

CAPÍTULO 6

BACTERIAS PATÓGENAS EN EL SUELO



<https://doi.org/10.22533/at.ed.244112527016>

Data de aceite: 24/06/2025

Eduardo Jahir Gutiérrez Alcántara

Facultad de Ciencias Químico Biológicas,
Universidad Autónoma de Campeche,
México

Tomas Joel López Gutiérrez

Facultad de Ciencias Químico Biológicas,
Universidad Autónoma de Campeche,
México

Román Alberto Pérez Balán

Facultad de Ciencias Químico Biológicas,
Universidad Autónoma de Campeche,
México

Carlos Armando Chan Keb

Facultad de Ciencias Químico Biológicas,
Universidad Autónoma de Campeche,
México

David Tirado Torres

Departamento de Ingeniería Civil y
Ambiental. División de Ingenierías,
Campus Gto. Universidad de Guanajuato

Guadalupe Vázquez Rodríguez

Departamento de Ingeniería Civil y
Ambiental. División de Ingenierías,
Campus Gto. Universidad de Guanajuato

RESUMEN: El suelo es mucho más que la simple capa superficial de la Tierra; es un ecosistema complejo y dinámico que constituye la base de la vida terrestre. Su importancia es multifacética, abarcando desde el sustento de la biodiversidad, la producción de alimentos, Ecosistema Biodiverso y Hábitat, Regulación del Ciclo del Agua, Filtración y Amortiguación de Contaminantes, Regulación del Clima y Ciclo del Carbono y Soporte para la Infraestructura Humana. Si bien la mayoría de los microorganismos del suelo son esenciales para procesos ecológicos vitales como la ciclación de nutrientes y la fertilidad del suelo, también existe presencia de bacterias patógenas que desencadenan infecciones en humanos, animales y plantas, entre ellas destacan: *Clostridium tetani*, *Clostridium botulinum*, *Bacillus anthracis*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Burkholderia pseudomallei*, *Nocardia spp*

INTRODUCCIÓN

El suelo, un ecosistema dinámico y complejo, es el reservorio más vasto de biodiversidad microbiana del planeta. Si bien la mayoría de los microorganismos del suelo son esenciales para procesos ecológicos vitales como la ciclación de nutrientes y la fertilidad del suelo, una fracción de esta vasta comunidad microbiana está compuesta por **bacterias patógenas** capaces de causar enfermedades en humanos, animales y plantas. Estas bacterias pueden persistir en el suelo durante períodos prolongados, ofreciendo un desafío constante para la salud pública y la bioseguridad [1, 2]. Comprender las características, el modo de transmisión y las estrategias de control de estos patógenos es crucial para mitigar los riesgos asociados con la exposición ambiental.

CLOSTRIDIUM TETANI

Clostridium tetani es una bacteria grampositiva, anaerobia estricta, formadora de esporas, que se encuentra ubicuamente en el suelo y en las heces de animales, incluyendo humanos [3]. Las esporas de *C. tetani* son notablemente resistentes a las condiciones ambientales adversas, lo que les permite sobrevivir en el suelo por muchos años.

Enfermedad:

Tétanos: Causada por la potente neurotoxina (tetanoespasmina) producida por *C. tetani* en condiciones anaerobias. La infección suele ocurrir cuando las esporas ingresan al cuerpo a través de heridas punzantes, quemaduras, úlceras o incluso heridas triviales que permiten un ambiente anaerobio para el crecimiento bacteriano [3, 4]. La toxina viaja a través del sistema nervioso, bloqueando los impulsos inhibitorios y causando espasmos musculares dolorosos, rigidez (especialmente en la mandíbula, “trismo”) y convulsiones generalizadas. La mortalidad es alta, especialmente en neonatos y si no se trata a tiempo [4].

Fuentes en el suelo: Heces de animales (particularmente herbívoros) y humanos. La presencia de la bacteria es común en suelos agrícolas ricos en materia orgánica y en áreas contaminadas con heces [3].

CLOSTRIDIUM BOTULINUM

Similar a *C. tetani*, *Clostridium botulinum* es una bacteria grampositiva, anaerobia estricta y formadora de esporas, ampliamente distribuida en el suelo y en sedimentos acuáticos a nivel mundial [5]. Produce una de las toxinas biológicas más potentes conocidas, la toxina botulínica.

