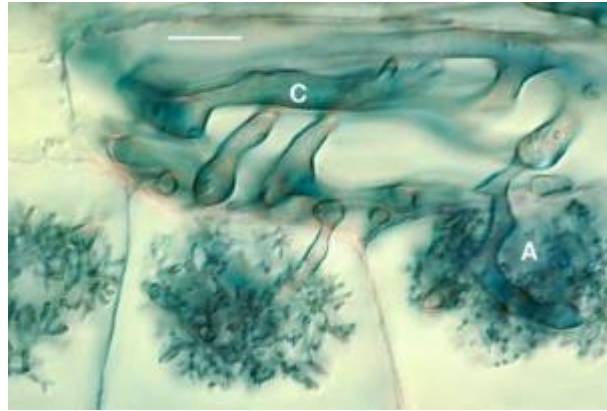
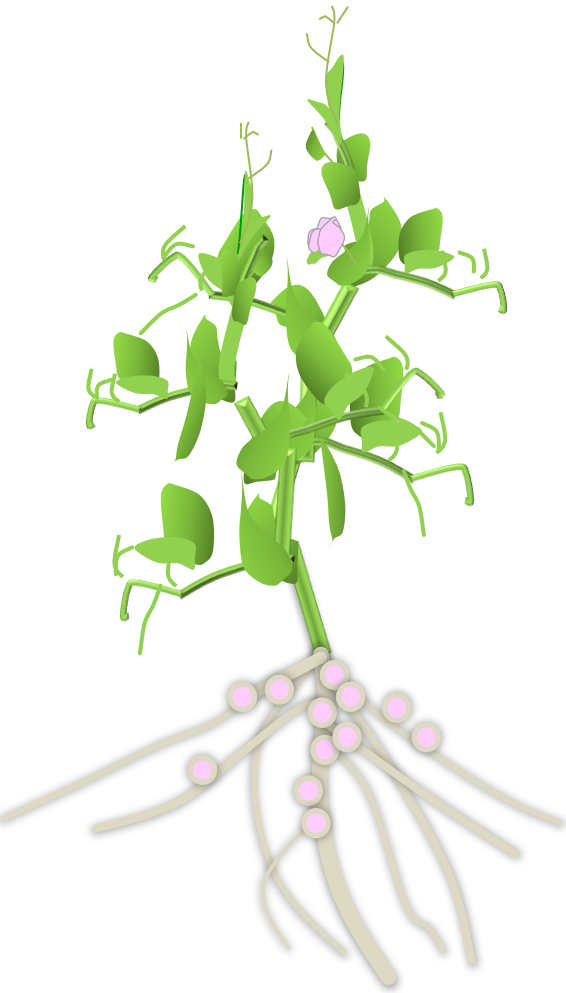


Interacciones planta - microsimbiontes



Las plantas forman simbiosis con bacterias fijadoras de N y con hongos micorrícicos

Hongos micorrícicos

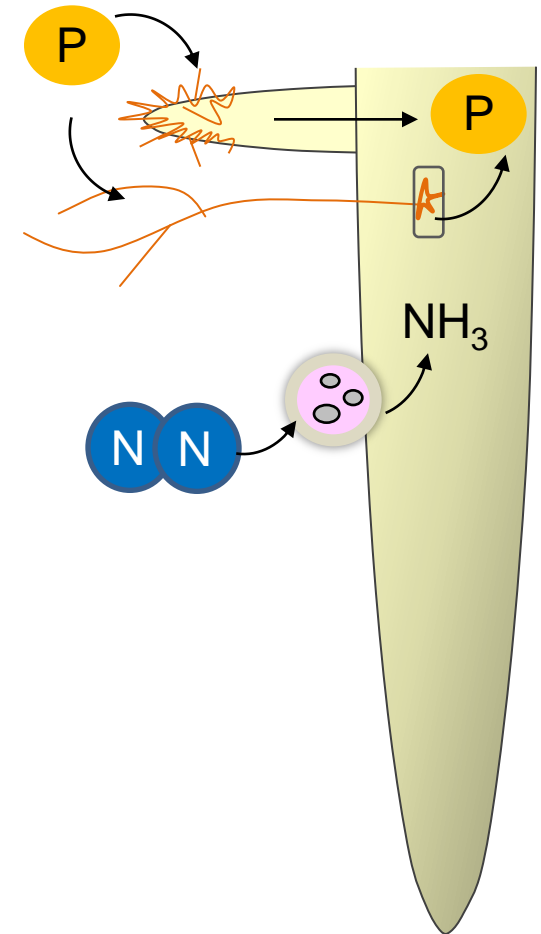
- Micorrizas arbusculares
- Ectomicorrizas

Nodulación

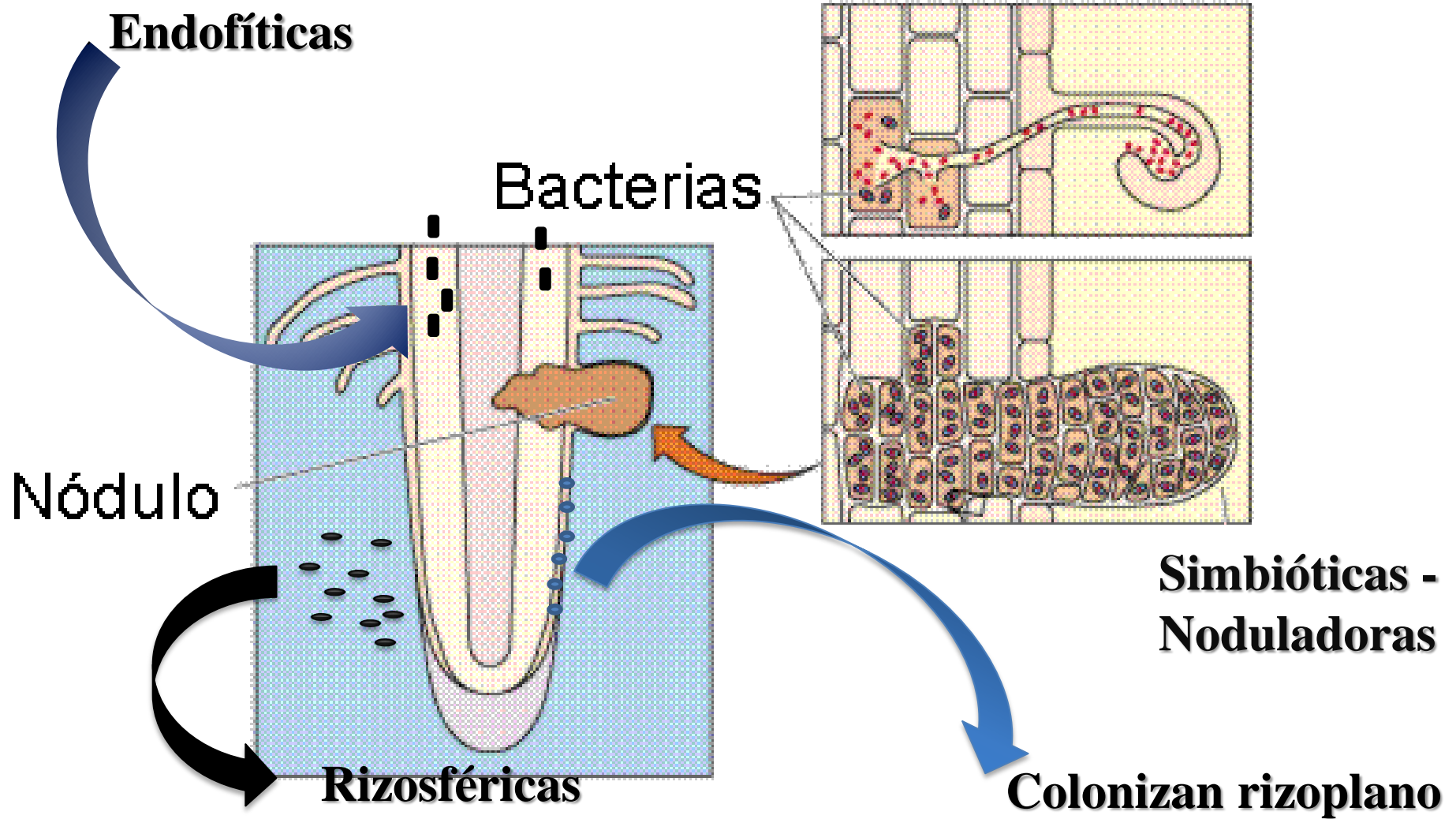
- Plantas leguminosas y rizobios
- Plantas actinorrícicas y *Frankia*

Bacterias de vida libre

- Rizosféricas
- Endofíticas



Clasificación de acuerdo a su relación con la planta



Nodulación

Las mayoría de las plantas que forman nódulos con bacterias fijadoras son leguminosas. Las bacterias son llamadas genericamente "rizobios"

Una bacteria no relacionada, *Frankia*, nodula en un grupo diverso de plantas denominadas plantas actinorricicas.



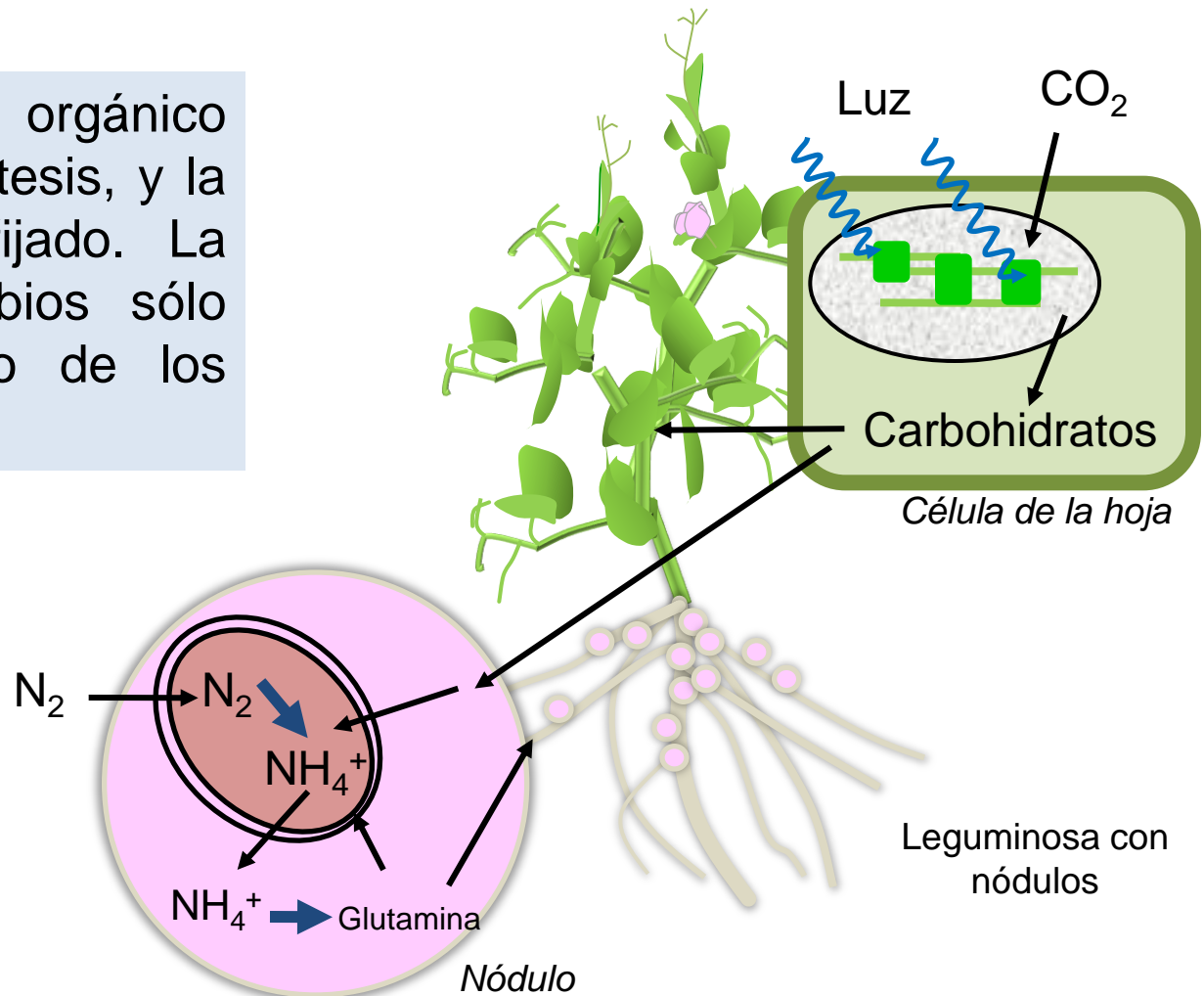
Casuarina equisetifolia

Nódulos de *Medicago truncatula* inoculados con *Sinorhizobium meliloti*

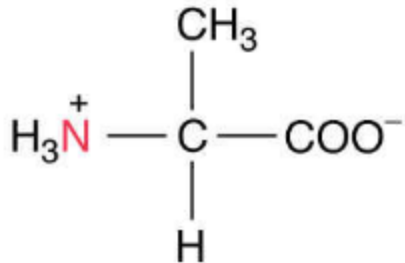
Photo credits: [Ninjatacoshell](#); [Forest & Kim Starr](#), Starr Environmental, Bugwood.org

Esta simbiosis genera beneficios mutuos

La planta provee C orgánico derivado de la fotosíntesis, y la bacteria provee N fijado. La mayoría de los rizobios sólo puede fijar N dentro de los nódulos.



El nitrógeno es un nutriente esencial

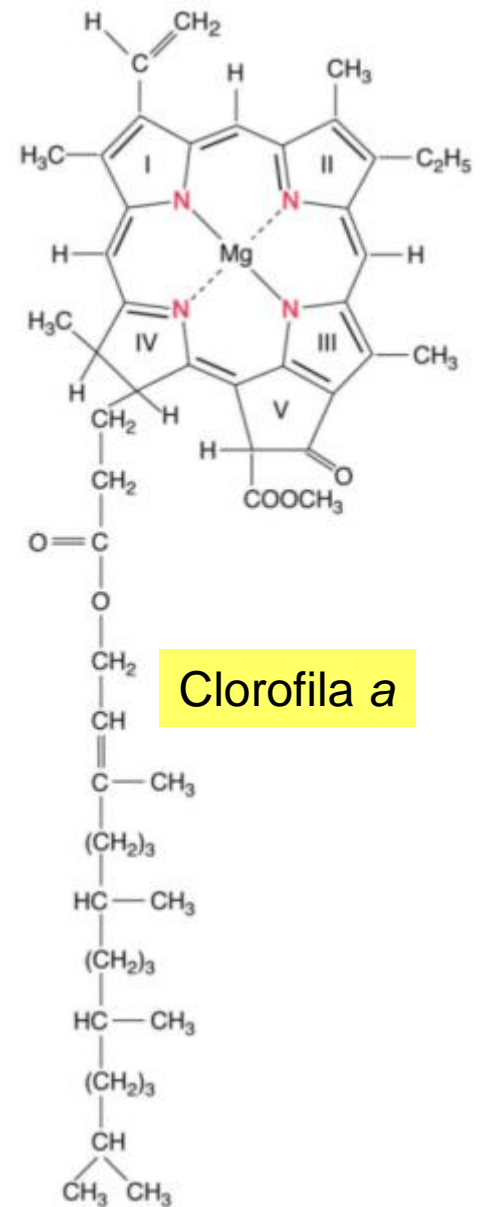


Alanina

Componen aa y proteínas, ácidos nucleicos (DNA and RNA), clorofila, hormonas, y metabolitos secundarios.



Adenina

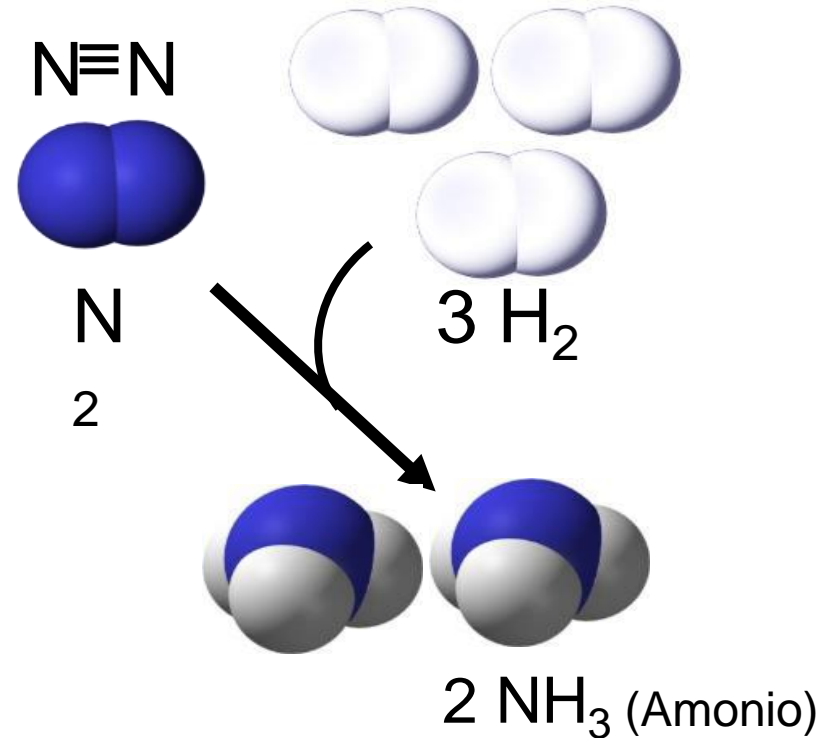
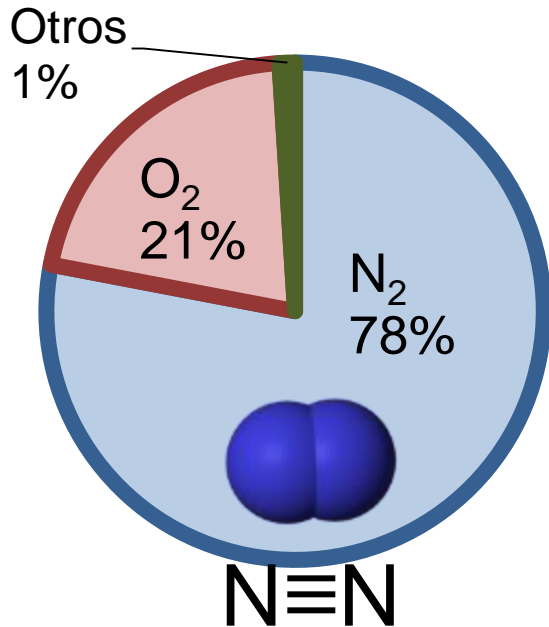


Clorofila a

From: Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (2000) [Biochemistry and Molecular Biology of Plants](#). American Society of Plant Physiologists.

El Nitrógeno es abundante pero no está disponible

Composición atmosférica



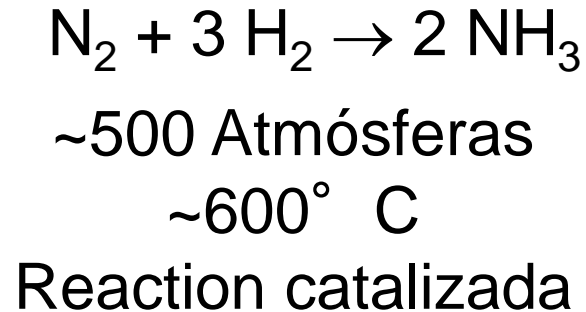
En la atmósfera el Nitrógeno se encuentra como una molécula inerte, que contiene un triple enlace.

Se debe romper el triple enlace y el nitrógeno debe ser reducido (“fijado”) para que quede biológicamente disponible. Esta reacción demanda energía.

Proceso de Haber-Bosch: Fijación de nitrógeno a nivel industrial



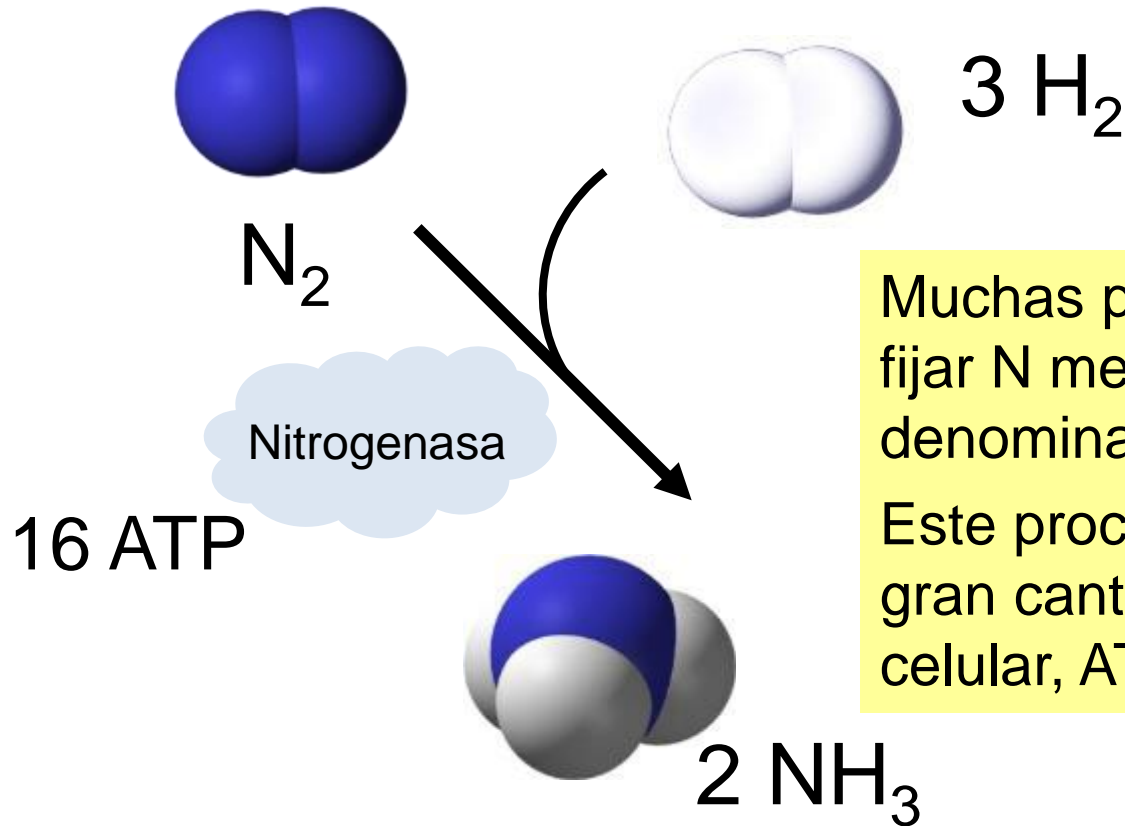
Fritz Haber



Carl Bosch

Energéticamente muy costoso!

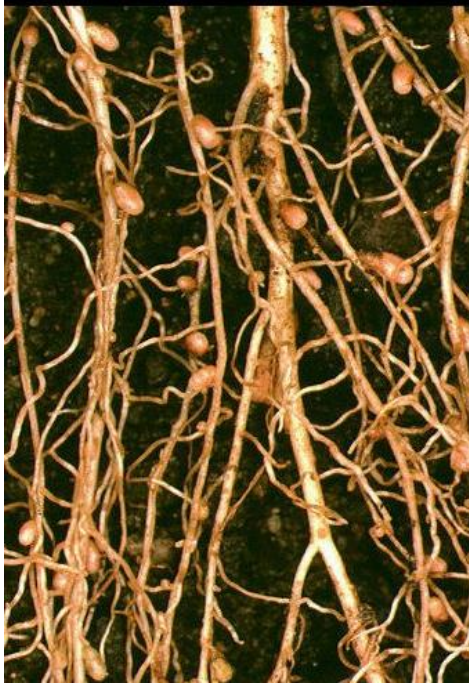
Fijación biológica de nitrógeno



Muchas procariotas pueden fijar N mediante una enzima denominada **Nitrogenasa**.

