

Microbios al ataque: ¿cómo se defienden las plantas?

MARCO M. PLANCARTE DE LA TORRE

Marco M. Plancarte de la Torre y Kena Casarrubias Castillo

Resumen: Las plantas están expuestas a sufrir infecciones por hongos, bacterias y virus, así que el reino vegetal no se escapa de las enfermedades, y por esta causa anualmente hay pérdidas millonarias de diferentes cultivos en el mundo. Sin embargo, las plantas también cuentan con un sistema inmune muy eficiente que logra protegerlas de la mayor parte de esas amenazas. Comprender los fundamentos de sus mecanismos de defensa nos permitirá desarrollar mejores estrategias para la protección de cultivos, en beneficio de la conservación de variedades vegetales y a fin de asegurar una suficiente producción de alimentos para la población mundial.

Palabras clave: inmunidad vegetal, fitopatología, seguridad alimentaria.

Maayat'aan (maya): Ik'elo'ob wáaj microbio'ob ku loobilo'ob: bix u tokikubáaj paak'alo'ob

Kóom ts'íbil meyaj: Ku béeytal u tsa'ayal tí' le paak'alo'ob k'oja'anilo'ob táasbilak tumen ik'elo'ob je'ex hongó'ob, bacteria'ob yéetel virus, bey túuna' le múuch' che'ob yéetel paak'alo'ob mun puts'ulo'ob tí' k'oja'anilo'ob, lebetike' ja'abun ja'ab ku máane' ya'ab millonesil táak'in ku sa'atal ich u paak'alil yóok'olkaab. Ba'ale' yaan xan tí' le paak'alo'ob u múuk'il tí'al u tokikuba'ob ol tí' tuláakal talamil wáaj loobil. K utsil na'atik tu'ux u taal ba'ax yéetel ku tokikuba'obe' bin áantik xan k kaxtik k ma'alobkuntik u kanáanil paak'alo'ob, tí'al k kanáantik ma' u ch'éjel jejeláas ch'íibal paak'al yéetel k táan óoltik u ts'áaik u yich tí'al ka yanak nonoj janalbe'eno'ob tí'al tuláakal wíinik yóok'olkaab.

Áantaj t'aano'ob: u tokikubáaj páak'al, fitopatología, nonoj janalbe'eno'ob.

Bats'i k'op (tsotsil): Bik'itik taj yalel chanuletik slikeb chamel žk'uxi ta xil sba mu'yukuk xchamel li vomoletike?

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: oy oxtos bik'tal taj yalel chanuletik mu xkiltik ta jsatik ja' ta xlik tal yu'un xchamel li vomoletike, stekel li vomoletike mu xkol ta chamel eke, ta jujun abil ta xljaj yu'un ep ta chop ts'unobaletik ta sjunul banamil ja' yu'un ep ta xch'ay tak'in ta skoj taje. Xu' xkaltik, li vomoletike oy yip stsatsal ek sna' xil sbaik k'alal mi tal chamel ta sbaike. Sna'el lek smelol k'u yelan ta xil sbaik li vomoletike ta jna'betik smelolal k'u yelan xu' ta jmakbetik xchamel li ts'unobaletike, jech mu xljaj k'u yepal oy ts'unobaletik itajetik xch'íuk oyuk ve'lil x-epajuk tal ta stojolal jnaklumetik ta banamile.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: k'u yelan ta xil sba mu'yukuk xchamel li itajetike, xchanel k'u yelan ta yilel xch'íuk smakel xchamel li vomoletike, yilel sk'elel mu xch'ayuk li ve'lile.

Las primeras plantas que habitaron los ambientes terrestres del planeta aparecieron hace aproximadamente 500 millones de años; desde entonces no solo han logrado sobrevivir y diversificarse en cerca de 300 mil especies diferentes, sino que han transformado la Tierra haciéndola más propicia para la existencia de otros seres vivos. Y no solo hacen posible nuestra vida al ser una fuente primordial de alimento, también la hacen más cómoda al proveernos de materiales para vestido, vivienda y medicamentos.

No debería asombrarnos el hecho de que las plantas son susceptibles de infectarse

por agentes microscópicos (hongos, bacterias y virus), igual que ocurre con el reino animal, seres humanos incluidos. Raíces, hojas, frutos, flores y cualquier componente vegetal pueden ser afectados con diversas consecuencias, como interferencias con la fotosíntesis o con la reproducción. Afortunadamente, sus mecanismos defensivos resultan muy eficientes, aunque conocerlos es importante para intervenir en casos necesarios.

