes.

Cabe señalar que en la actualidad no existen normativas para la mayoría de los residuos farmacéuticos presentes en el ambiente. La presencia de fármacos en el agua representa uno de los retos más complejos y urgentes para la seguridad del agua, la sostenibilidad ambiental y la salud pública en el siglo XXI (Arumugam et al., 2026). La ocurrencia de estos es motivo de preocupación ambiental ya que pueden afectar el sistema nervioso de especies acuáticas, provocar cambios en su comportamiento, alterar las tasas de reproducción y causar alteraciones fisiológicas incluso en concentraciones mínimas. Otros efectos incluyen letalidad, inducción de estrés oxidativo y afectación en los niveles de energía y las actividades metabólicas (Ramírez-Morales et al., 2021a).

De igual manera, la presencia de CE preocupa por la posible aparición de bacterias multirresistentes a los antibióticos y de genes de resistencia a los antibióticos (Ramírez-Morales et al., 2021a; Checa-Artos et al., 2021; Mora-Gamboa et al., 2022). De acuerdo con Zanni et al. (2025), no se dispone de estudios de toxicidad a largo plazo en seres humanos relacionados con el consumo de agua con dosis muy inferiores a las terapéuticas; sin embargo, las alteraciones observadas en la fauna silvestre sugieren posibles efectos sobre la salud humana, entre las que se encuentran la disrupción endocrina, las alteraciones respiratorias, problemas reproductivos, depresión crónica, diversos tipos de cáncer y consecuencias congénitas negativas, como el retraso mental y las anomalías físicas.

La persistencia y la dispersión de los CE ponen en relieve la necesidad de contar con técnicas de detección sofisticadas, marcos legales y mejora en los sistemas de remoción y de tratamiento de aguas (Kaushik et al., 2026). La ausencia de legislación en torno a los CE es parte de su definición misma, ya que el reconocimiento del potencial efecto adverso de estos compuestos es reciente y los estudios necesarios para regularlos se encuentran en marcha, pero presentan ya una preocupación ambiental crítica e impactos sociales y en la salud

pública asociados a la resistencia antimicrobiana que dificultaría el tratamiento de las infecciones (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022). De acuerdo con World Bank (2017), ante ese panorama, los países de bajos ingresos sufrirían caídas más pronunciadas en su crecimiento económico, por lo que aumentaría la desigualdad económica entre países, ya que las diferencias en el impacto sobre el PIB se deben a una mayor prevalencia de enfermedades infecciosas y a una mayor dependencia de los ingresos laborales en los países con ingresos per cápita más bajos.

En Costa Rica no se consideran los CE en la gestión de los residuos y existen pocas investigaciones e iniciativas en torno a esta problemática. Los resultados de este estudio sugieren que la influencia urbana es predominante, no obstante, resultó importante y necesario este primer acercamiento y sensibilización de los productores pecuarios en cuanto a los fármacos de uso veterinario, también presentes en el entorno.

PROSPECTIVA

Los hallazgos de esta investigación resultan fundamentales debido a los pocos estudios realizados en Costa Rica sobre contaminantes emergentes, en especial, sobre los medicamentos de uso veterinario, por lo que no se cuenta con una legislación en el tema. Estos resultados permiten trazar líneas de trabajo, investigación y análisis que conduzcan a la definición de reglamentos o decretos que fiscalicen el desecho y gestión de fármacos.

Los hallazgos y la continuación de investigaciones de este tipo permiten generar una lista de contaminantes descubiertos y considerados prioritarios según el nivel de peligrosidad ambiental, dado que su permanencia en los cuerpos de agua provoca posibles alteraciones de ecosistemas, que pueden convertirse en afectaciones en la salud humana a través del agua y los alimentos que se consumen.

Los hallazgos permiten generar una lista crítica de contaminantes prioritarios en término de su nivel de peligrosidad ambiental, con una posible alteración de ecosistemas, que puede traducirse en afectaciones en la salud humana a través del agua y los alimentos que se consumen.

