

Escherichia coli multirresistente en un paciente canino con infección del tracto urinario

Multidrug-resistant Escherichia coli in a canine patient with urinary tract infection

Castro-Meléndez, A.¹; Cárdenas, M.¹; Salvatierra, G.^{2*}

¹Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela de Medicina Veterinaria, Perú.

²Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Privada del Norte, Perú.

* Correspondencia: Guillermo Salvatierra Rodriguez, Lima, Perú | email: guillermo.salvatierra@upn.edu.pe

Recibido 16/02/2025 – Aceptado 24/10/2025

Resumen: Las infecciones del tracto urinario en caninos son comúnmente causadas por la colonización bacteriana, especialmente por *Escherichia coli*. En los últimos años, ha aumentado la prevalencia de aislados multidrogoresistentes, lo que representa un desafío tanto para la salud del paciente como para la salud pública. En este reporte, se presenta el caso de un perro macho diagnosticado con una infección del tracto urinario (ITU), que se presentó con hematuria, polaquiuria y alteraciones hematológicas consistentes en leucocitosis y neutrofilia. El urocultivo confirmó la presencia de *E. coli*, y las pruebas de susceptibilidad revelaron resistencia a múltiples antibióticos, incluyendo Ceftriaxona, Cefazolina, Cefaclor, Cefalexina, Cefuroxima, Amoxicilina con Ácido Clavulánico, Ciprofloxacina e Imipenem, siendo este último un antibiótico de último recurso en medicina humana. Este hallazgo subraya la creciente preocupación por la resistencia antimicrobiana en animales de compañía, ya que limita las opciones terapéuticas disponibles y presenta un potencial riesgo zoonótico. La detección de este estudio es especialmente relevante, considerando el rol de los perros como reservorios de bacterias resistentes que pueden transmitirse a las personas. Resaltando la necesidad de vigilancia para proteger la salud animal y pública.

Palabras clave: *Escherichia coli*, infecciones del tracto urinario, resistencia antibiótica, imipenem, salud pública.

Summary: Urinary tract infections in dogs are commonly caused by bacterial colonization, particularly *Escherichia coli*. In recent years, the prevalence of multidrug-resistant strains has increased, posing a significant challenge to both patient and public health. This report presents the case of a male dog diagnosed with a urinary tract infection (UTI) exhibiting hematuria, polakiuria, and hematological alterations, including leukocytosis and neutrophilia. Urine culture confirmed the presence of *E. coli*, and susceptibility testing revealed resistance to multiple antibiotics, including ceftriaxone, cefazolin, cefaclor, cefalexin, cefuroxime, amoxicillin with clavulanic acid, ciprofloxacin, and imipenem, the latter being a last-resort antibiotic in human medicine. This finding underscores the growing concern antimicrobial resistance in companion animals, as it limits therapeutic options and represents a potential zoonotic risk. The detection of such resistance is particularly relevant given the role of dogs as reservoirs of resistant bacteria that can be transmitted to humans. This highlights the need for ongoing surveillance to safeguard both animal and public health.

Keywords: *Escherichia coli*, urinary tract infections, antibiotic resistance, imipenem, public health.

Introducción

Las infecciones del tracto urinario se producen cuando agentes infecciosos colonizan el tejido urinario. Son clasificadas como superiores (riñones y uréteres) e inferiores (vejiga, uretra y vagina), según la zona

anatómica afectada (Olin y Bartges, 2015). Dependiendo de su localización, si no se diagnostican y tratan a tiempo, pueden desencadenar complicaciones como cistitis, uretritis y pielonefritis (Weese *et al.*, 2019). Se estima que entre el 10 al 14% de los perros han sufrido una infección del tracto urinario al menos una vez a lo largo de su vida (Byron, 2019) siendo las hembras (52.8%) y los gerontes (57.7%) los grupos más afectados (López-Córdova *et al.*, 2024).