Las “indefensas” plantas

A diferencia de los animales, las plantas no pueden desplazarse de un lugar a otro, lo

cual les impide huir de posibles amenazas. Debido a esto se encuentran sometidas a un constante estrés, pues son acechadas por diferentes agentes, desde virus, bacterias y hongos, hasta plagas de insectos y gusanos, y desde luego, grandes animales herbívoros que buscan alimentarse de ellas.

Aunque a primera vista podría parecer que se encuentran indefensas ante todas estas agresiones, nada más lejos de la realidad. A lo largo de los 500 millones de años que llevan habitando los ambientes terrestres, han desarrollado una amplia variedad de mecanismos de defensa para protegerse de los ataques de sus enemigos; de hecho, de todos los virus¹ y microorganismos que lleguen a tener contacto con una planta, solo aquellos que evitan ser reconocidos o que son capaces de suprimir sus mecanismos de defensa, logran infectarla y enfermarla.

Lo primero que se necesita es que los microscópicos agentes accedan a su interior, lo que puede ocurrir si penetran directamente en la superficie vegetal aprovechando sus eventuales heridas físicas o las aberturas naturales, como los estomas localizados en



MARCO M. PLANCARIE DE LA TORRE

¹ No calificamos como organismos a los virus, pues aunque tienen material genético, no se consideran seres vivos (Véase, “Los virus, ni vivos ni muertos”, en *Ecofronteras* 69, bit.ly/469weOn). En este artículo los incluimos dentro del término “microbios” por facilidad, aunque en realidad no lo son.

las hojas (orificios microscópicos mediante los cuales las plantas “respiran”). El ingreso también se facilita con la ayuda de insectos vectores que pican las hojas para alimentarse de sus contenidos nutritivos, y entonces les introducen microbios.

Este primer requisito para la infección muchas veces se evita gracias a las barreras físicas, como las espinas, la gruesa cutícula cerosa de las hojas en algunos casos, o bien, la cubierta leñosa característica de troncos y ramas. Además, numerosas plantas han desarrollado una variedad de compuestos químicos que se liberan cuando sufren daño, por ejemplo, cuando son masticadas por algún herbívoro. Entonces, los insectos que intentan alimentarse de ellas pueden quedar atrapados en sustancias pegajosas, o los animales más grandes se llevarán una desagradable sorpresa

al percibir su mal sabor, e incluso pueden ser tóxicas o venenosas.

Como es de esperarse, estas barreras consiguen su cometido en muchas ocasiones, aunque a veces son superadas por los virus y por diversos organismos, sobre todo por los más pequeños, como las bacterias y los hongos. De todos modos, los agentes microscópicos se enfrentan a un obstáculo más antes de alcanzar el interior de las células de las hojas para atacarlas desde dentro: la pared celular, que es una cubierta rígida que recubre a cada una de las células de la planta.

Sistema inmune de las plantas: un equipo de vigilancia

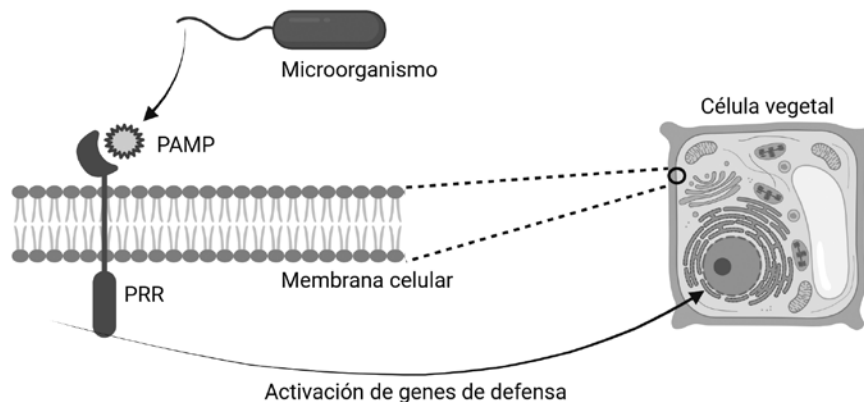
Como ya quedó establecido, los hongos, las bacterias y los virus son capaces de superar las barreras físicas de las plantas y lle-

gar a la pared celular; aun así, esto no es sinónimo de infección y enfermedad. Lo que casi siempre ocurre es que la célula vegetal reconoce la presencia de un microbio potencialmente perjudicial y logra eliminarlo antes de que cause un daño mayor.

