

BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO

Las bacterias fijadoras de nitrógeno que se desarrollan de forma natural en el suelo, se conocen desde hace más de un siglo. Representan un biofertilizante ecológico y se dividen en dos grandes grupos: Las simbióticas, específicas de las leguminosas, como el Rhizobium, y las libres, que viven en el suelo y no necesitan la planta para su reproducción, como el Azotobacter y el Azospirillum, entre los más importantes en agricultura.

El Azotobacter y el Azospirillum, en concentraciones adecuadas, pueden sustituir al nitrógeno químico(Urea, amoníaco...)sin merma de la producción y a menor coste.

Otras ventajas comprobadas del uso de estas bacterias como biofertilizante son:

a) Producen fitohormonas, como el ácido indolacético y las citoquininas, capaces de acelerar y potenciar el crecimiento de las plantas.

b) Al permanecer vivas durante años y reproducirse en el suelo, no sólo no lo degradan sino que contribuyen a su enriquecimiento en nitrógeno y a su regeneración de forma ecológica y gradual, incluso en terrenos de alta concentración salina.

c) Se ha comprobado que fertilizando los cultivos con estas bacterias y con nitrógeno químico en un porcentaje entre el 20 y 50% del utilizado normalmente, se consigue un aumento de producción sobre las cosechas obtenidas únicamente con fertilizante químico al 100%. Esto es debido a que, al liberarse la bacteria de su función fijadora de nitrógeno, produce más factores de crecimiento vegetal, En cereales de secano, esto puede suponer el ahorro del abonado de cobertera.

d) Crea una barrera protectora contra hongos y bacterias patógenas en la raíz de la planta, por lo que ésta crece más sana y fortalecida.

e) Producen enzimas que solubilizan los fosfatos y los hacen más accesibles a la planta, así como factores que facilitan la absorción de oligoelementos.

f) Se ha demostrado que resisten mejor las condiciones de sequía y los climas áridos ya que se forman alginatos en las raíces de las plantas.

g) Como consecuencia de todo lo anterior, es un mayor desarrollo de las raíces de las plantas, con el consiguiente beneficio general para ésta, así como el peso de los frutos.

h) También se ha comprobado un mayor índice de germinación de semillas comparada con otros sistemas de abonado.

i) Las nuevas estirpes de Azotobacter y Azospirillum son capaces de fijar un 72,64% más de nitrógeno atmosférico, que las estirpes originales.

Hay pues un cúmulo de ventajas para el usuario, económicas, ecológicas, A corto, medio y largo plazo en la progresiva sustitución de la fertilización química por las bacterias naturales, totalmente inofensivas para el medio y el ser humano.

SIMBIOSIS DE MICROORGANISMOS FIJADORES CON PLANTAS NO LEGUMINOSAS

Podemos encontrarnos con tres tipos de simbiosis con plantas no leguminosas, tipos que designaremos según cual sea el microorganismo simbiote que fije el nitrógeno: *Frankia*, cianobacterias y *Rhizobium*.

Tipo *Frankia*:

Los *Frankia* son un género de Streptomicetaceas que fijan nitrógeno en simbiosis con las plantas actinorrizas (plantas que pertenecen a tres órdenes cercanos filogenéticamente). La capacidad colonizadora de las plantas actinorrizas (especialmente géneros *Alnus* y *Casuarina*), sobre todo en suelos pobres en nitrógeno o en condiciones de estrés ambiental (deforestaciones, incendios, volcanes, retrotraimientos de glaciares, ...), las hacen idóneas para la reforestación de los suelos. En esta simbiosis, los nódulos están formados por agrupaciones de raíces cortas laterales que conforman una estructura lobular, con elementos vasculares centrales rodeados de células corticales infectadas de bacterias, que pasan el nitrógeno fijado a la planta en forma de amonio. Como se verá más adelante, estos nódulos son mucho más simples que los de las leguminosas.

Los *Frankia* protegen a la nitrogenasa del oxígeno en el interior de unas vesículas esféricas multicelulares rodeadas de una cápsula, con lo que consiguen resistir hasta una concentración de oxígeno del 80%.

Tipo cianobacterias:

Las cianobacterias (como ya hemos visto) pueden fijar nitrógeno libres, y forman simbiosis con diversos tipos de plantas, desde hongos hasta angiospermas.

Por motivos obvios, la simbiosis entre una cianofícea y un hongo es un líquen. Se ha evaluado en 1'5 kg. por hectárea y año la cantidad de nitrógeno incorporado por líquenes del género *Lobaria*.

Las simbiosis de *Nostoc* con algunas hepáticas (Briófitos) muestran una cierta dependencia del fotoasimilado suministrado por la planta.

Entre las simbiosis con Pteridófitos, la más importantes es la que se da entre el helecho acuático *Azolla* y *Anabaena*; que llega a fijar más de 600 kg. de nitrógeno por hectárea y año, siendo muy aprovechada en agricultura en los campos de arroz.

También hay simbiosis de *Nostoc* con algunas *Cicadales* y *Macrozamia*. En cuanto a las angiospermas, la única simbiosis conocida se da entre este alga y especies del género *Gunnera*, que permite fijar hasta 70 kg. por hectárea y año.

FIJACIÓN SIMBIÓTICA EN LEGUMINOSAS

Unas de los puntos más importantes dentro de la fijación biológica del nitrógeno es el de la simbiosis entre leguminosas y bacterias del género *Rhizobium*. La manera en que se produce la infección y como los factores ambientales intervienen y alteran la simbiosis va a ser los dos puntos que vamos a tratar en este apartado.