Este proceso requiere una gran cantidad de energía celular, ATP.

Eficiencia de la FBN_2

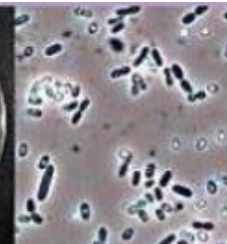


Noduladoras

30 - 400 Kg/N/Ha/Año

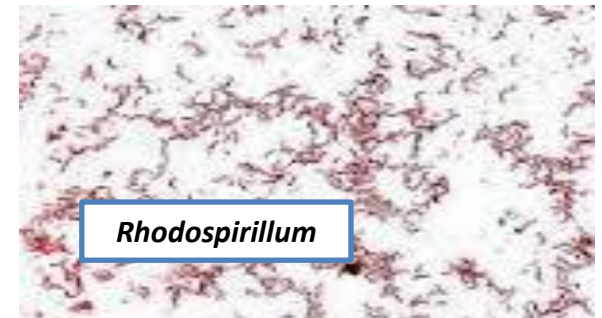
Rizosféricas

10 - 200 Kg/N/Ha/Año

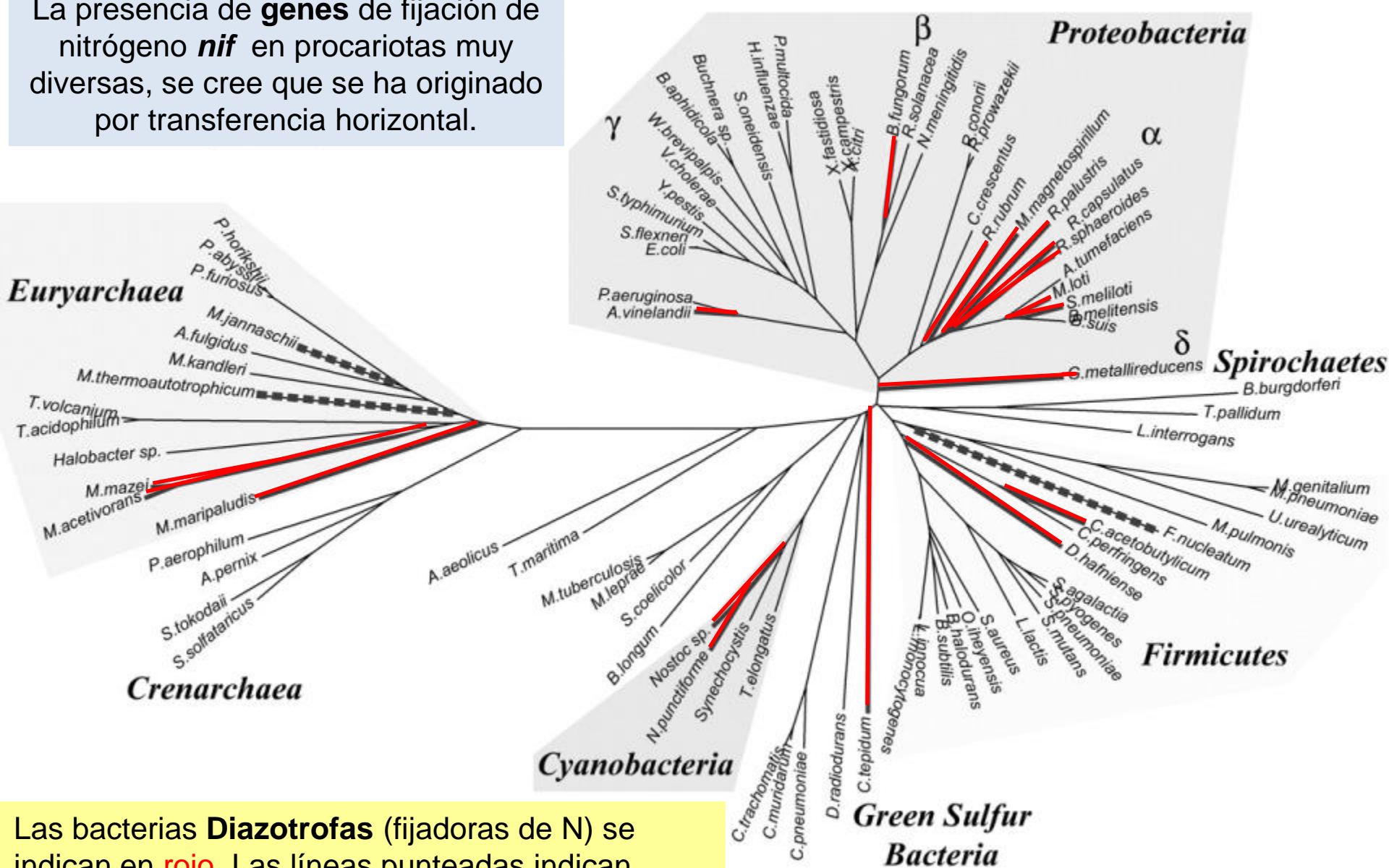


Vida libre

2 - 50 Kg/N/Ha/Año

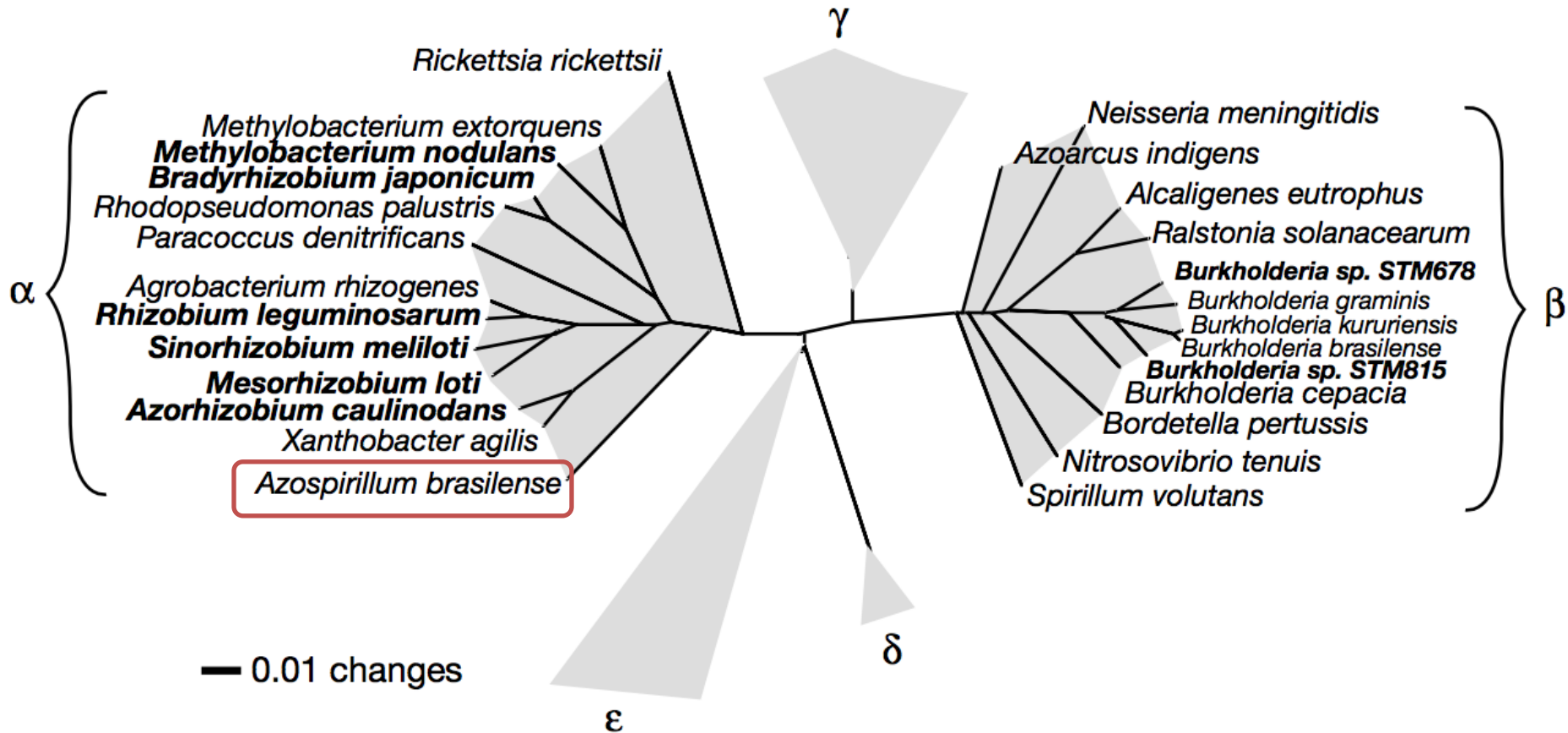


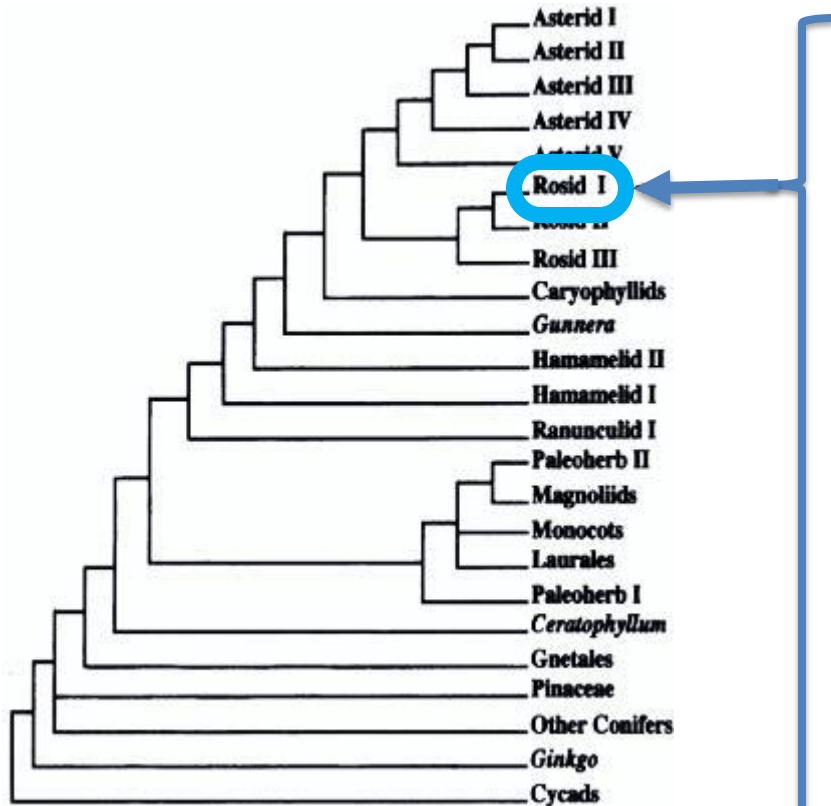
La presencia de **genes** de fijación de nitrógeno *nif* en procariontas muy diversas, se cree que se ha originado por transferencia horizontal.



Raymond, J., Siefert, J.L., Staples, C.R. and Blankenship, R.E. (2004). The natural history of nitrogen fixation. *Mol. Biol. Evol.* 21: [541-554](#) by permission of Oxford University Press.

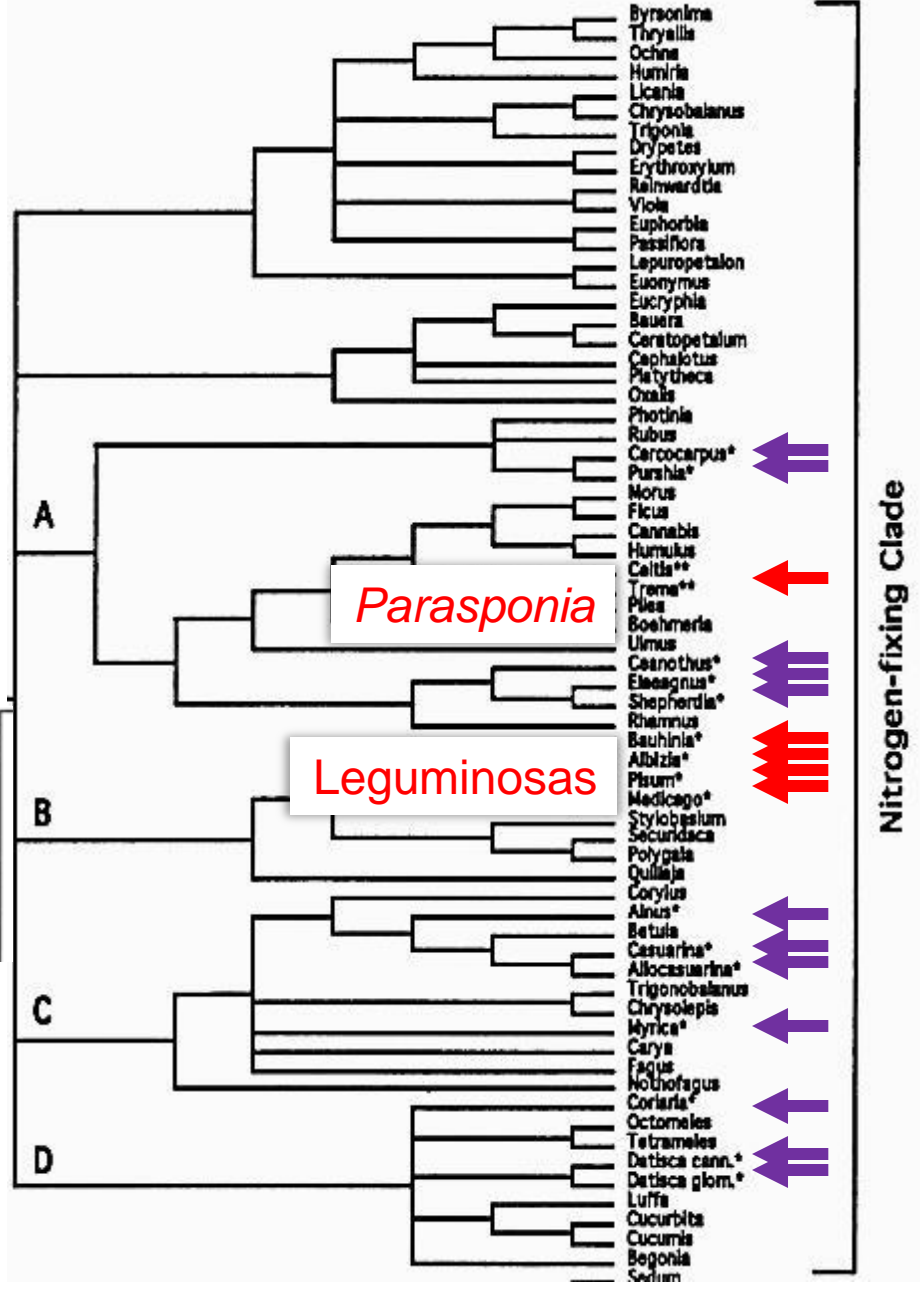
Rhizobia are a large diverse group of bacteria that nodulate legumes





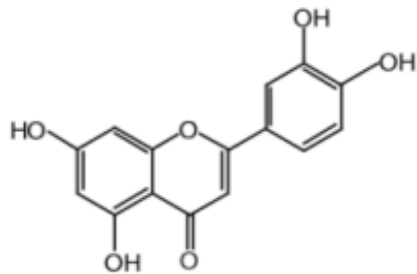
Las angiospermas que nodulan forman un único clado (Rosidae I).

Las actinorrizas plants se indican con flechas violetas, y las que nodulan con rizobios se indican con flechas rojas



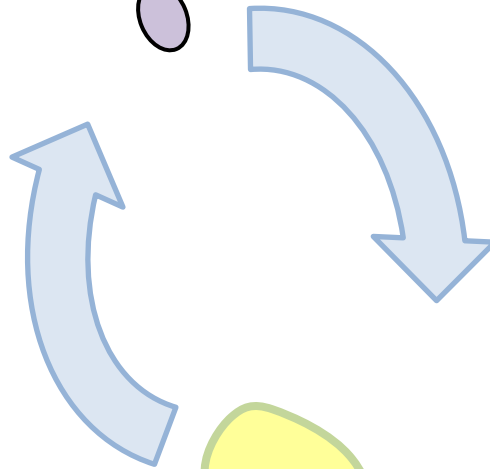
Soltis, D.E., Soltis, P.S., Morgan, D.R., Swensen, S.M., Mullin, B.C., Dowd, J.M. and Martin, P.G. (1995). Chloroplast gene sequence data suggest a single origin of the predisposition for symbiotic nitrogen fixation in angiosperms. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 92: 2647-2651 Copyright (1995) National Academy of Sciences, USA

Comunicación: Flavonoides y factores Nod



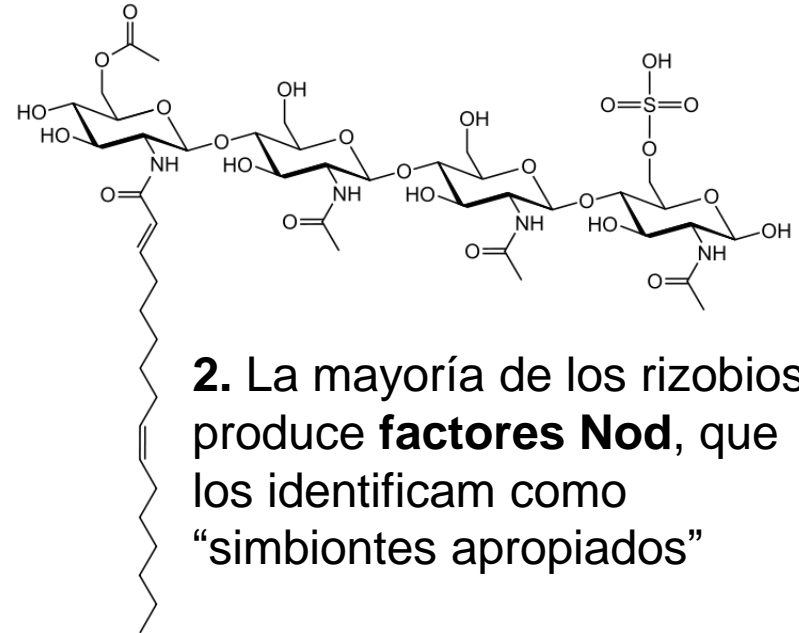
1. La raíz produce **flavonoides** específicos que atraen a los rizobios

Rizobios



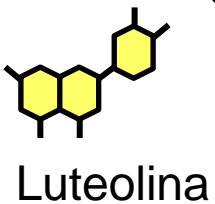
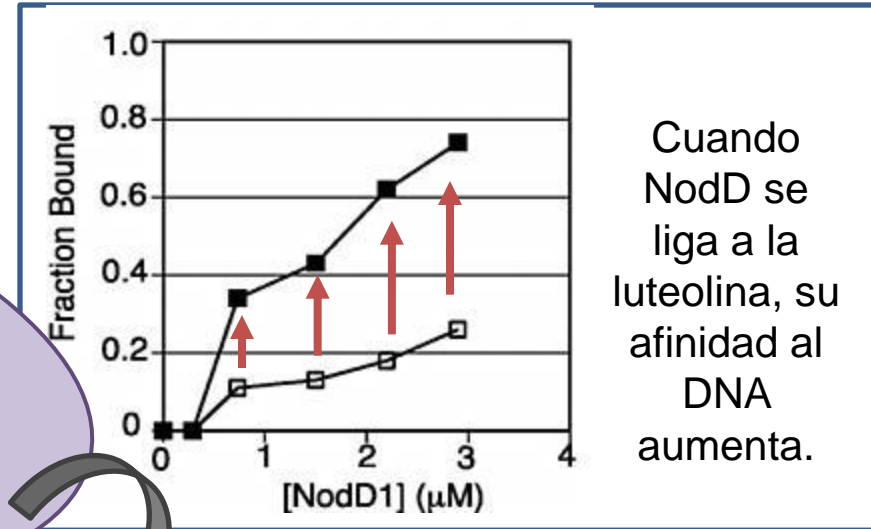
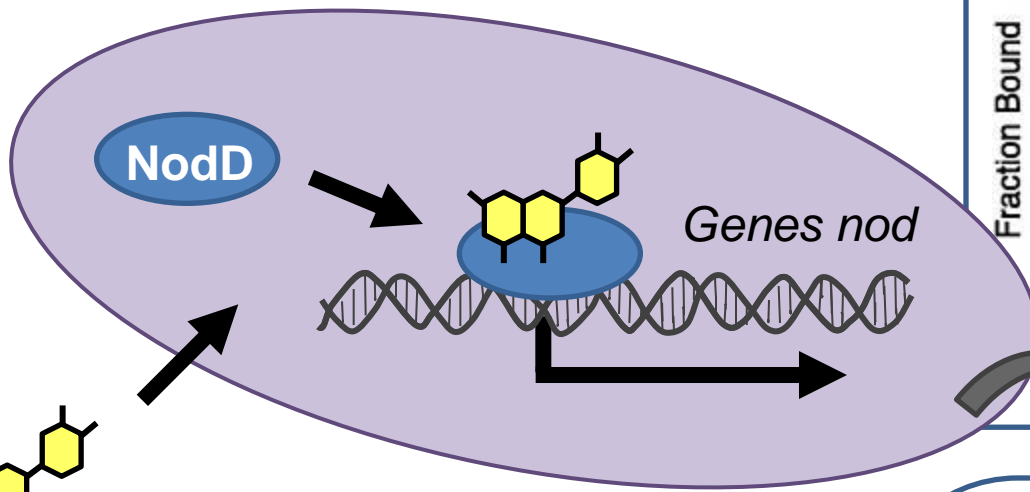
Célula de la planta

3. La planta se prepara para formar un nódulo

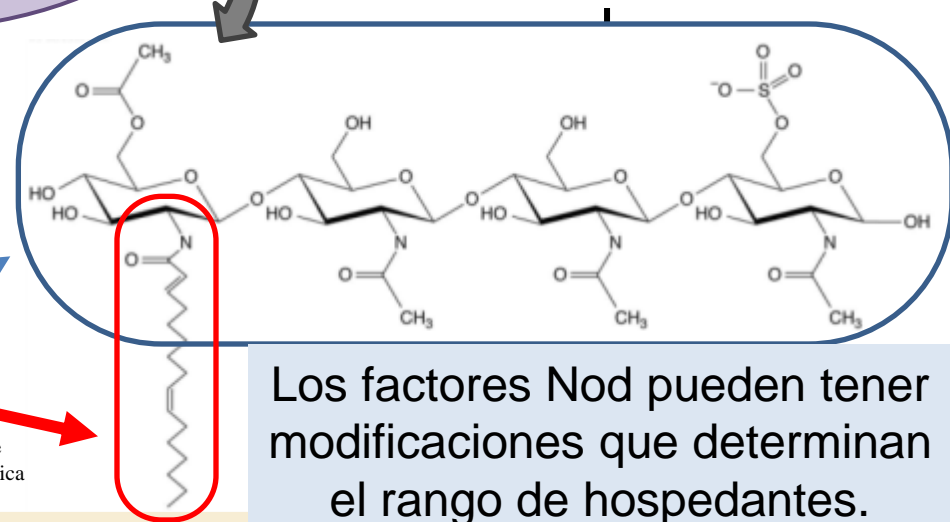


2. La mayoría de los rizobios produce **factores Nod**, que los identificamos como “simbiontes apropiados”

Los flavonoides estimulan la transcripción de genes *nod* en rizobios



Los factores Nod tienen un esqueleto de residuos de **N-acetylglucosamina (quitina)** y **lípidos**.



Los factores Nod pueden tener modificaciones que determinan el rango de hospedantes.