Pero ¿cómo se dan cuenta las células vegetales de la presencia de dichas entidades perniciosas? Lo perciben mediante dos vías diferentes, ambas basadas en cómo las llamadas proteínas receptoras de la célula, ubicadas ya sea en la membrana o en su interior, reconocen ciertas moléculas de los microbios.

La primera vía es lo que se conoce como inmunidad basal o inmunidad activada por patrones (PTI, por sus siglas en inglés) (figura 1). Las proteínas receptoras se localizan en la superficie de la membrana celular y funcionan como antenas que, al percibir

PTI



ETI

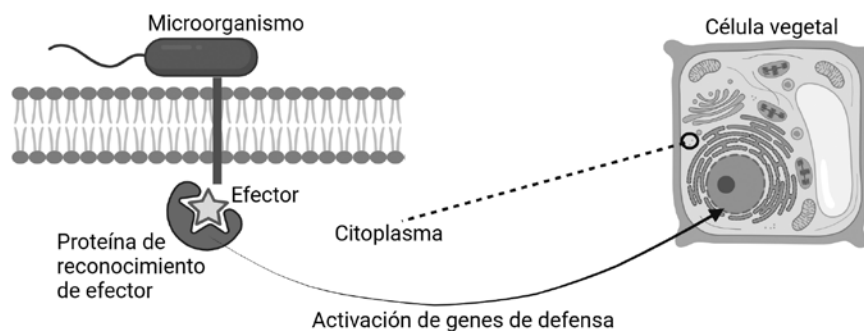


Figura 1. Diagrama simplificado de las dos vías de acción del sistema inmune vegetal. En la inmunidad activada por patrones (PTI), las moléculas conservadas que están presentes en una amplia gama de microorganismos (PAMP) son reconocidas por proteínas de reconocimiento de patrones (PRR) localizadas en la membrana de la célula vegetal. En la inmunidad activada por efectores (ETI), los microorganismos inyectan a la célula vegetal proteínas efectoras específicas que pueden ser reconocidas por proteínas de reconocimiento localizadas en el citoplasma. En cualquiera de los dos casos, el resultado es la activación de genes de defensa con respuestas similares, aunque más intensas en el caso de la ETI.

Created in BioRender.com bio

la presencia de un microorganismo, envían una señal al interior de la célula para que se ponga en marcha todo un mecanismo de defensa que pretende terminar con la amenaza. El nombre puntual de las heroicas proteínas es "receptores de reconocimiento de patrones" (PRRs, por sus siglas en inglés), que tienen la capacidad de identificar moléculas comunes de los microbios, es decir, las que son parte de una muy amplia variedad de microorganismos, mismos que no se pueden deshacer de ellas porque son indispensables, así que no logran pasar desapercibidos y la célula vegetal los reconoce.

En el caso de los hongos, un ejemplo de esas moléculas es la quitina, un tipo de carbohidrato que es el principal componente de las paredes celulares de todos los integrantes del reino Fungi. De las bacterias podemos mencionar la flagelina, una proteína que es el componente más importante de los flagelos (estructuras de desplazamiento). Todas estas moléculas indispensables para los microbios y susceptibles de ser reconocidas por la planta reciben el nombre genérico de "patrones moleculares asociados a patógenos" (PAMP, por sus siglas en inglés).

En una revisión del tema publicada por el fisiólogo vegetal Minhang Yuan y su equipo en 2021, se explica que al darse el reconocimiento descrito anteriormente, se desencadena una serie de reacciones al interior de la célula que culminan con la activación de genes de defensa. Con esta

activación suceden varios cambios, entre otros: el pH del entorno se hace más alcalino, y por lo tanto, menos apto para los microbios; se cierran los estomas; se produce callosa, una sustancia que forma un "callo" alrededor de las células, y también se generan sustancias oxidantes, tanto para eliminar directamente a los microbios como para fortalecer la pared celular y restringir el movimiento de los mismos.

La carrera armamentista de plantas y microbios

La evolución ha llevado a ciertos agentes microscópicos a desarrollar estrategias para evadir todas las defensas mencionadas e inyectar en la célula vegetal una batería de proteínas denominadas efectores, los cuales contribuyen al desarrollo de la enfermedad. Pero la evolución es tan maravillosa que, como si fuera una carrera armamentista, algunas plantas han perfeccionado, a su vez, mecanismos para contrarrestar a estos microbios.

