

ARTÍCULO ORIGINAL**Susceptibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén, Perú**

Antimicrobial susceptibility of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from oxidation pond water in Jaen, Peru

Edwin Oblitas¹ , Leydi Segura² , Sonia Vallejos³ , Marly Vera⁴ , Yuriko Murillo⁵ , Christian Rivera⁶  y Keyla Pariatanta⁷ 

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de agua de pozos de oxidación de la provincia de Jaén. La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, descriptivo y de corte transversal. Se recolectaron 48 muestras de agua provenientes de cuatro pozos de oxidación, se obtuvieron 31 aislamientos las cuales fueron procesadas mediante técnicas microbiológicas convencionales para el aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa* en agar Cetrimide y la obtención de cultivos puros, evaluándose posteriormente la susceptibilidad antimicrobiana mediante el método de difusión en disco de Kirby-Bauer frente a ceftazidima, cefepima, meropenem, amikacina y piperacilina/tazobactam. El análisis de los resultados evidenció que el 64,6% de las muestras resultó positivo para *Pseudomonas aeruginosa*. Asimismo, las cepas aisladas presentaron elevada resistencia a ceftazidima (100%), piperacilina/tazobactam (83,87%) y cefepima (67,74%), mientras que meropenem y amikacina mostraron los mayores porcentajes de sensibilidad (48,39% y 58,06%, respectivamente), sin registrarse cepas resistentes frente a estos antibióticos. El estudio concluye que las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de agua de pozos de oxidación en Jaén presentaron alta resistencia a antibióticos β -lactámicos, mientras que meropenem y amikacina conservaron una adecuada actividad antimicrobiana.

Palabras clave: *Pseudomonas aeruginosa*, susceptibilidad antimicrobiana, resistencia antimicrobiana, pozos de oxidación, aguas residuales.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the antimicrobial susceptibility of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from oxidation pond water in the province of Jaén. The research employed a quantitative approach with a non-experimental, descriptive, and cross-sectional design. Forty-eight water samples were collected from four oxidation ponds and processed using conventional microbiological techniques—including culture on Cetrimide agar and the generation of pure cultures—to isolate *Pseudomonas aeruginosa*. Antimicrobial susceptibility was subsequently evaluated using the Kirby-Bauer disk diffusion method against ceftazidime, cefepime, meropenem, amikacin, and piperacillin/tazobactam. Analysis of the results revealed that 64.6% of the samples tested positive for *Pseudomonas aeruginosa*. Furthermore, the isolated strains exhibited high resistance to ceftazidime (100%), piperacillin/tazobactam (83.87%), and cefepime (67.74%), whereas meropenem and amikacin showed the highest rates of susceptibility (48.39% and 58.06%, respectively), with no resistant strains detected against these antibiotics. The study concludes that *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from oxidation pond water in Jaén displayed high resistance to β -lactam antibiotics, while meropenem and amikacin retained adequate antimicrobial activity.

Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*, antimicrobial susceptibility, antimicrobial resistance, oxidation ponds, wastewater.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: 2024210078@est.unj.edu.pe, 2024130012@est.unj.edu.pe, 2024130019@est.unj.edu.pe, 2024110016@est.unj.edu.pe, yuriko_domen@unj.edu.pe, Christian.rivera@unj.edu.pe, keyla.noemi67@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la resistencia antimicrobiana (RAM) se ha consolidado como una de las principales amenazas para la salud pública a nivel mundial, comprometiendo la eficacia de los tratamientos frente a infecciones bacterianas, virales y fúngicas. La Organización Mundial de la Salud advierte que este fenómeno se encuentra entre las diez mayores amenazas sanitarias globales, debido a que las infecciones son cada vez más difíciles de tratar, incrementando el riesgo de complicaciones y muerte. Se estima que la RAM fue responsable directa de aproximadamente 1,27 millones de muertes en 2019, evidenciando su impacto creciente en los sistemas de salud¹.