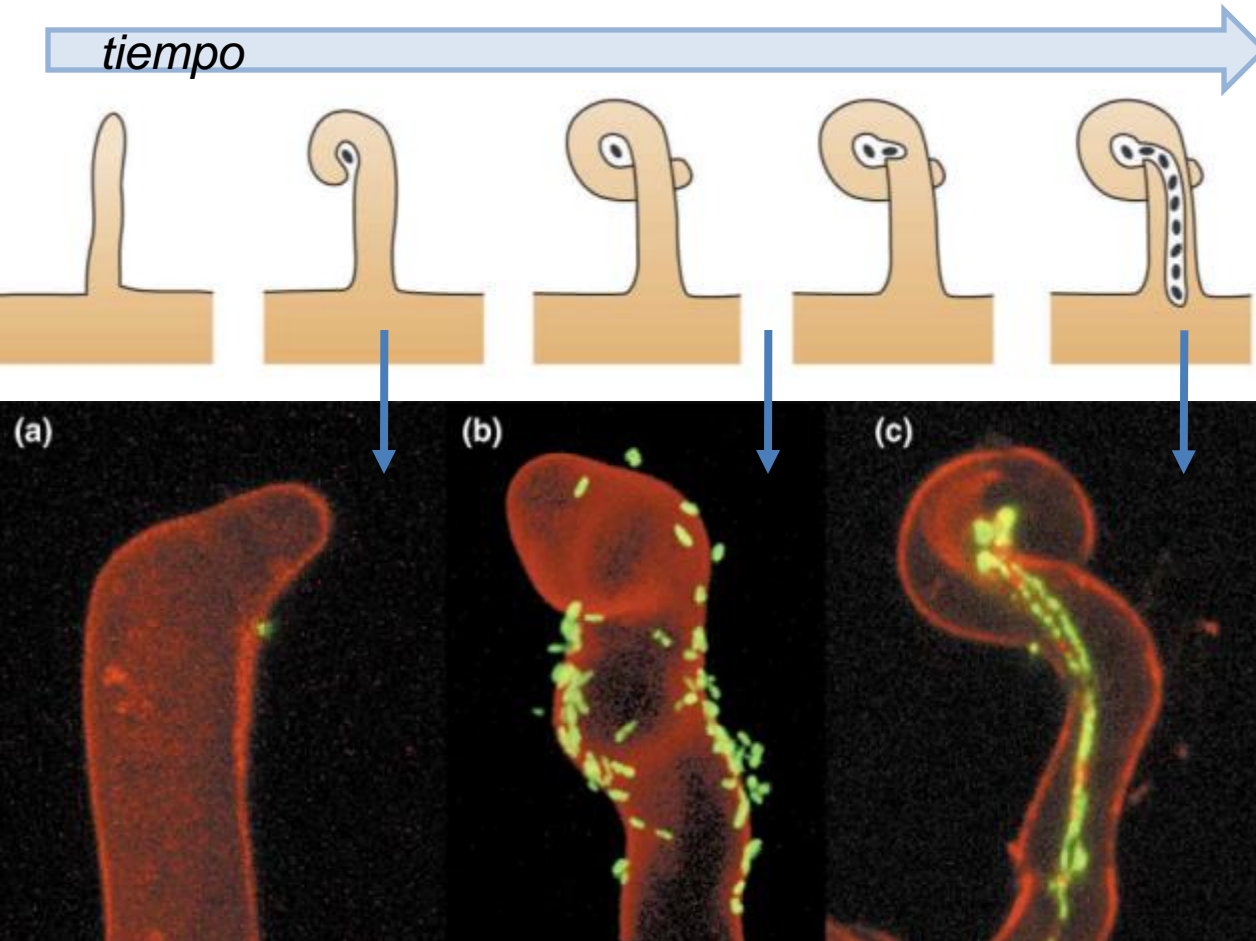
Peck, M.C., Fisher, R.F. and Long, S.R. (2006). Diverse Flavonoids Stimulate NodD1 Binding to *nod* Gene Promoters in *Sinorhizobium meliloti*. *J. Bacteriol.* 188: [5417-5427](#). reproduced with permission from American Society for Microbiology.

Hospedantes específicos reconocen simbioses específicas a partir de los factores Nod

Planta Hospedante	Simbionte bacterial
<i>Medicago, Trigonella, Melilotus</i>	<i>Sinorhizobium meliloti</i>
<i>Glycine, Vigna</i>	<i>Sinorhizobium fredii</i>
<i>Parasponia</i> (no-leguminosa), <i>Mactroptilium, Leucaena</i>	<i>Sinorhizobium</i> sp. NGR 234 (rizobio con amplio rango de hospedantes)
<i>Vicia, Pisum, Cicer, Lathyrus</i>	<i>Rhizobium leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>
<i>Phaseolus</i>	<i>Rhizobium etli, Rhizobium tropici</i>
<i>Lotus</i>	<i>Mesorhizobium loti</i>
<i>Sesbania</i>	<i>Azorhizobium caulinodans</i>
<i>Glycine, Mactroptilia, Vigna</i>	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>

Modified from: Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (2000) [Biochemistry and Molecular Biology of Plants](#). American Society of Plant Physiologists.

La percepción del factor Nod induce el enrulamiento del pelo radical



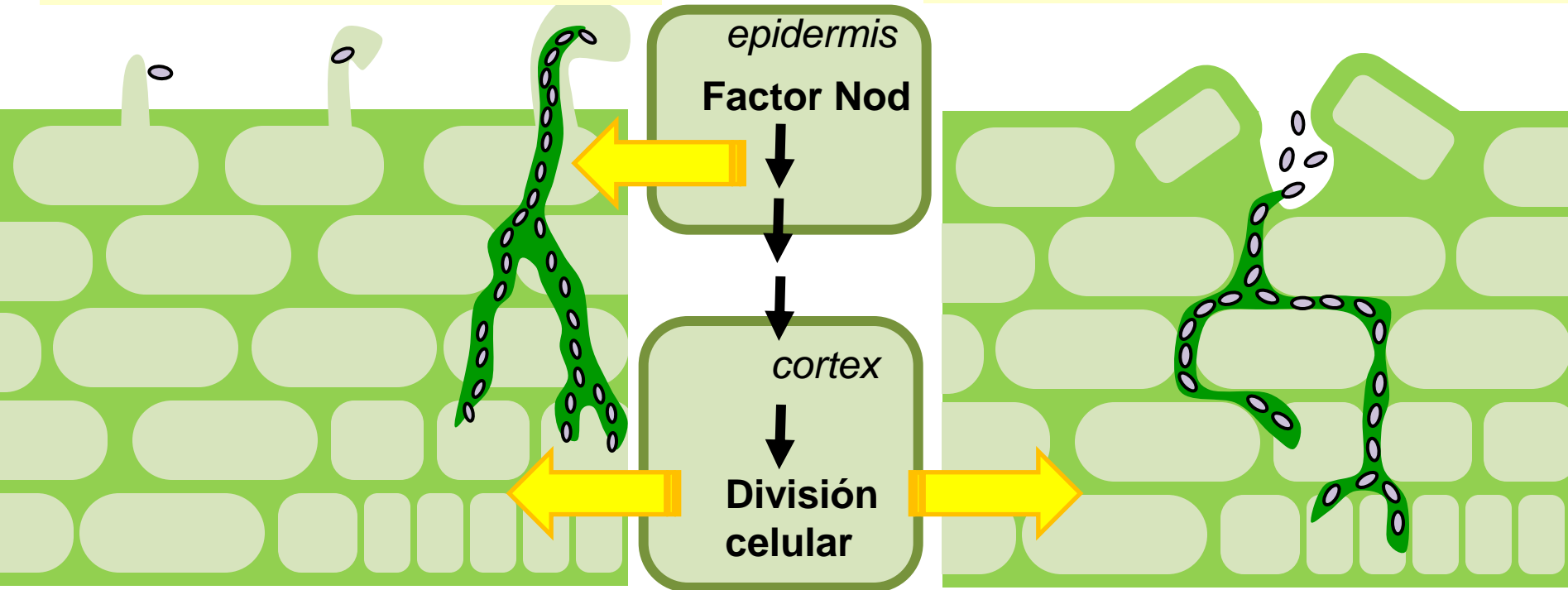
- Los factores Nod se concentran en la pared celular y son mayormente inmóviles.
- Los factores Nod redireccionan el crecimiento del ápice del pelo radical (a)
- Sólo unas pocas bacterias redireccionan el crecimiento del pelo exitosamente y son envueltas.

Modified from: Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (2000) [Biochemistry and Molecular Biology of Plants](#). American Society of Plant Physiologists.

Algunos rizobios infectan a través de un camino independiente de los factores Nod

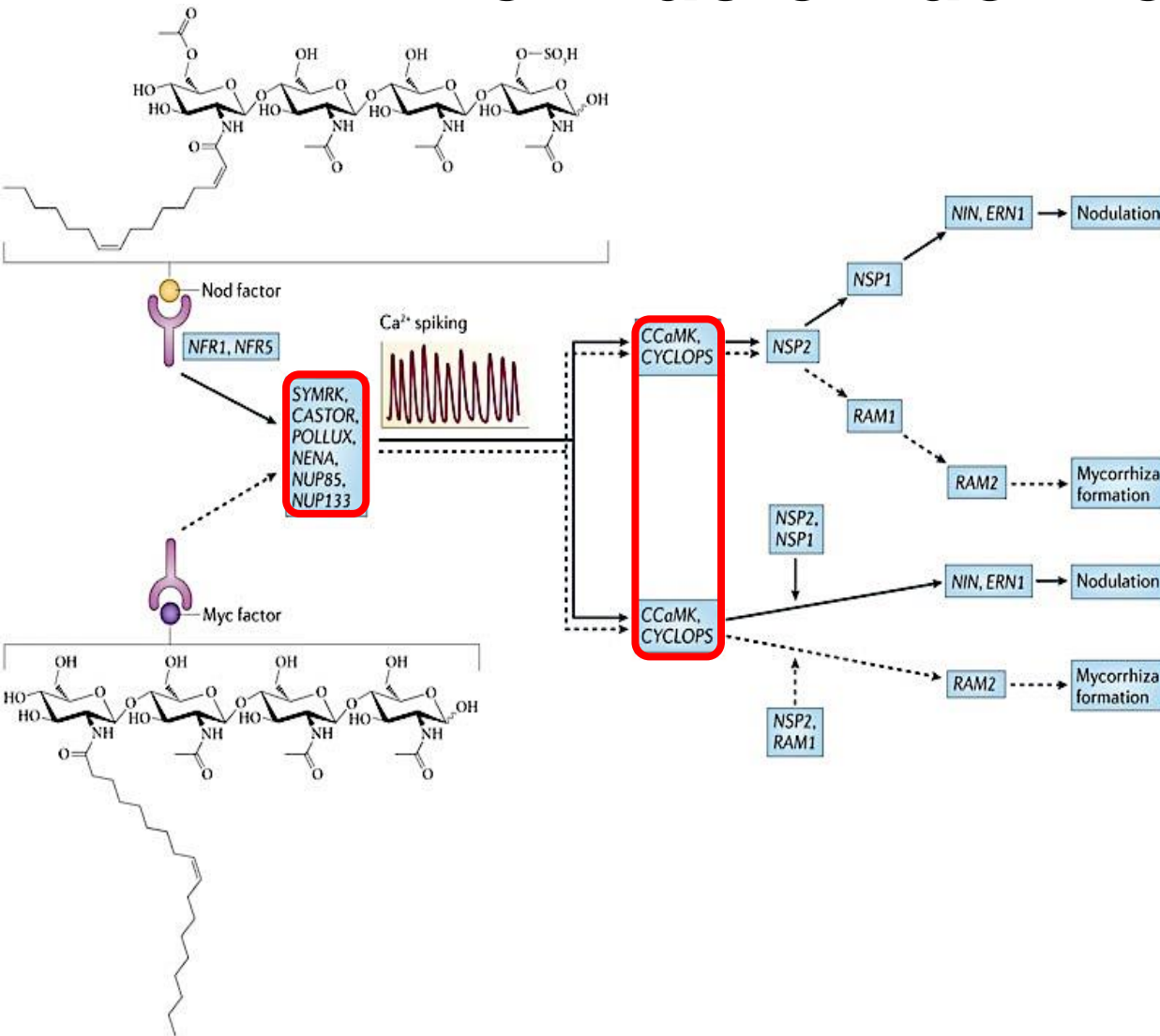
En el 75% de las leguminosas, las bacterias entran a través de los pelos.

En el otro 25% (ej, maní), las bacterias entran por roturas en la epidermis, a veces promovidas por la formación de raíces laterales.



Adapted from Oldroyd, G.E.D., and Downie, J.A. (2008). Coordinating nodule morphogenesis with rhizobial infection in legumes. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59: [519-546](#).

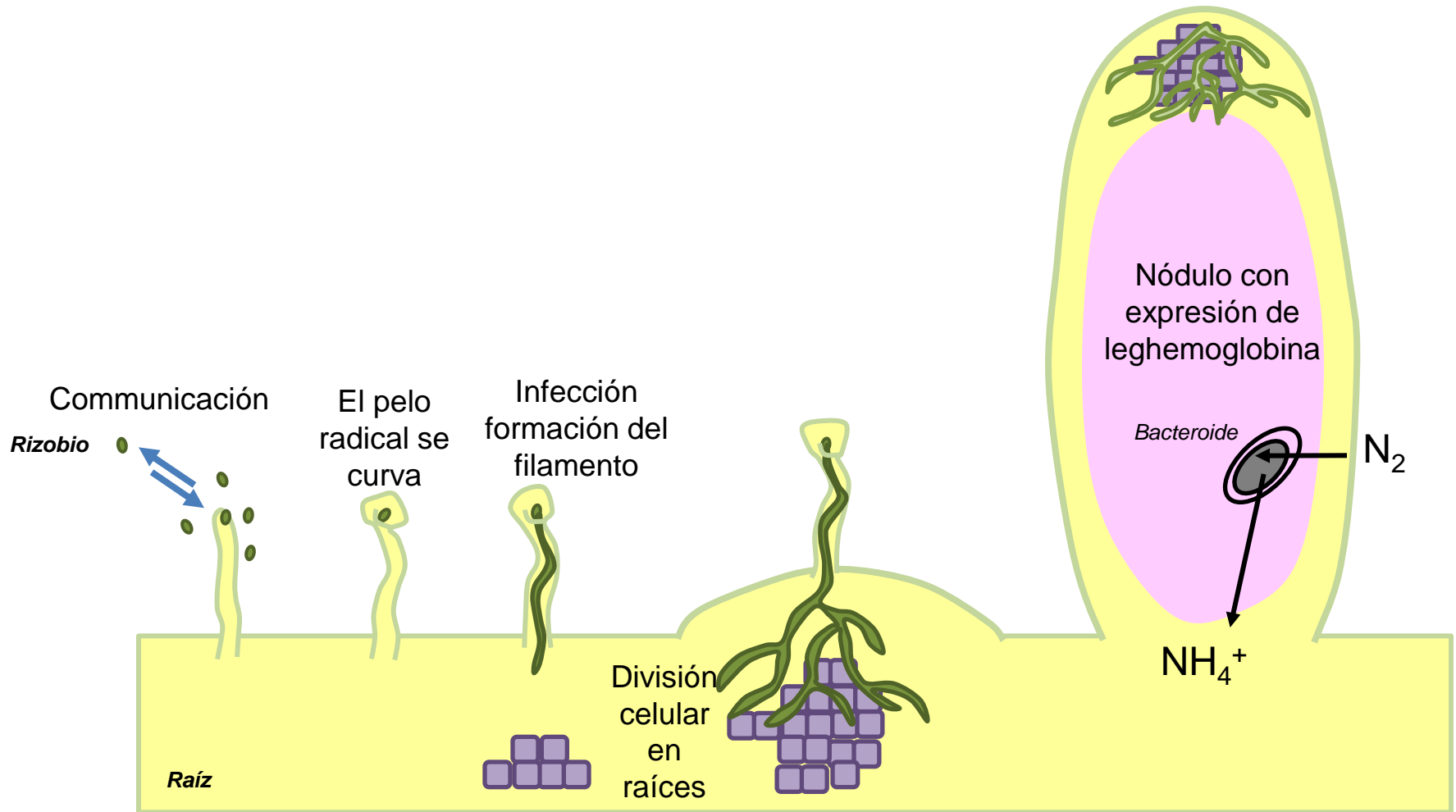
Formación del nódulo



- Rio debajo de la percepción del factor Nod, una cascada de señales da lugar a la formación del nódulo.
- Al menos 8 de los genes necesarios en la formación del nódulo, también son necesarios en la asociación con micorrizas.
- Esto sugiere un camino evolutivo común para ambos tipos de simbiosis.
- Esta vía se denomina **vía común de la simbiosis** y sus genes son denominados **genes SYM**.

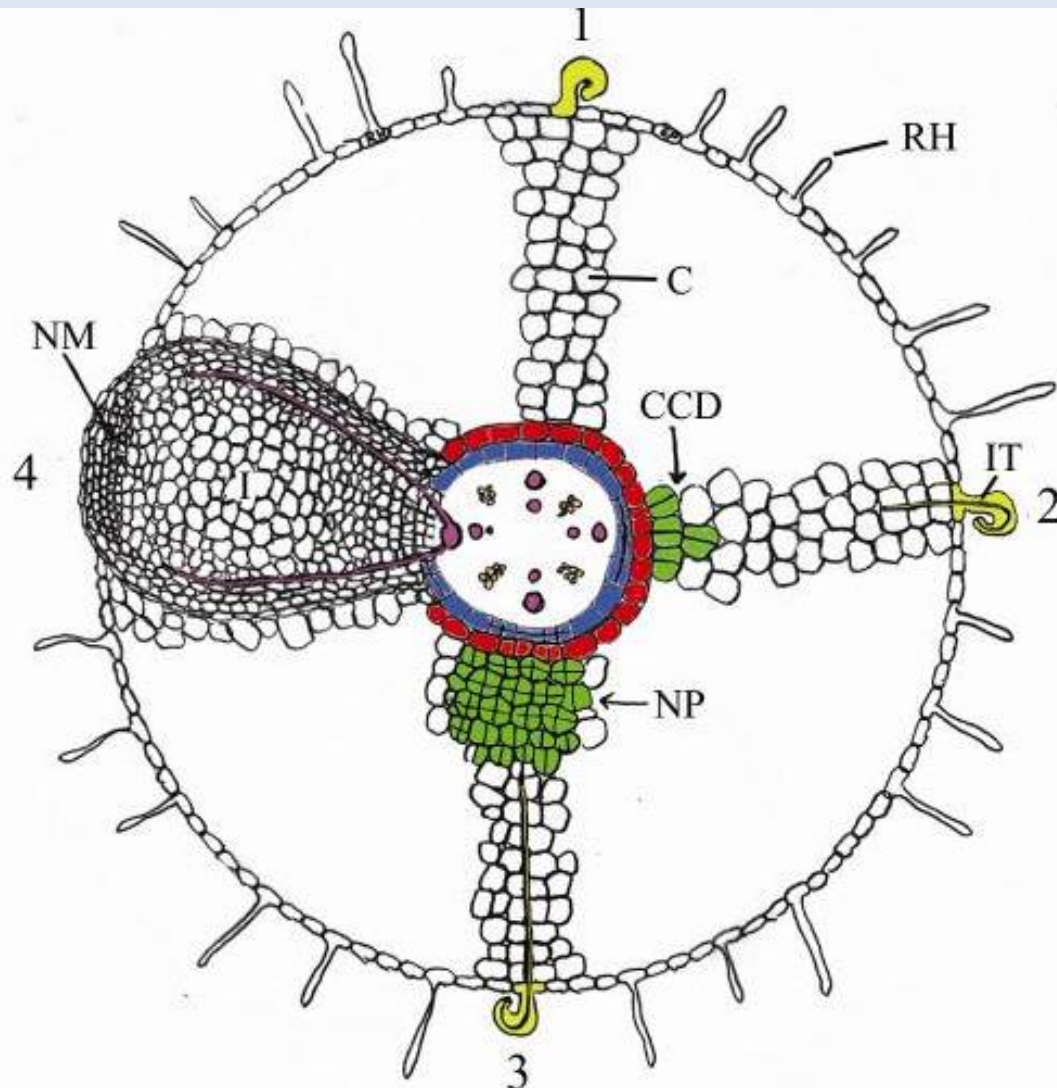
Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd from Oldroyd, G.E. (2013). Speak, friend, and enter: signalling systems that promote beneficial symbiotic associations in plants. Nat Rev Microbiol. 11: [252-632](#).

Etapas en el desarrollo de un nódulo



Adapted from Gibson, K.E., Kobayashi, H., and Walker, G.C. (2008). Molecular determinants of a symbiotic chronic infection. *Annu. Rev. Genet.* 42: [413-441](#).

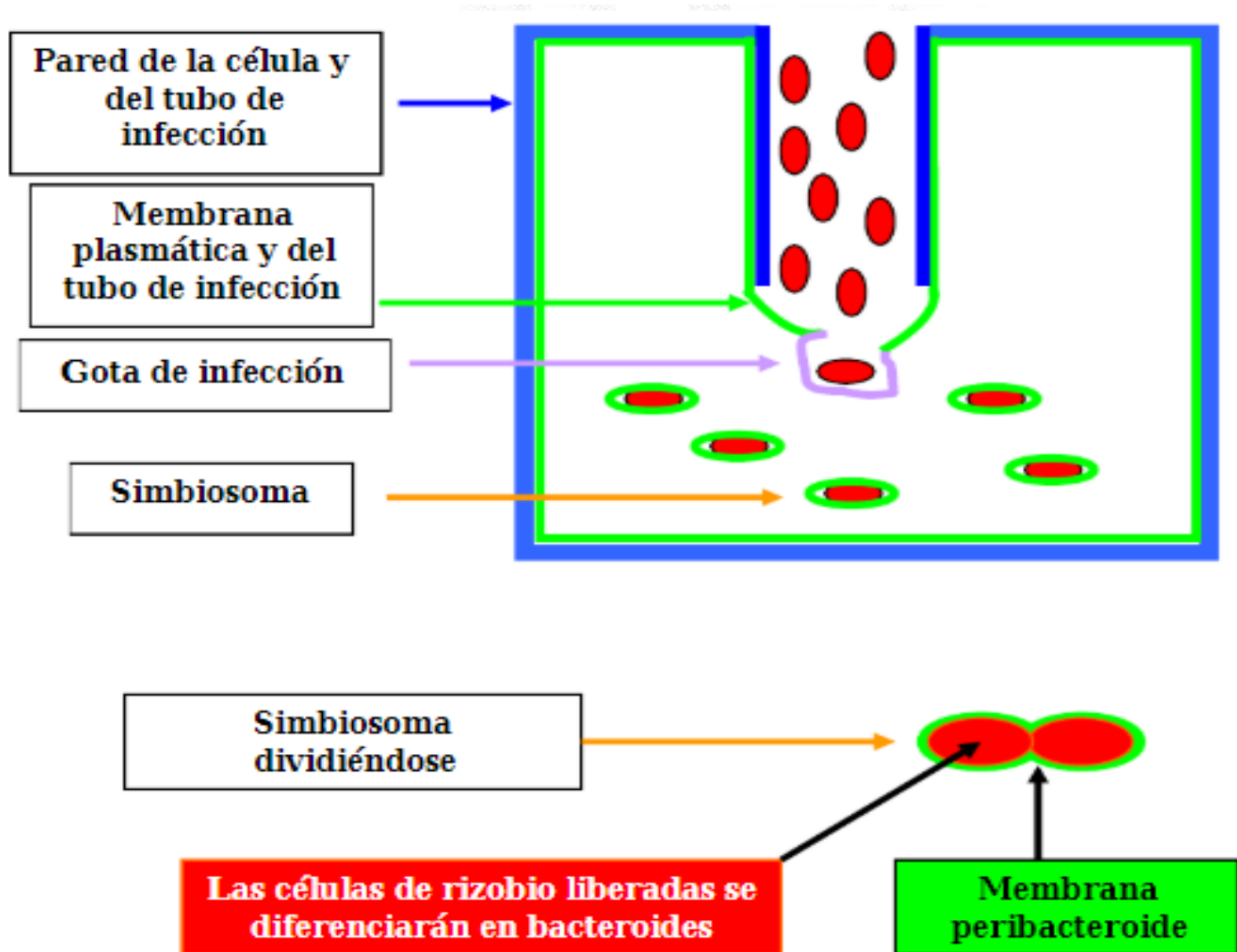
Ingreso de la bacteria y proceso de nodulación



1. Enrolamiento del pelo.
2. Formación del filamento de infección (invaginación de la membrana y la pared celular de la planta) y división de las células corticales.
3. Formación del primordio del nódulo.
4. Desarrollo del nódulo con formación de meristema (en algunas leguminosas)

Image by [U Mathesius](#)

La bacteria avanza dentro del tubo de infección y se va duplicando.