De igual manera, se brinda un panorama general acerca del alcance del sistema de tratamiento de aguas residuales de instalaciones pecuarias, y da cuenta de la práctica de descarga de aguas

residuales en pastos, el cual genera procesos de contaminación difusa (Vásquez-Alvarado, 2023). La identificación de estas condiciones implica la búsqueda de estrategias para una mejor gestión de las aguas residuales, así como un rediseño de los sistemas existentes para que tengan el potencial de degradar esos compuestos. En ese sentido, fomentar las buenas prácticas en las fincas lecheras y porcinas impulsan una transformación y la mitigación de los residuos para mejorar sus procesos de manejo y disposición final, lo que contribuirá a mejorar las condiciones ambientales en las fincas, los suelos, los cuerpos de agua cercanos y el bienestar de las personas.

CONCLUSIONES

La falta de información y desconocimiento en los productores pecuarios evidencian la importancia de continuar investigando y desarrollando iniciativas de trabajo colaborativo con las comunidades, tanto rurales como urbanas. Para lograr esto, es fundamental implementar estrategias inter y multidisciplinarias en todas las etapas de los procesos de investigación y de educación incluyendo giras de campo, monitoreo ambiental y actividades de capacitación. Estos espacios facilitan el intercambio de experiencias entre productores, profesionales e investigadores que permitan promover e implementar el uso de mejores prácticas en beneficio del ambiente.

La presencia de fármacos plantea un riesgo para la salud ambiental y, potencialmente, para la salud humana (Wilkinson et al., 2022). En Costa Rica, es urgente abordar este tema mediante la creación de políticas y normativas que permitan el monitoreo, seguimiento y regulación efectivos, así como impulsar la divulgación de la problemática en el ámbito social y político. Asimismo, resulta importante desarrollar campañas de sensibilización que involucren a los diversos grupos comunitarios y fomenten una mayor conciencia sobre la contaminación por CE.

AGRADECIMIENTOS

Los resultados de este artículo son parte del proyecto 802-B7-A09 “CEmerge - Contaminantes emergentes: Monitoreo y diseño de estrategias para la mitigación de su impacto ambiental”, financiado por el Espacio Universitario de Estudios Avanzados (UCREA) y la Vicerrectoría de Investigación, ambos de la Universidad de Costa Rica; y el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones de Costa Rica (MICITT) (proyecto

FI-197B-17).

Los autores agradecen a la Agencia de Extensión Agropecuaria de Coronado del MAG; y a ASOPROA, por su colaboración con la identificación, contacto y convocatoria de los productores que participaron en este estudio.

Los autores agradecen a Amery Richards Molina por la elaboración del mapa, y a los árbitros que aportaron una mejora a la estructura del artículo.

REFERENCIAS

Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS). (2018). *CIMAvet - Medicamentos veterinarios*. Recuperado el 21 de abril de 2023 de <https://cimavet.aemps.es/cimavet/publico/home.html>

Arumugam, A., Lee, K.E., Ng, P.Y., Shamsuddin, A.S., Zulkifli, A. y Goh, T.L. (2026). Pharmaceuticals in Water: Fate, Health Risks, Treatment and Governance for Sustainable Management. *Water Air Soil Pollut* 237, 828. <https://doi.org/10.1007/s11270-026-09479-0>

Asamblea Legislativa de Costa Rica. (1996). Ley Forestal N° 7575. *Diario Oficial La Gaceta*, 16 de abril de 1996, n.º 72. <https://acortar.link/UpuOUP>

Banco Central de Costa Rica (BCCR). (2020). *Estimación del valor bruto de la producción para ganado bovino. Detalle metodológico*. Proyecto Fortalecimiento de las Estadísticas Macroeconómicas. <https://acortar.link/CS5kV4>

Banco Central de Costa Rica (BCCR). (2023). *Indicadores económicos: PIB cantonal para Costa Rica*. Recuperado el 24 de marzo de 2025 de <https://sdd.bccr.fi.cr/es/IndicadoresEconomicos/Inicio/Reporte/1193>

Barceló, D. (2003). Emerging pollutants in water analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 22(10), xiv-xvi. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01106-3](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01106-3)

Castellanos, E. (20 de febrero de 2025). Importancia de la Producción de Carne de Cerdos y su Impacto en la Economía de la Región Centroamericana. *MásPorcicultura*. <https://masporcicultura.com/importancia-de-la-produccion-de-carne-de-cerdos-y-su-impacto-en-la-economia-de-la-region-centroamericana/>

Checa-Artos, M., Sosa-del-Castillo, D., Ruiz-Barzola, O. y Barcos-Arias, M. (2021). Presencia de productos farmacéuticos en el agua y su impacto en el ambiente. *Revista Bionatura*, 6(1). DOI. 10.21931/RB/2021.06.01.27

