

***Erwinia amylovora*: historia de una superbacteria**

Erwinia amylovora: story of a superbug

Daniel Alejandro de la Peña Baca, Carlos Horacio Acosta Muñiz y
Alejandro Romo Chacón

Resumen

Históricamente, el tizón de fuego (causado por la bacteria *Erwinia amylovora*) ha sido un referente en el estudio de enfermedades de plantas. La comprensión y el estudio de esta enfermedad han beneficiado a la fitopatología, además, ha propiciado avances importantes en otras ciencias como la biotecnología y la microbiología. Hoy en día, la creciente resistencia de esta bacteria frente a los antibióticos utilizados para su control alerta sobre el uso indebido de estos fármacos en la agricultura y expone el riesgo potencial que esto significa para la salud humana.

Palabras clave: tizón de fuego, resistencia, antibióticos, fitopatología.

CÓMO CITAR ESTE TEXTO

de la Peña Baca, Daniel Alejandro, Acosta Muñiz, Carlos Horacio y Romo Chacón Alejandro (2023, enero-febrero). *Erwinia amylovora*: historia de una superbacteria. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 24(1). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.1.4>

Abstract

Historically, fire blight (caused by the bacterium *Erwinia amylovora*) has been a benchmark in the study of plant diseases. The understanding and management of this disease has benefited phytopathology but has also led to important advances in other sciences such as biotechnology and microbiology. Today, the growing resistance of this bacterium to the antibiotics used to control it warns about the improper use of these drugs in agriculture and exposes the potential risk that this means for human health.

Keywords: fire blight, resistance, antibiotics, phytopathology.

Daniel Alejandro de la Peña Baca

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.

Egresado de la Universidad Autónoma de Chihuahua como Ingeniero en Producción y Comercialización Hortícola. Cuenta con una Maestría en Ciencias enfocada a la biotecnología agrícola por el CIAD A.C. (Unidad Cuauhtémoc, Chihuahua), instituto donde actualmente cursa el séptimo semestre como candidato a doctor en Ciencias. Su área de interés es la fitopatología, bacteriología, microbiología ambiental, biotecnología y biología molecular.

 alejandro.pena17@estudiantes.ciad.mx

 orcid.org/0000-0002-5047-7283

Carlos Horacio Acosta Muñiz

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.

Obtuvo el título de Químico Bacteriólogo Parasitólogo y la Maestría en Ciencia y Tecnología de los Alimentos por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Es doctor en Genética Microbiana por el Centre de Génétique Moléculaire du CNRS/Université Paris XI en Francia y realizó una estancia posdoctoral en el Departamento de Genética del CINVESTAV en Irapuato, México. Actualmente es Investigador Titular en el Laboratorio de Microbiología y Biología Molecular del CIAD A.C. Unidad Cuauhtémoc, Chihuahua y es miembro del SNI Nivel I. Su investigación está enfocada a la microbiología de alimentos, fitopatología, genética microbiana, proteómica e interacciones huésped-patógeno.

 cacosta@ciad.mx

 orcid.org/0000-0001-6329-3507

Alejandro Romo Chacón

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.

Graduado como Ingeniero en Producción y Comercialización Hortofrutícola por la Universidad Autónoma de Chihuahua, misma institución en la que obtuvo el grado de maestro en Ciencias con especialidad en Productividad Frutícola. Actualmente se encuentra adscrito al CIAD A.C. Unidad Cuauhtémoc, Chihuahua como Investigador Asociado, dirigiendo y coordinando proyectos de investigación en las áreas de agrobiotecnología, apicultura, fitopatología, control biológico y diagnóstico a través de técnicas moleculares.

 archacon13@ciad.mx

 orcid.org/0000-0002-3782-1940

Introducción

Los recientes eventos epidemiológicos reafirman la vulnerabilidad humana frente a los microbios que —sin exagerar— gobiernan el planeta y marcan el compás de la vida. Aunque contamos con aliados fundamentales en el mundo de lo microscópico, hemos librado batallas históricas contra estos seres, incluso cuando nuestro alimento se ve amenazado.