Morfología y desarrollo del nódulo

Los nódulos de leguminosas forman divisiones celulares en el cortex.

Se requiere la acción de citocininas

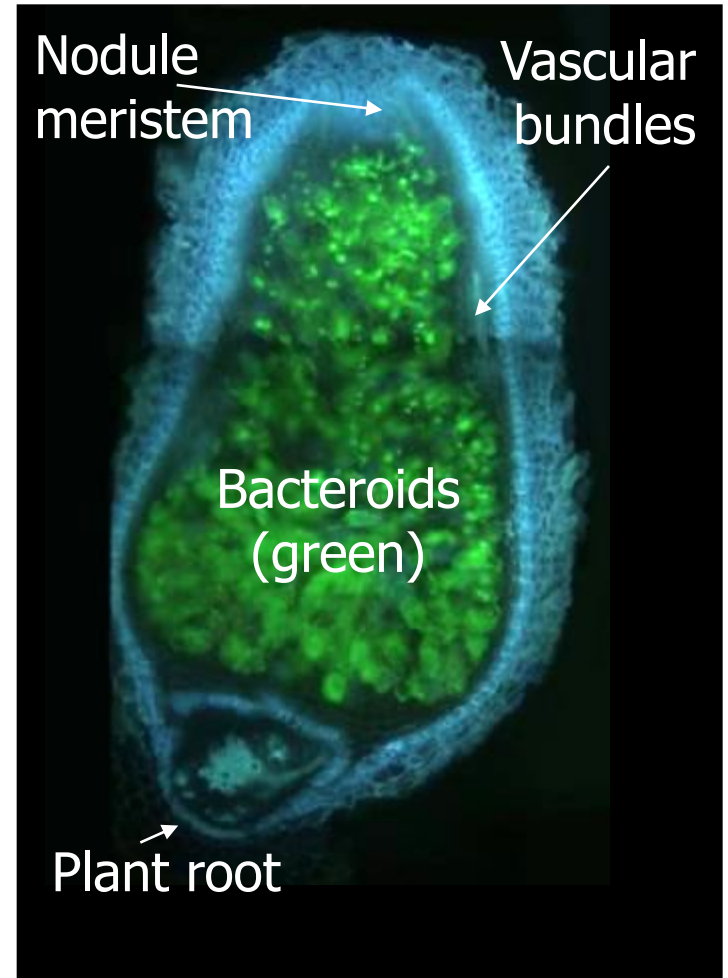
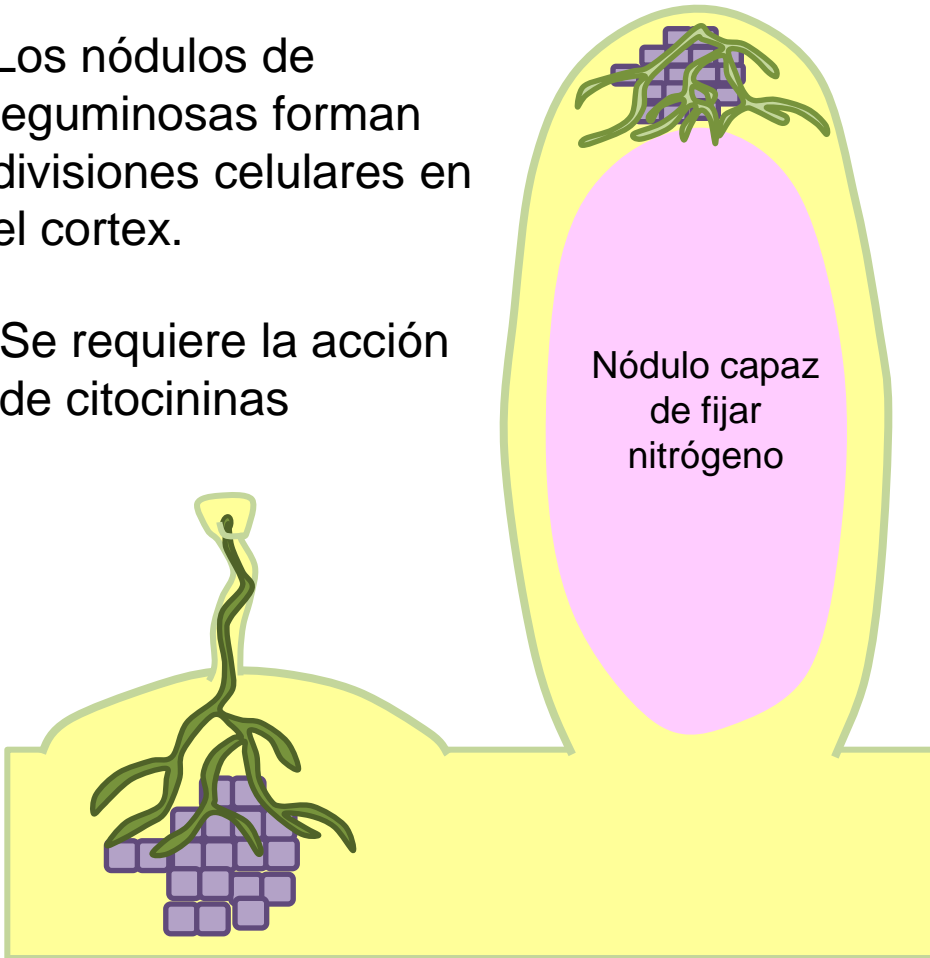


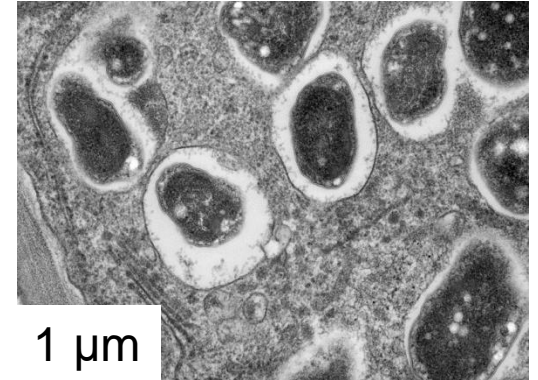
Image by [U Mathesius](#)

Simbiosis entre rizobios y leguminosas

- Es la simbiosis más sofisticada para la fijación de N_2
- El nódulo es el único órgano diseñado para soportar los rizobios.
- Luego de la infección los rizobios se diferencian en **bacterioides**
- Los bacterioides son encerrados en la célula en un **simbiosoma**.
- Los simbiosomas están rodeados por una membrana especializada- la **membrana peribacteroidal**.

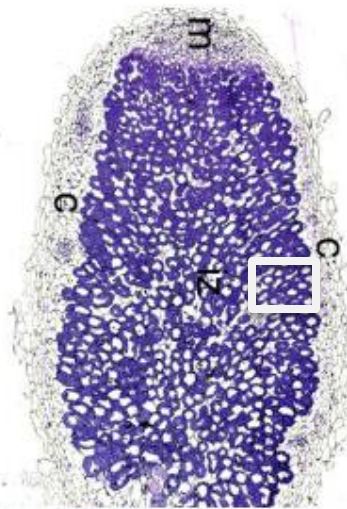


nódulos

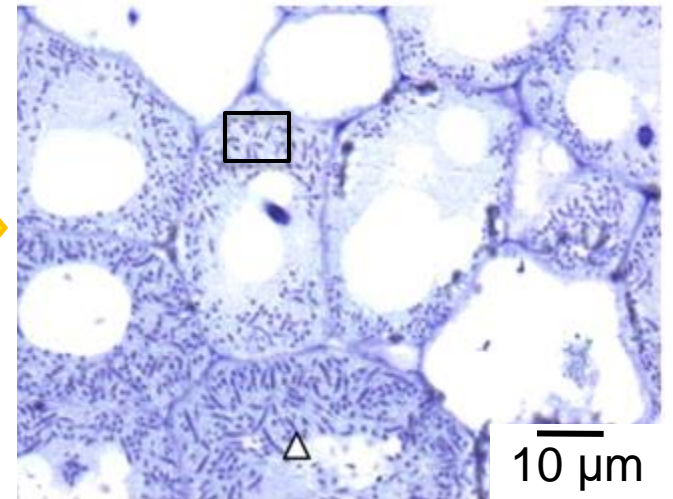


1 μm

Bacterioides dentro de simbiosomas



CT de un nódulo

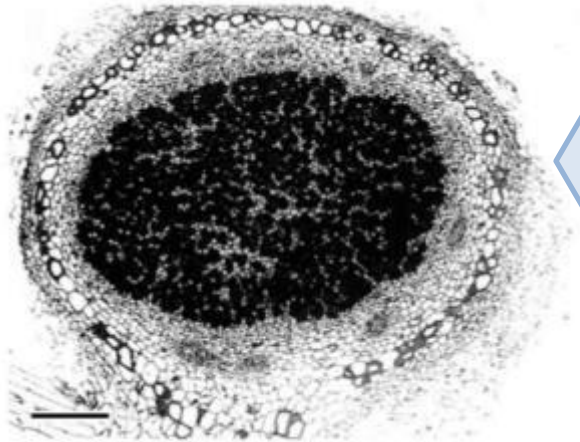


10 μm

Bacterioides dentro del nódulo

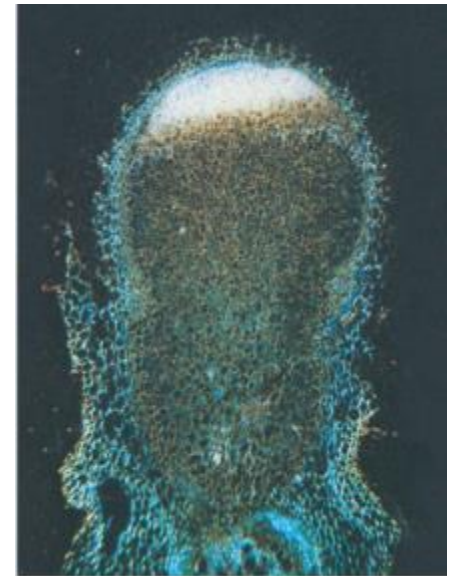
Photo credits: [Ninjataco](#); [Louisa Howard](#); [James Hutton Institute](#)

Los nódulos pueden ser determinados o indeterminados



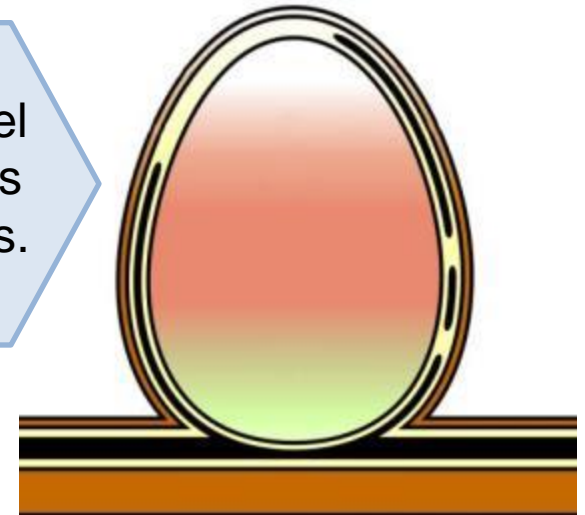
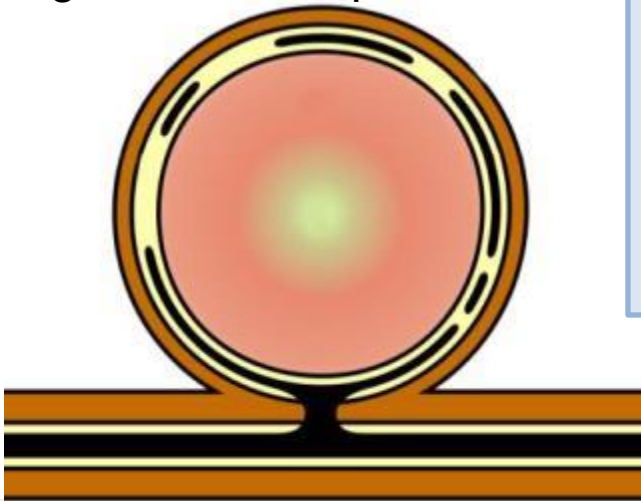
Soja, *Lotus* (determinado)
Leguminosas tropicales

Los nódulos determinados son más homogéneos y pierden el meristema apical.



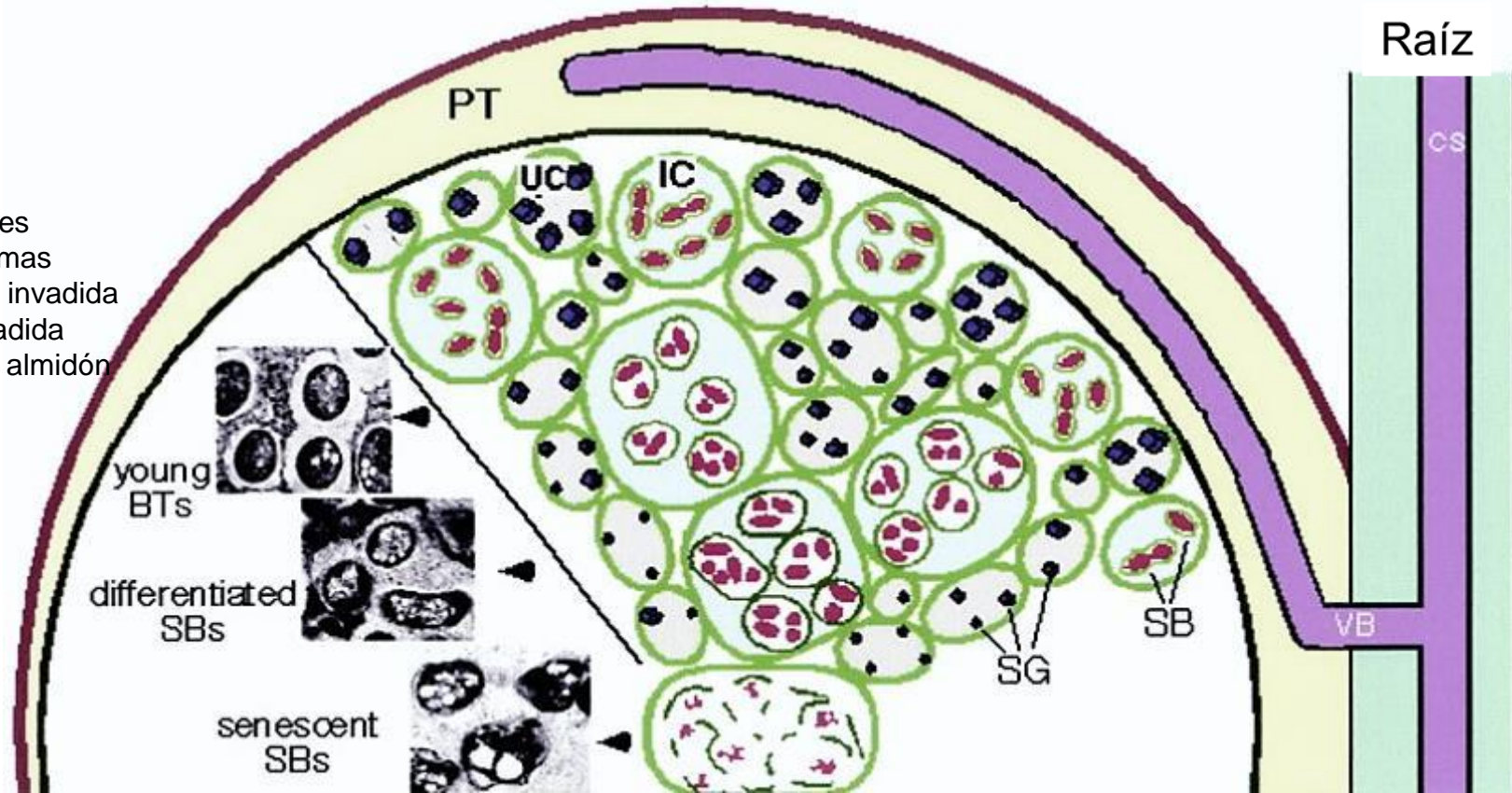
Alfalfa, arvejas (indeterminado)
Leguminosas templadas

Los nódulos indeterminados retienen el meristema, y tienen zonas con diferentes actividades.



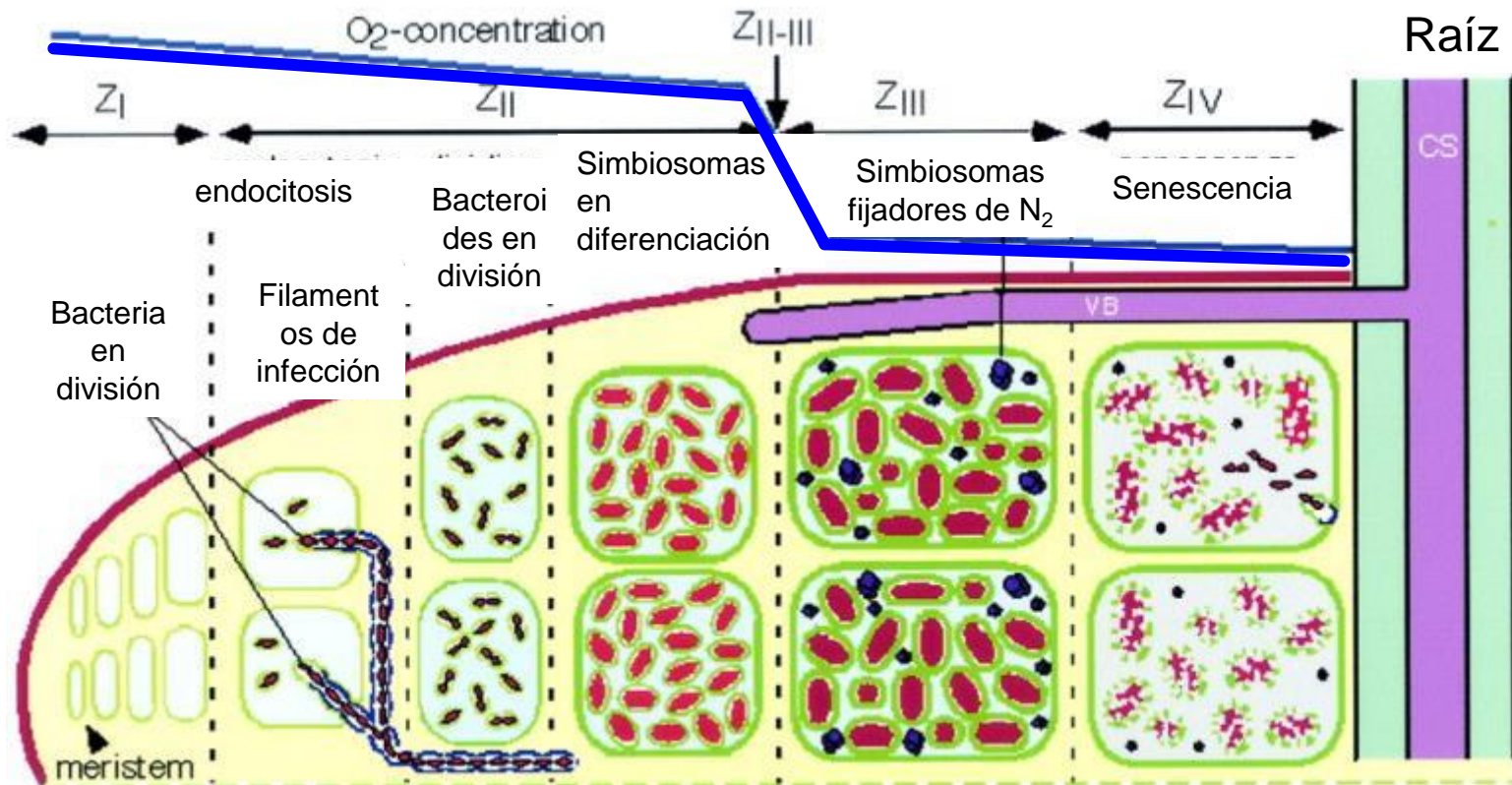
Los nódulos determinados tienen diferentes tipos celulares distribuidos

BT = bacteroides
SB = simbiosomas
UC = célula no invadida
IC = célula invadida
SG = grano de almidón



Patriarca, E.J., Tate, R. and Iaccarino, M. (2002). Key role of bacterial NH_4^+ metabolism in rhizobium-plant symbiosis. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 66: [203-222](#), reproduced with permission from the American Society for Microbiology.

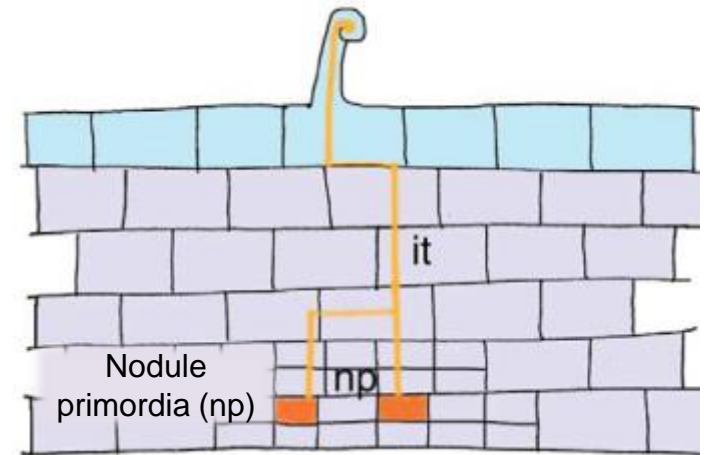
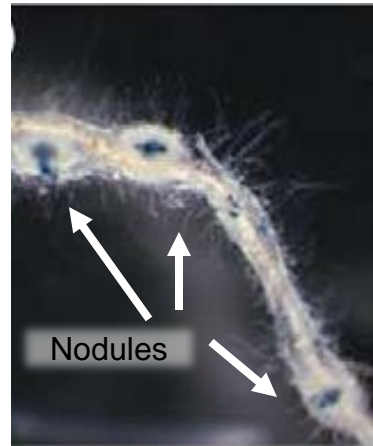
Los nódulos indeterminados tienen zonas con diferentes actividades



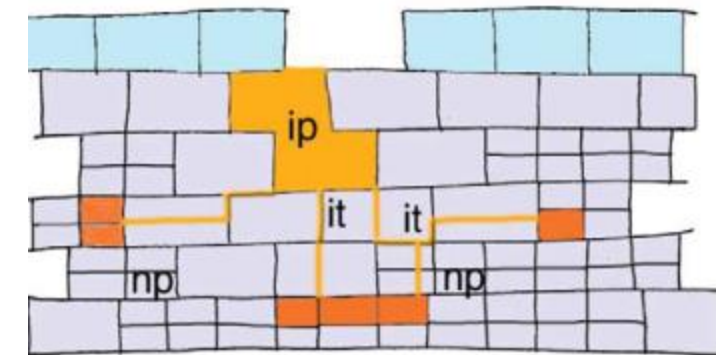
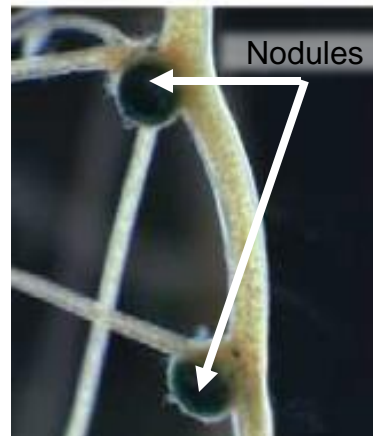
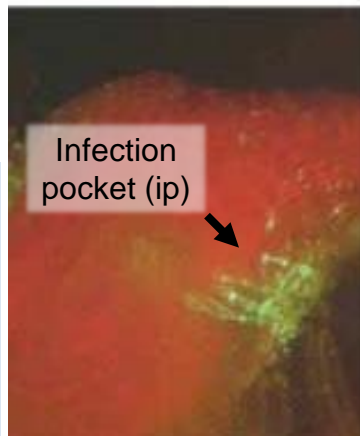
Patriarca, E.J., Tate, R. and Iaccarino, M. (2002). Key role of bacterial NH_4^+ metabolism in rhizobium-plant symbiosis. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 66: [203-222](https://doi.org/10.1128/MMBR.66.2.203-222), reproduced with permission from the American Society for Microbiology.