Este problema se agrava por el uso inadecuado y excesivo de antimicrobianos, lo que favorece la aparición de microorganismos resistentes, incluyendo bacterias multirresistentes capaces de evadir múltiples grupos de antibióticos como fluoroquinolonas, carbapenémicos, aminoglucósidos y cefalosporinas. En este contexto, patógenos como *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* han mostrado elevados niveles de resistencia a antibióticos comúnmente utilizados, como el ciprofloxacino, e incluso resistencia a tratamientos de última línea como los carbapenémicos en diversas regiones del mundo.

Desde una perspectiva ambiental, la problemática adquiere mayor complejidad, ya que los ecosistemas acuáticos, especialmente las aguas residuales, actúan como reservorios y puntos críticos para la diseminación de bacterias resistentes y genes de resistencia antimicrobiana. En estos ambientes convergen residuos hospitalarios, urbanos e industriales que contienen antibióticos, desinfectantes y microorganismos, generando condiciones que favorecen la selección y transferencia horizontal de genes de resistencia entre bacterias. Diversos estudios han reportado la presencia de bacterias resistentes a carbapenémicos, betalactámicos y fluoroquinolonas en aguas residuales, así como la detección de genes que codifican resistencia a antibióticos de amplio espectro, lo que evidencia su papel en la propagación de la RAM².

Particularmente, bacterias como *Pseudomonas aeruginosa* presentan una elevada capacidad de adaptación y resistencia intrínseca y adquirida, destacando su resistencia a múltiples antimicrobianos como quinolonas, tetraciclinas, aminoglucósidos y betalactámicos, lo que limita las opciones terapéuticas y favorece su persistencia en ambientes acuáticos. Además, estas bacterias pueden adquirir genes de resistencia mediante plásmidos, transposones y otros elementos genéticos móviles, incrementando su potencial de diseminación en el ambiente³.

A nivel local, en la provincia de Jaén, existe escasa información sobre la presencia y comportamiento de bacterias resistentes en sistemas de tratamiento de aguas residuales,

como los pozos de oxidación. Esta limitada evidencia impide comprender el rol de estos sistemas como posibles reservorios de microorganismos multirresistentes y su impacto en la salud pública y ambiental. En consecuencia, surge la necesidad de evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa*, aisladas de estos ambientes, con el fin de generar información científica que contribuya a la vigilancia de la resistencia antimicrobiana y al diseño de estrategias de control en el contexto local.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló utilizando muestras de agua provenientes de cuatro pozos de oxidación en funcionamiento de la provincia de Jaén, Cajamarca, Perú, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia durante el año 2026. Se recolectaron cuatro muestras por pozo durante tres días consecutivos representando una muestra de corte transversal puntual, obteniendo un total de 48 muestras, las cuales fueron tomadas en diferentes puntos de cada pozo para asegurar su representatividad. La recolección se realizó en recipientes estériles, empleando medidas de bioseguridad como el uso de guantes y mascarilla para evitar la contaminación de las muestras. Posteriormente, estas fueron transportadas al laboratorio en un cooler con refrigeración, preservando sus características microbiológicas hasta su procesamiento.

En el laboratorio, las muestras fueron sembradas en agar Cetrimide como medio selectivo para el aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa*, incubándose a 35-37 °C durante 24 a 48 horas⁴. Las colonias con características compatibles fueron subcultivadas en agar tripticosa de soya (TSA) para obtener cultivos puros, garantizando la evaluación de una sola población bacteriana⁵. La identificación de *Pseudomonas aeruginosa* se realizó mediante la evaluación de las características macroscópicas de las colonias en agar Cetrimide, considerando la morfología colonial, la pigmentación característica (piocianina) y la fluorescencia bajo luz ultravioleta (pioverdina). Posteriormente se efectuaron pruebas bioquímicas, incluyendo oxidasa, catalasa, crecimiento a 42 °C y ausencia de fermentación de glucosa en TSI (Triple Sugar Iron Agar), complementadas con LIA (Lysine Iron Agar), SIM (Sulfuro, Indol y Motilidad) y Citrato de Simmons para apoyar la identificación de la especie, cuyos resultados fueron interpretados de acuerdo con los patrones bioquímicos característicos de la especie *Pseudomonas aeruginosa*.

La evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana se realizó mediante la técnica de difusión en disco o método de Kirby-Bauer. Para ello, se seleccionaron de tres a cinco colonias bien aisladas de cada cultivo puro y se suspendieron en caldo nutritivo hasta alcanzar una turbidez equivalente al estándar 0.5 de McFarland. Posteriormente, la suspensión bacteriana se inoculó sobre agar Mueller-Hinton y se colocaron discos de

ceftazidima (30 µg), cefepima (30 µg), meropenem (10 µg), amikacina (30 µg) y piperacilina/tazobactam (100/10 µg), los diámetros de los halos de inhibición fueron interpretados como sensibles, intermedios o resistentes de acuerdo con los puntos de corte establecidos por el Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), documento M100, 35.^a edición.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron registrados y organizados en una base de datos en Microsoft Excel para su análisis estadístico descriptivo. La información se presentó mediante tablas de frecuencia y porcentajes, permitiendo describir el perfil de susceptibilidad antimicrobiana de las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de los pozos de oxidación de la provincia de Jaén. Durante todo el desarrollo de la investigación se aplicaron las normas de bioseguridad para el manejo de muestras microbiológicas, y los datos obtenidos fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, garantizando la integridad y confiabilidad de los resultados.

RESULTADOS

La Tabla 01 presenta los resultados de la susceptibilidad antimicrobiana de las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén durante el año 2026. Los resultados evidencian un elevado nivel de resistencia frente a algunos de los antibióticos evaluados, lo que pone de manifiesto la circulación de cepas con perfiles de resistencia preocupantes en este tipo de ambiente.

Se observó que la mayor resistencia correspondió a la ceftazidima, con 31 aislamientos (100%), seguida de la piperacilina/tazobactam, con 26 aislamientos (83,87%), y la cefepima, con 21 aislamientos (67,74%). El 100 % de resistencia a la ceftazidima, es distinto a lo reportado por eso es factible debido a que en este tipo ambientes acuáticos es elevada la circulación de genes de resistencia.

En contraste, meropenem y amikacina mostraron los mejores perfiles de susceptibilidad. Para meropenem, 15 aislamientos (48,39%) fueron sensibles y 16 (51,61%) presentaron sensibilidad intermedia, sin registrarse cepas resistentes. De manera similar, la amikacina presentó el mayor porcentaje de sensibilidad, con 18 aislamientos (58,06%), mientras que 13 (41,94%) mostraron sensibilidad intermedia y no se evidenció resistencia frente a este antimicrobiano.

En términos generales, los resultados indican que las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación presentan una alta resistencia a los antibióticos β -lactámicos evaluados, especialmente a ceftazidima, piperacilina/tazobactam y cefepima. Por otro lado, meropenem y amikacina conservaron una mayor actividad antimicrobiana, constituyéndose como las alternativas con mejor eficacia frente a los

aislamientos obtenidos. Estos hallazgos resaltan la importancia de mantener una vigilancia continua de la resistencia antimicrobiana en fuentes ambientales, debido a que estos microorganismos pueden actuar como reservorios de genes de resistencia con potencial impacto en la salud pública. Cabe recalcar que, de las 48 muestras de agua recolectadas en los pozos de oxidación, 31 (64,6%) resultaron positivas para *Pseudomonas aeruginosa* y fueron incluidas en el análisis de susceptibilidad antimicrobiana, mientras que las 17 muestras restantes no presentaron crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa* y fueron excluidas del antibiograma.