Consejo de Salud Ocupacional (CSO). (2014). *Manual de prevención de riesgos en la actividad pecuaria: Condiciones de seguridad en el manejo productivo de los animales*. MTSS. <https://acortar.link/mGPR3S>

Daughton, C. G. (2004). Non-regulated water contaminants: emerging research. *Environmental Impact Assessment Review*, 24(7), 711-732. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.003>

Daughton, C. G. y Ternes, T. A. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environmental health perspectives*, 107(Suppl 6), 907-38. [10.1289/ehp.99107s6907](https://doi.org/10.1289/ehp.99107s6907)

de la Cruz, E., Fournier, M. L., García, F., Molina, A., Chavarría, G., Alfaro, M. y Rodríguez, C. (2014). Hazard prioritization and risk characterization of antibiotics in an irrigated Costa Rican region used for intensive crop, livestock, and aquaculture farming. *Journal of Environmental Biology*, 35(1), 85-98. <https://acortar.link/6XT9De>

Dirección de Agua (DA). (2018). *ASADAS*. Dirección de Agua, Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE). Recuperado el 21 de abril de 2023 de <https://da.go.cr/asadas/>

Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., Nadal, M., van der Ploeg, M., van de Zee, S.E.A.T.M. y Ritsema, C. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>

Granados, L. y Álvarez C. (2007). *Estudio técnico de la denominación de origen del queso Turrialba. Para su inscripción en el registro de la propiedad industrial costarricense*. FAO. <https://acortar.link/zPjn8K>

Hall-Ramírez, V., Murillo-Porras, N., Rocha-Palma, M. y Rodríguez-Vega, E. (2001). *Antiinflamatorios no esteroideos (AINEs)*. Centro Nacional de Información de

Medicamentos (CIMED), Universidad de Costa Rica. <https://acortar.link/9300c6>

Heberer, T. (2002). Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicology letters*, 131(1), 5-17.
[https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(02\)00041-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(02)00041-3)

Hernández-Valverde, M. (2018). *Guía para la Gestión Integral de Residuos en las instituciones del Sector Público de Costa Rica*. UNED, Dirección de Extensión Universitaria.
http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/documentos/manual_de_desechos_solidos_pdf_3.pdf

Herrera-Murillo, J., Anchía-Leitón, D., Rojas-Marín, J., Mora-Campos, D., Gamboa-Jiménez, A. y Chaves-Villalobos, M. (2019). Influencia de los patrones de uso de la tierra en la calidad de las aguas superficiales de la subcuenca del río Virilla, Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 4(61E), 11-35. <https://doi.org/10.15359/rgac.61-4.1>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2018). *Guía de uso responsable de medicamentos veterinarios en bovinos*. MAG-SENASA – IICA.
<https://ns1.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L70-7075.pdf>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2015a). *VI Censo Nacional Agropecuario: resultados generales*. INEC. <https://acortar.link/EMdusM>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2015b). *VI Censo Nacional Agropecuario: Atlas Estadístico Agropecuario*. INEC. <https://acortar.link/VSLnKM>

Jiménez-Córdoba, J. (6 de mayo de 2022). *La UCR posee los primeros dos Puntos Seguros para recolectar medicamentos no utilizables* [noticia en página web]. Universidad de Costa Rica. <https://acortar.link/v2QDkH>

Kaushik, D.M., Rashmitha, K., Joshika, R., Gayathri, B.R., y Musini, A. (2026). Impact of Emerging Contaminants to the Environment and Human Health. En: Reddy, K.V., Maddela, N.R., Reddy, A.V.K. (eds) *Emerging Contaminants in the Environment. Emerging Contaminants and Associated Treatment Technologies*. Springer, Cham.

https://doi.org/10.1007/978-3-032-10432-8_7

Mancipe, L., Fernández, D. y Fernández, D. (2010). Intoxicación por acetaminofén. *Revista Med*, 18(2), 221-227. <https://doi.org/10.18359/rmed.1314>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2005). *Manual de Buenas Prácticas en la Producción Primaria de Cerdos*. MAG - UCR - Cámara Costarricense de Porcicultores. <https://acortar.link/611Kba>

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2008). *Buenas prácticas agropecuarias*. MAG. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/p01-4955.pdf>

Ministerio de Salud. (2005). *Decreto N° 32312-S: Reglamento de granjas porcinas*. Ministerio de Salud. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/cos78220.pdf>