La leguminosa *Sesbania rostrata* hace nódulos en el tallo además de las raíces.

Raíz



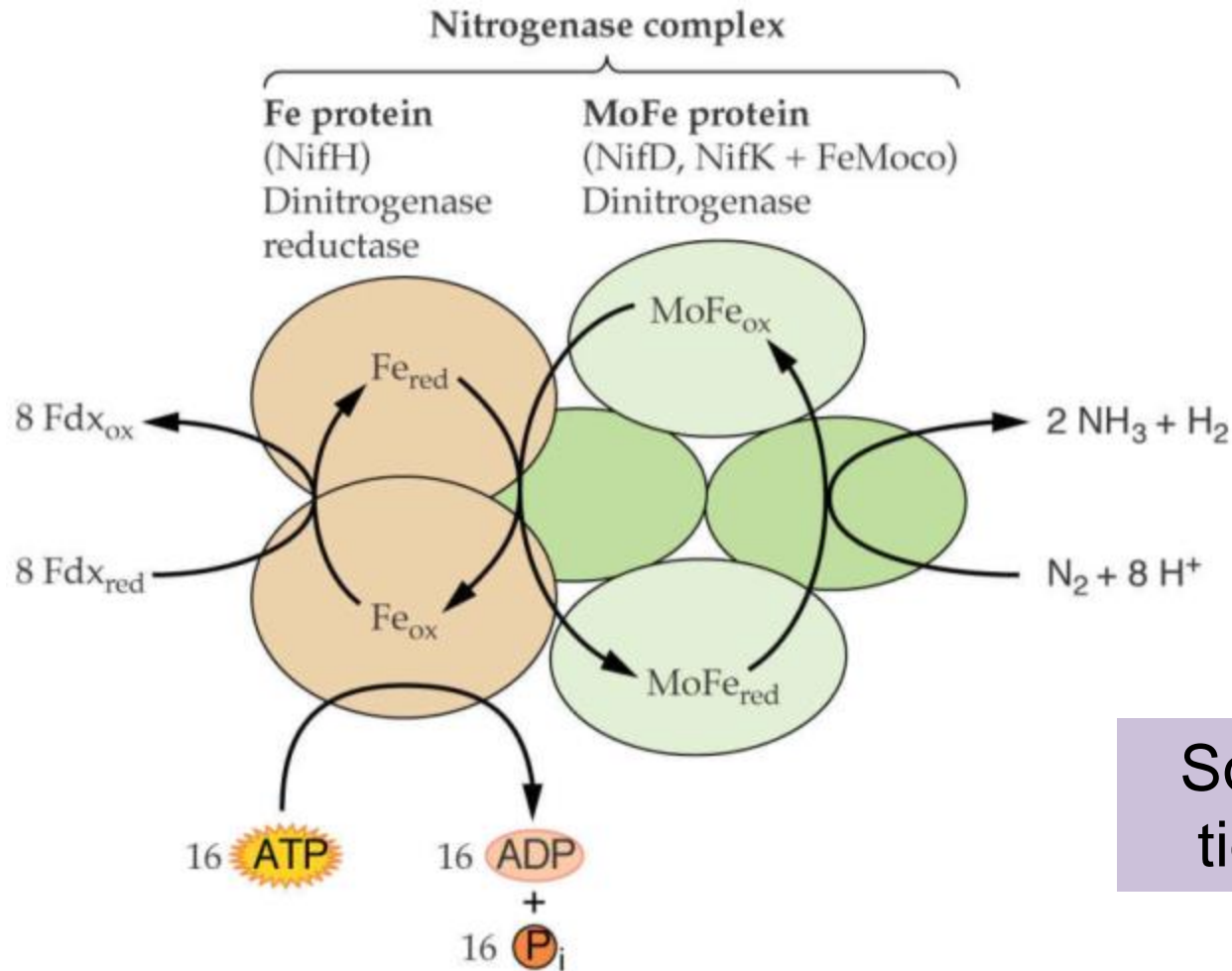
Tallo



La misma bacteria genera dos tipos de nódulo en la misma planta.

Goormachtig, S., Capoen, W., and Holsters, M. (2004). Rhizobium infection: lessons from the versatile nodulation behaviour of water-tolerant legumes. *Trends Plant Sci.* 9: [518-522](#) with permission from Elsevier.

La Nitrogenasa es una enzima producida por el bacteroide



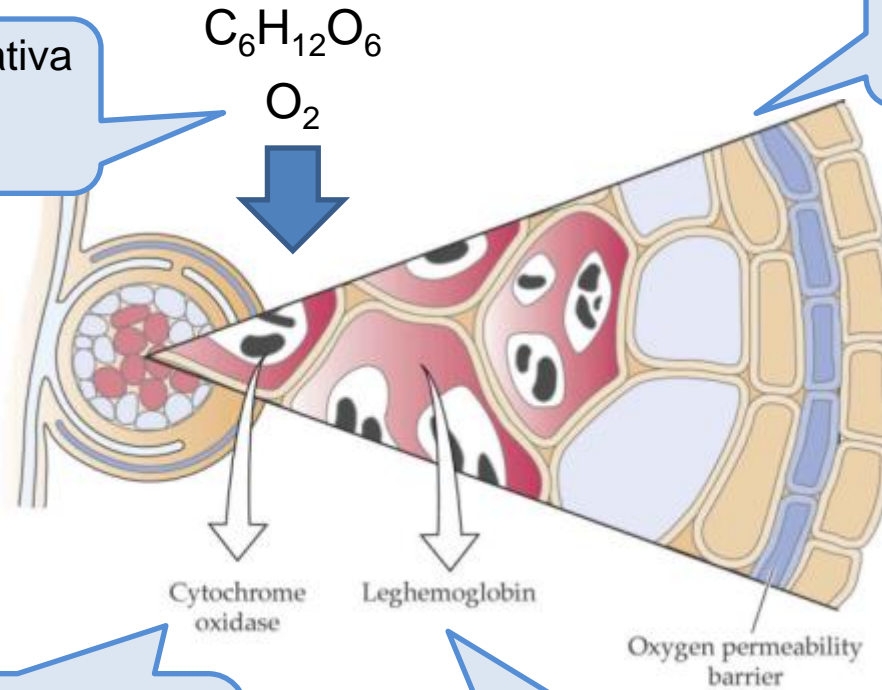
La nitrogenasa es desactivada por el O_2

Sólo las procariontas tienen nitrogenasa

From: Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (2000) [Biochemistry and Molecular Biology of Plants](#). American Society of Plant Physiologists.

Los bacteroides necesitan alto flujo de O_2 pero bajo O_2 ambiental

La fosforilación oxidativa requiere O_2



Un ambiente bajo es O_2 es mantenido por una barrera impermeable al O_2



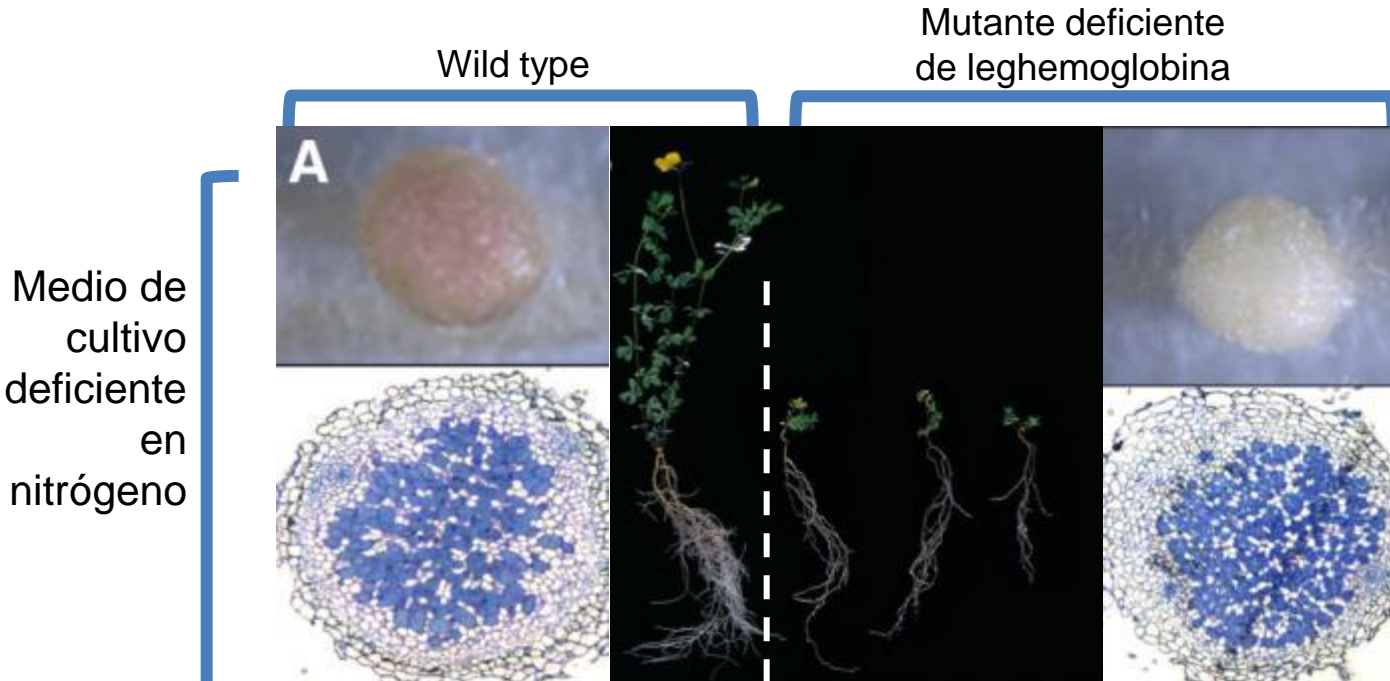
La leghemoglobina le da a los nódulos su color rosado.

Una citocromo oxidasa de alta afinidad en el bacteroide funciona a bajas concentraciones de O_2 .

La leghemoglobina regula el O_2 y lo envía a las células que están respirando.

From: Buchanan, B.B., Gruissem, W. and Jones, R.L. (2000) [Biochemistry and Molecular Biology of Plants](#). American Society of Plant Physiologists.

Las leghemoglobinas producidas por las plantas son cruciales para la fijación simbiótica de N_2

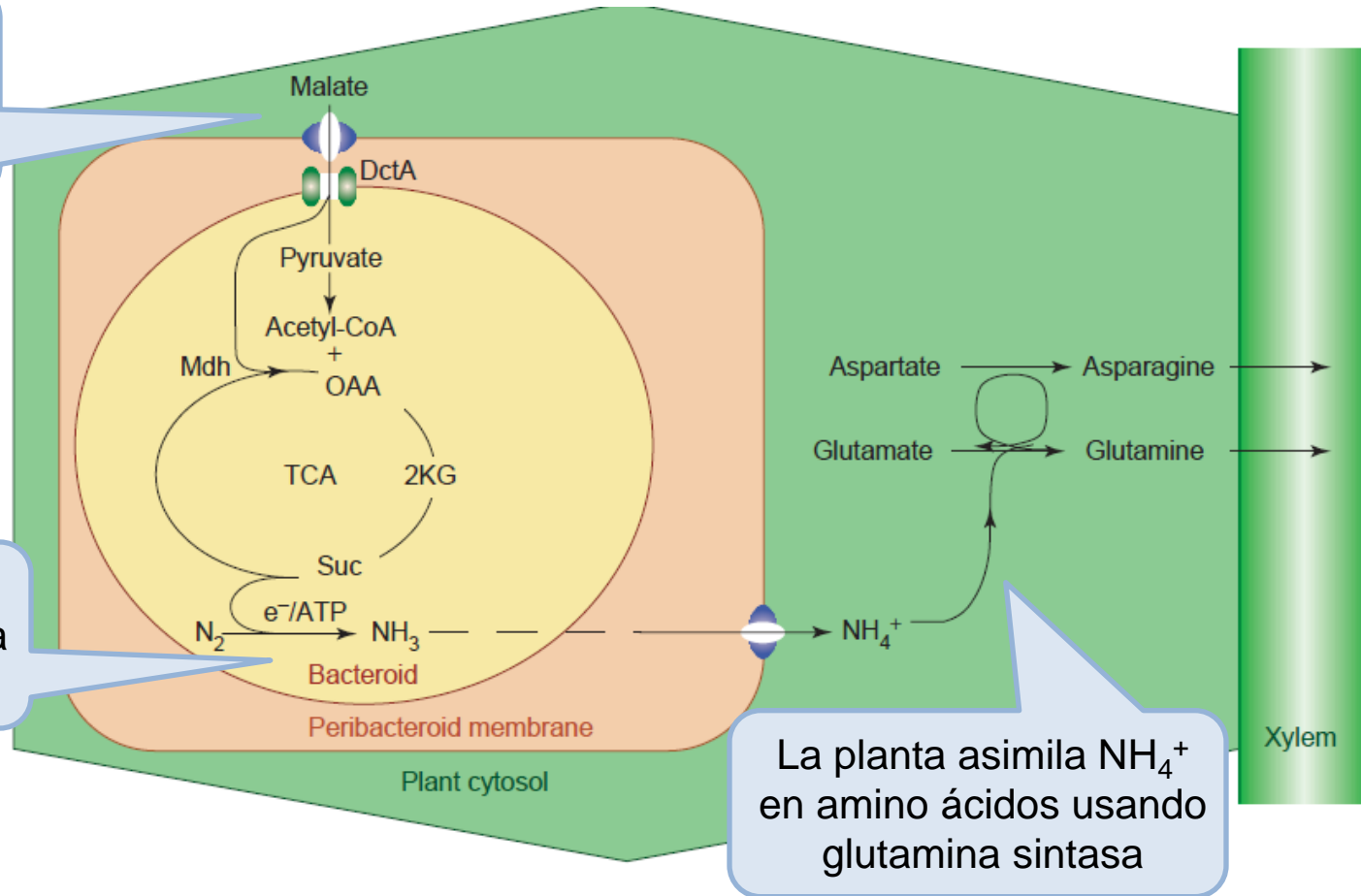


Las plantas no necesitan leghemoglobina; la producen en función de la asociación simbiótica

La fijación simbiótica de nitrógeno requiere un intercambio de nutrientes.

La planta provee carbono orgánico para producción de ATP.

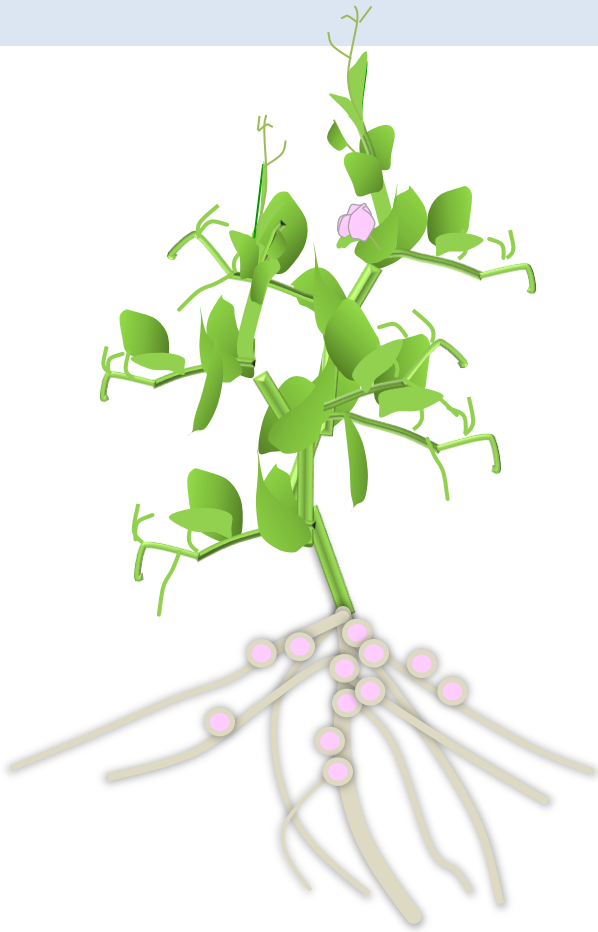
El bacteroide fija N_2 a NH_3 que es exportado a la célula de la planta.



La planta asimila NH_4^+ en amino ácidos usando glutamina sintasa

Reprinted from Prell, J., and Poole, P. (2006). Metabolic changes of rhizobia in legume nodules. Trends Microbiol. 14: [161-168](#) with permission from Elsevier.

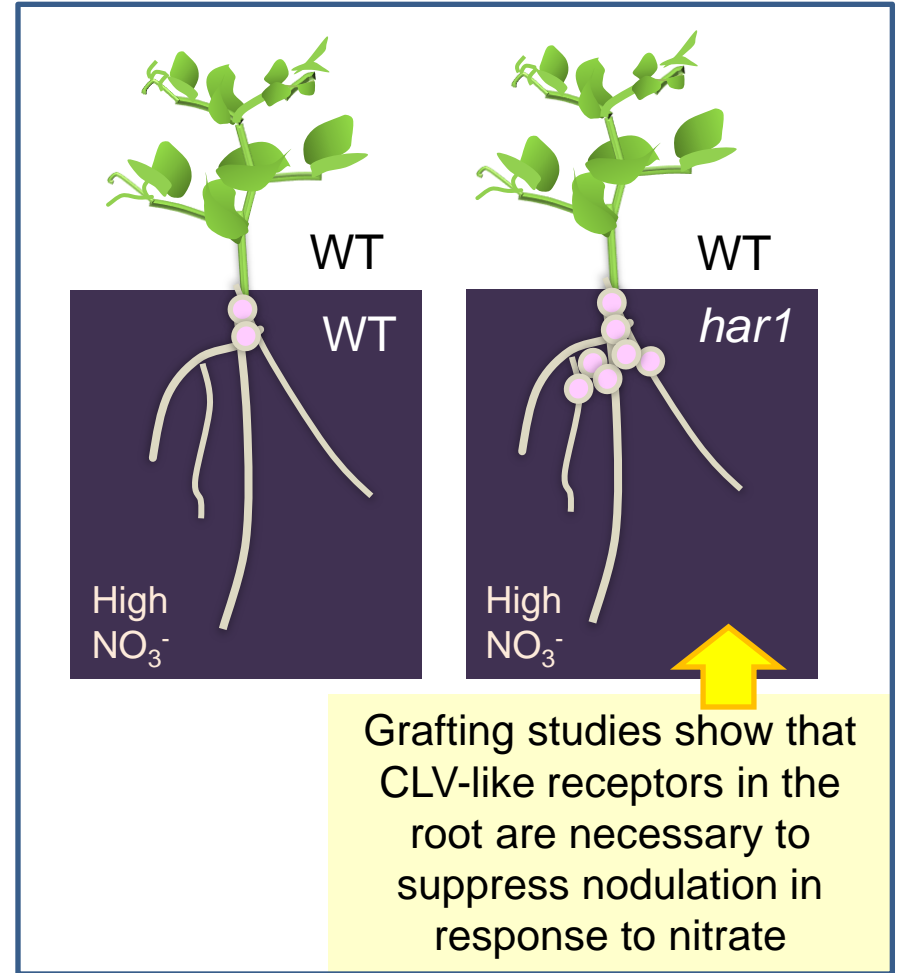
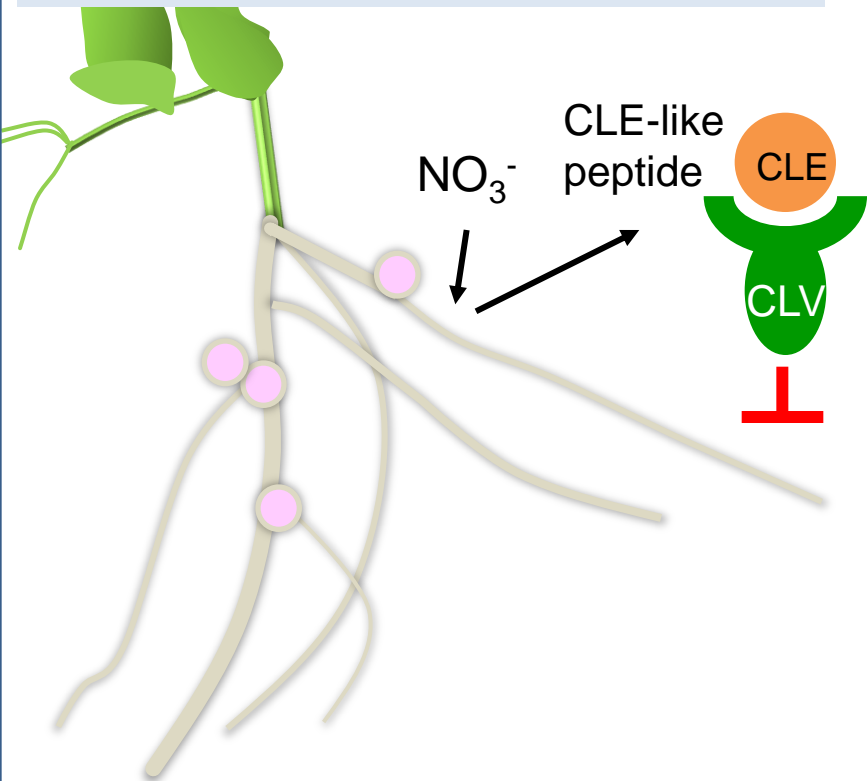
La nodulación es controlada por la planta



- Controla el número de nódulos formados.
- Suprime el desarrollo de nódulos cuando el nitrato está disponible.
- Sanciona a los nódulos que no producen nitrógeno fijado.

