

# Inmunidad vegetal: Un recorrido a través de las defensas invisibles de las plantas

Claudia Martínez Anaya

La Dra. Claudia Martínez Anaya es investigadora titular del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y miembro de la Academia de Ciencias de Morelos. Su tema de investigación es la determinación de la función de proteínas que permiten la colonización de patógenos de plantas, y la descripción de la interacción planta-microorganismo.

*Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.*

## Las plantas que nos rodean

Si se mira alrededor, y sobre todo en Cuernavaca, todavía podemos apreciar áreas arboladas y verdes que decoran la ciudad y los jardines, además de las plantas de ornato de los espacios interiores en casas y oficinas. Y si nos detenemos a pensar un momento, nos daremos cuenta de que parecería que nuestras plantas siempre están allí, sanas y felices, siempre y cuando recordemos regarlas y asegurarnos de que reciban suficiente luz. La

salud de las plantas de exterior varía dependiendo de las condiciones ambientales, y esto es muy claro en la época seca, que finalmente mejora una vez que comienzan las lluvias. Pero si las plantas son seres vivos con mecanismos de desarrollo parecidos a los nuestros, ¿por qué parecería que no se enferman? ¿No son también susceptibles al ataque de bacterias y virus patógenos, como lo somos nosotros? La respuesta es sí.

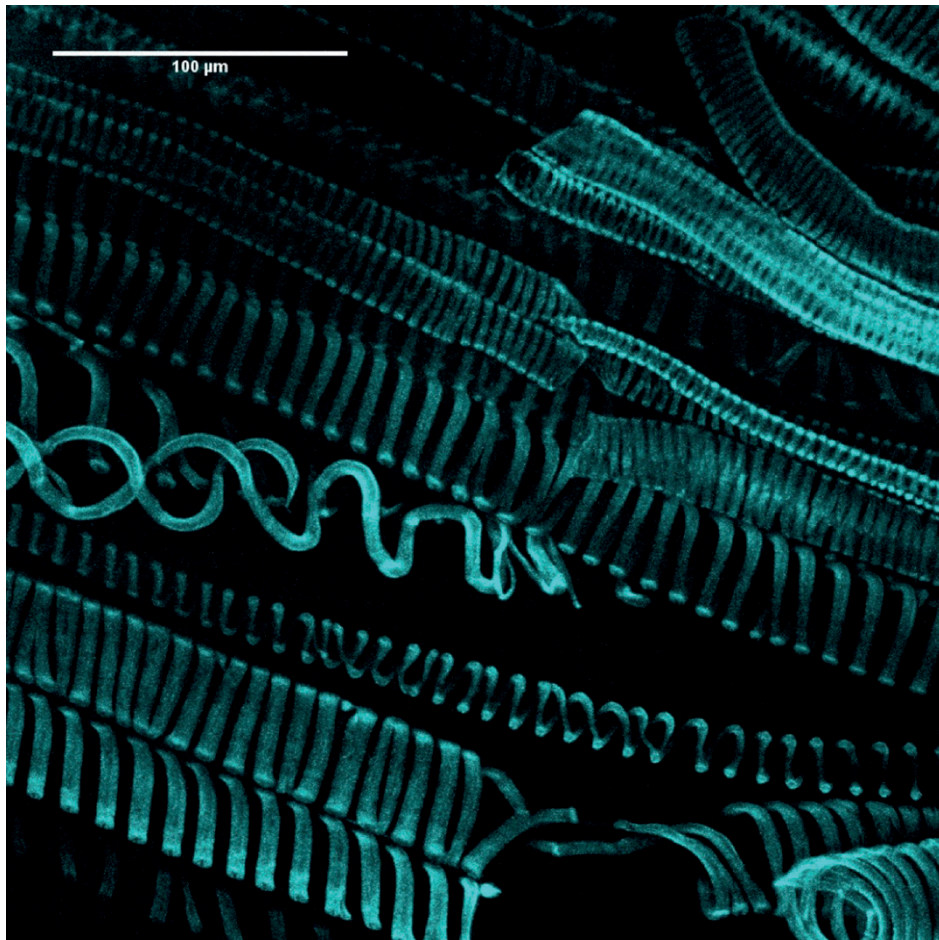
Al igual que cualquier otro ser vivo, las plantas comparten el ambiente con microorganismos, sobre todo en la zona cercana a la raíz (también conocida como rizosfera) que es un ecosistema con una de las mayores densidades de microorganismos de la naturaleza. Esto se debe a que los microbios aprovechan los compuestos liberados por las plantas para su propio desarrollo, llegando a contabilizarse en miles, las especies en esta zona. Las poblaciones de las raíces establecen dinámicas de crecimiento en la que las especies patógenas para las plantas (también conocidas como fitopatógenas) sean mantenidas a raya por las que no lo son; lo mismo parece ocurrir en otras par-

tes de la planta.