Mora-Gamboa, M.P.C., Rincón-Gamboa, S.M., Ardila-Leal, L.D., Poutou-Piñales, R.A., Pedroza-Rodríguez, A.M. y Quevedo-Hidalgo, B.E. (2022). Impact of Antibiotics as Waste, Physical, Chemical, and Enzymatical Degradation: Use of Laccases. *Molecules* 27(14), 4436. [doi: 10.3390/molecules27144436](https://doi.org/10.3390/molecules27144436) Municipalidad de Turrialba. (2015). *Perfil cantonal: plan cantonal de desarrollo humano local (PCDHL) y plan estratégico municipal (PEM) del cantón de Turrialba*. Ecoplan y DEPPAT. <https://acortar.link/TIHbhO>

Municipalidad de Vázquez de Coronado. (1998). *Plan Regulador de Vázquez de Coronado*. <https://coromuni.go.cr/plan-regulador>

Obando, M. (14 de junio de 2018). Estudio revela que 8,4 de cada 10 costarricenses toma café. *La República*. <https://acortar.link/26ViKV>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2 de marzo de 2022). *Dirigentes y expertos mundiales piden que se actúe para proteger el medio ambiente de la contaminación por antimicrobianos*. <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-world-leaders-and-experts-call-for-action-to-protect-the-environment-from-antimicrobial-pollution>

Pérez-López, E., Cordero Guerrero, J. y Bastos Zamora, H. (2020). Evaluación de parámetros de calidad en tabletas de ibuprofeno que se consumen en Costa Rica. *Pensamiento Actual*, 20(34). 99-114. <https://doi.org/10.15517/pa.v20i34.41787>

Petrović, M., Hernando, M. D., Díaz-Cruz, M. S. y Barceló, D. (2005). Liquid chromatography–tandem mass spectrometry for the analysis of pharmaceutical residues in environmental samples: a review. *Journal of Chromatography A*, 1067(1), 1-14.

<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.10.110>

Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2007). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales N° 33601. *Diario Oficial La Gaceta*, 19 de marzo de 2007, Alcance n.º 8 a La Gaceta n.º 55. <https://acortar.link/jKKqpl>

Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2010). Reglamento para la disposición final de medicamentos, materias primas, y sus residuos N° 36039-S. *Diario Oficial La Gaceta*, 24 de junio de 2010, N° 122. <https://acortar.link/RMK4RT>

Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2012). Reglamento sobre granjas porcinas N° 37155-MAG. *Diario Oficial La Gaceta*, 3 de julio de 2012, Alcance Digital n.º 86 a La Gaceta n.º 128. <https://acortar.link/UaEsUz>

Poder Ejecutivo de Costa Rica. (2020). Reglamento para la Aplicación y uso de Efluentes provenientes de Granjas Porcinas N° 42367-MAG. *Diario Oficial La Gaceta*, 31 de julio de 2020, n.º 188 (alcance n.º 200), 121-132. <https://acortar.link/Xe2Tnr>

Proyecto de Planificación Regional y Urbana de la Gran Área Metropolitana (PRUGAM). (2008). *Plan Regional Urbano de la Gran Área Metropolitana de Costa Rica. Tomo I: Diagnóstico Plan PRUGRAM (2008-2030)*. MIVAH, MOPT, MINAET, MIDEPLAN, MINSALUD, INVU, IFAM, CNFL, AyA.

Ramakrishnan, A., Blaney, L., Kao, J., Tyagi, R. y Surampalli, R. (2015). Emerging contaminants in landfill leachate and their sustainable management. *Environmental Earth Sciences*, 73, 1357–1368. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3489-x>

Ramírez-Morales, D., Masís-Mora, M., Beita-Sandí W., Montiel-Mora, J.R., Fernández-Fernández, E., Méndez-Rivera, M., Arias-Mora, V., Leiva-Salas, A., Brenes-Alfaro, L. y Rodríguez-Rodríguez, C.E. (2021a). Pharmaceuticals in farms and surrounding surface water bodies: hazard and ecotoxicity in a swine production area in Costa Rica. *Chemosphere* 272, 129574. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129574>