El nitrato reprime la nodulación localmente via receptores ubicados en la raíz

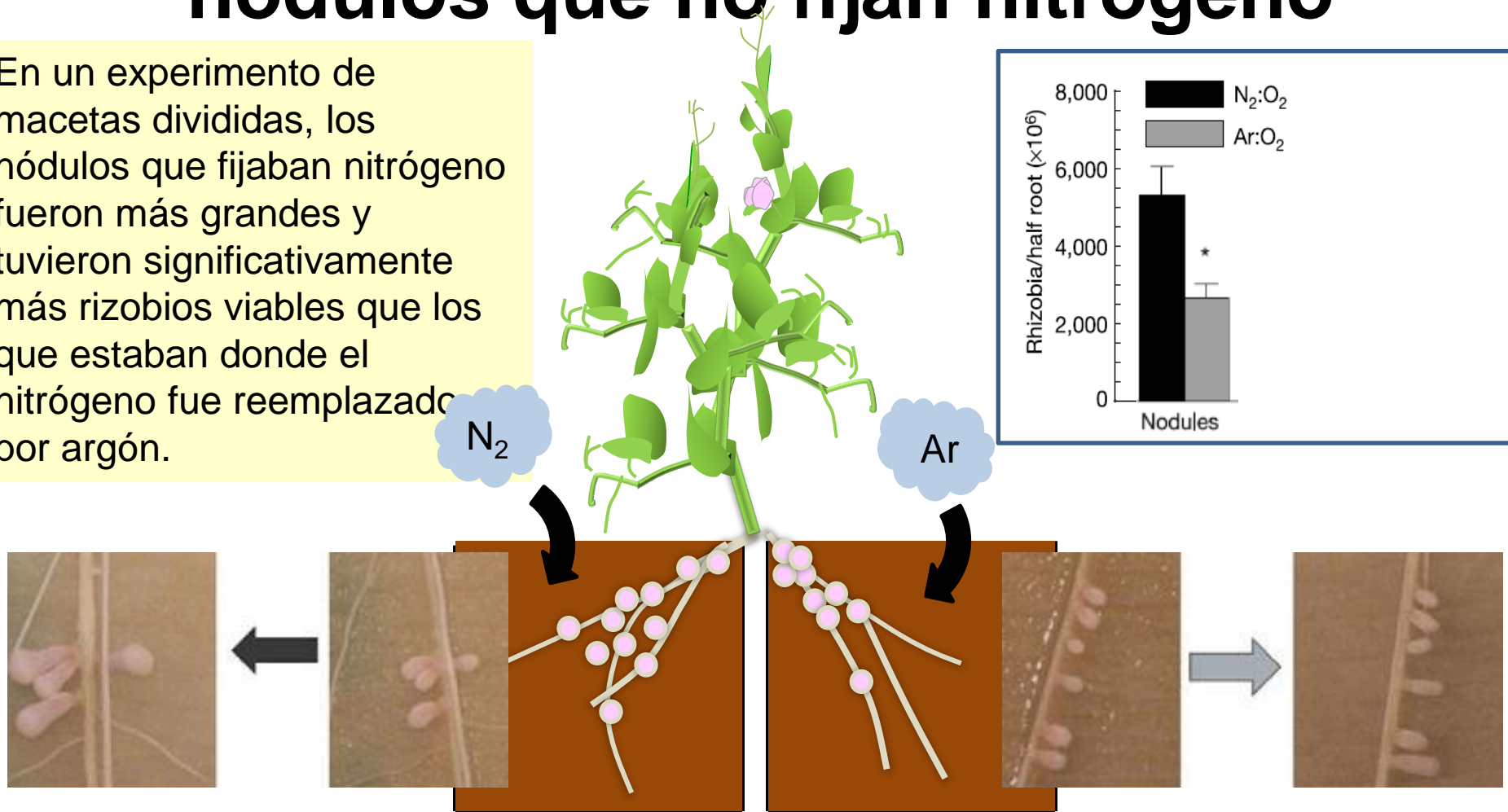
Nitrate-induced CLE peptides interact with CLV-like receptor in the root to repress nodulation



Reid, D.E., Ferguson, B.J. and Gresshoff, P.M. (2011). Inoculation- and nitrate-induced CLE peptides of soybean control NARK-dependent nodule formation. *Mol. Plant-Microbe Interactions*. 24: [606-618](#).

La planta hospedadora sanciona los nódulos que no fijan nitrógeno

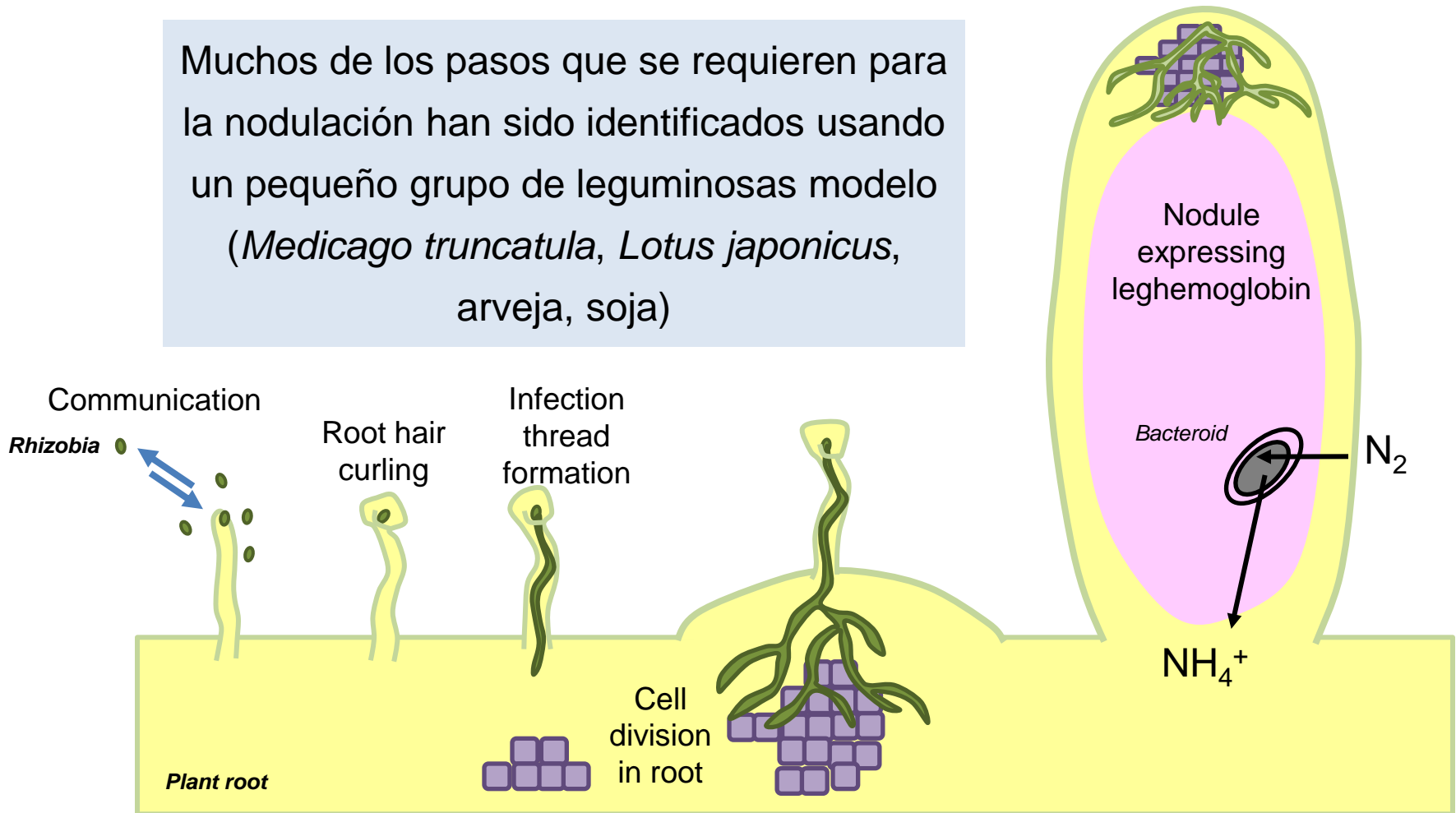
En un experimento de macetas divididas, los nódulos que fijaban nitrógeno fueron más grandes y tuvieron significativamente más rizobios viables que los que estaban donde el nitrógeno fue reemplazado por argón.



Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd : Kiers, E.T., Rousseau, R.A., West, S.A. and Denison, R.F. (2003). Host sanctions and the legume-rhizobium mutualism. *Nature* 425: [78-81](#); Oono, R., Anderson, C.G. and Denison, R.F. (2011). Failure to fix nitrogen by non-reproductive symbiotic rhizobia triggers host sanctions that reduce fitness of their reproductive clonemates. *Proc. Roy. Soc. B.* 278: [2698-2703](#).

Leguminosas y rizobios - resumen

Muchos de los pasos que se requieren para la nodulación han sido identificados usando un pequeño grupo de leguminosas modelo (*Medicago truncatula*, *Lotus japonicus*, arveja, soja)

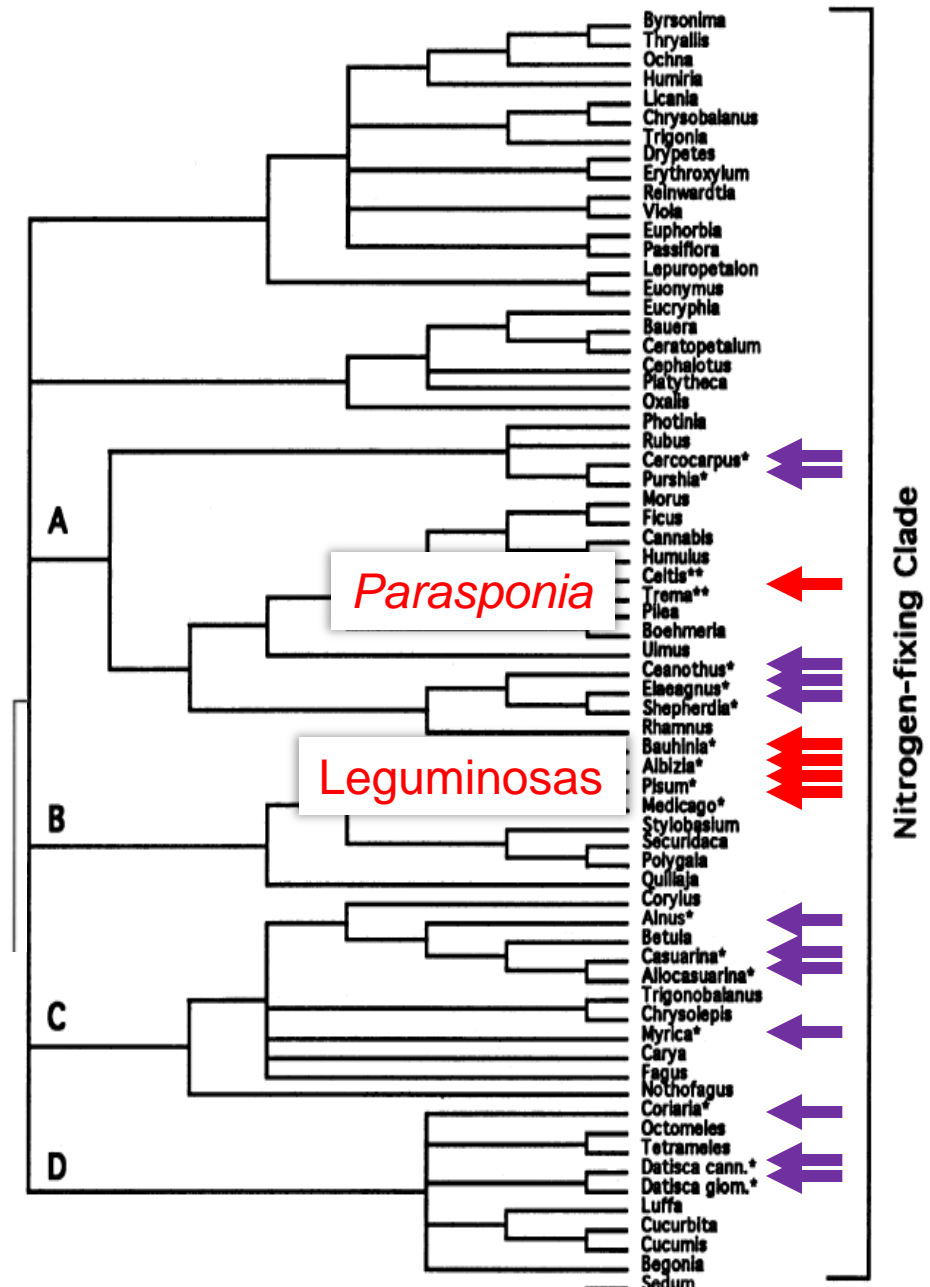


Adapted from Gibson, K.E., Kobayashi, H., and Walker, G.C. (2008). Molecular determinants of a symbiotic chronic infection. *Annu. Rev. Genet.* 42: [413-441](#).

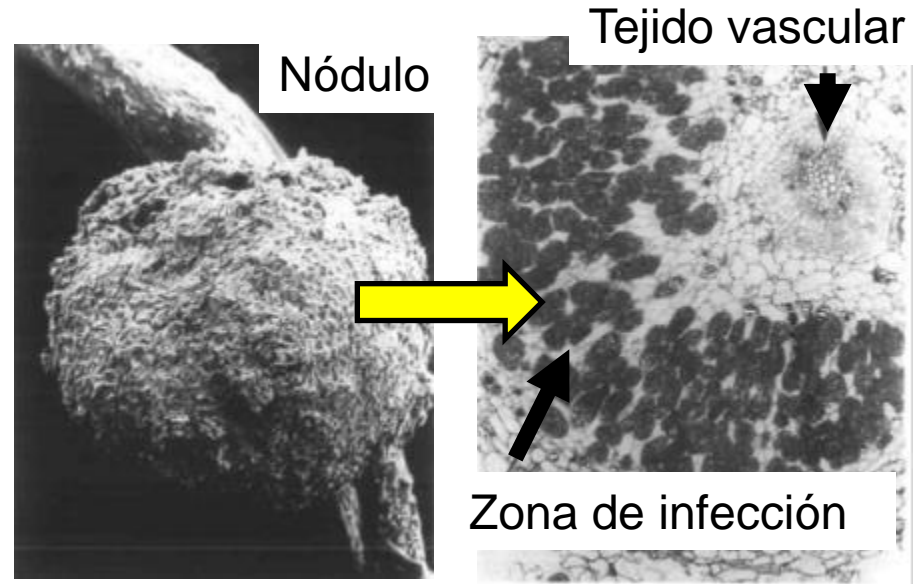
Nodulación— más allá de las leguminosas

Parasponia es el único género conocido por fuera de las leguminosa, que forma nódulos con rizobios.

Las plantas actinorrhizas son diversas y se asocian a un único género de bacterias, *Frankia*



Los rizobios forman nódulos en *Parasponia*



El tipo de asociación simbiótica es más primitiva que en leguminosas. El rizobio entra de manera interelular y fija nitrógeno dentro del filamento de infección que queda adherido a la membrana plasmática.

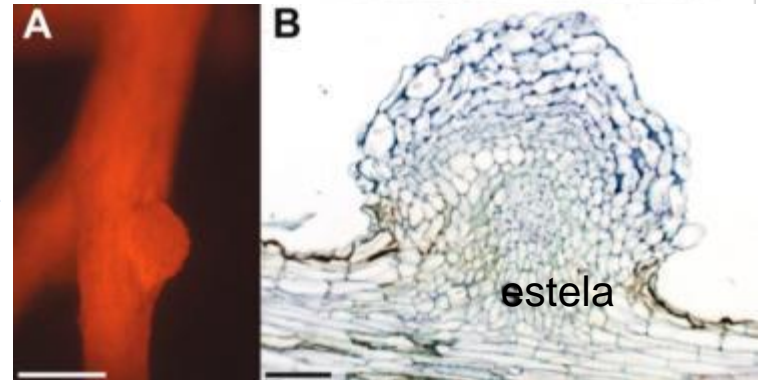


Photo credit: [Leonardo Co](#) c/o [Phytoimages](#); Webster, G., Poulton, P.R., Cocking, E.C. and Davey, M.R. (1995). The nodulation of micro-propagated plants of *Parasponia andersonii* by tropical legume rhizobia. J. Exp.Bot. 46: [1131-1137](#) by permission of Oxford University Press; Op den Camp, R., Streng, A., De Mita, S., Cao, Q., Polone, E., Liu, W., Ammiraju, J.S.S., Kudrna, D., Wing, R., Untergasser, A., Bisseling, T., and Geurts, R. (2011). LysM-type mycorrhizal receptor recruited for rhizobium symbiosis in nonlegume *Parasponia*. Science 331: 909-912 reprinted with permission from AAAS.

Frankia nodula ~200 especies de plantas actinorrícicas

Casuarina equisetifolia



Myrica gale

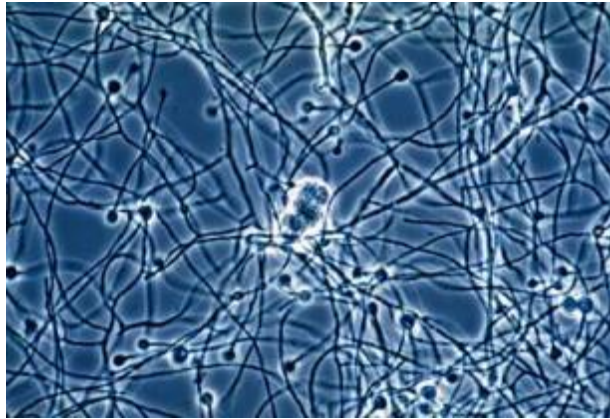


Nódulos de aliso

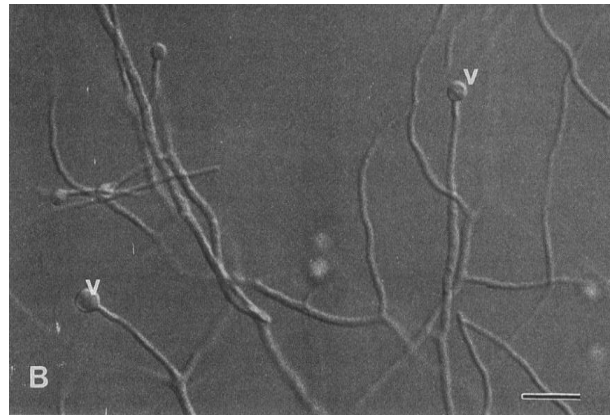
Muchas plantas actinorrícicas son árboles o arbustos. Se las puede encontrar en ambientes pobres en nutrientes o en regiones disturbadas.

Photo credits: [Amy Ferriter](#), State of Idaho, Bugwood.org; [Scott Hamlin](#); [Rosser1954](#); [Sten Porse](#).

Frankia son bacterias filamentosas que forman vesículas fijadoras de nitrógeno



Vesículas de *Frankia*



Nódulos de *Frankia*
con células infectadas

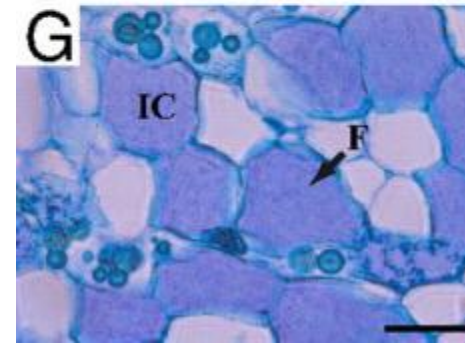
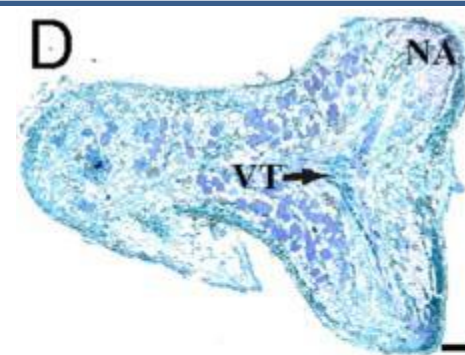
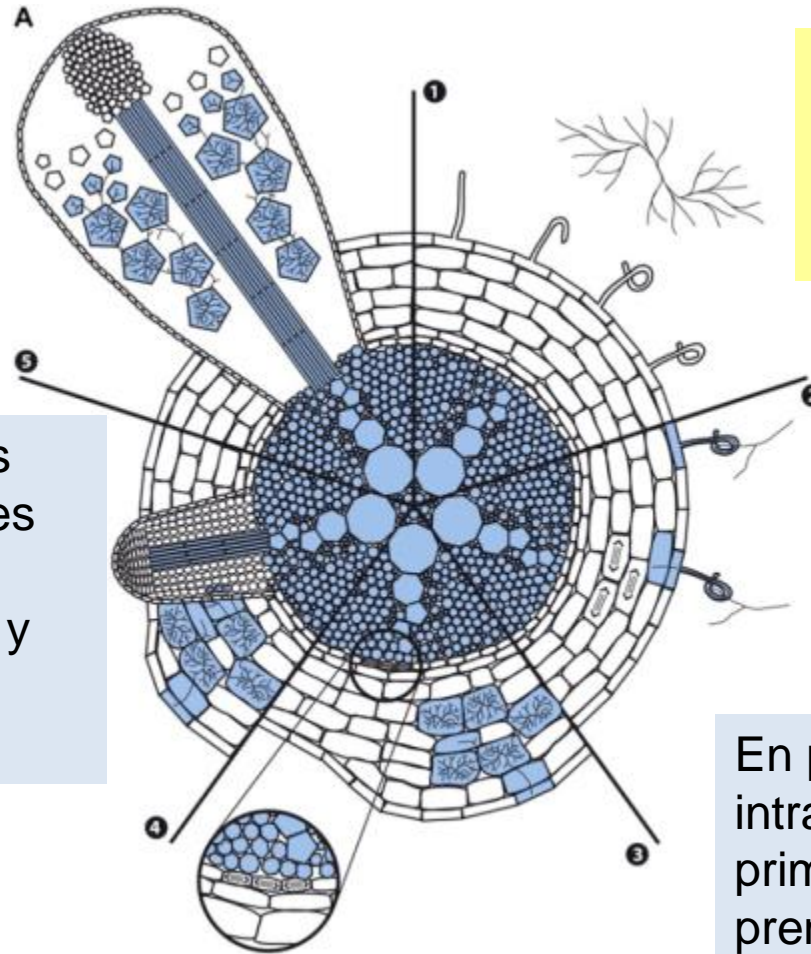


Photo credit: [Ann Hirsch Benson, D.R. and Silvester, W.B. \(1993\). Biology of *Frankia* strains, actinomycete symbionts of actinorhizal plants. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 57: 293-319](#) reproduced with permission from the American Society for Microbiology. [Gherbi, H., Markmann, K., Svistoonoff, S., Estevan, J., Autran, D., Giczey, G., Auguy, F., Péret, B., Laplaze, L., Franche, C., Parniske, M., and Bogusz, D. \(2008\). SymRK defines a common genetic basis for plant root endosymbioses with arbuscular mycorrhiza fungi, rhizobia, and Frankiabacteria. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105: 4928-4932.](#) Copyright National Academy of Sciences.

Los nódulos en plantas actinorrícicas son raíces laterales modificadas



El ingreso de *Frankia* es independiente del factor Nod

Los nódulos en plantas actinorrícicas son raíces laterales modificadas derivadas del periciclo y con vascularización central.

Frankia puede entrar a través de pelos o intercelularmente

En plantas con ingreso intracelular, la bacteria primero coloniza un prenódulo

Péret, B., Swarup, R., Jansen, L., Devos, G., Auguy, F., Collin, M., Santi, C., Hoher, V., Franche, C., Bogusz, D., Bennett, M. and Laplaze, L. (2007). Auxin Influx Activity Is Associated with Frankia Infection during Actinorhizal Nodule Formation in *Casuarina glauca*. *Plant Physiol.* 144: [1852-1862](#).

Resumen

- Muchos grupos de angiospermas son capaces de formar nódulos simbióticos con rizobios o *Frankia*.
- La bacteria puede o no producir un factor Nod, y puede entrar a través de los pelos radicales o heridas epidérmicas.
- La fijación de nitrógeno requiere que ambas partes contribuyan.
- La nodulación y fijación de nitrógeno son energéticamente costosas y están bajo el control de la planta hospedadora.

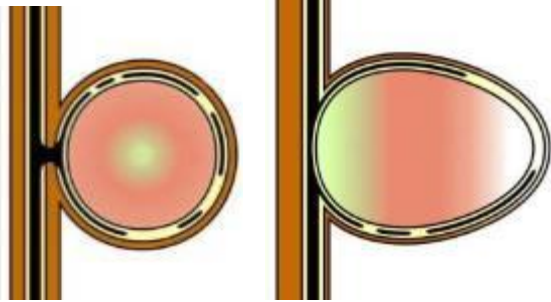
Investigaciones en curso

Hay más de 20000 especies de leguminosas. ¿Qué podemos aprender de ellas?



Doyle, J.J. and Luckow, M.A. (2003). The rest of the iceberg. Legume diversity and evolution in a phylogenetic context. *Plant Physiol.* 131: [900-910](https://doi.org/10.1104/pp.103.1.900).