Con el desarrollo de la agricultura hace al menos 10,000 años, comenzó también la guerra contra las enfermedades que destruían las cosechas. En un principio estos eventos eran atribuidos a castigos divinos o maleficios enemigos. Sin embargo, entre los siglos XVIII y XIX se descubrió que al igual que en humanos, las plantas también se enferman a causa de hongos, virus y bacterias.

Las epidemias vegetales no son cosa menor. Desde el tizón tardío de la papa, responsable de la gran hambruna irlandesa, hasta los múltiples envenenamientos por el cornezuelo del centeno, existe una larga lista de enfermedades causadas en su mayoría por hongos. Pero, ¿qué hay de las bacterias? Aunque con un protagonismo menor, las bacterias son cruciales para la fitopatología (disciplina que estudia, diagnostica y trata las enfermedades de las plantas) y esta ciencia no podría explicarse sin hablar del tizón de fuego causado por *Erwinia amylovora* (figura 1).

Así pues, haremos un recorrido por la historia del tizón de fuego. Profundizaremos en los hallazgos científicos alrededor de esta temible y particularmente devastadora enfermedad, y abundaremos en los aportes que su estudio ha hecho para con la fitopatología. Por último, discutiremos el uso de antibióticos para su control y los problemas en torno a estos fármacos en la agricultura.

Figura 1. Colonias bacterianas de *E. amylovora* sobre medio, Miller & Schroth. Obtenido del archivo fotográfico de CIAD Unidad Cuauhtémoc.



El ántrax de los árboles frutales

El reporte más antiguo del tizón de fuego existe desde la última década del siglo XVIII y, al puro estilo de los clichés hollywoodenses, tuvo lugar en Nueva York. Todo el valle del río Hudson son tierras fértiles con grandes huertos frutales como perales, manzanos, membrillos y otros frutos botánicamente relacionados. Pues bien, son este grupo de plantas los principales afectados por el tizón de fuego. Los

productores y comerciantes de la época hablaban de un padecimiento que se extendía rápidamente por todo el valle (Baker, 1971). Las ramas completas de árboles se marchitaban y adquirían un color café cenizo, como si las hubiese atravesado una flama, de ahí el nombre que recibió la enfermedad. Un árbol aparentemente sano mostraba síntomas en pocas horas, y al cabo de los días, brotaba savia oscura y de olor fétido. Con frecuencia el árbol moría en unos meses (figura 2).

ántrax. Este descubrimiento cimentó las bases de la fitobacteriología (Griffith et al., 2003b).

En 1890, el fitopatólogo Merton B. Waite descubrió que el principal sitio de infección son las flores. Además, comprobó que la bacteria —para entonces renombrada *Bacillus amylovorus*—, puede ser dispersada por las abejas durante la polinización. Por primera vez se comprobó que un insecto podía ser vehículo de transmisión de una enfermedad bacteriana (Griffith et al., 2003a).

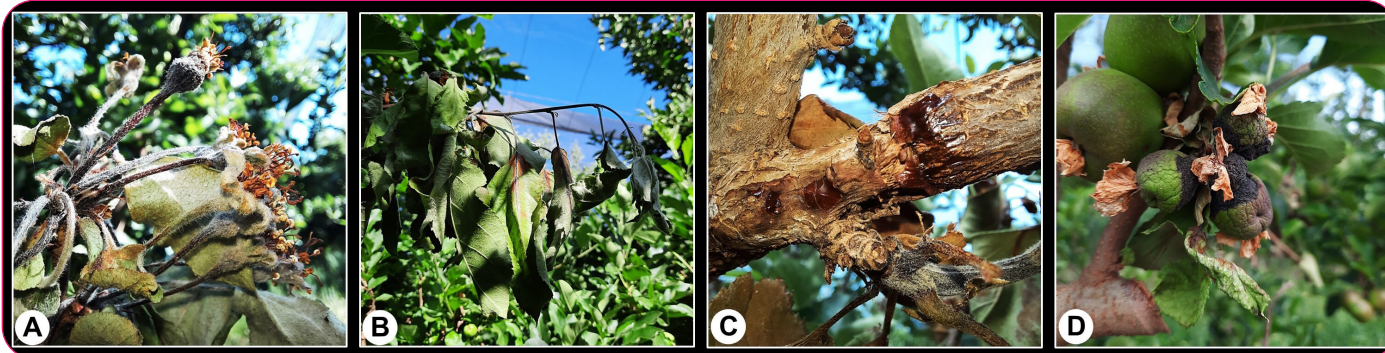


Figura 2. Signos y síntomas del tizón de fuego. A) Racimo floral marchito. B) Síntoma típico conocido como "cayado de pastor". C) Cancro con exudado bacteriano. D) Frutos inmaduros marchitos. Adaptado de de la Peña-Baca, 2022.