Tabla 01

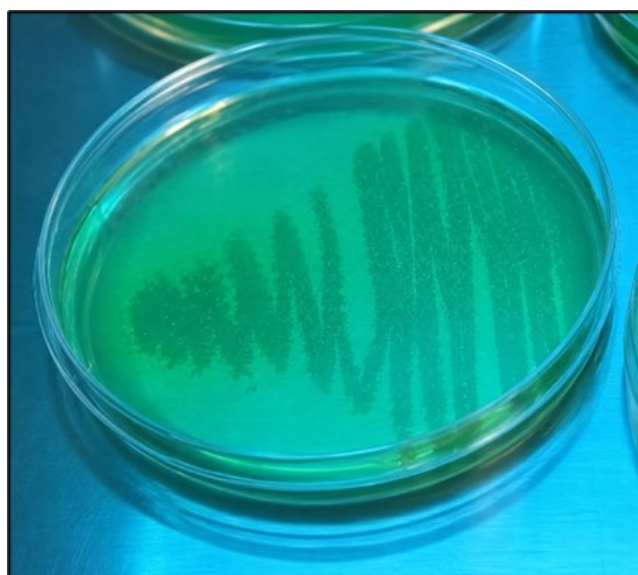
Susceptibilidad antimicrobiana en Pseudomonas aeruginosa aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén, 2026

Antibióticos	Resistente		Intermedio		Sensible	
	N	%	n	%	n	%
Ceftazidima (30 µg)	31	100,00	0	0,00	0	0,00
Piperacilina/tazobactam (100/10 µg)	26	83,87	5	16,13	0	0,00
Cefepima (30 µg)	21	67,74	10	32,26	0	0,00
Meropenem (10 µg)	0	0,00	16	51,61	15	48,39
Amikacina (30 µg)	0	0,00	13	41,94	18	58,06

Nota: Esta tabla muestra los ensayos de susceptibilidad antimicrobiana desarrollados en el laboratorio

Figura 01

Observación del pigmento característico (pioverdina) en las colonias de las cepas con la fluorescencia bajo luz ultravioleta



DISCUSIÓN

La presente investigación permitió evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén, evidenciándose altos niveles de resistencia frente a ceftazidima (100%), piperacilina/tazobactam (83,87%) y cefepima (67,74%). Estos resultados reflejan una disminución de la eficacia de los antibióticos β -lactámicos, posiblemente asociada a mecanismos de resistencia propios de *Pseudomonas aeruginosa*, como la producción de β -lactamasas, la disminución de la permeabilidad de la membrana externa y la activación de sistemas de expulsión de antimicrobianos.

El 100% de resistencia a ceftazidima es muy a lo extremo a lo reportado por Hozu et al.⁸ en Sudáfrica a partir de aislamientos no clínicos, evidenciándose resistencia de 63,9 % a ceftadizima, 55,6% a cefepima, 47,2% a piperacilina/tazobactam y 41,7% a meropenem, esto es factible a que estos tipos de ambientes acuáticos actúan como reservorio de cepas con genes de resistencia.

Por otro lado, algunas investigaciones de aguas muestran resultados opuestos, con alta sensibilidad antimicrobiana. Tarazi et al.⁹ refiere que, en agua embotellada de Jordania, los aislamientos fueron 100 % sensibles a amikacina, ceftazidima e imipenem, Licea-Herrera et al.¹⁰ determinó que en aguas de México hubo 100% de sensibilidad a ceftazidima y amikacina. Esta no homogeneidad según Rojo-Bezales et al.¹¹, este probablemente relacionada a contaminación, origen del efluente y presión selectiva del entorno.

Los hallazgos coinciden con lo reportado por Roulová et al.¹², quienes encontraron resistencia de *Pseudomonas aeruginosa* a diversos antibióticos en aguas residuales hospitalarias. La similitud observada frente a piperacilina/tazobactam confirma que los ambientes acuáticos actúan como reservorios de bacterias resistentes. Sin embargo, los porcentajes de resistencia encontrados en este estudio fueron superiores, posiblemente debido a diferencias en las condiciones ambientales y la carga de contaminantes.