Ramírez-Morales, D., Masís-Mora, M., Montiel-Mora, J.R., Cambronero-Heinrichs, J.C., Pérez-Rojas, G., Tormo-Budowski, R., Méndez-Rivera, M., Briceño-Guevara, S., Gutiérrez-Quirós, J.A., Arias-Mora, V., Brenes-Alfaro, L., Beita-Sandí, W., Rodríguez-Rodríguez, C.E. (2021b). Multi-residue analysis of pharmaceuticals in water samples by liquid chromatography-mass spectrometry: quality assessment and application to the risk assessment of urban-influenced surface waters in a metropolitan area of Central America. *Process Saf. Environ. Protect.* 153, 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.07.025>

Ramírez-Morales, D., Masís-Mora, M., Montiel-Mora, J. R., Méndez-Rivera, M., Gutiérrez-Quirós, J. A., Brenes-Alfaro, L., y Rodríguez-Rodríguez, C. E. (2024). Pharmaceuticals, hazard and ecotoxicity in surface and wastewater in a tropical dairy production area in Latin America. *Chemosphere*, 346, 140443. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140443>

Sáenz-Roblero, B., Durán, J. E., Masís-Mora, M., Ramírez-Morales, D. y Rodríguez-Rodríguez, C. E. (2020). Removal of cimetidine, ketoprofen and naproxen by heterogeneous catalytic ozonation over volcanic sand at low pH. *Journal of Water Process Engineering*, 37, 101461. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101461>

Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (2014). *Políticas para el sector agropecuario y el desarrollo de los territorios rurales 2015-2018*. SEPSA-MAG.

Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (2018). *Informe de gestión del sector agropecuario y rural (mayo 2014 – abril 2018)*. SEPSA-MAG.

Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA). (2022). Boletín Estadístico Agropecuario N° 32. *INFOAGRO*, Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://www.infoagro.go.cr/BEA/BEA32.pdf>

Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA). (2023). *Sistema de Medicamentos Veterinarios (SIMEV)*. Recuperado el 30 de junio de 2023, de <https://sistemas.senasa.go.cr/hapi/Principal/Externo>

Soto-Sibaja, J.E. (20 de febrero de 2023). ¿Cuánto café toma usted? Consumo promedio

por persona en Costa Rica es de más de 4 kilos al año. *Monumental*.

<https://acortar.link/6KB2At>

Spongberg, A. L., Witter, J. D., Acuña, J., Vargas, J., Murillo, M., Umaña, G. y Pérez, G. (2011). Reconnaissance of selected PPCP compounds in Costa Rican surface waters. *Water research*, 45(20), 6709-6717. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.10.004>

Vargas, M. (30 de noviembre de 2015). Celular es fiel compañero de ticos de entre 50 y 80 años. *La Nación*. <https://acortar.link/XgSVYf>

Vargas-Céspedes, A., Morales, M., Watler, W. y Vignola, R. (2018). *Ficha técnica: sector productivo porcino en Costa Rica*. <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/L01-8235.pdf>

Vásquez-Alvarado, T. (2023). *Diseño de un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales porcinas en la finca Linda Vista en Santa Cruz de Turrialba* [Tesis de Licenciatura en Ingeniería de Biosistemas, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Institucional – Universidad de Costa Rica. <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/TFG-TatianaVasquezAlvarado.pdf>

Wilkinson, J. L., Boxall, A.B.A., Kolpin, D. W., Leunge, K.M.Y., Lai, R.W.S., Galbán-Malagón, C., Adell, A.D., Mondon, J., Metian, M., Marchant, R.A., Bouzas-Monroy, A., Cuni-Sánchez, A., Coors, A., Carriquiriborde, P., Rojo, M., Gordon, C., Cara, M., Moermond, M., Duarte, T., ... y Teta, C. (2022). Pharmaceutical pollution of the world's rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(8), e2113947119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2113947119>

Williams, G.W. y Anderson, D.P. (2019). The Latin American Livestock Industry: Growth and Challenges. *Choices*, 34, Quarter 4. <https://acortar.link/QPst63>

World Bank. (2017). *Drug-Resistant Infections: A Threat to Our Economic Future*. World Bank. <https://documentos.bancomundial.org/es/publication/documents-reports/documentdetail/323311493396993758>

Zanni, S., Cammalleri, V., D'Agostino, L., Protano, C. y Vitali, M. (2025). Occurrence of

pharmaceutical residues in drinking water: a systematic review. *Environ Sci Pollut Res* 32, 10436–10463. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34544-8>

CC BY-NC-ND

Postprint