Los científicos no tardaron en buscar respuesta a tan aterrador padecimiento y plantearon varias hipótesis: se culpó a rayos, heladas tardías, granizo, insectos e incluso hongos microscópicos (Baker, 1971) —tenemos que aceptar que se acercaron bastante. Tras décadas de suposiciones, Thomas J. Burrill, botánico estadounidense, observó numerosas bacterias en el tejido enfermo —había descubierto al culpable. Publicó sus resultados en 1882 y nombró a la bacteria *Micrococcus amylovorus* (van der Zwet y Keil, 1979). Fue un hallazgo trascendental ya que por primera vez se comprobó que las bacterias también podían desarrollar enfermedades en las plantas, similar a lo que ocurre en animales, incluso lo comparó con el bacilo responsable del

Waite recomendó retirar las ramas dañadas, como técnica de control, podando por debajo de la zona afectada y quemando el material fuera del huerto. A esto se le conoce como poda de saneamiento y es una práctica muy común hoy en día para tratar enfermedades en árboles (figura 3). Ya en el siglo xx, el fitobacteriólogo Erwin F. Smith publicó uno de los estudios más completos sobre *B. amylovorus*. Tiempo después, la bacteria fue nuevamente renombrada, esta vez con el nombre *Erwinia amylovora*, en honor al mencionado científico (Baker, 1971).



Figura 3. Daños severos y poda de saneamiento. Izquierda: cuando las condiciones ambientales son adecuadas la enfermedad progresa rápidamente. Obtenido del archivo fotográfico de CIAD Unidad Cuauhtémoc. Derecha: cuando la infección es severa, la poda de saneamiento es la única alternativa. Adaptado de *Fire blight* [Fotografía], [Flickr](#).

Una enfermedad cosmopolita

Las eficientes y modernas vías de comunicación facilitan la propagación de enfermedades —con la reciente pandemia seguro te diste cuenta— y el tizón de fuego es una de ellas. La enfermedad se extendió hasta la costa oeste de Estados Unidos y de ahí no tardó en cruzar las fronteras, llegando a Canadá, México y el continente europeo. Actualmente se encuentra en al menos cincuenta países, todos ellos, excepto Nueva Zelanda, situados en el hemisferio norte (van der Zwet et al., 2016). Existen muchas hipótesis que buscan explicar la razón por la cual la enfermedad no tiene presencia en el hemisferio sur, pero esa es “harina de otro costal”.

A lo largo de su historia, el tizón de fuego ha causado pérdidas económicas incalculables. Por ejemplo, en California, EUA, entre 1905 y 1908 la enfermedad destruyó dos tercios de los perales plantados —algo así como 250 mil árboles. Sin embargo, la fama como “la enfermedad vegetal más temida del mundo” la ganó en 1997, en la región de Emilia-Romaña, Italia, pues acabó con más de 500 mil árboles frutales (Vanneste, 2000). Actualmente,

Estados Unidos reporta daños hasta por 100 millones de dólares anuales, mientras que Canadá lo hace por unos 10 millones, cifra similar a lo reportado por Nueva Zelanda (Norelli et al., 2003). En México la enfermedad tiene presencia en varios estados del país, pero es especialmente estudiada en Chihuahua, región que lidera la producción de manzana nacional. Sin embargo, las pérdidas económicas son difíciles de estimar pues las infecciones son variables e intermitentes.