Aunque no se detectaron cepas clasificadas como resistentes a meropenem, el hecho de que más de la mitad de los aislamientos (51,61 %) presentara sensibilidad intermedia constituye un hallazgo microbiológicamente relevante. La categoría "intermedia" no representa únicamente una respuesta terapéutica reducida, sino que puede reflejar el inicio de modificaciones en la susceptibilidad bacteriana asociadas con mecanismos de resistencia emergentes, como la disminución de la permeabilidad de la membrana, la sobreexpresión de bombas de eflujo o la producción incipiente de carbapenemasas. En ecosistemas como las aguas residuales, donde existe una elevada presión selectiva por la presencia continua de antimicrobianos y otros contaminantes, estos aislamientos pueden actuar como reservorios

de determinantes genéticos de resistencia y favorecer la selección y diseminación de cepas multirresistentes. Por ello, aunque meropenem mantuvo actividad frente a los aislamientos estudiados, el elevado porcentaje de sensibilidad intermedia debe interpretarse como una señal de alerta epidemiológica que justifica fortalecer los programas de vigilancia microbiológica ambiental¹³.

De igual manera, los resultados respaldan lo señalado por Reem et al.¹⁴, describieron la amplia distribución de *Pseudomonas aeruginosa* en ambientes acuáticos y su capacidad para adquirir genes de resistencia antimicrobiana. La elevada resistencia observada podría estar relacionada con la presencia de mecanismos genéticos favorecidos por la exposición continua a aguas residuales con residuos de antibióticos y otros contaminantes. En contraste, meropenem y amikacina presentaron los mejores perfiles de sensibilidad, sin registrarse cepas resistentes, lo que sugiere que ambos antimicrobianos conservan una adecuada actividad frente a los aislamientos evaluados. No obstante, la presencia de cepas con sensibilidad intermedia evidencia la necesidad de mantener una vigilancia constante debido a la capacidad adaptativa de estos microorganismos y su potencial para desarrollar resistencia con el tiempo.

En relación a los mecanismos de resistencia de *Pseudomonas* a los betalactámicos, según Castanheira¹⁵, se debe a diferentes de mecanismos de resistencia, y las más prevalentes incluyeron la desrepresión de AmpC con pérdida de OprD y la hiperexpresión de bombas de flujo MexAB-OprM, MexCD-OprJ, MexEF-OprN y MexXY-OprM.

La frecuencia de aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa* (64,6%) demuestra la amplia presencia de este microorganismo en ambientes acuáticos contaminados con aguas residuales. Como aporte, este estudio proporciona información actualizada sobre la susceptibilidad antimicrobiana de cepas ambientales en la provincia de Jaén. Sin embargo, se limitó al análisis de aislamientos procedentes de pozos de oxidación específicos y no incluyó la identificación molecular de los mecanismos de resistencia, por lo que futuras investigaciones deberían profundizar en estos aspectos para comprender mejor la dinámica de la resistencia bacteriana en estos ambientes.

CONCLUSIONES

La evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana permitió establecer que las cepas ambientales de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación presentan un patrón de resistencia predominante frente a antibióticos β -lactámicos, evidenciando la presencia de microorganismos con potencial importancia epidemiológica para la salud pública y ambiental.