Debido a la frecuencia de atención de infecciones del tracto urinario en la clínica diaria, es considerada la segunda condición de salud más frecuente de uso de antibióticos (Olin y Bartges, 2015). Actualmente, la Sociedad Internacional de Enfermedades Infecciosas de los Animales de Compañía (ISCAID) recomienda amoxicilina y sulfatrimetoprim como tratamiento de primera línea (Weese *et al.*, 2019). Antibióticos como ciprofloxacina, cloranfenicol, doxiciclina, fosfomicina y nitrofurantoína son frecuentemente reservados cuando los resultados de laboratorio evidencian fenotipos resistentes (Courtice *et al.*, 2021). El uso de carbapenémicos, considerados drogas de último recurso, ha sido documentado como alternativa en casos en los que no responden a otras opciones terapéuticas, y a menudo sin pruebas de susceptibilidad previas (Smith *et al.*, 2019).

Escherichia coli es la causa más frecuente de infecciones del tracto urinario, con prevalencias superiores al 40% (Smee *et al.*, 2013). El cultivo microbiano combinado con las pruebas de susceptibilidad son una pieza clave en el diagnóstico y son consideradas el mejor instrumento de guía para la toma de decisiones en la selección del esquema terapéutico más adecuado (Weese *et al.*, 2019). La prescripción empírica, además de la escasa utilización de pruebas de susceptibilidad y las limitadas regulaciones sobre el uso de antibióticos en medicina veterinaria en el Perú, ha contribuido al aumento de bacterias multidrogoresistentes (Castillo *et al.*, 2022). El incremento de bacterias resistentes en perros es un problema, conllevando a mayores costos en tratamientos, fracasos terapéuticos, así como incrementos de morbilidad y mortalidad (European Commission, 2023). Además, representa un problema de salud pública debido al potencial zoonótico de algunas bacterias resistentes, que pueden transmitirse de los animales a los humanos (Moon *et al.*, 2024). Por ello, un diagnóstico definitivo del agente etiológico, junto con la prueba de susceptibilidad antes del tratamiento, ayudarían a seleccionar de manera más eficiente y costo-efectiva el antibiótico adecuado (Weese *et al.*, 2019). En este reporte, tuvimos como objetivo presentar el caso clínico de un paciente canino macho con diagnóstico compatible de infecciones del tracto urinario, en el que se aisló una *E. coli* multidrogoresistente resistente a Imipenem. Se obtuvo el consentimiento informado escrito de la propietaria, para la inclusión de los datos del paciente en el estudio.

Caso clínico

Paciente canino dálmata macho castrado, de siete años y 26 kg de peso, ingresó a consulta por hematuria y lamido excesivo de los genitales. En la anamnesis, la propietaria mencionó que, durante los paseos, el perro orinaba con frecuencia, pero en pequeñas cantidades. Además, observó que se encontraba letárgico y con una disminución en la ingesta de líquidos. Reportó también un antecedente de anaplasmosis junto con problema hepático previamente resuelto, por lo que el perro recibía alimentación medicada. El paciente se encontraba al día con las vacunaciones y desparasitaciones. Ante los síntomas descritos, se sospechó de una infección del tracto urinario. Para confirmar el diagnóstico, se solicitó un uroanálisis, cultivo bacteriano, antibiograma, así como una ecografía abdominal y hemograma completo.

Resultados

Hemograma y frotis sanguíneo

Se observó un aumento en la hemoglobina corpuscular media (HCM), con un valor de 24.18 pg. Además, se evidenció un incremento en los valores de neutrófilos segmentados ($15.75 \times 10^3/\mu\text{L}$) y monocitos ($5 \times 10^3/\mu\text{L}$), mientras que los niveles de linfocitos ($0.34 \times 10^3/\mu\text{L}$) y eosinófilos ($0 \times 10^3/\mu\text{L}$) se encontraban disminuidos. Se reportó un aumento en las proteínas plasmáticas (89 g/L), con una apariencia lipémica y signos de hemólisis (Tabla 1). Además, se visualizaron corpúsculos de inclusión intracitoplasmáticos basofílicos de $0.5 \mu\text{m}$ a $1 \mu\text{m}$ de forma redondeada, compatibles con mórulas de *Anaplasma platys* como evidencia de la persistencia de este microorganismo debido a la infección pasada.