ESTABLECIMIENTO DE LA SIMBIOSIS

Muchos de los estudios en este campo se desarrollan en la investigación de este paso. Mayoritariamente la infección viene por los pelo radicales, aunque hay varias excepciones como el caso de *Arachis hypogea* (cacahuete).

-Antes de que la bacteria entre en la raíz hay una multiplicación de la primera a una velocidad superior a lo normal, esto es debido a la exudación de homoserina por la raíz, que es un estimulador del crecimiento de la población bacteriana. Esto es frecuente en *Rhizobium leguminosarum* pero no en otras especies de este género que no afectan a leguminosas.

Entre los aminoácidos que exuda la planta se encuentra el triptófano que es fácilmente convertido por *Rhizobium* en AIA (ácido indolacético). Esto tiene una importancia crucial en la infección pues lleva consigo un crecimiento y engrosamiento del pelo radical. Es decir el AIA favorece la infección.

Atadura

Antes de la infección tiene lugar un íntimo contacto entre *Rhizobium* y el pelo radical, este contacto tiene lugar de un modo perpendicular. Este anclaje se debe a unas proteínas azucaradas segregadas por la planta que actúan como haptenos determinantes de antígenos bacterianos. La especificidad de esta unión depende del tipo de bacteria en cuestión y las características de la misma en ese momento.

Infección

La deformación de los pelos radicales es el preludio para la infección. La infección comienza con un acumulo de metabolitos en la bacteria, paso primordial en esta etapa. En este punto intervienen enzimas proteolíticas de pared, que se encargan de abrir en la planta un hueco, lo que significa la entrada de la "invasión". Normalmente la infección crece centripetamente hacia la estela, atravesando las células, corticales. Se han hecho experimentos con Fe-EDTA - inhibidor de la nodulación- y se observa una desorganización en los nódulos pues ya no siguen el esquema de la infección modelo dicha antes.

DESARROLLO DEL NÓDULO

Los primeros pasos que se conocen es la segregación de fitohormonas como citoquininas y auxinas por las bacterias que inducen una proliferación celular. Hay otros factores de crecimiento desconocidos que se difunden por el xilema. Se sabe que en los siguientes pasos tienen lugar la formación de la enzima nitrogenasa pero el conocimiento sobre estos estadios es muy leve. Los estudios son complicados y hay que decir que la gran arma que se utiliza para desenmarañar este complejo proceso es la disponibilidad de distintos mutantes y su estudio.

FACTORES AMBIENTALES LIMITANTES DE LA SIMBIOSIS

Hay muchos factores limitantes de la simbiosis, pero presumiblemente las más importantes son las clases de terreno, la luz, la temperatura, el agua, los elementos minerales, etc.

Elementos minerales

Deficiencias o excesos en determinados elementos minerales afectan directamente o indirectamente en la nodulación.

Por ejemplo el molibdeno es un constituyente de la nitrogenasa, así que un defecto de Mo en el medio causa un efecto directo y negativo en la fijación del nitrógeno. Sin embargo el Fe (que también es un elemento constituyente de la nitrogenasa) no tiene un efecto directo sobre la fijación del nitrógeno cuando este escasea en el medio. También son importantes otros elementos como calcio, fósforo, azufre, cobre o zinc ya que originan cambios en el pH que si que va a afectar directamente a la fijación. Los

fertilizantes químicos utilizados tratan de influenciar un mayor crecimiento de la planta y una mayor fijación del nitrógeno.

Temperatura

Que la temperatura afecta a la simbiosis está claro, pero esta interacción es de modo indirecto aparece de un modo no específico a través de los procesos metabólicos de la planta como respiración, fotosíntesis, transporte y transpiración. En las leguminosas estudiadas, que tienen un ciclo de Calvin normal, su temperatura óptima es de 15 a 20° C. No se han encontrado leguminosas tropicales con metabolismo C4.

La respiración se incrementa con las altas temperaturas, esto hace que haya una menor disponibilidad de carbono para la simbiosis.

Con menos de 7° C la nodulación se hace muy poco probable. En el caso extremo de altas temperaturas, se reduce el número de raíces laterales y pelos radicales, haciendo que la probabilidad de nodulación sea menor. A temperaturas extremas tiene lugar una degradación de los nódulos.

Luz

La luz afecta a la simbiosis a través de la fotosíntesis, controlando la cantidad de carbohidratos para el desarrollo y funcionamiento del módulo. Existen evidencias de algunos efectos directos de la luz sobre la nodulación, así es por ejemplo que la nodulación es pobre bajo luz azul y máxima bajo efecto de la luz roja - esto implica una evidencia de la implicación del fitocromo reversible en el proceso de nodulación). Se han hecho experimentos con la defoliación gradual de las plantas y se ve claramente como hay una reducción en la fijación del nitrógeno.

Agua

Las deficiencias en la disponibilidad de agua causan una bajada en la fijación del nitrógeno en leguminosas de todo el mundo, de todos modos hay diferentes adaptaciones de estas plantas a las diversas condiciones de sequía, como ejemplo podemos citar a *M. sativa* que llega a proyectar sus raíces hasta siete metros de profundidad.

Otros factores

Otros factores posibles pueden ser los gases que hay en el terreno, las enfermedades como hongos, virus o micoplasmas (se ha estimado que estas enfermedades causan una pérdida de al menos el 24 % de las leguminosas del forraje).

Por último debemos decir que las actividades del hombre también han modificado las cantidades de fijación de nitrógeno, la mayor parte de las veces es en beneficio (como puede ser la contribución a la nodulación con diferentes fertilizantes que ofrecen minerales al suelo que ayuda a la nodulación).