Sin embargo, ocasionalmente llegan a existir condiciones en las que un fitopatógeno encuentra la manera de penetrar los tejidos para intentar establecer una infección. De hecho, hay muchos estudios cuyo objetivo es investigar todos los procesos a nivel molecular que ocurren ante el ataque de insectos, virus, bacterias, hongos, y otros organismos microscópicos. Todos estos organismos han evolucionado complejas estrategias para la invasión de una planta y hacerla susceptible. Algunas plagas son muy específicas y restringen las infecciones a uno o pocos tipos de plantas, pero otras son de amplio espectro, pudiendo afectar a una gran diversidad de especies.

Y aunque las veamos inmóviles y en muchos casos hasta monótonas, la forma en la que las plantas se defienden de las infecciones no tiene nada de pasivo a nivel molecular. Para empezar, las plantas están dotadas de diferentes tipos de receptores, que son como antenas en espera de una señal, que en este caso pueden ser compuestos o estructuras del propio patógeno, que se anuncia mandando un estímulo de alerta al interior de la célula vegetal dando inicio a la producción de compuestos de defensa. Se trata de moléculas antimicrobianas como péptidos o radicales libres (el agua oxigenada, por ejemplo) que tienen la función de destruir al agente invasor. La detección de patógenos también refuerza la pared celular, por lo que la entrada de más microorganismos se vuelve más difícil. Estos son ejemplos del sistema de defensa vegetal (también llamado sistema inmune vegetal). Otro aspecto de la inmunidad vegetal es el sacrificio de las células infectadas que, al provocar su propia muerte, evitan que el microorganismo siga propagándose a los tejidos sanos (Figura 1). Si alguna vez has notado que tu planta se ve muy sana, pero en una hoja se desarrolló una pequeña manchita café, es debido a que en ese punto ocurrió precisamente muerte celular, y es posible que haya sido provocada como mecanismo de defensa derivado de la detección de un patógeno. Otro mecanismo que las plantas emplean es la comunicación entre sí, por ejemplo, cuando son atacadas por insectos (como los pulgones). En estos casos las plantas sintetizan moléculas volátiles que son percibidas por plantas cercanas que aún no han sido invadidas, para que estas activen la producción de compuestos que tienen la función de repeler los pulgones y atraer a las catarinas, que son sus depredadores.

En la mayoría de los casos, las defensas vegetales logran eliminar o controlar las infecciones, pero no siempre es así. Esto es grave si una infección se propaga en un cultivo comercial, provocando bajos rendimientos y grandes pérdidas económicas. Aunque las cifras varían dependiendo de la zona o la causa de la enfermedad, diferentes estimaciones indican que el 40% de las siembras a nivel mundial se pierden por infecciones. Si estas son causadas por bacterias que colonizan el sistema vascular -específicamente el xilema- son difíciles de tratar, ya que este tejido (cuya función es transportar el agua desde el suelo a la parte aérea de la planta) se encuentra en el interior de los tallos y además está reforzado por paredes celulares más gruesas en comparación con otras zonas de las plantas (Figuras 2 y 3). Por esta razón, las moléculas empleadas en los tratamientos no logran penetrar hasta el punto de infección. Vegetales como el jitomate, el chile y la col, o cereales como el maíz y el arroz y árboles frutales como los manzanos y naranjos comúnmente sufren de este tipo de infección en el xilema (también conocida como infección vascular) sobre todo en países en vías de desarrollo, en los que la vigilancia no es tan rigurosa. Manifestaciones del cambio climático, como por ejemplo el retraso del inicio de la temporada de lluvias y una menor duración de la misma, o, por el contrario, inundaciones y enega-



**FIGURA 2. PAREDES** celulares de la vasculatura del betabel que aislamos y posteriormente las incubamos con una de las proteínas de la bacteria patógena *Pectobacterium brasiliense*, que causa pudrición de los tejidos. La proteína bacteriana está unida a una molécula fluorescente, lo que nos permite verla en el microscopio. Imagen obtenida por el estudiante de Licenciatura Jimmy A. Sampedro Guerrero, IBT, UNAM.