Tabla 1. Hemograma completo y valores hematológicos en el paciente canino

Parámetros	Resultado	Referencia ****
Serie roja		
Hematocrito (%)	48.8	37 - 55
Hemoglobina (g/dL)	17	12-18
Eritrocitos ($10^6/\mu\text{L}$)	7.03	5.2 - 8.15
Volumen Corpuscular Medio (VCM) [*]	69.42	60 - 77
Concentración de Hb Corp. Media (CHCM) ^{**}	34.84	32 - 36
Hemoglobina Corpuscular Media (HCM) ^{***}	24.18	19 - 24
Serie blanca		
Leucocitos ($10^3/\mu\text{L}$)	16.94	8 - 15
Neutrófilo (%)	93	50 - 77
Abastondados (%)	0	0 - 1.5
Segmentados (%)	93	50 - 77
Linfocitos (%)	2	15 - 30
Monocitos (%)	5	1 - 5
Eosinófilos (%)	0	1 - 5.5
Basófilos (%)	0	0 - 1
Neutrófilos ($10^3/\mu\text{L}$)	15.75	4.2 - 11.55
Abastondados ($10^3/\mu\text{L}$)	0	0 - 0.225
Segmentados ($10^3/\mu\text{L}$)	15.75	4 - 11.55
Linfocitos ($10^3/\mu\text{L}$)	0.34	1.35 - 4.5
Monocitos ($10^3/\mu\text{L}$)	0.85	0.09 - 0.75
Eosinófilos ($10^3/\mu\text{L}$)	0	0.09 - 0.825
Basófilos ($10^3/\mu\text{L}$)	0	0 - 0.09
Plaquetas ($10^3/\mu\text{L}$)	298	200 - 450
Proteínas (g/dL)	9.5	6 - 8

*femtolitros (fL) **gramos/decilitro (g/dL) ***picogramo (pg) ****Brooks et al., 2020

Bioquímica sanguínea

Se evidenció un aumento en las transaminasas, así como hiperproteinemia (hiperglobulinemia) e hiperbilirrubinemia. El nivel de nitrógeno ureico en sangre (BUN) presentó una ligera elevación. Por otro lado, aunque no superó los límites normales, se observó un nivel elevado de urea en sangre, con 49.8 mg/dL (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis bioquímico en el paciente canino

Parámetros	Resultado	Referencia**
Alanina Aminotransferasa (ALT)*	61	19-65
Aspartato Aminotransferasa (AST)*	67	15-53
Fosfatasa Alcalina (FA)*	154	15-127
Proteínas totales (g/L)	89	53-77
Albúmina (g/L)	42	27-42
Globulina (g/L)	47	23-44
Índice Albúmina / Globulina (A/G)	0.89	0.6-1.5
Bilirrubina Total (mg/dL)	1.62	0.1-0.61
Bilirrubina Directa (mg/dL)	0.74	0.06-0.12
Bilirrubina Indirecta (mg/dL)	0.88	0.1-0.6
Urea (mg/dL)	49.8	20-50
Nitrógeno Ureico (BUN)	23.21	9-23
Creatinina (mg/dL)	1.2	0.6-1.5
Radio BUN / Creatinina	19.34	4-25

* Unidad internacional (UI) **Kaneko et al., 2008

Uroanálisis

En la evaluación macroscópica, la muestra presentó una coloración anaranjada claro pajizo y moderada turbidez. En el examen físico-químico, se observó una baja densidad urinaria de 1.015, junto con la presencia de proteínas, leucocitos y eritrocitos (Tabla 3). Los resultados obtenidos en la evaluación microscópica fueron compatibles con los observados en el examen físico-químico, destacándose la presencia de leucocitos, eritrocitos, y una gran cantidad de bacterias (Tabla 4).