Enfermedad:

Botulismo: Aunque típicamente asociado con alimentos contaminados (botulismo alimentario), las esporas de *C. botulinum* presentes en el suelo son la fuente de otras formas de la enfermedad:

Botulismo de heridas: Ocurre cuando las esporas contaminan una herida profunda y el ambiente anaerobio permite la germinación y producción de toxina *in vivo*. Se ha asociado con usuarios de drogas intravenosas [5, 6].

Botulismo infantil: Afecta a lactantes menores de un año que ingieren esporas (a menudo de miel o de polvo y tierra ambiental). Las esporas germinan y producen toxina en el intestino inmaduro del bebé, causando estreñimiento, letargo, llanto débil y parálisis flácida progresiva [5, 6].

Botulismo por inhalación y iatrogénico: Formas menos comunes, pero relacionadas con la toxina [5].

Fuentes en el suelo: Sedimentos marinos y lacustres, suelos agrícolas y no agrícolas, polvo [5].

BACILLUS ANTHRACIS

Bacillus anthracis es una bacteria grampositiva, formadora de esporas y aerobia o anaerobia facultativa, responsable del ántrax. Las esporas de *B. anthracis* son extremadamente resistentes y pueden sobrevivir en el suelo durante décadas, convirtiendo el suelo en un reservorio persistente de la enfermedad [7, 8].

Enfermedad:

Ántrax (Carbunco): Una zoonosis que afecta principalmente a herbívoros (ganado, ovejas, cabras) y ocasionalmente a humanos. La infección humana puede ocurrir por:

Ántrax cutáneo: La forma más común (95% de los casos). Se adquiere por contacto con esporas a través de cortes o abrasiones en la piel, resultando en una úlcera necrótica con costra negra (carbunco) [8].

Ántrax por inhalación: La forma más grave. Se adquiere por la inhalación de esporas, que pueden viajar a los pulmones y causar una enfermedad sistémica grave y a menudo fatal, similar a la neumonía [8].

Ántrax gastrointestinal: Adquirido por el consumo de carne contaminada y poco cocida [8].

Fuentes en el suelo: El suelo contaminado con esporas de animales que han muerto por ántrax. Las esporas pueden ser transportadas por el viento o el agua, o persistir en pastos y áreas de pastoreo [7, 8].

LISTERIA MONOCYTOGENES

Listeria monocytogenes es una bacteria grampositiva, bacilar y facultativa anaerobia que se encuentra ampliamente en el medio ambiente, incluyendo el suelo, la vegetación en descomposición, el agua y las heces de animales [9]. Es un patógeno intracelular capaz de crecer a bajas temperaturas (psicrófilo), lo que la convierte en una preocupación en la seguridad alimentaria, especialmente en productos refrigerados.

Enfermedad:

Listeriosis: Una infección grave, aunque rara, que afecta principalmente a personas con sistemas inmunitarios debilitados, ancianos, recién nacidos y mujeres embarazadas. La principal vía de transmisión es el consumo de alimentos contaminados [9]. Sin embargo, la presencia de *Listeria* en el suelo y la vegetación es la fuente inicial de contaminación para los alimentos. La listeriosis puede manifestarse como bacteriemia, meningitis, encefalitis y aborto espontáneo o nacimiento prematuro en mujeres embarazadas. Los síntomas gastrointestinales pueden preceder a la enfermedad invasiva [9, 10].

Fuentes en el suelo: Suelos agrícolas y no agrícolas, vegetación, aguas residuales y heces de animales [9].

PSEUDOMONAS AERUGINOSA

Pseudomonas aeruginosa es una bacteria gramnegativa, aerobia estricta y ubicua en diversos entornos, incluyendo el suelo, el agua y la vegetación [11]. Es un patógeno oportunista, lo que significa que rara vez causa enfermedades en individuos sanos, pero es una causa importante de infecciones en hospitales (nosocomiales) y en personas con sistemas inmunitarios comprometidos.

Enfermedad:

Infecciones oportunistas: Aunque su principal vía de infección es a través de entornos hospitalarios o de agua, la presencia en el suelo puede ser una fuente de contaminación. Puede causar una variedad de infecciones, como neumonía, infecciones del torrente sanguíneo, infecciones del tracto urinario, infecciones de heridas (especialmente en quemaduras y úlceras), foliculitis (del agua) e infecciones de oído [11, 12]. Su multirresistencia a antibióticos es una preocupación creciente.

Fuentes en el suelo: Suelo húmedo, materia orgánica en descomposición, y en diversos entornos acuáticos y ambientes húmedos [11].