Aquí entra en acción la segunda vía de reconocimiento de agentes infecciosos, en la que participan las proteínas receptoras del interior de la célula que pueden reconocer algunas moléculas efectoras de los microbios causantes de enfermedades. A diferencia de los PAMP, estas proteínas efectoras solo se encuentran en pocas especies y varían mucho de una a otra, es decir, que son específicas de cada especie que las presenta. Otra de sus diferencias respecto a los PAMP es

que no son indispensables para la supervivencia de los microbios, por lo que eventualmente, una vez más por medio de la evolución, pueden deshacerse de ellas o modificarlas para evitar que las células vegetales las reconozcan. A esta segunda vía de reconocimiento se le denomina inmunidad activada por efectores (ETI, por sus siglas en inglés) (figura 1).

Las respuestas de la planta cuando reconoce a las proteínas efectoras de los agentes infecciosos por medio de la ETI son similares a las que se manifiestan en la PTI, pero con una intensidad mayor. Además de esas respuestas, en la ETI también ocurre lo que se ha llamado *respuesta hipersensible*; en esta se involucra la muerte celular programada de las células que se encuentran alrededor del sitio de infección. En otras palabras, es como si las células se suicidaran, y aunque esto en principio podría parecer malo, en realidad es benéfico para la planta. Recordemos que una sola hoja está formada por millones y millones de células, de manera que perder unas cuantas no le afecta a la planta completa; en cambio, al deshacerse de las células infectadas está eliminando al microbio y librándose de una infección mayor.

Pero eso no es todo, de acuerdo al ecólogo Matthias Erb, cuando una planta detecta la presencia de un microorganismo infeccioso, ya sea a través de la PTI o de la ETI, también produce diversas sustancias, como ácido salicílico y otras, cuya función es llegar a todas las partes de la planta (incluso a las más alejadas del sitio de infección), a través de su sistema vascular. Lo más sorprendente es que estas sustancias incluso alcanzan a las plantas vecinas por medio de compuestos volátiles que se transportan por el aire; la finalidad es "advertirles" a las vecinas que los agentes infecciosos están rondando. Así, tanto las otras partes de la planta infectada, como las plantas vecinas, activarán sus defensas. A este fenómeno se le conoce como *priming* y es más o menos similar a lo que provocan las vacunas en animales, aunque con un principio diferente.