Tabla 3. Resultados del examen físico-químico (tira reactiva) del paciente canino

Parámetros	Resultado	Referencia
Aspecto	Moderadamente turbio	Transparente
Peso específico	1.015	1.017-1.045
Partículas en suspensión	Escasas	Ninguna
pH	6.5	5.5-7
Proteínas	Positivo (1+)	Negativo
Bilirrubina	Negativo	Negativo
Urobilinógeno	Negativo	Negativo

Glucosa	Negativo	Negativo
Cuerpos cetónicos	Negativo	Negativo
Nitritos	Negativo	Negativo
Leucocitos	Positivo (2+)	Negativo
Eritrocitos/Hb	Positivo (4+)	Negativo

Hb: Hemoglobina

Tabla 4. Resultados del análisis microscópico del sedimento (40x) del paciente canino

Parámetros	Resultados	Referencia
Eritrocitos	2 - 4 / campo	≤ 8/campo
Leucocitos	200 - 300	≤ 3/campo
Piocytes	Ausentes	Ausentes
Células de tipo:		
Epiteliales escamosas	Escasas	Escasas
Transicional	Ausentes	Escasas
Caudada	Ausentes	Ausentes
Renal	Ausentes	Ausentes
Cilindros		
Granuloso	Ausentes	Ausentes
Hialino	Ausentes	Escasas
Céreo	Ausentes	Ausentes
Celular	Ausentes	Ausentes
Cristales	Ausentes	Ausentes
Bacterias	Positivo (3+)*	Ausentes / Escasas

*Presencia significativamente elevada de bacterias en orina

Urocultivo y antibiograma

Previamente, se inició tratamiento con Amoxicilina con Ácido Clavulánico a 11 mg/kg cada ocho horas. Se recolectó la primera orina del día en un envase estéril para su análisis en un laboratorio veterinario. Se realizó un cultivo microbiológico estándar y un antibiograma usando la cepa de referencia *E. coli* ATCC 25922. El cultivo resultó positivo para *E. coli*, la cual mostró resistencia a ocho antibióticos incluyendo Amoxicilina con Ácido clavulánico, Ciprofloxacina, Cefalosporinas de primera, segunda y tercera generación, e Imipenem (Tabla 5). Con base en estos resultados, se concluyó que el aislamiento correspondía a una cepa multidrogoresistente, ya que presentó resistencia a al menos un antibiótico de tres o más clases diferentes (Magiorakos *et al.*, 2012).

Tabla 5. Perfil de susceptibilidad antimicrobiana de *Escherichia coli* en el paciente canino

Antibióticos	C (µg) *	Interpretación**
Penicilinas + Inhibidores de Betalactamasas		
Amoxicilina con ácido clavulánico	30	R
Cefalosporinas		
Ceftriaxona	30	R
Cefazolina	30	R
Cefepime	30	I
Cefaclor	30	R
Cefalexina	30	R
Cefuroxima	30	R
Carbapenémicos		
Meropenem	10	S
Imipenem	10	R
Fluoroquinolonas		
Ciprofloxacina	5	R
Aminoglucósidos		
Gentamicina	10	S
Nitrofuranos		
Nitrofurantoina	30	S

*C: Concentración de medicamento en el disco **R: Resistente, I: Intermedio, S: Susceptible

Ecografía abdominal

Se observaron alteraciones en la vejiga, compatibles con una cistitis, acompañada de cambios crónicos incipientes y moderado sedimento celular en suspensión. Además, se evidenciaron alteraciones en la arquitectura esplénica, compatibles con una posible infección, junto con el inicio de formación de barro biliar. También se detectó hiperecogenicidad en la médula externa del riñón (Figura 1). Los hallazgos obtenidos en los exámenes sanguíneos indicaron un proceso inflamatorio activo, confirmado por el uroanálisis y el aislamiento de *E. coli*, lo que permitió el diagnóstico de una infección del tracto urinario. Asimismo, el informe ecográfico reveló complicaciones asociadas con la progresión de la infección, lo que resalta la gravedad del caso y la necesidad de un manejo integral del paciente.