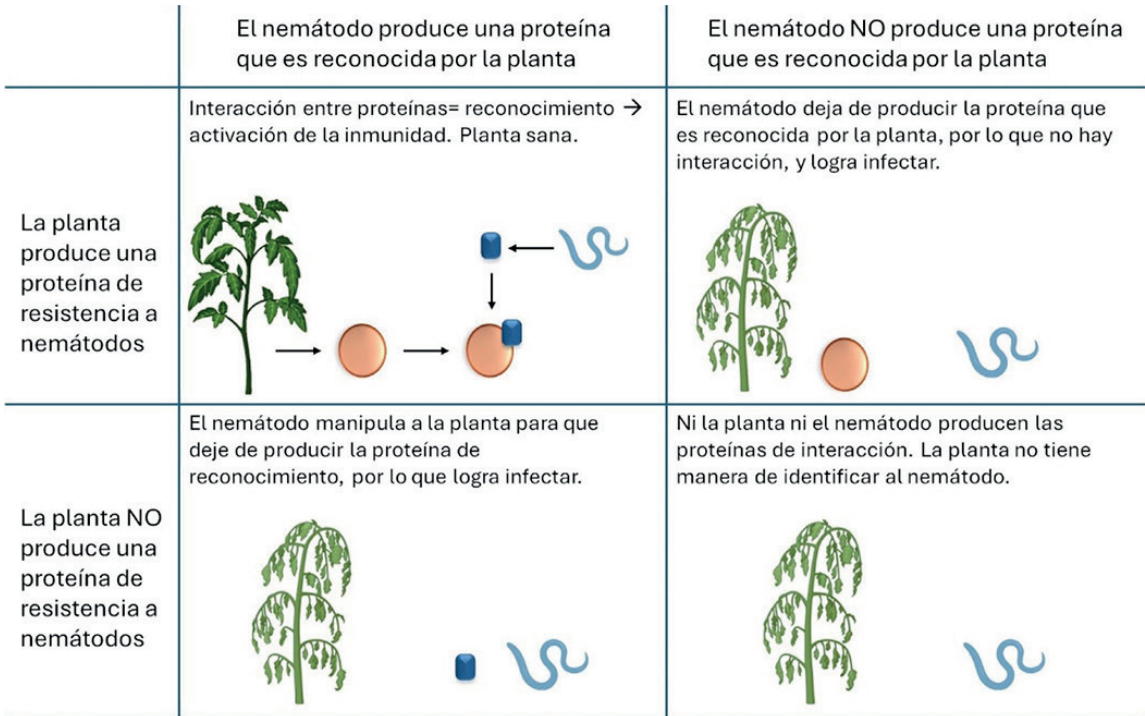
ción, contribuyen a complicar más las situaciones. Una consecuencia de esta problemática es la aparición de enfermedades emergentes, que son aquellas que se presentan en sitios en los que cierto patógeno no se había reportado con anterioridad, o que se encontraba bajo control (a veces también llamadas re-emergentes). Una de las enfermedades emergentes de mayor preocupación en México es causada por un tipo de nemátodos microscópicos patógenos de las raíces, que además son transparentes, por lo que es posible que un productor no note su presencia sino hasta que los cultivos comienzan a mostrar síntomas en la parte externa, una vez que el patógeno ya se estableció y se reprodujo. La enfermedad provocada por nemátodos de la raíz también tiene su origen en la vasculatura de la planta, que es el sitio en el que se alojan.