HUMBERTO BAHENA

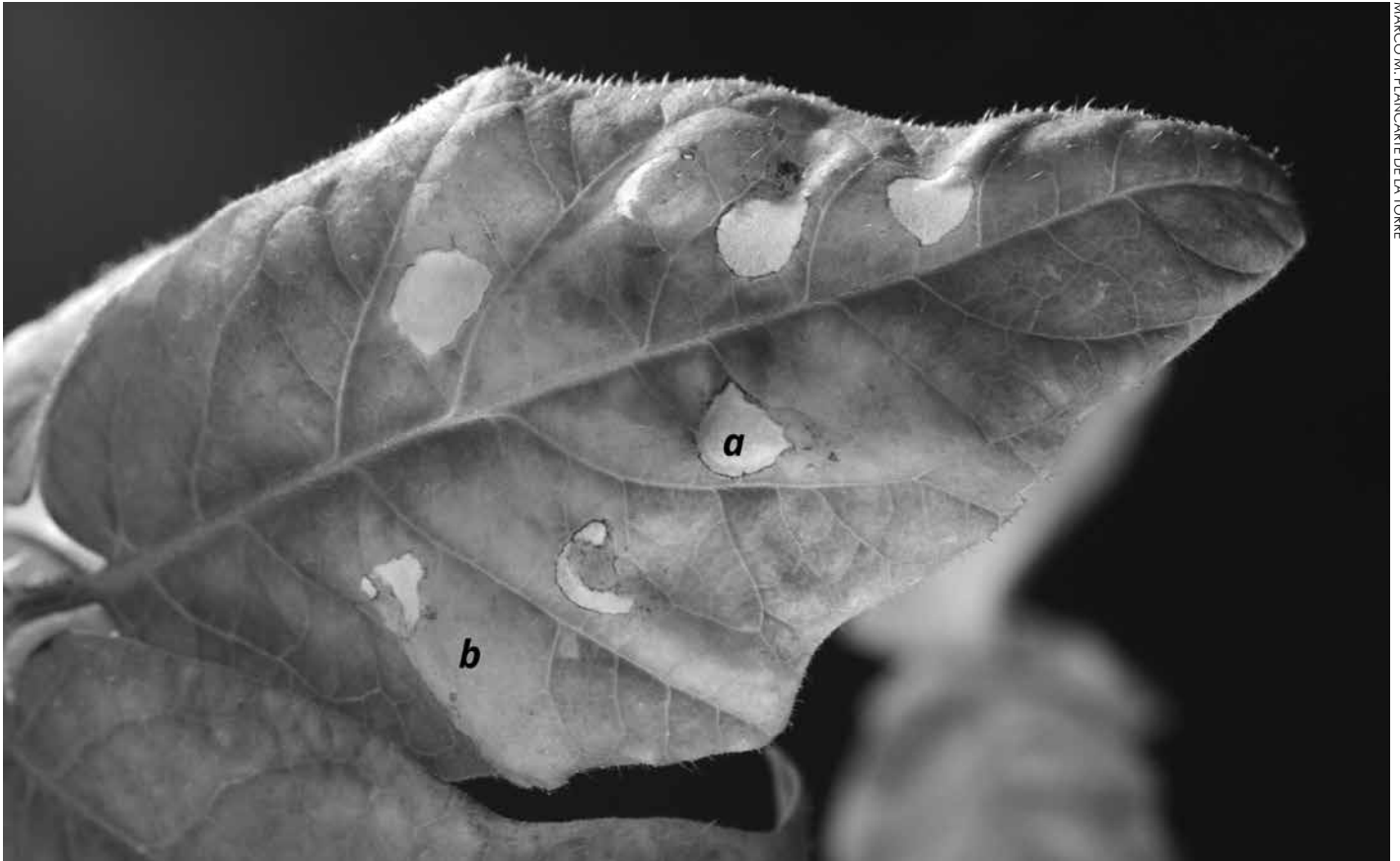


Figura 2. Hoja de jitomate (*Solanum lycopersicum*) infectada por la bacteria *Pseudomonas syringae* pv. *tomato*. Se aprecian los puntos de infección donde la planta desarrolló respuesta hipersensible y muerte celular programada: zonas blancas (a); y las zonas donde se desarrolló clorosis que es un síntoma típico de infección por bacterias: zonas amarillas (b). Tomada de Plancarte-De la Torre, M. M., Núñez-Palenius, H. G., y Gómez-Lim, M. A. (2016). Tomato transformation with genes involved in plant immunity to confer broad resistance against bacteria. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(4), 349-358.

Aún queda mucho por descubrir

Como podemos ver, las plantas cuentan con una amplia variedad de estrategias para defenderse de posibles infecciones; sin embargo, existen virus, bacterias y hongos que logran superar todas esas defensas y consiguen causar enfermedades (figura 2). Las consecuencias pueden ser graves también para el ser humano, ya que las enfermedades vegetales son fuente de pérdidas completas de cosechas.

De ahí la importancia de conocer cómo funciona el sistema inmune de las plantas, y aunque ya se conocen muchos de sus mecanismos, aún queda mucho por descubrir y constantemente hay nuevos hallazgos. Por ejemplo, la doctora Mar Sobral y su equipo de la Universidad de Santiago de Compostela en España han encontrado que la herbivoría experimentada por una planta madre induce fuerte y directamente las defensas, tanto físicas como químicas, en su

progenie; en pocas palabras, las respuestas de defensa son heredables.

Ahondar en esto sería tema de otro artículo, pero lo esbozamos para mostrar el campo fértil del tema en cuanto a futuras investigaciones que permitan desarrollar mejores estrategias para proteger contra enfermedades a los cultivos de importancia agrícola, ayudando así a evitar la pérdida de variedades y produciendo más alimentos y de mejor calidad, en beneficio de la creciente población mundial. 🌱

Bibliografía

- Erb, M. (2018). Volatiles as inducers and suppressors of plant defense and immunity - origins, specificity, perception and signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, (44), 117-121.
- Sobral, M., Sampedro, L., Neylan, I. et al. (2021). Phenotypic plasticity in plant defense across life stages: Inducibility, transgenerational induction, and transgenerational priming in wild radish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(33), e2005865118.
- Yuan, M., Ngou, B. P. M., Ding, P., y Xin, X. F. (2021). PTI-ETI crosstalk: an integrative view of plant immunity. *Current Opinion in Plant Biology*, (62), 102030.

Marco M. Plancarte de la Torre realiza una estancia postdoctoral en la Universidad de Guadalajara (Jalisco, México) | marco.plancarte@academicos.udg.mx | <https://orcid.org/0000-0001-9447-9398>
Kena Casarrubias Castillo es Profesora Investigadora de la Universidad de Guadalajara (Jalisco, México) | kena.casarrubias@academicos.udg.mx | <https://orcid.org/0000-0003-1831-8642>