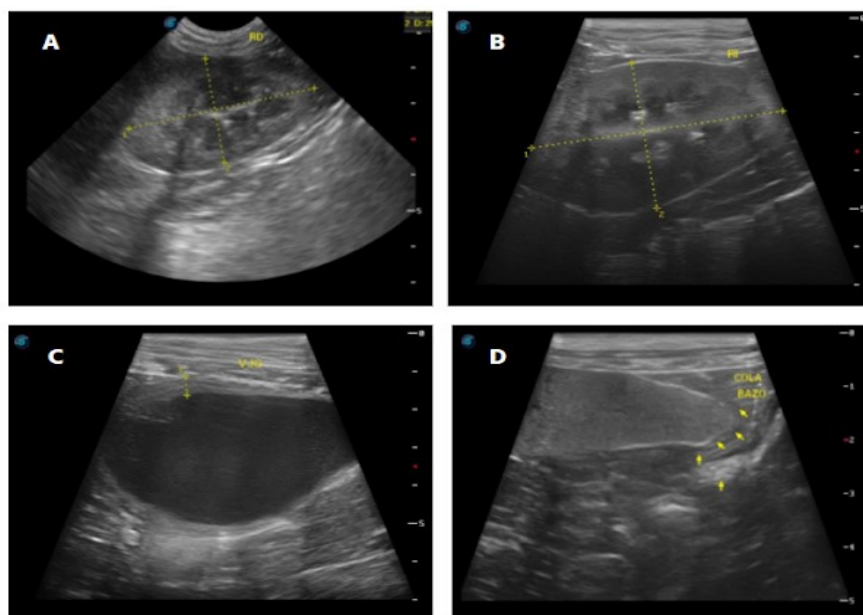


Figura 1. Visualización de la vejiga, riñones y bazo en la ecografía abdominal. (A, B) Leve hiperecogenicidad de la médula externa, diferenciación corticomedular conservada. (C) Distensión moderada, borde interno irregular y engrosado, contenido anecoico con presencia de moderado sedimento en suspensión. Tejido reactivo craneal a la vejiga. (D) Bordes regulares y redondeados, ecogenicidad mixta, moderada esplenomegalia.

Se recomendó programar una nueva cita para la interpretación de resultados y posible actualización del tratamiento. Sin embargo, la propietaria no acudió a la consulta hasta meses después, en una visita para vacunación y desparasitación de rutina, evidenciando una resolución de la sintomatología.

Discusión

Reportamos el caso de un paciente canino diagnosticado con una ITU bacteriana por *E. coli* MDR con un fenotipo resistente a Imipenem, un antibiótico considerado de último recurso para el tratamiento de infecciones bacterianas (Armstrong *et al.*, 2021). Los exámenes complementarios evidenciaron alteraciones hematológicas, incluyendo leucocitosis con neutrofilia y monocitosis. En la ecografía se observó esplenomegalia, así como alteraciones en la morfología renal y vesical. Adicionalmente, se encontraron alteraciones hepáticas con hiperbilirrubinemia, hiperproteinemia y elevación de las transaminasas. Estos últimos hallazgos si bien no estuvieron asociados con la ITU y corresponden a una patología anterior, complicaron el cuadro clínico en el paciente. Inclusive, el incremento del nitrógeno ureico en sangre podría ser explicado por una posible afección renal asociada a la disminución de la capacidad de los riñones para la filtración de residuos/desechos (Finco y Duncan, 1976).

Las ITU bacterianas en caninos son frecuentes, principalmente debido a la proximidad anatómica entre el tracto urinario y la región perianal, facilitando su contaminación con las heces y bacterias propias del microbiota intestinal (Lee *et al.*, 2023). Entre todas las enterobacterias, *E. coli* es la aislada con mayor frecuencia en valores superiores al 40% de los casos de ITU en perros (Smee *et al.*, 2013). Además, la emergencia de variantes multidrogoresistentes (MDR) ya ha sido ampliamente reportada (Garcês *et al.*, 2022). En un estudio realizado en Irán con 130 perros diagnosticados con ITU positiva a *E. coli*, se reportaron altos niveles de resistencia a diversos antibióticos, incluyendo gentamicina (95%), ampicilina (85%), amikacina (70%), amoxicilina (65%) y sulfametoxazol-trimetoprim (65%) (Yousefi y Torkan, 2017). En Estados Unidos, de un total de 366 aislados de *E. coli* provenientes de muestras de orina de caninos, se obtuvieron niveles de resistencia para ampicilina (31.42%), piperacilina-tazobactam (3,28%), amikacina (2.73%), gentamicina (2.46%) e imipenem (0.27%) (Yudhanto *et al.*, 2022). En el Perú, en un estudio retrospectivo de muestras de orina de perros con ITU se aislaron un total de 45 cepas de *E. coli* con niveles altos de resistencia a cloranfenicol (78.6%), ácido nalidíxico