¿Se puede hacer algo para evitar o reducir las infecciones y obtener mejores rendimientos de los cultivos? Los métodos más modernos para

resistente a una cierta infección, con una variedad susceptible a la misma infección, buscando transferir la resistencia en la progenie. La comparación de los genomas de variedades de cultivos resistentes y susceptibles ayuda a la subsecuente identificación del gen de la proteína responsable de la inmunidad. Esta es la base del mejoramiento genético que empíricamente se ha realizado desde que existe la agricultura, pero que la tecnología actual permite conocer con precisión, a nivel de los genes que codifican a las proteínas de resistencia. Muchos laboratorios de investigación en este tema se enfocan en la identificación de pares de proteínas interactoras (Figura 4) basados en la gran información que existe tanto de las proteínas de las plantas como las de sus patógenos.

Incluso, métodos de inteligencia artificial están permitiendo resolver estos problemas al delimitar el número de posibles proteínas interactoras. En este caso nos referimos a la búsqueda de proteínas de patógenos que actúan fuera de sus propias células -ya que su blanco está en la planta- y debido a que no forma parte del metabolismo central del patógeno no son esenciales para su supervivencia, y por lo tanto evolucionan rápidamente. Este es el tipo de características con las que se entrenan los programas computacionales que auxilian desde los institutos de investigación al combate de las infecciones vegetales. Poderosos algoritmos que permiten analizar la estructura de proteínas, la manera en la que evolucionan y su posible localización en la célula que infectan son aprovechados en busca de soluciones a los problemas del campo.

Otra ventaja de conocer los detalles de la interacción de las plantas con



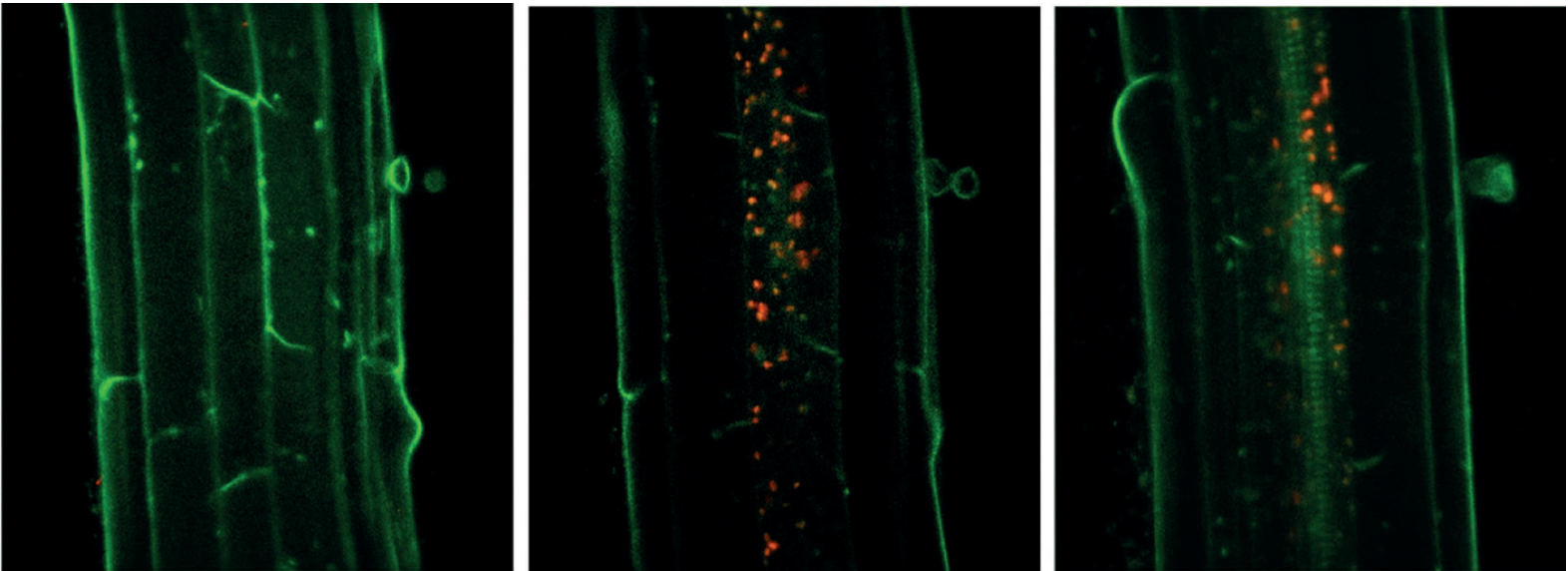
**FIGURA 4. DIAGRAMA** de la interacción de una proteína inmune de la planta (círculo naranja) que al interactuar con una proteína producida por un nemátodo (rectángulo azul), activa los mecanismos de defensa para evitar la infección. La defensa no puede ocurrir si los pares no se producen simultáneamente, por lo que se produce la enfermedad. Debido a esto, estos pares de proteínas (de la planta y del patógeno) evolucionan continuamente, ya que el nemátodo no quiere ser reconocido, por lo que adquiere mutaciones que logran encubrir su identidad, mientras que la planta, para lograr identificarlo, también acumula mutaciones en estas proteínas para mantener la interacción.

