

# La unión hace la fuerza: el caso de una asociación benéfica entre raíces de frijol y bacterias del suelo

Carmen Quinto

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos  
 Miembro de la Academia de Ciencias de Morelos

Rosana Sánchez

Instituto de Biotecnología, UNAM Campus Morelos

El frijol común, *Phaseolus vulgaris* (FIGURA 1), es la leguminosa de mayor consumo humano a nivel mundial y ocupa el noveno lugar entre las especies más cultivadas del planeta. Es uno de los cultivos más antiguos en México y Mesoamérica, que data de hace más de 6000 años; hay evidencia que indica que esta región es su centro de origen.



Figura 1. Planta de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

El frijol es un alimento básico en la dieta diaria de los mexicanos y contiene entre 20 y 25 % de proteína, 40 % de almidón, 20 % de fibra y varios micronutrientes esenciales como el hierro y el ácido fólico, siendo su contenido proteico aproximadamente el doble del de la mayoría de los cereales.

El cultivo del frijol es una fuente importante de ingresos económicos para los agricultores; no obstante, para que una producción agrícola sea de calidad y rica en proteína, ésta depende de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, y en consecuencia para el frijol, se encuentran el nitrógeno y el fósforo. El nitrógeno es un elemento básico, ya que forma parte de moléculas esenciales para la vida

como los ácidos nucleicos, los aminoácidos y las vitaminas. La atmósfera tiene un alto contenido de nitrógeno (78 %), sin embargo, son pocos los organismos que lo pueden usar directamente del aire para sus procesos vitales. El hombre, al igual que los animales superiores, obtiene el nitrógeno a partir de los alimentos que ingiere. Afortunadamente, en la naturaleza hay microorganismos que sí son capaces de usar el nitrógeno del aire ya que tienen la “maquinaria biológica” necesaria para convertirlo en un compuesto asimilable por las plantas, el amonio. Tal es el caso de bacterias del suelo, conocidas genéricamente como “rizobios”. Las raíces del frijol, así como las de las leguminosas en general, tienen la enorme ventaja de que, cuando existe carencia de nitrógeno en el suelo, pueden ser infectadas y colonizadas por los rizobios, estableciendo una relación mutualista benéfica (simbiosis) entre estos dos organismos. Como resultado de esta interacción, se forman unas estructuras nuevas en las raíces de las leguminosas, llamadas nódulos (FIGURA 2), en donde a bajas concentraciones de oxígeno, se lleva a cabo el proceso de conversión de nitrógeno atmosférico a amonio.



Figura 2. Raíces de frijol con nódulos

Este proceso es conocido como FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO y se lleva a cabo mediante catalizadores biológicos (enzimas) presentes en las bacterias. Gracias a este proceso, la planta puede usar el amonio sintetizado por los rizobios, haciendo prescindible el uso de abonos químicos, se evita la contaminación ambiental y además hay ahorro económico para el agricultor. Los rizobios a su vez, se benefician recibiendo de la planta compuestos que le sirven



Figura 3. Esquema de una zona de la raíz de frijol que muestra la formación del hilo de infección y del primordio de nódulo

como fuente de energía para llevar a cabo la conversión del nitrógeno atmosférico a amonio.

Para que esta simbiosis se lleve a cabo, es indispensable que se establezca un diálogo molecular específico entre los rizobios y las raíces de las leguminosas, en este caso el frijol. Este diálogo molecular consiste en un intercambio de señales químicas entre ambos simbiontes. Las raíces de frijol secretan a la rizósfera (zona del suelo inmediata a la raíz) compuestos químicos específicos (fenólicos), que son detectados por los rizobios, los cuales responden sintetizando y secretando moléculas conocidas como “factores de nodulación”. Estos factores de nodulación inducen en los pelos de las raíces de frijol una serie de cambios morfológicos y fisiológicos que eventualmente culminan con la entrada de las bacterias a las raíces a través de sus “pelos” y, simultáneamente, la formación (organogénesis) del nódulo. Durante este proceso, los rizobios son atraídos químicamente, por los compuestos fenólicos específicos antes mencionados, a la región del ápice de los pelos de la raíz, los cuales se deforman y enroscan atrapando a las bacterias (FIGURA 3). En este punto del pelo, la pared celular se degrada, la membrana plasmática se invagina y se forma una estructura tubular intracelular (dentro del pelo), llamada “hilo de infección” (FIGURA 3), por el cual los rizobios se dirigen al tejido de la corteza de la raíz. Las células de esta corteza, al momento de percibir de manera específica los factores de nodulación, activan su ciclo celular y se dividen para formar el primordio del nódulo (FIGURA 3). Cuando el hilo de infección crece hacia la corteza de la raíz, los rizobios se van dividiendo hasta llegar al primordio del nódulo, en donde las bacterias son “liberadas” (exocitadas) del hilo de infección y a su vez “atrapadas” (endocitadas) en estructuras membranales llamadas simbiosomas. Simultáneamente, el primordio del nódulo madura a nódulo (FIGURA 4) y es dentro de estos simbiosomas en donde las bacterias, diferenciadas a bacteroides (son hasta 40 veces más grandes

## ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

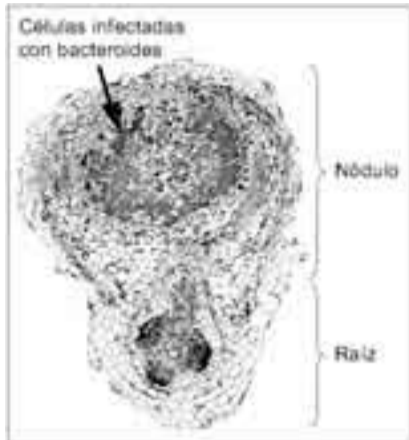


Figura 4. Corte transversal de raíz y nódulo de frijol

que las bacterias), son capaces de convertir el nitrógeno a amonio, mediante las enzimas nitrogenasa y nitrogenasa reductasa. En su conjunto, este proceso complejo dura alrededor de 15 días y se le conoce como nodulación.

En el Instituto de Biotecnología de la UNAM, en el grupo de investigación de Carmen Quinto, estamos interesados en estudiar y entender qué eventos celulares y moleculares ocurren en el inicio de la interacción entre los rizobios y el pelo de la raíz del frijol para que ésta sea exitosa, es decir, para que se forme el nódulo y la fijación de nitrógeno suceda. Con este objetivo, estamos analizando las etapas más tempranas del proceso de nodulación, es decir, tiempos muy cortos después de que la bacteria o bien los factores de nodulación entran en contacto con los pelos de la raíz. La ventana de tiempo que estudiamos es desde segundos después de tratar los pelos con los factores de nodulación, hasta aproximadamente 72 hrs después de la inoculación de la raíz con los rizobios. Una de las estrategias de frontera que estamos utilizando para este estudio incluye moléculas fluorescentes que se introducen por difusión en los pelos radicales en crecimiento y nos permiten determinar bajo el microscopio, y de manera muy precisa y fina, los cambios que suceden a nivel molecular en cada una de estas células de la raíz del frijol, en respuesta a los factores de nodulación. Otro de los enfoques que estamos siguiendo para lograr nuestros objetivos es la caracterización de plantas de frijol que son incapaces de formar los nódulos y determinar en qué parte del proceso simbiótico están bloqueadas. De ésta manera estamos empezando a entender a nivel celular y molecular cómo es que este proceso ocurre en el frijol; idealmente pretendemos que este conocimiento básico nos permita incidir a mediano y largo plazo en aspectos aplicados del cultivo de esta importante leguminosa.

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)



Jóvenes Emprendedores de Hidalgo, A.C., el Gobierno del Estado de Hidalgo, a través de la RED Nacional de Actividades Juveniles en Ciencia y Tecnología y del Movimiento Internacional para el Recreo Científico y Técnico MILSET.

CONVOCAN

A todos los Jóvenes Emprendedores interesados en el desarrollo y presentación de proyectos científicos y técnicos, así como en el fomento de la Cultura Emprendedora, a participar en el

**Foro Nacional de Emprendedores y  
ExpoCiencias Pachuca 2009  
a realizarse los días 24 y 25 de Septiembre en la  
Ciudad de Pachuca de Soto, Hidalgo.**

[www.emprendedoresdehidalgo.com](http://www.emprendedoresdehidalgo.com)  
[www.expociencias.net](http://www.expociencias.net)



ACADEMIA DE CIENCIAS  
DE MORELOS, A.C.  
[www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)