(75%), enrofloxacin (75%), doxiciclina (70.6%) y nitrofurantoína (62.1%), entre otros (Milagros García *et al.*, 2019). El uso inadecuado de antibióticos, incluyendo el empirismo, así como administraciones fallidas o por períodos insuficientes, pueden conducir a este aumento en la resistencia (Grakh *et al.*, 2022). Este incremento no solo limita las opciones terapéuticas, sino también repercute negativamente en el paciente al estar asociado a recuperaciones más prolongadas, mayores costos y complicaciones. Además, se ha documentado que los perros son potenciales reservorios de bacterias para el humano, lo que resalta la importancia de este problema en términos de salud pública (Caddey *et al.* 2025).

En nuestro estudio documentamos el aislamiento de *E. coli* en un canino diagnosticado con ITU, resistente a ceftriaxona, cefazolina, cefaclor, cefalexina, cefuroxima, amoxicilina con ácido clavulánico y ciprofloxacina. Inclusive, reportamos la resistencia a imipenem, un antibiótico considerado de último recurso. En medicina veterinaria, la amoxicilina, con o sin ácido clavulánico, es considerada las opciones para el tratamiento de cistitis bacteriana (Weese *et al.*, 2021). De manera similar, sulfatrimetoprim y fluoroquinolonas como ciprofloxacina o enrofloxacin son comúnmente utilizadas para el tratamiento (Daniels *et al.*, 2014). Sin embargo, debido a su amplio espectro y fácil administración, el uso frecuente de estos antibióticos ha contribuido a un incremento significativo de la resistencia. Las cefalosporinas generalmente no están indicadas para el tratamiento de estas infecciones (Weese *et al.*, 2019). Sin embargo, reportamos un fenotipo resistente a cefalosporinas de primera, segunda o incluso tercera generación. Estos resultados, junto con la resistencia a imipenem, podrían indicar la capacidad del aislado de *E. coli* de producir carbapenemasas, enzimas que permiten la hidrólisis de penicilinas, cefalosporinas y carbapenémicos (Halat y Moubareck, 2020).

Nuestro reporte presenta algunas limitaciones. Los niveles de resistencia fueron descritos mediante la prueba de disco difusión o método de Kirby-Bauer, técnica que no permite cuantificar el punto de corte más adecuado (Callens *et al.*, 2016). Adicionalmente, no incluimos métodos de tipificación molecular el uso de el polimorfismo de longitud de fragmentos de restricción (RFLP), ni genómicos, como la secuenciación del genoma completo (WGS), que permitirían una mejor caracterización del aislamiento y comprensión detallada de los genes de resistencia antimicrobiana presentes (Vandenesch *et al.*, 2020). A pesar de estas limitaciones, el hallazgo de una bacteria con fenotipo resistente a Imipenem resalta la emergencia de variantes MDR capaces de transferir esta resistencia a otras poblaciones microbianas mediante diversos mecanismos de transferencia horizontal de genes (Arnold *et al.*, 2022). El rol de los perros como reservorios de bacterias para los humanos evidencia aún más el riesgo que implica para la salud pública (Caddey *et al.* 2025). Por ello, consideramos importante promover la publicación de estudios que permitan dar a conocer las tendencias en cambios e incrementos de resistencia antimicrobiana en *E. coli*. Esto no solo aportará en la toma de decisiones para la selección del esquema terapéutico más adecuado, sino también servirá como una herramienta de vigilancia en medicina veterinaria y, subsecuentemente, en la salud pública.