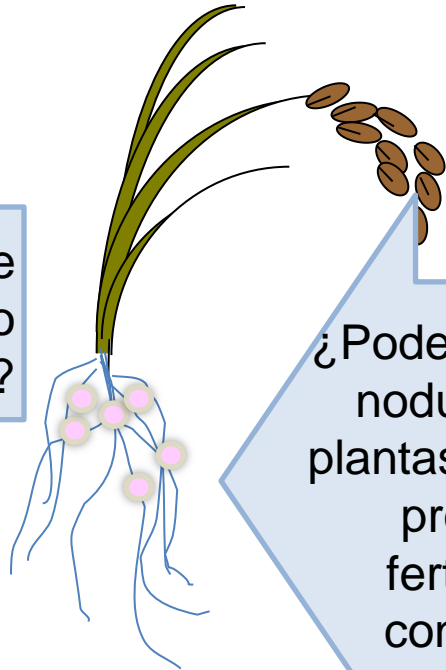
Investigaciones en curso



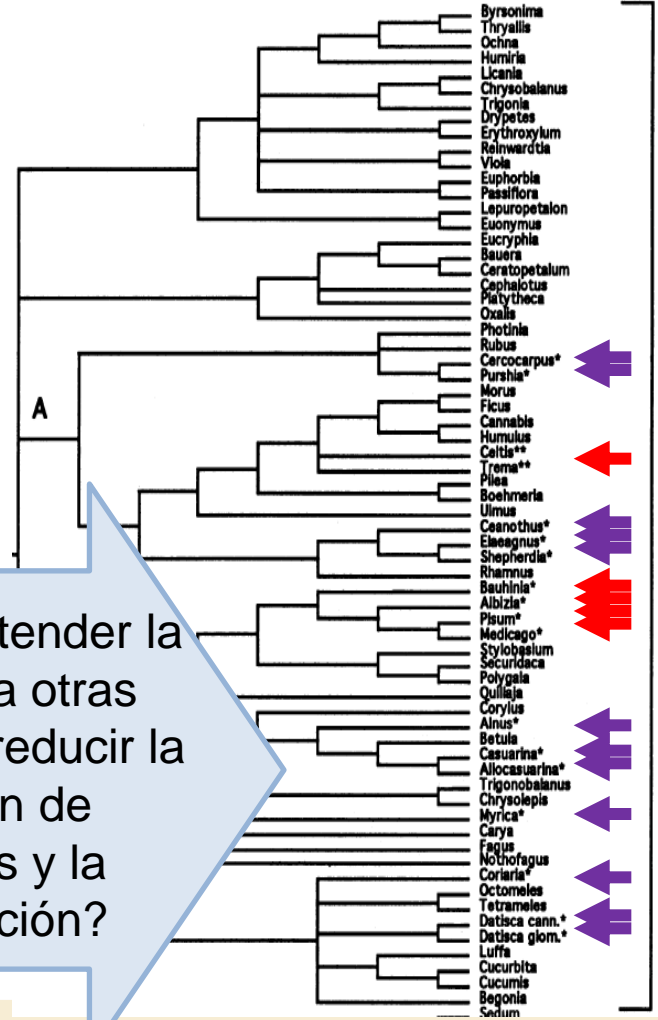
¿Por qué algunos nódulos son determinados y otros indeterminados?



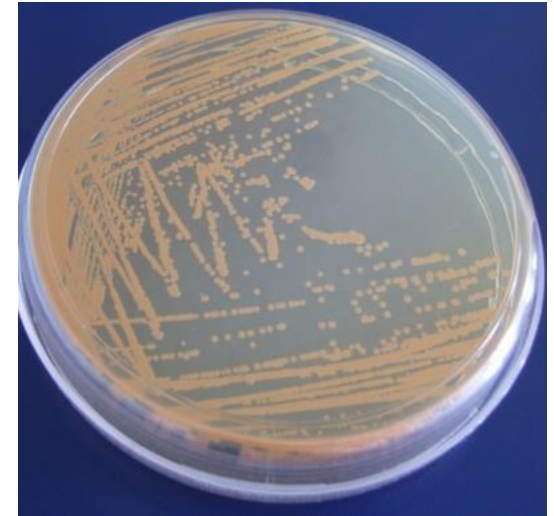
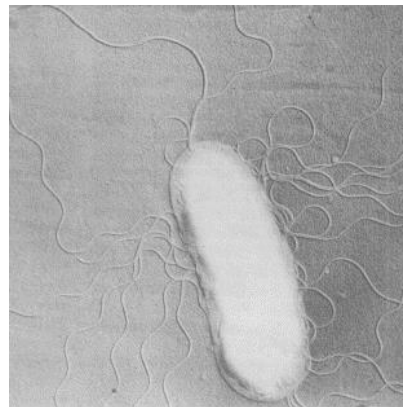
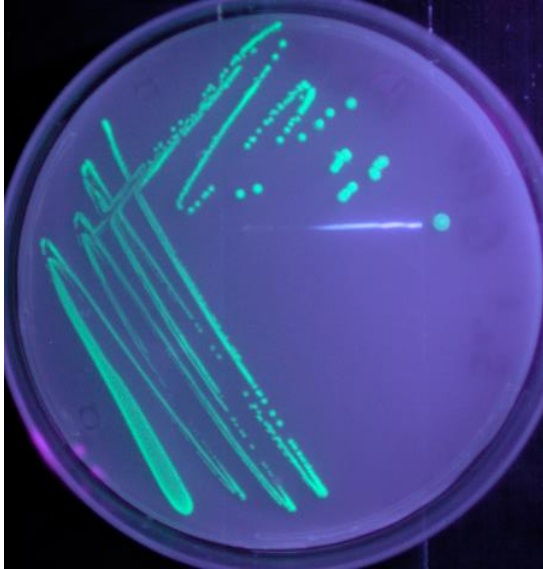
¿Qué mantiene el número justo de nódulos?



¿Podemos extender la nodulación a otras plantas, para reducir la producción de fertilizantes y la contaminación?



Bacterias de Vida Libre

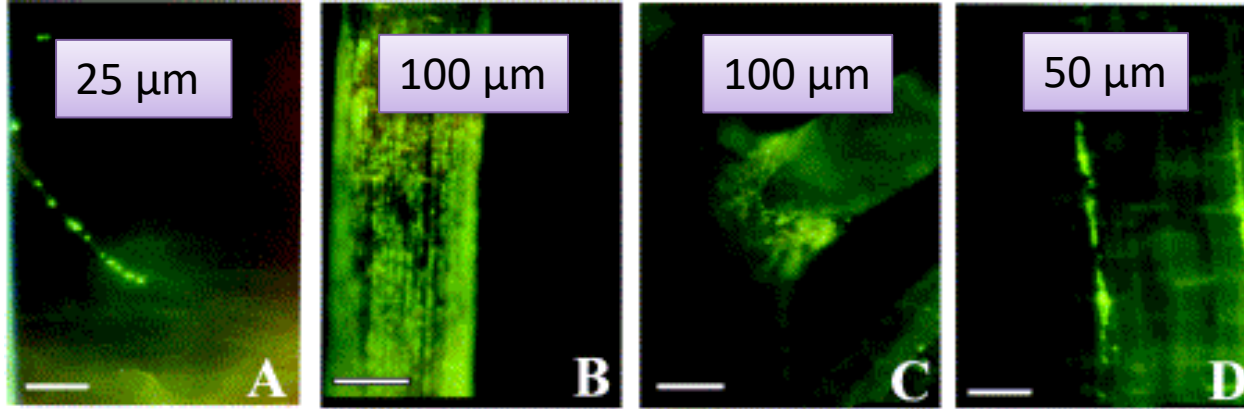


Rizobacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPR)

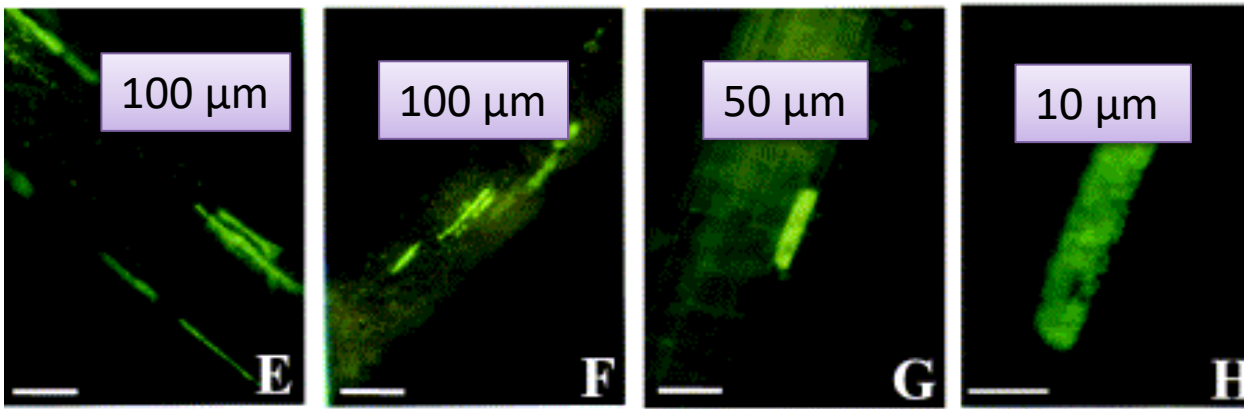
Bacterias de vida libre o endofíticas, que se asocian a las raíces de diferentes plantas y promueven su crecimiento (Kloepper and Schroth, 1978)

Publicaciones Scopus

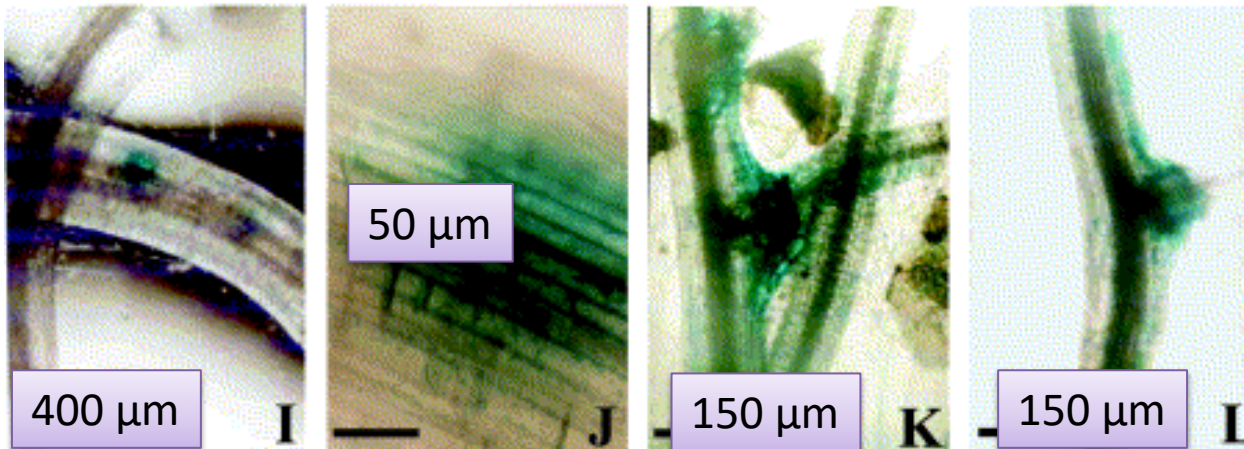
Bacterias	Publicaciones
<i>Rhizobium</i>	25492
<i>Bradyrhizobium</i>	4216
PGPR	2442
PGPB	379
<i>Azospirillum</i>	2975
<i>Pseudomonas</i>	10980



- (A) Individual cells of *A. brasilense* growing on a root hair 15 dai.
 (B) Wheat root colonized by *A. brasilense* 15 dai.
 (C) Colonization of a lateral root branching point by *A. brasilense*



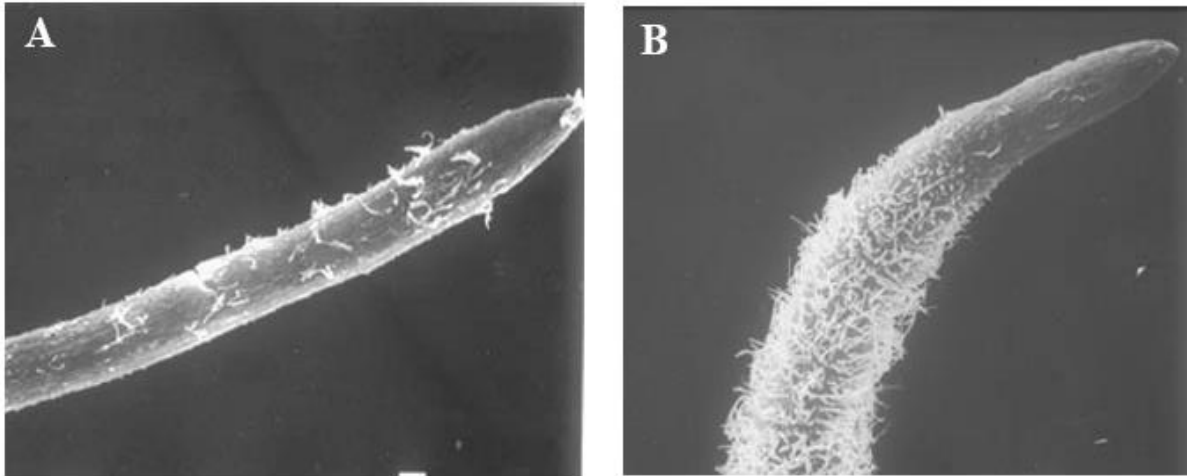
- (D) , (E) and (F). Apparent occupation of intercellular space by *A. brasilense* 30 dai.
 (G) Epidermal cell of wheat root occupied by *A. brasilense*
 (H) As in G but more magnification.



- (I) and (J) Surface colonization of root by *A. brasilense*
 (II) (K) and (L) Colonization of lateral-root-emerging points by *A. brasilense* FP2 pHRGFPGUS

Ramos et al 2002

Raíz de tomate



*Figure 1. Scanning electron microphotographs of the effect of inoculation with *A. brasilense* on the morphology of tomato root tips 48 hrs after inoculation (x36). (A) Non-inoculated control root tip. (B) Root tip inoculated with 10^8 cfu ml⁻¹. Reprinted from Hadas and Okon, 1987, with permission of Springer-Verlag.*

Raíz de trigo



Mecanismos de promoción del crecimiento vegetal

Directos

El microorganismo aporta nuevos nutrientes al sistema suelo-planta o facilita la adquisición de los ya existentes por la planta.

Indirectos

Interacción del microorganismo con otro organismo que interacciona negativamente con la planta (Ej. patógenos).

Mejoran la nutrición

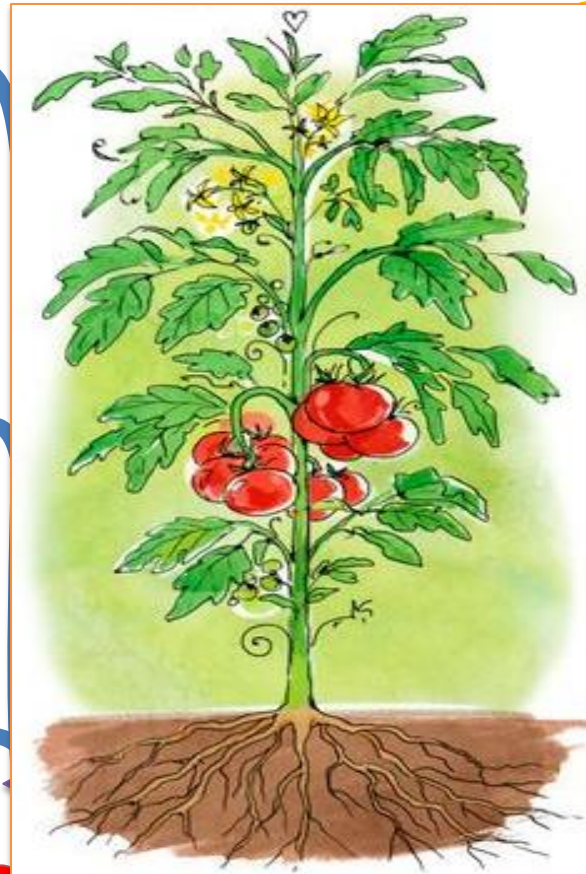
- FBN
- Solubilización de fosfato
- Producción de sideróforos

Disminuyen la producción de Etileno

- Degradando ACC

Estimulan el crecimiento y protección de la planta

- Producción de metabolitos, hormonas y otros compuestos



Mejoran la resistencia contra enfermedades

- Presencia de Quitinasas
- Producción de antibióticos
- Inducción resistencia sistémica

Reducen el estrés osmótico

- Producción de osmolitos

Reducen EROs

- Producción de Antioxidantes

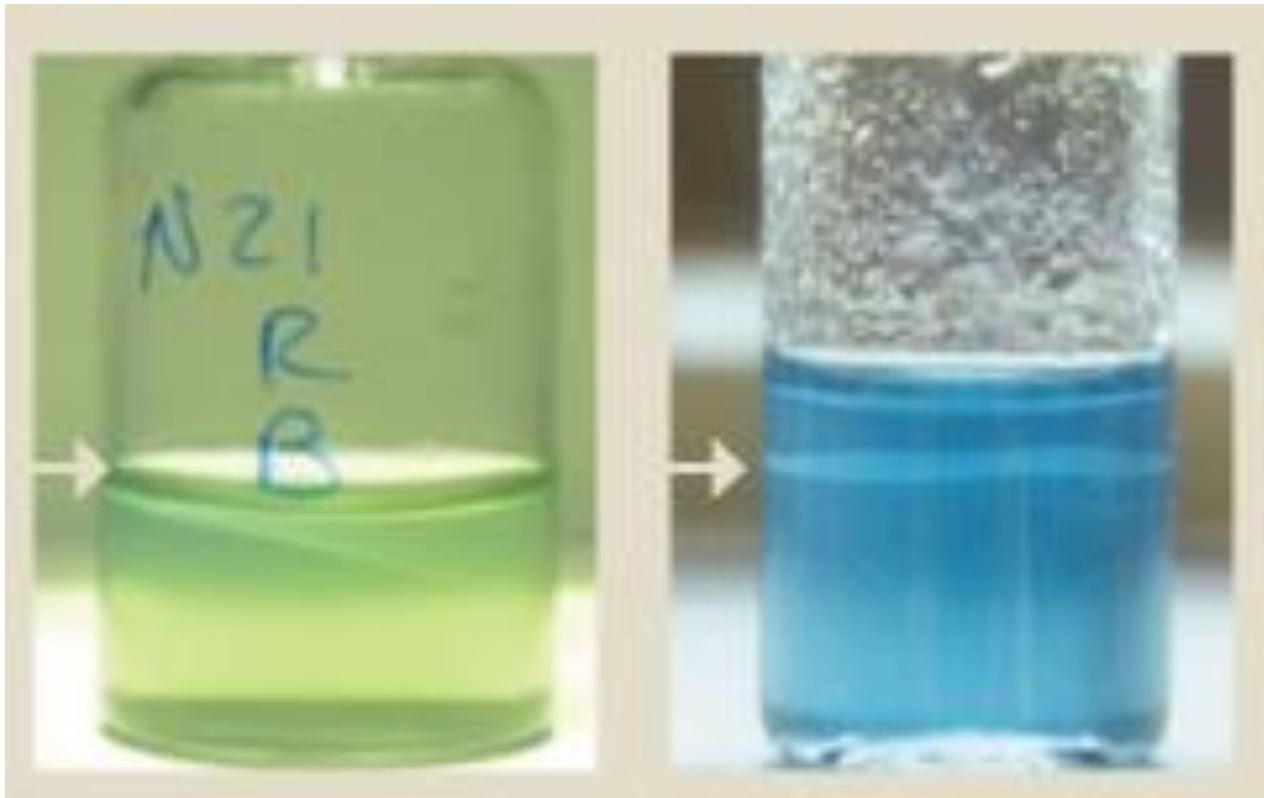
**INCREMENTAN EL
CRECIMIENTO**

**MECANISMOS
DIRECTOS**

PGPR

**MECANISMOS
INDIRECTOS**

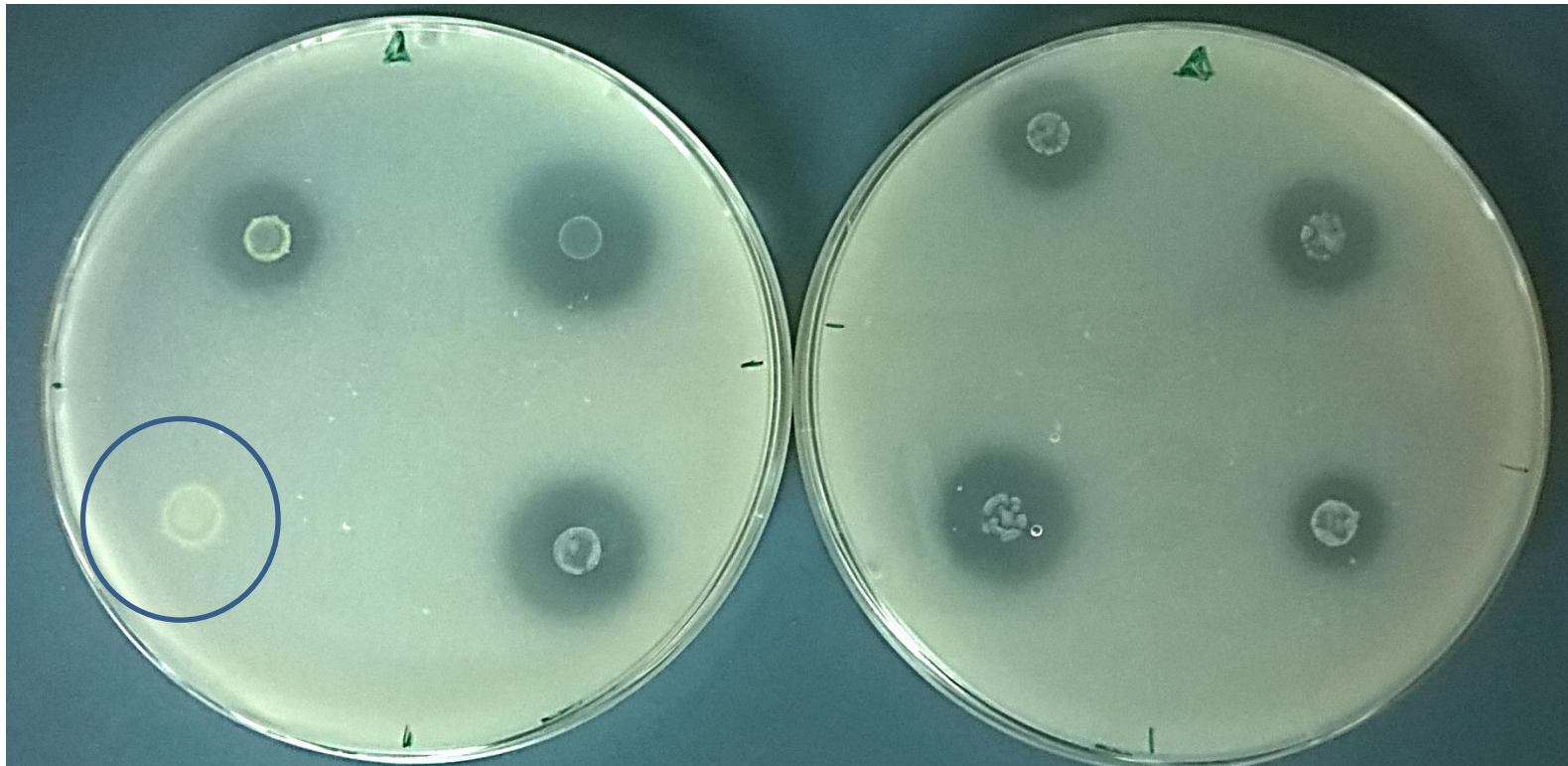
Detección de microorganismos fijadores de N₂



FBN

- Limitante de la producción agrícola
- Puede ser abundante en los suelos pero no está disponible
- Fertilizantes fosforados son caros y poco ecológicos

Detección de microorganismos solubilizadores de Fósforo

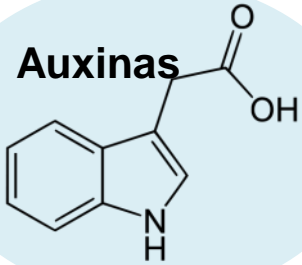


FÓSFORO

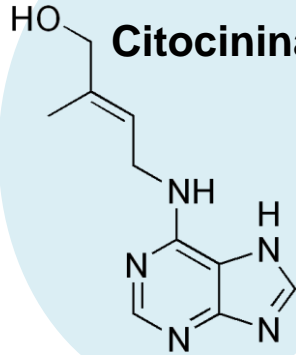
Fitohormonas o reguladores del crecimiento

FITOHORMONAS

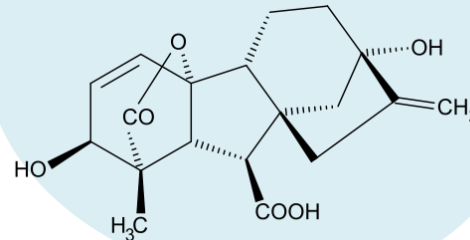
Auxinas



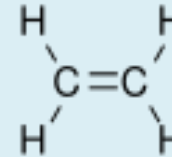
Citocininas



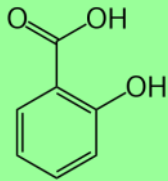
Giberelinas



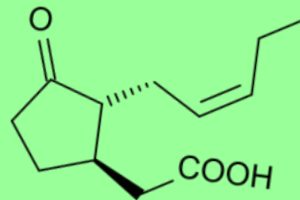
Ethylene



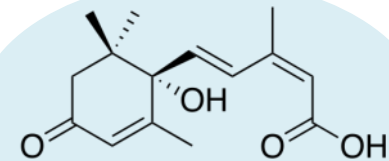
Salicílico



Jasmonatos



Ácido Abscísico



PRODUCCIÓN DE FITOHORMONAS

FITOHORMONAS



Figure 3. Effect of *Azospirillum* inoculation on root development of wheat cultivar *Miriam* at flowering under field conditions in unfertilized soil.