La esperanza de mitad de siglo

Dicen que “con la enfermedad viene el remedio” y con el tizón de fuego no ha sido la excepción —o al menos hemos hecho el intento. Tras la implementación de la poda sanitaria, se adoptaron otras técnicas para reducir la enfermedad en el huerto, como evitar la humedad excesiva y propiciar el paso del aire y la luz solar: se podría decir que el sol fue el primer bactericida. A finales del siglo XIX se descubrió que el cobre funcionaba para tratar ciertas enfermedades en plantas, principalmente aquellas ocasionadas por hongos. Rápidamente fue probado contra el tizón de fuego y por casi 50 años fue el ingrediente principal de decenas de tratamientos contra la enfermedad, aunque su efectividad resulta cuestionable (Psallidas y Tsiantos, 2000). Hoy en día, la evidencia indica que el cobre puede acumularse en el suelo y agua, aumentando el riesgo de toxicidad (Lamichhane et al., 2018). Tras el desarrollo de los antibióticos en 1928, la guerra contra las bacterias

tomó otro ritmo y la balanza parecía inclinarse a nuestro favor. De esta forma, en 1952 se utilizó por primera vez la estreptomycin en la agricultura —y sí, como seguramente lo sospechas fue contra el tizón de fuego. Este antibiótico fue recibido como un milagro ya que, a diferencia del cobre, era muy efectivo a dosis pequeñas y no tenía problemas de toxicidad. Hoy en día, la estreptomycin es el antibiótico de uso agrícola más utilizado en el mundo (Stockwell y Duffy, 2012).

Se derrumba el milagro

Mientras la estreptomycin mantenía los cultivos sanos, también era el fármaco de primera línea para combatir a *Mycobacterium tuberculosis* en humanos. El milagro duró muy poco, rápidamente se registraron mutaciones en laboratorios y hospitales y la estreptomycin perdió efectividad contra la tuberculosis (Honoré y Cole, 1994). Esto fue un mal augurio para los agricultores y solo 10 años después de autorizado su uso, el tizón de fuego mostró resistencia a la estreptomycin. Hoy en día, la resistencia es reportada en todos los países que presentan la enfermedad, lo que frecuentemente obliga a productores a aumentar la dosis de tratamiento, empeorando la situación (Jones y Schnabel, 2000).

Para atenuar este problema se exploraron otras opciones para controlar el tizón de fuego. Fue así como en los años 70s se aprobó el uso agrícola de la oxitetraciclina. Este antibiótico es utilizado en mezcla con la estreptomycin, pues así es más efectivo y retrasa la aparición de resistencia (Stockwell y Duffy, 2012).

Sin embargo, se trata de un fármaco muy utilizado contra un gran número de enfermedades bacterianas en la medicina humana y veterinaria. Por ahora no se ha reportado resistencia en *E. amylovora* para este antibiótico, pero su uso se está extendiendo y puede ser cuestión de tiempo para que aparezca.

De igual forma, México aprueba el uso agrícola de la gentamicina. Este antibiótico es muy efectivo contra el tizón de fuego, pero también es una potente arma contra enfermedades bacterianas de importancia clínica (Norelli et al., 2003). Y aunque la resistencia a este fármaco se considera “poco probable”, el fantasma de la tuberculosis sigue presente. Actualmente se está evaluando la efectividad de otros antibióticos con potencial agrícola en México como kasugamicina y ácido oxolínico —por mencionar dos de la lista—, y tal como sucedió en los cincuenta con la estreptomycin, *E. amylovora* parece ser la “prueba de fuego”.

Entrenando superbacterias

El antibiótico adecuado, así como la dosis y duración del tratamiento, son establecidos con base en largas investigaciones científicas para asegurar así su efectividad. Si el tratamiento es modificado o no se usa por el tiempo adecuado, es posible que la infección no termine y las bacterias que lograron sobrevivir serán más resistentes —imagina que son sobrevivientes a un duro entrenamiento, el cual podrán superar fácilmente la próxima ocasión,

entenderás entonces porque el médico insiste en la importancia de terminar el tratamiento aun cuando ya te sientas mejor, o más importante, no automedicarse.