Asimismo, el estudio permitió identificar que meropenem y amikacina conservaron mayor actividad antimicrobiana en comparación con los demás antibióticos evaluados; sin embargo, la elevada frecuencia de aislamientos con sensibilidad intermedia evidencia la necesidad de implementar programas permanentes de vigilancia microbiológica y resistencia antimicrobiana en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- World Health Organization. Resistencia a los antimicrobianos [Internet]. Ginebra: World Health Organization; 2025 [citado 20 Jul 2026]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Espinoza Pesantez DI, Esparza Sanchez GF, Espinoza Pesantez DI, Esparza Sanchez GF. Resistencia enzimática en *Pseudomonas aeruginosa*, aspectos clínicos y de laboratorio. *Revista chilena de infectología*. febrero de 2021;38(1):69-80. doi:10.4067/S0716-10182021000100069
- Sulca-Galarza LE, Robles-Camarena RC, Sánchez-Rojas TL, Rodríguez-Gonzales AF. Calidad microbiológica y resistencia antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* en sistemas de agua potable del antiguo terminal del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez: potencial papel como reservorio ambiental. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*. 30 de junio de 2026;207-16. doi:10.17843/rpmesp.2026.432.15160
- CMS Científica do Brasil. CMS Científica Brasil: Produtos para Laboratório e Sala Limpa [Internet]. Holambra (SP): CMS Científica do Brasil; [citado 21 Jul 2026]. Disponible en: <https://cmscientifica.com.br/es/>
- Burguet-Lago N, Sierra-Prado N, Estrada MA. Evaluación de una formulación para la conservación de cepas de *Pseudomonas aeruginosa*. *Rev CENIC Cienc Biológicas*. 2014;45(1):51-6.
- Jorgensen JH, Pfaller MA, Carroll KC, Funke G, Landry ML, Richter SS, et al., editors. *Manual of Clinical Microbiology*. 11th ed. Washington (DC): ASM Press; 2015. Disponible en: *Manual of Clinical Microbiology (PDF)*
- Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. CLSI supplement M100 [Internet]. 35th ed. Wayne (PA): Clinical and Laboratory Standards Institute; 2025 [citado 21 Jul 2026]. Disponible en: <https://clsi.org/standards/products/microbiology/documents/m100/>

- Hosu, M. C., Vasaikar, S., Okuthe, G. E., & Apalata, T. (2021). Detección molecular de genes de resistencia a antibióticos en *Pseudomonas aeruginosa* de un entorno no clínico: implicaciones para la salud pública en Mthatha, provincia de Cabo Oriental, Sudáfrica. *International Journal of Microbiology*, 2021, Artículo ID 8861074. <https://doi.org/10.1155/2021/8861074>.
- Tarazi, Y. H., Abu-Basha, E., Ismail, Z., & Al-Jawasreh, S. I. (2021). Sensibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* multirresistente aislada de agua potable y pacientes hospitalizados en Jordania. *Acta Tropica*, 217, 105859. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.105859>.
- Licea-Herrera, J. I., Guerrero, A., Guel, P., Bocanegra-García, V., Rivera, G., & Martínez-Vázquez, A. V. (2025). Ocurrencia de virulencia y resistencia a antibióticos en *Pseudomonas aeruginosa* aislada del agua ambiental de Tamaulipas, México. *Antibiotics*, 14(12), 1278. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14121278>
- Rojo-Bezares, B., Casado, C., Cenicerós, T., López, M., Chichón, G., Lozano, C., Ruiz-Roldán, L., & Sáenz, Y. (2024). *Pseudomonas aeruginosa* del agua de río: resistencia antimicrobiana, virulencia y tipificación molecular. *FEMS Microbiology Ecology*, 100(3), fiae028. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae028>
- Roulová N, Mot'ková P, Brožková I, Pejchalová M. Antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from hospital wastewater in the Czech Republic. *J Water Health*. 12 de abril de 2022;20(4):692-701. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.101>
- Alatoom, A., Alattas, M., Alraddadi, B., Moubareck, C., Hassanien, A., Jamal, W., Kurdi, A., Mohamed, N., Senok, A., Somily, A. M., & Ziglam, H. (2024). Perfiles de resistencia antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* en la región del Golfo Pérsico durante un período de 12 años (2010-2021). *Journal of Epidemiology and Global Health*, 14, 529-548. <https://doi.org/10.1007/s44197-024-00191-y>
- Reem A, Almansoob S, Senan AM, Raj AK, Shah R, Shrewastwa MK, et al. *Pseudomonas aeruginosa* and related antibiotic resistance genes as indicators for wastewater treatment. *Heliyon*. 15 de mayo de 2024;10(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29798>
- Castanheira, M., Mills, J. C., Farrell, D., & Jones, R. N. (2014). Mecanismos de resistencia a β -lactámicos impulsados por mutaciones en aislados contemporáneos de

Pseudomonas aeruginosa no sensibles a ceftazidima procedentes de hospitales de EE. UU. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 58(11), 6844-6850.
<https://doi.org/10.1128/aac.03681-14>