OTROS PATÓGENOS RELACIONADOS CON EL SUELO

Si bien los anteriores son los más destacados, otras bacterias patógenas pueden estar presentes en el suelo o tener una relación directa con él:

Mycobacterium tuberculosis complex (MTC): Aunque no es un habitante primario del suelo, las bacterias del MTC (causantes de tuberculosis) pueden sobrevivir en el suelo en ciertas condiciones, especialmente en suelos orgánicos o contaminados con esputo [13].

Burkholderia pseudomallei: El agente causal de la melioidosis, una enfermedad grave y potencialmente mortal. Es endémica en suelos y aguas de regiones tropicales y subtropicales, especialmente en el sudeste asiático y el norte de Australia. La infección suele ocurrir por contacto directo del suelo con lesiones cutáneas o por inhalación de polvo del suelo [14].

Nocardia spp.: Bacterias aerobias, ramificadas, que se encuentran comúnmente en el suelo. Pueden causar nocardiosis, una infección oportunista que afecta principalmente los pulmones (pulmonar) o la piel (cutánea), y puede diseminarse a otros órganos en individuos inmunocomprometidos [15].

SALMONELLA

El suelo es un ambiente crucial en la ecología de **Salmonella**, una bacteria patógena que causa enfermedades gastrointestinales (salmonellosis) e infecciones sistémicas más graves (fiebre tifoidea y paratifioidea) en humanos y animales. La principal fuente de *Salmonella* en el suelo son las **heces de animales infectados**, tanto domésticos (ganado, aves de corral, cerdos) como silvestres (pájaros, roedores) [16, 17]. También puede provenir de heces humanas, especialmente en regiones con saneamiento deficiente. La presencia de *Salmonella* en el suelo tiene profundas implicaciones para la salud humana y la seguridad alimentaria, especialmente en México, donde la agricultura y la ganadería son actividades económicas importantes: contaminación de cultivos: contaminación del agua: exposición ocupacional y recreacional: riesgo en la cadena alimentaria.

ESCHERICHIA COLI

La presencia de *E. coli* en el suelo es un indicador clave de contaminación fecal y representa un riesgo significativo para la salud pública, especialmente en contextos agrícolas. Origen y Diseminación de *E. coli* en el Suelo

La principal vía de entrada de *E. coli* al suelo es a través de la contaminación fecal [18, 19]:

Estiércol y purines animales: Es la fuente más común.

Aguas residuales: Las descargas de aguas residuales no tratadas o con tratamiento deficiente de asentamientos humanos pueden contaminar el suelo, especialmente en áreas cercanas a cuerpos de agua o campos de riego.

Fauna silvestre: Aves, roedores y otros animales silvestres pueden defecar en los campos, introduciendo *E. coli* en el suelo [19].

Escorrentía y erosión: Las lluvias y el riego pueden arrastrar *E. coli* de suelos o superficies contaminadas a otras áreas del suelo, a cultivos o a cuerpos de agua [18].

La presencia de *E. coli* (especialmente las cepas patógenas, como *E. coli* O157:H7 productora de toxina Shiga - STEC) en el suelo tiene serias implicaciones para la salud humana y la seguridad alimentaria, particularmente en Campeche, donde la producción agrícola es importante:

Prevención y Control

El manejo de las bacterias patógenas en el suelo implica una combinación de medidas para reducir la exposición y controlar la propagación:

Higiene: Lavado de manos exhaustivo después de trabajar con tierra, jardinería o contacto con animales.

Cuidado de heridas: Limpieza y desinfección adecuada de cualquier herida, por pequeña que sea, especialmente si ha estado en contacto con el suelo.

Vacunación: La vacunación contra el tétanos es una medida preventiva crucial y altamente efectiva [4].

Seguridad alimentaria: Prácticas adecuadas de manipulación y cocción de alimentos, especialmente para prevenir el botulismo y la listeriosis transmitidos por alimentos que pueden haberse contaminado con tierra.

Control ambiental: En el caso de *B. anthracis*, la eliminación segura de cadáveres de animales infectados y la descontaminación de áreas contaminadas para prevenir la formación de esporas en el suelo [8].

Conciencia: En áreas endémicas para patógenos como *Burkholderia pseudomallei*, es vital que las personas sean conscientes de los riesgos asociados con la exposición al suelo y el agua, especialmente durante la temporada de lluvias [14].