Los huertos albergan una variedad increíble de microorganismos. Además de patógenos, encontramos bacterias benéficas para las plantas, pero también otras especies potencialmente peligrosas para animales, incluyendo el ser humano. El rociar los cultivos con antibióticos afecta la microbiota bacteriana en conjunto y de forma poco selectiva. El uso inadecuado de estos fármacos propicia la resistencia a través de mutaciones en su ADN (McManus et al., 2002). Por si esto fuera poco, de

la misma forma que un profesor transfiere conocimientos al alumno, la resistencia puede ser transferida a otras bacterias que interactúan en el huerto, incluso de otras especies (figura 4). Ya sea natural o adquirida, un grupo de bacterias puede desarrollar resistencia a varios antibióticos simultáneamente (Barrantes-Jiménez et al., 2022). A estos microorganismos se les conoce como superbacterias (Mejía et al., 2019) y son un "dolor de cabeza" para médicos, veterinarios y agricultores, pues combatirlos resulta cada vez más difícil y costoso.

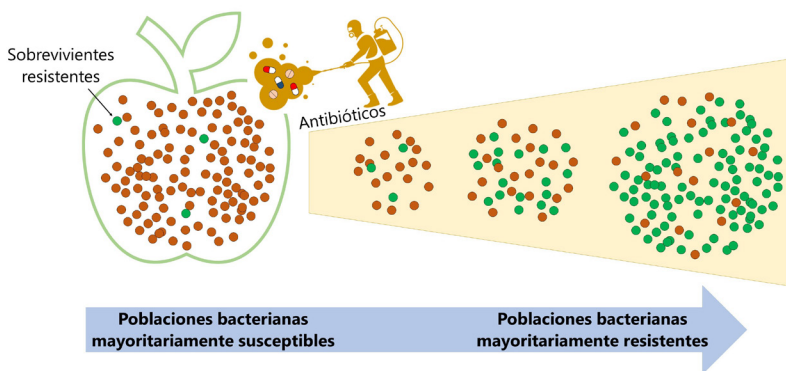
Es claro que el uso de antibióticos en la agricultura es menor en variedad y cantidad a lo utilizado en medicina humana o veterinaria, sin embargo, esto no deja de ser preocupante. La aplicación de estos productos suele realizarse en superficies muy extensas sin confinamiento o delimitación alguna. A diferencia de los antibióticos clínicos, los de uso agrícola no requieren asesoría especializada para su prescripción, es decir, son de venta libre. Por si fuera poco, la calidad y pureza de estos fármacos es sustancialmente menor a los de uso humano y su dosificación a menudo se realiza "al tanteo", —no es descabellado pensar en huertos y parcelas como campos de entrenamiento para superbacterias ¿verdad? (figura 5).

Cambio de paradigma

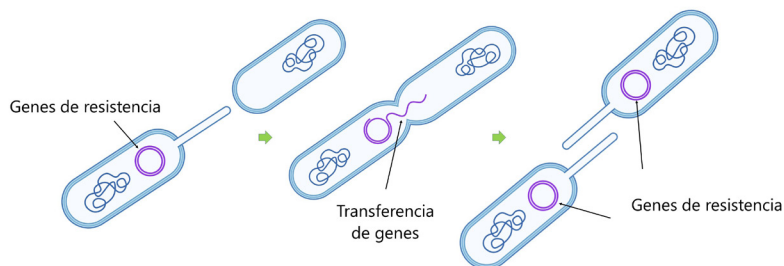
Pasemos del escenario apocalíptico a las propuestas y soluciones. La realidad es que los antibióticos son una herramienta muy útil para la agricultura y bajo los

Figura 4. Tipos de resistencia bacteriana frente a los antibióticos. A) La resistencia de las bacterias a los antibióticos puede ocurrir por mutaciones en el ADN (resistencia espontánea o natural). B) La transferencia de ADN entre una bacteria resistente y una sensible se conoce como transferencia horizontal o resistencia adquirida. Fuente: Elaboración propia.

a) Resistencia Natural



b) Resistencia Adquirida



esquemas de producción actual son imprescindibles. Entonces ¿qué hacer? Un número considerable de científicos en el mundo desarrollan nuevas técnicas para el manejo de las enfermedades bacterianas en los huertos, una vez más, utilizando al tizón de fuego como conejillo de indias.