Referencias

- Armstrong T, Fenn SJ, Hardie KR. 2021. JMM Profile: Carbapenems: a broad-spectrum antibiotic. *J. Med. Microbiol.* 70: 001462. DOI: 10.1099/JMM.0.001462.
- Arnold BJ, Huang IT, Hanage WP. 2022. Horizontal gene transfer and adaptive evolution in bacteria. *Nat. Rev. Microbiol.* 20: 206-218. DOI: 10.1038/S41579-021-00650-4.
- Brooks MB, Harr KE, Seelig DM, Wardrop KJ, Weiss DJ. 2020. Schalm's veterinary hematology. 7th ed. Ed. Wiley-Blackwell, Hoboken. 1393 pp.
- Byron JK. 2019. Urinary Tract Infection. *Vet. Clin. North. Am. Small Anim. Pract.* 49: 211-221. DOI: 10.1016/J.CVSM.2018.11.005.
- Caddey B, Fisher S, Barkema HW, Nobrega DB. 2025. Companions in antimicrobial resistance: examining transmission of common antimicrobial-resistant organisms between people and their dogs, cats, and horses. *Clin. Microbiol Reviews* 38: e0014622. DOI: <https://doi.org/10.1128/CMR.00146-22>.
- Callens B, Dewulf J, Kronvall G, Catry B, Haesebrouck F, Boyen F. 2016. Antimicrobial resistance surveillance in *Escherichia coli* by using normalized resistance interpretation. *Vet. Microbiol.* 197 :1-7. DOI: 10.1016/J.VETMIC.2016.10.019.

- Castillo AK, Espinoza K, Chaves AF, Guibert F, Ruiz J, Pons MJ. 2022. Antibiotic susceptibility among non-clinical *Escherichia coli* as a marker of antibiotic pressure in Peru (2009-2019): one health approach. *Heliyon* 8: e10573. DOI: 10.1016/J.HELIYON.2022.E10573.
- Courtice R, Sniatynski M, Rubin JE. 2021. Characterization of antimicrobial-resistant *Escherichia coli* causing urinary tract infections in dogs: Passive surveillance in Saskatchewan, Canada 2014 to 2018. *J. Vet. Intern. Med.* 35: 1389. DOI: 10.1111/JVIM.16103.
- Daniels JB, Tracy G, Irom SJ, Lakritz J. 2014. Fluoroquinolone levels in healthy dog urine following a 20-mg/kg oral dose of enrofloxacin exceed mutant prevention concentration targets against *Escherichia coli* isolated from canine urinary tract infections. *J. Vet. Pharmacol. Ther.* 37: 201-204. DOI: 10.1111/JVP.12069.
- [EU] European Commission - Action on Antimicrobial Resistance. 2023. https://health.ec.europa.eu/antimicrobial-resistance/eu-action-antimicrobial-resistance_en.
- Finco DR, Duncan JR. 1976. Evaluation of blood urea nitrogen and serum creatinine concentrations as indicators of renal dysfunction: a study of 111 cases and a review of related literature. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 168: 593-601.
- Garcês A, Lopes R, Silva A, Sampaio F, Duque D, Brilhante-Simões P. 2022. Bacterial Isolates from Urinary Tract Infection in Dogs and Cats in Portugal, and Their Antibiotic Susceptibility Pattern: A Retrospective Study of 5 Years (2017–2021). *Antibiotics* 11: 1520. DOI: 10.3390/ANTIBIOTICS11111520.
- Grakh K, Mittal D, Kumar T, Thakur S, Panwar D, Singh L, Kumar M, Jindal N. 2022. Attitude, Opinions, and Working Preferences Survey among Pet Practitioners Relating to Antimicrobials in India. *Antibiotics* 11: 1289. DOI: 10.3390/ANTIBIOTICS11101289.
- Halat DH, Moubareck CA. 2020. The Current Burden of Carbapenemases: Review of Significant Properties and Dissemination among Gram-Negative Bacteria. *Antibiotics* 9: 186. DOI: 10.3390/ANTIBIOTICS9040186.
- Kaneko JJ, Harvey JW, Bruss ML. 2008. *Clinical biochemistry of domestic animals*. 6th ed. Ed. Academic Press, San Diego. 916 pp.
- Lee EJ, Lee JM, Kim JY, Hwang TS, Song KH, Song JH. 2023. Case report: Emphysematous cystitis due to *Escherichia coli* infection with the extension of gas into multiple locations in two non-diabetic dogs: a computed tomographic diagnosis and successful management. *Front. Vet. Sci.* 10: 1196006. DOI: 10.3389/FVETS.2023.1196006.
- López-Córdova J, Machuca P, Araya-Contreras T, Briceño-Montero C, Pérez-Tobar S, Faúndez Comte P, Castillo-Ruiz M, Bittner M. 2024. Prevalence and antimicrobial susceptibility profile of uropathogens in dogs and cats with signs of urinary tract infection. *J. Small. Anim. Pract.* DOI: 10.1111/J SAP.13800.
- Magiorakos AP, Srinivasan A, Carey RB, Carmeli Y, Falagas ME, Giske CG, Harbarth S, Hindler JF, Kahlmeter G, Olsson-Liljequist B, et al. 2012. Multidrug-resistant, extensively drug-resistant and pandrug-resistant bacteria: an international expert proposal for interim standard definitions for acquired resistance. *Clin. Microbiol. Infect.* 18: 268-281. DOI: 10.1111/J.1469-0691.2011.03570.X.
- Milagros García M, Diego Díaz C, Carlos Huerta M, Juan Olazábal L, Barrios-Arpi M, Ysaac Chipayo G. 2019. Análisis retrospectivo de agentes bacterianos y patrones de susceptibilidad antibiótica en casos de infecciones del tracto urinario en caninos domésticos (2012-2017). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú* 30: 1837-1844. DOI: 10.15381/RIVEPV3014.17263.
- Moon BY, Ali MS, Kwon DH, Heo YE, Hwang YJ, Kim JI, Lee YJ, Yoon SS, Moon DC, Lim SK. 2024. Antimicrobial Resistance in *Escherichia coli* Isolated from Healthy Dogs and Cats in South Korea, 2020–2022. *Antibiotics* 13: 27. DOI: 10.3390/ANTIBIOTICS13010027/S1.
- Olin SJ, Bartges JW. 2015. Urinary tract infections: treatment/comparative therapeutics. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 45: 721-746. DOI: 10.1016/J.CVSM.2015.02.005.
- Smee N, Loyd K, Grauer G. 2013. UTIs in small animal patients: part 1: etiology and pathogenesis. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 49: 1-7. DOI: 10.5326/JAAHA-MS-5943.
- Smith A, Wayne AS, Fellman CL, Rosenbaum MH. 2019. Usage patterns of carbapenem antimicrobials in dogs and cats at a veterinary tertiary care hospital. *J. Vet. Intern. Med.* 33: 1677. DOI: 10.1111/JVIM.15522.