CONCLUSIÓN

El suelo, a pesar de su vitalidad para la vida terrestre, es un reservorio significativo de diversas bacterias patógenas que representan riesgos para la salud humana y animal. Desde las mortales neurotoxinas de *Clostridium* hasta los patógenos oportunistas como *Pseudomonas*, la interacción con el suelo exige precaución y medidas preventivas. La comprensión de la ecología de estos microorganismos, sus mecanismos de patogenicidad y las vías de transmisión son fundamentales para desarrollar estrategias efectivas de salud pública, garantizar la seguridad en actividades agrícolas y recreativas, y proteger a las poblaciones vulnerables de enfermedades con origen en este vasto y complejo ecosistema.

REFERENCIAS

- [1] Torsvik, V., Øvreås, L., & Thingstad, T. F. (2002). *Prokaryotic diversity and function in soil: from genes to ecosystems*. FEMS Microbiology Ecology, 36(2-3), 159-171. doi:10.1111/j.1574-6941.2001.tb00841.x
- [2] Fierer, N. (2017). *Embracing the unknown: disentangling the complexities of the soil microbiome*. Nature Reviews Microbiology, 15(10), 579-590. doi:10.1038/nrmicro.2017.87
- [3] Todar, K. (2008). *Todar's Online Textbook of Bacteriology*. *Clostridium tetani*. Retrieved from http://textbookofbacteriology.net/clostridium_tetani.html
- [4] World Health Organization. (2024). *Tetanus*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/tetanus>
- [5] Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *Botulism*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/botulism/index.html>
- [6] Arnon, S. S., Schechter, R., Inglesby, T. V., Henderson, D. A., Bartlett, J. G., Ascher, M. S., ... & O'Toole, T. (2001). *Botulinum Toxin as a Biological Weapon: Medical and Public Health Management*. JAMA, 285(8), 1059-1070. doi:10.1001/jama.285.8.1059
- [7] World Health Organization. (2008). *Anthrax in humans and animals*. WHO Press.
- [8] Centers for Disease Control and Prevention. (2024). *About Anthrax*. Retrieved from <https://www.cdc.gov/anthrax/basics/index.html>
- [9] World Health Organization. (2018). *Listeria monocytogenes*. Retrieved from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/listeria-monocytogenes>
- [10] Maury, M. M., Moura, A., Nadaud, M., Ortiz, D., de Godoy, D. G., Vales, G., ... & Leclercq, A. (2019). *Listeria monocytogenes in seafood, retail markets and fish processing plants in Portugal*. Food Microbiology, 80, 16-24. doi:10.1016/j.fm.2019.01.003
- [11] Mena, K. D., & Gerba, C. P. (2009). *Risk assessment of Pseudomonas aeruginosa in drinking water*. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 201, 71-115. doi:10.1007/978-1-4419-0941-6_3
- [12] Todar, K. (2008). *Todar's Online Textbook of Bacteriology*. *Pseudomonas aeruginosa*. Retrieved from <http://textbookofbacteriology.net/pseudomonas.html>
- [13] Mfinanga, S. G., Morkve, O., & Sviland, L. (2004). *Survival of Mycobacterium tuberculosis in soil and water in relation to temperature, relative humidity and sunlight*. The Journal of Tuberculosis, 3(4), 284-293. doi:10.1016/j.tube.2004.05.003
- [14] Wuthiekanun, V., & Limmathurotsakul, D. (2017). *Burkholderia pseudomallei*. In *Reference Module in Biomedical Sciences*. Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-801238-3.10427-X
- [15] Beaman, B. L., & Beaman, L. (1994). *Nocardia species: host-parasite relationships*. Clinical Microbiology Reviews, 7(2), 213-264. doi:10.1128/CMR.7.2.213

[16] USDA NIFA. (n.d.). *Salmonella and Pathogenic E. coli in the Crop Production Environment: Potential Sources, Survival, and Management*. Recuperado de <https://www.nifa.usda.gov/sites/default/files/resource/Salmonella%20and%20Pathogenic%20E.%20coli%20in%20the%20Crop%20production%20environment%20508.pdf>

[17] ASM Journals. (n.d.). *One Health and Food-Borne Disease: Salmonella Transmission between Humans, Animals, and Plants*. Recuperado de <https://journals.asm.org/doi/10.1128/microbiolspec.oh-0020-2013>

[18] Adamowicz, M., & Michalski, H. (1991). *Survival of Escherichia coli in soil*. Environmental Science & Technology, 25(8), 1460-1463. (Nota: Si bien este es un artículo temprano, la persistencia de *E. coli* en el suelo es un tema bien establecido).

[19] AGQ Labs USA. (2023). *E.coli in soil: Causes and Call to Action*. Retrieved from <https://www.agqlabs.us.com/e-coli-in-soil-causes-and-call-to-action/>