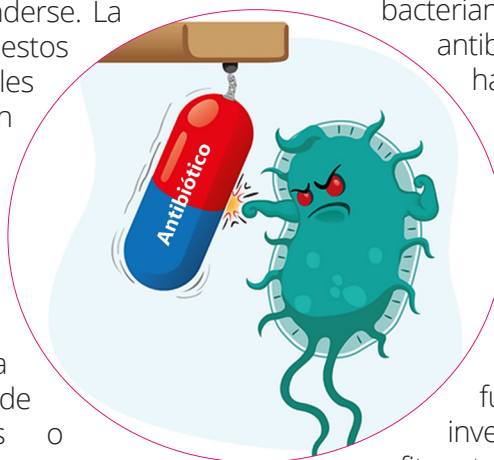
Algunos proyectos buscan utilizar otros microorganismos que cohabitan con *E. amylovora* en el huerto, compiten contra ella por nutrientes e incluso algunos producen antibióticos naturales para defenderse. La diferencia es que estos enemigos naturales no representan un riesgo para las plantas o animales. Esta estrategia se conoce como control biológico (Dagher et al., 2020). Otra estrategia utiliza extractos de plantas aromáticas o aceites esenciales capaces de inhibir al tizón de fuego sin afectar el medio ambiente (Romo-Chacón et al., 2011). Así mismo, mediante mejoramiento genético se han desarrollado árboles frutales capaces de resistir la enfermedad y actualmente se encuentran en fase experimental (Norelli y Aldwinckle, 2000).

Estas propuestas buscan que la producción de alimentos dependa cada vez menos de los antibióticos sintéticos. Pero no es suficiente, es necesario endurecer las regulaciones en torno a estos fármacos y exigir que su uso vaya de la mano con asesoría especializada. Estas acciones en

conjunto contribuirán a retrasar la aparición de superbacterias.

Conclusiones

Doscientos años han transcurrido desde aquel primer avistamiento en Nueva York, y la solución —como espejismo en el desierto—, parece estar más lejos de lo advertido. Sin embargo, recordemos que lo importante de llegar a la meta es lo aprendido en el camino. Las bacterias como patógenos de plantas, los insectos como portadores de enfermedades bacterianas y el desarrollo de antibióticos agrícolas, son hallazgos obtenidos a través del extenso camino recorrido para entender y manejar el tizón de fuego. Además, las interrogantes en torno a esta enfermedad fundamentan futuras investigaciones en la fitopatología, pero también en otras áreas de la ciencia, pues como ya se ha expuesto, estos temas no son ajenos de la medicina humana y deben estudiarse de forma integral. El uso inadecuado de los antibióticos vulnera nuestra principal defensa frente a una potencial epidemia. La disponibilidad de alimentos y la salud pública dependen en buena medida de la efectividad de estos fármacos.