los microorganismos y determinar las consecuencias de estas relaciones, es poder reconocer aquellos que naturalmente habitan el suelo y aportan diferentes beneficios a los cultivos, debido a que tienen diferentes funciones para la buena salud vegetal. Por ejemplo, compiten por espacio y nutrientes con los patógenos, o controlan sus poblaciones al producir metabolitos que los eliminan o los repelen, u otros que promueven el mejor crecimiento de las plantas. De hecho, la industria agrícola ha aprovechado este conocimiento para la formulación de plaguicidas basados en los enemigos naturales de los patógenos, como por ejemplo bacterias y hongos que atacan al microorganismo

invasor, pero sin causarle daño a los cultivos. Estos bioformulados existen en el mercado mexicano, y tienen la ventaja de que no contaminan el suelo ni los productos de los cultivos, a diferencia de los plaguicidas químicos sintéticos, muchos de los cuales han sido prohibidos en otros países, pero que desafortunadamente en México todavía se logran conseguir. El clorpirifos es un ejemplo de plaguicida químico sintético prohibido en los países de la Unión Europea, pero todavía disponible en nuestro país. En este sentido, nuestra investigación tiene dos objetivos. El primero, es entender los mecanismos que diferentes patógenos (bacterias

y nemátodos) emplean en las fases iniciales de la invasión de sus hospederos, con lo que aportamos conocimiento al tema de la función de las proteínas patogénicas. El segundo es el mejoramiento de las estrategias de uso de algunos bioplaguicidas para control de nemátodos de las raíces, con la intención de popularizar su utilización, ya que desafortunadamente los pesticidas sintéticos, por su rápida acción y bajo costo, siguen siendo preferidos por los agricultores. Nuestra investigación incluye el análisis computacional de genes, genomas y proteínas, y trabajo experimental tanto a nivel del laboratorio como de invernadero, para contribuir con mejoras del cultivo de tomate rojo (o jitomate), que es uno de los más importantes del país, tanto por su importancia económica como cultural en la cocina mexicana.

*Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses con vencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.*



**FIGURA 3. IMAGEN** de una raíz infectada en el xilema, por bacterias que causan pudrición. Las células de la planta están marcadas con fluorescencia verde, mientras que las bacterias se identifican porque producen una proteína roja fluorescente. La fotografía de la izquierda enfoca la superficie de la raíz, mientras que las de en medio y la derecha enfocan el interior de los tejidos. Imagen obtenida por la estudiante de maestría Ma. Guadalupe Pineda Bermúdez, IBT, UNAM.

gy and Biotechnology. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03211-2>  
3. Keya Mukherjee, et al. How is climate change affecting the safety of our food? Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cc1598en/cc1598en.pdf>

## LECTURAS RECOMENDADAS

- Luz A. Pedraza, et al. Enfermedades emergentes y reemergentes de plantas en Latinoamérica: una revisión. 2022, Revista de Investigación Agraria y Ambiental. Doi: <https://doi.org/10.22490/21456453.4639>
- Irán Tapia-Vázquez, et al. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) a threat to agriculture in Mexico: biology, current control strategies, and perspectives. 2022, World Journal of Microbiolo-

**ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS**

PARA ACTIVIDADES RECIENTES DE LA ACADEMIA Y ARTÍCULOS ANTERIORES PUEDE CONSULTAR: [WWW.ACMOR.ORG.MX](http://WWW.ACMOR.ORG.MX)  
¿COMENTARIOS Y SUGERENCIAS?, ¿PREGUNTAS SOBRE TEMAS CIENTÍFICOS? CONTÁCTANOS: [EDITORIAL@ACMOR.ORG.MX](mailto:EDITORIAL@ACMOR.ORG.MX)



ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.