- Vandenesch F, Lemoine J, Becker K, Vasala A, Hytönen VP, Laitinen OH. 2020. Modern Tools for Rapid Diagnostics of Antimicrobial Resistance. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 10: 308. DOI: 10.3389/FCIMB.2020.00308.
- Weese JS, Blondeau J, Boothe D, Guardabassi LG, Gumley N, Papich M, Jessen LR, Lappin M, Rankin S, Westropp JL, et al. 2019. International Society for Companion Animal Infectious Diseases (ISCAID) guidelines for the diagnosis and management of bacterial urinary tract infections in dogs and cats. *Vet. J.* 247: 8-25. DOI: 10.1016/j.tvjl.2019.02.008.
- Weese JS, Webb J, Ballance D, McKee T, Stull JW, Bergman PJ. 2021. Evaluation of antimicrobial prescriptions in dogs with suspected bacterial urinary tract disease. *J. Vet. Intern. Med.* 35: 2277. DOI: 10.1111/JVIM.16246.
- Yousefi A, Torkan S. 2017. Uropathogenic *Escherichia coli* in the Urine Samples of Iranian Dogs: Antimicrobial Resistance Pattern and Distribution of Antibiotic Resistance Genes. *Biomed. Res. Int.* 2017: 4180490. DOI: 10.1155/2017/4180490.
- Yudhanto S, Hung CC, Maddox CW, Varga C. 2022. Antimicrobial Resistance in Bacteria Isolated From Canine Urine Samples Submitted to a Veterinary Diagnostic Laboratory, Illinois, United States. *Front. Vet. Sci.* 9: 867784. DOI: 10.3389/FVETS.2022.867784/FULL.