(-) non-inoculated control; (+) inoculated.

Reprinted from Kapulnik et al., 1987, with permission of Springer-Verlag

GIBERELINAS

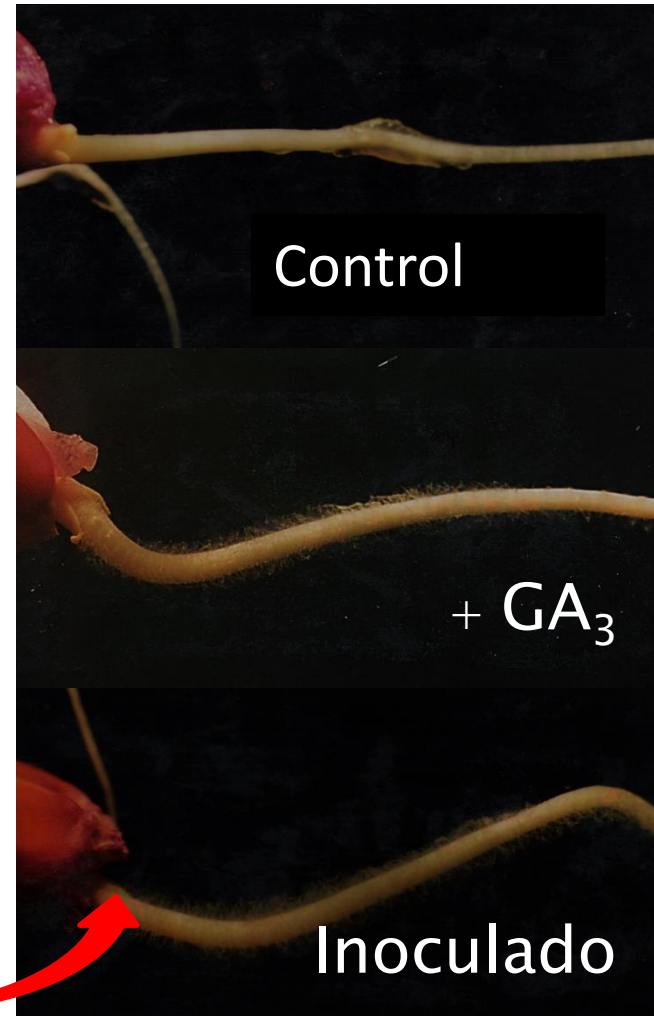
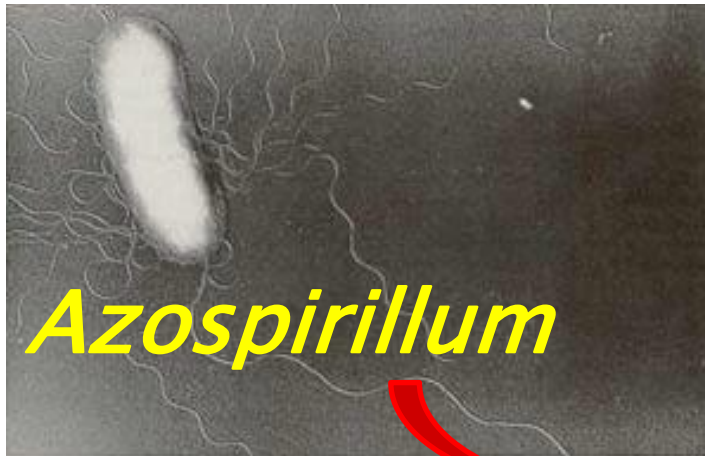
Inoculation with *Azospirillum lipoferum* Affects Growth and Gibberellin Status of Corn Seedling Roots

Mónica Fulchieri, Carlos Lucangeli, Rubén Bottini

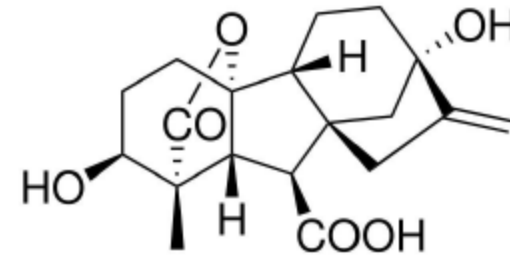
Plant Cell Physiol (1993) 34 (8): 1305-1309.

DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a078554>

Published: 01 December 1993 Article history ▾



GIBERELINAS



GIBERELINAS

Biocell

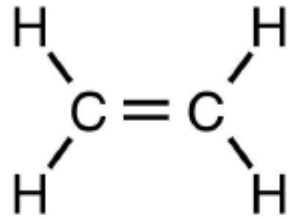
Volume 20, Issue 3, 1996, Pages 221-226

Reversion of dwarfism in dwarf-1 maize (*Zea mays* L.) and dwarf-x rice (*Oryza sativa* L.) mutants by endophytic *Azospirillum* spp (Article)

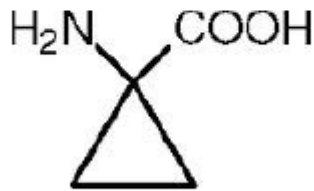
Lucangeli, C.D., Bottini, R.

Lab. de Fisiología Vegetal, Departamento de Ciencias Naturales, Campus Universitario, 5800 Río Cuarto, Argentina

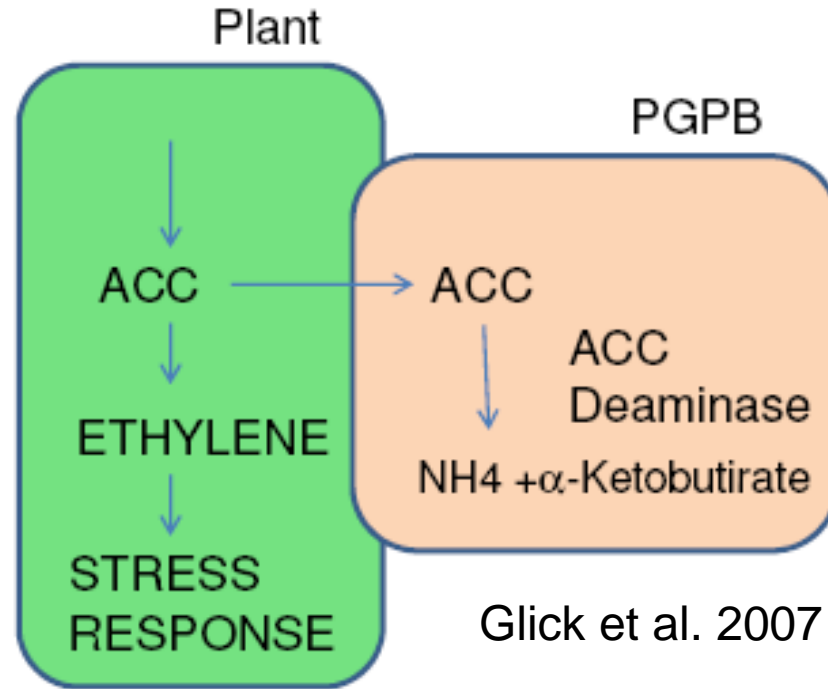
ETILENO



ETILENO



ACC



Modelo que explica como las PGPB disminuyen la concentración de etileno en las plantas.

La inserción del gen de la ACC-deaminasa en *Azospirillum* incrementó el desarrollo de la planta (Holguin and Glick 2001)

ETILENO

The rhizobacterium *Variovorax paradoxus* 5C-2, containing ACC deaminase, promotes growth and development of *Arabidopsis thaliana* via an ethylene-dependent pathway

Chen et al. 2013

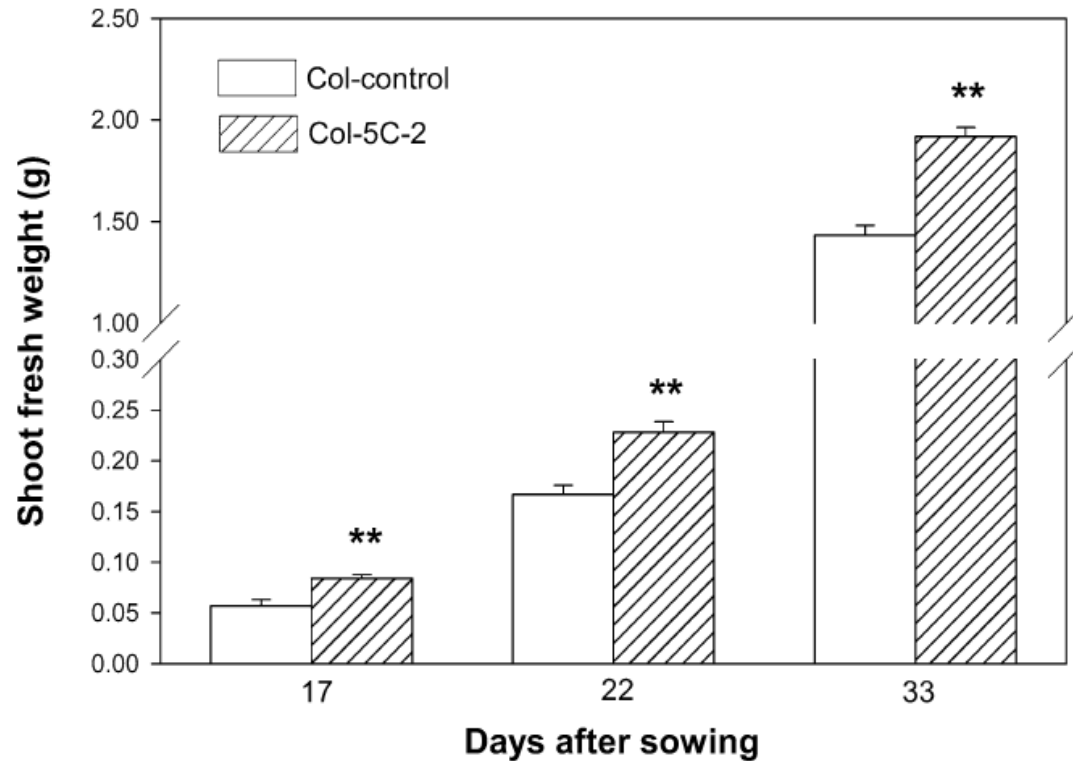
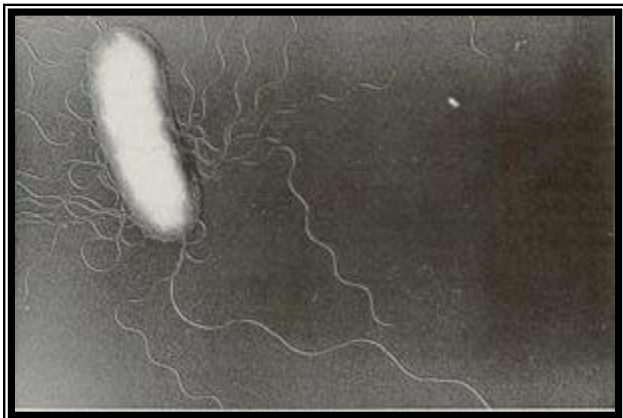
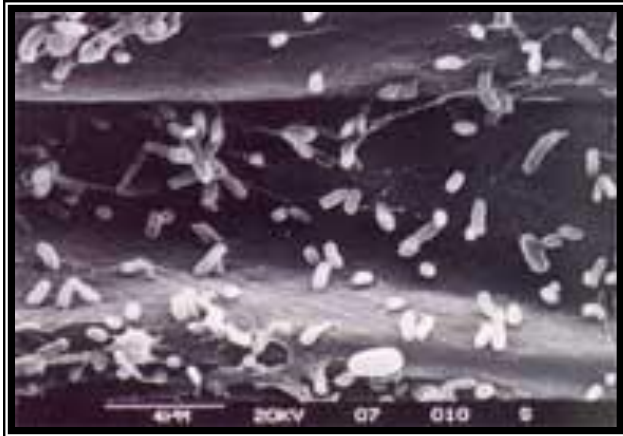


Fig. 1. Shoot fresh weight (g) of WT plants harvested at 17, 22, and 33 days after planting in response to *V. paradoxus* 5C-2 inoculation. Bars indicate mean \pm SE ($n = 25-30$). Asterisks indicate significant differences ($P < 0.01$).

Azospirillum sp

Es el género mejor caracterizado entre las PGPR de vida libre. Se aislaron de cereales y gramíneas de todo el mundo



Azospirillum

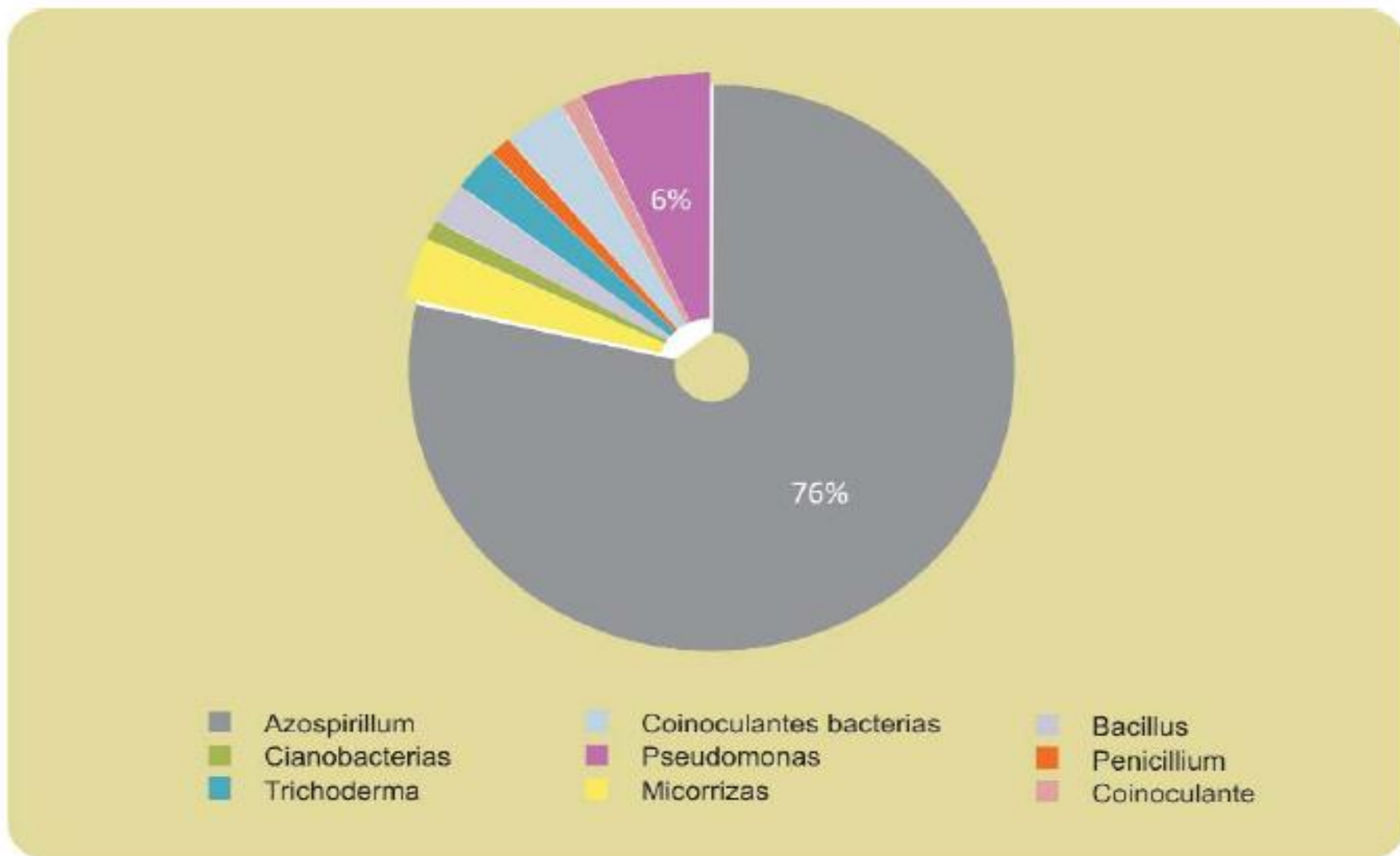
✓ Una característica distintiva de las cepas de este género es que todas las especies tienen actividad **PGPR**



Tableau 1 : Espèces d'*Azospirillum* identifiées

Espèces identifiées	Référence
<i>lipoferum</i>	Tarrand <i>et al.</i> 1978
<i>brasillense</i>	Tarrand <i>et al.</i> 1978
<i>amazonense</i>	Magalhaes <i>et al.</i> 1983
<i>halopraeferans</i>	Reinhold <i>et al.</i> 1987
<i>irakense</i>	Khammas <i>et al.</i> 1989
<i>largimobile</i>	Ben Dekhil <i>et al.</i> 1997
<i>doebereineriae</i>	Eckert <i>et al.</i> 2001
<i>oryzae</i>	Xie et Yokota 2005
<i>melinis</i>	Peng <i>et al.</i> 2006
<i>canadense</i>	Mehnaz <i>et al.</i> 2007a
<i>rugosum</i>	Young <i>et al.</i> 2008
<i>zea</i>	Mehnaz <i>et al.</i> 2007b
<i>picis</i>	Lin <i>et al.</i> 2009

Figura 1. Participación según el microorganismo en el total de los fertilizantes biológicos registrados en Argentina.



REVISIÓN DEL USO DE *Azospirillum brasilense* COMO PROMOTOR DEL CRECIMIENTO EN TRIGO Y MAÍZ EN ARGENTINA.

Puente, Mariana Laura y García, Julia Elena.

Figura 2. Respuesta promedio a la inoculación en el cultivo de trigo.

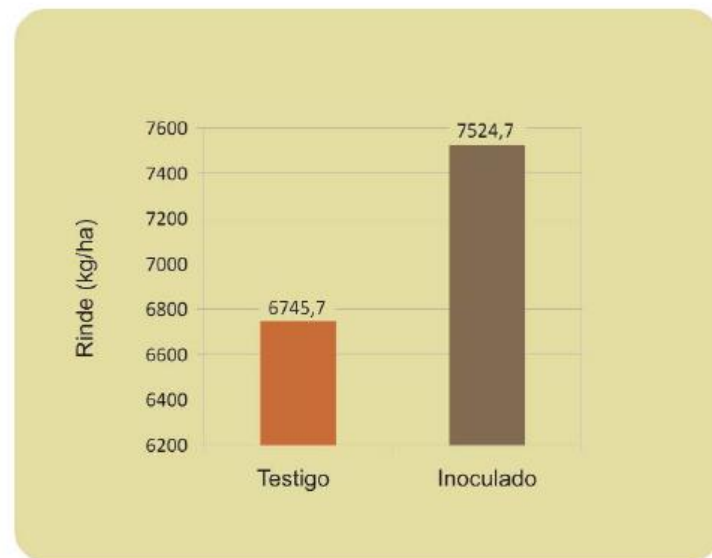


18 %



11,5 %

Figura 3. Respuesta promedio a la inoculación en el cultivo de maíz.



Disminución en el uso de Fertilizantes químicos y pesticidas



Table 1. Estimated use of bacterial inoculants in some Latin American countries 2006–2007

Country	Crop and bacterial species	Inoculated area	Comments	References
Argentina	Soybeans – <i>Glycine max</i> <i>Bradyrhizobium japonicum</i>	~10 million ha	65% of the soybean crop is inoculated 15 million inoculant doses (1 doses – 50 kg seeds)	Ferraris <i>et al.</i> (2006); Izaguirre-Mayoral <i>et al.</i> (2007); Martin Diaz-Zorita (pers. commun.)
	Wheat – <i>Triticum aestivum</i> Maize – <i>Zea mays</i> <i>Azospirillum brasilense</i>	~140 000 ha	~3.0% of the planted area 200 000 doses (1 doses – 140 kg wheat seeds) Increased interest	Martin Diaz-Zorita (pers. commun.)
	Wheat – <i>Pseudomonas</i>	~9000 ha	–	Martin Diaz-Zorita (pers. commun.)
Brazil	Soybeans – <i>Bradyrhizobium</i> <i>japonicum</i>	~13 million ha 500 000 ha	75% of the soybean crop is inoculated 35 million inoculant doses.	Ferraris <i>et al.</i> (2006) Izaguirre-Mayoral <i>et al.</i> (2007)
	Beans – <i>Phaseolus vulgaris</i> <i>Rhizobium tropici</i>		11% of the bean crop (4.5 million ha) is inoculated	
Bolivia	Soybeans – <i>Bradyrhizobium</i> <i>japonicum</i>	400 000 ha	60% of the soybean crop is inoculated	Izaguirre-Mayoral <i>et al.</i> (2007)
Uruguay	Soybeans – <i>Bradyrhizobium</i> <i>japonicum</i>	380 000 ha 600 000 ha	100% of the soybean crop is inoculated 15% with liquid inoculants	Izaguirre-Mayoral <i>et al.</i> (2007)
	Forage legumes Different rhizobia species.		Inoculated with peat based inoculants	Carlos Labandera (pers. commun.)



MINIREVIEW

Effects of inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on resident rhizosphere microorganisms

Susana Castro-Sowinski^{1,2}, Yoav Herschkovitz¹, Yaacov Okon¹ & Edouard Jurkevitch¹

Objetivo de utilizar biofertilizantes

- Permiten ↑ producción a bajo costo
- ↑ calidad
- ↓ costos fertilizantes (NPK) en un 30-45%
- ↓ Reducción del impacto ambiental
- Mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de la fertilidad y la biodiversidad
- ↑ valor: agricultura ecológica

Los microorganismos del suelo son nuestro principal recurso natural vivo para lograr una agricultura sustentable, que mantenga alta productividad con el mínimo impacto ambiental .

Juan Sanjuán Pinilla