Referencias

- ❖ Baker, K. (1971). Fire blight of pome fruits: the genesis of the concept that bacteria can be pathogenic to plants. *Hilgardia*, 40(18), 603-633. <https://doi.org/10.3733/hilg.v40n18p603>
- ❖ Barrantes-Jiménez, K., Chacón-Jiménez, L., y Arias-Andrés, M. (2022). El impacto de la resistencia a los antibióticos en el desarrollo sostenible. *Población y Salud en Mesoamérica*, 19(2), 305-329. <https://doi.org/10.15517/psm.v0i19.47590>
- ❖ Dagher, F., Olishchevska, S., Philion, V., Zheng, J., y Déziel, E. (2020). Development of a novel biological control agent targeting the phytopathogen *Erwinia amylovora*. *Heliyon*, 6(10), e05222. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05222>
- ❖ de la Peña-Baca, D.A., Romo-Chacón, A., Rios-Velasco, C., Olivas-Orozco, G. I., Ornelas-Paz, J. de J. y Acosta-Muñiz, C. H. (2022). Primary inoculum of *Erwinia amylovora*: alternative sources and viable but non-culturable state: A review. *Journal of Plant Diseases and Protection*. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00674-9>
- ❖ Griffith, C. S., Sutton, T. B., y Peterson, P. D. (2003a). Merton Benway Waite. En C. S. Griffith, T. B. Sutton, y P. D. Peterson (Eds.), *Fire blight: the foundation of phyto bacteriology* (pp. 94-125). American Phytopathological Society (APS Press).
- ❖ Griffith, C. S., Sutton, T. B., y Peterson, P. D. (2003b). Thomas Jonathan Burrill. En C. S. Griffith, T. B. Sutton, y P. D. Peterson (Eds.), *Fire blight: the foundation of phyto bacteriology* (pp. 11-60). American Phytopathological Society (APS Press).
- ❖ Honoré, N., y Cole, S. T. (1994). Streptomycin resistance in mycobacteria. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 38(2), 238-242. <https://doi.org/10.1128/AAC.38.2.238>
- ❖ Jones, A. L., y Schnabel, E. L. (2000). The development of streptomycin-resistant strains of *Erwinia amylovora*. En J. L. Vanneste (Ed.), *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora* (pp. 235-251). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851992945.0000>
- ❖ Lamichhane, J. R., Osdaghi, E., Behlau, F., Köhl, J., Jones, J. B., y Aubertot, J. N. (2018). Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>
- ❖ McManus, P. S., Stockwell, V. O., Sundin, G. W., y Jones, A. L. (2002). Antibiotic use in plant agriculture. *Annual review of phytopathology*, 40(1), 443-465. <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.40.120301.093927>
- ❖ Mejía, M. F. A., Arcos, O. V., y Villegas, J. A. A. (2019). Resistencia a antibióticos; una perspectiva. *Medicina e Investigación Universidad Autónoma del Estado de México*, 7(2), 55-60. <https://medicinainvestigacion.uaemex.mx/article/view/18926/14004>
- ❖ Norelli, J. L., Jones, A. L., y Aldwinckle, H. S. (2003). Fire blight management in the twenty-first century: using new technologies that enhance host resistance in apple. *Plant Disease*, 87(7), 756-765. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.7.756>

❖ Psallidas, P. G., y Tsiantos, J. (2000). Chemical control of fire blight. En J. L. Vanneste (Ed.), *Fire blight: the disease and its causative agent, Erwinia amylovora* (pp. 197-234). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851992945.0000>

❖ Romo-Chacón, A., Berlanga-Reyes, D. I., Guerrero-Prieto, V. M., Martínez-Campos, R., Romero-Gómez, S., y Ramírez-Legarreta, M. R. (2011). Management of *Erwinia amylovora* with Oregano (*Lippia berlandieri*) Essential Oil and Resistance Study to Streptomycin on Apple Trees cv.'Golden Delicious'. *Revista mexicana de fitopatología*, 29(2), 119-132. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v29n2/v29n2a4.pdf>

❖ Stockwell, V., y Duffy, B. (2012). Use of antibiotics in plant agriculture. *Revue Scientifique Et Technique-Office International Des Epizooties*, 31(1), 199-210. <https://doi.org/10.20506/rst.31.1.2104>

❖ van der Zwet, T., y Keil, H. L. (1979). Historical review. En T. van der Zwet, y H. L. Keil (Eds.), *Fire blight: A bacterial disease of rosaceous plants* (pp. 2-9). US Department of Agriculture. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79714375/PDF>

❖ van der Zwet, T., Orolaza-Halbrendt, N., y Zeller, W. (2016). Spread and Current Distribution of Fire Blight. En T. van der Zwet, N. Orolaza-Halbrendt, y W. Zeller (Eds.), *Fire Blight: History, Biology, and Management* (pp. 15-36). American Phytopathological Society (APS Press). <https://doi.org/10.1094/9780890544839.003>

❖ Vanneste, J. L. (2000). What is Fire Blight? Who is *Erwinia amylovora*? How to Control It?. En J. L. Vanneste (Ed.), *Fire blight:*

the disease and its causative agent, Erwinia amylovora (pp. 37-53). CABI Publishing. <https://doi.org/10.1079/9780851992945.0000>

Material audiovisual sugerido

❖ FAO. (2017). La agricultura en la prevención del desarrollo de la resistencia a los antimicrobianos. #UNFAO. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=SfS3HRR3G1s>

