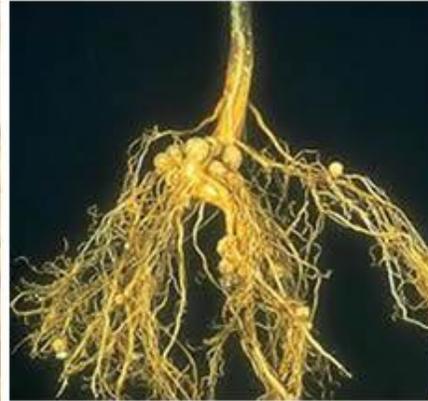
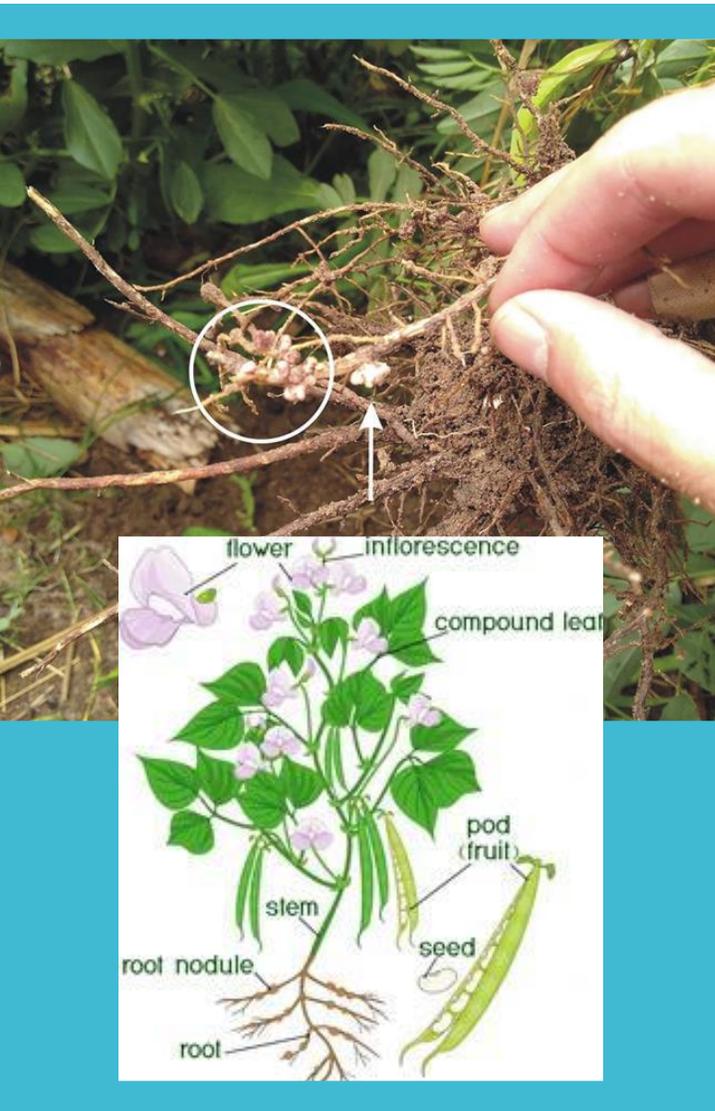


TP N°6: Fijadores Simbióticos de N₂





Algunas plantas establecen simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno. Esta simbiosis proporciona beneficios durante la vida en común a ambos simbiosntes.

Las bacterias pueden aprovechar directamente el nitrógeno del aire, originando compuestos absorbibles y susceptibles de incorporarse a la composición del suelo o de los seres vivos.

Dicha fijación de nitrógeno se realiza en los nódulos radiculares, gracias a la catálisis del complejo enzimático nitrogenasa.

Las raíces vegetales que presentan nódulos fijadores de N_2 en sus raíces pertenecen a la familia de las Leguminoseae de amplia distribución mundial.

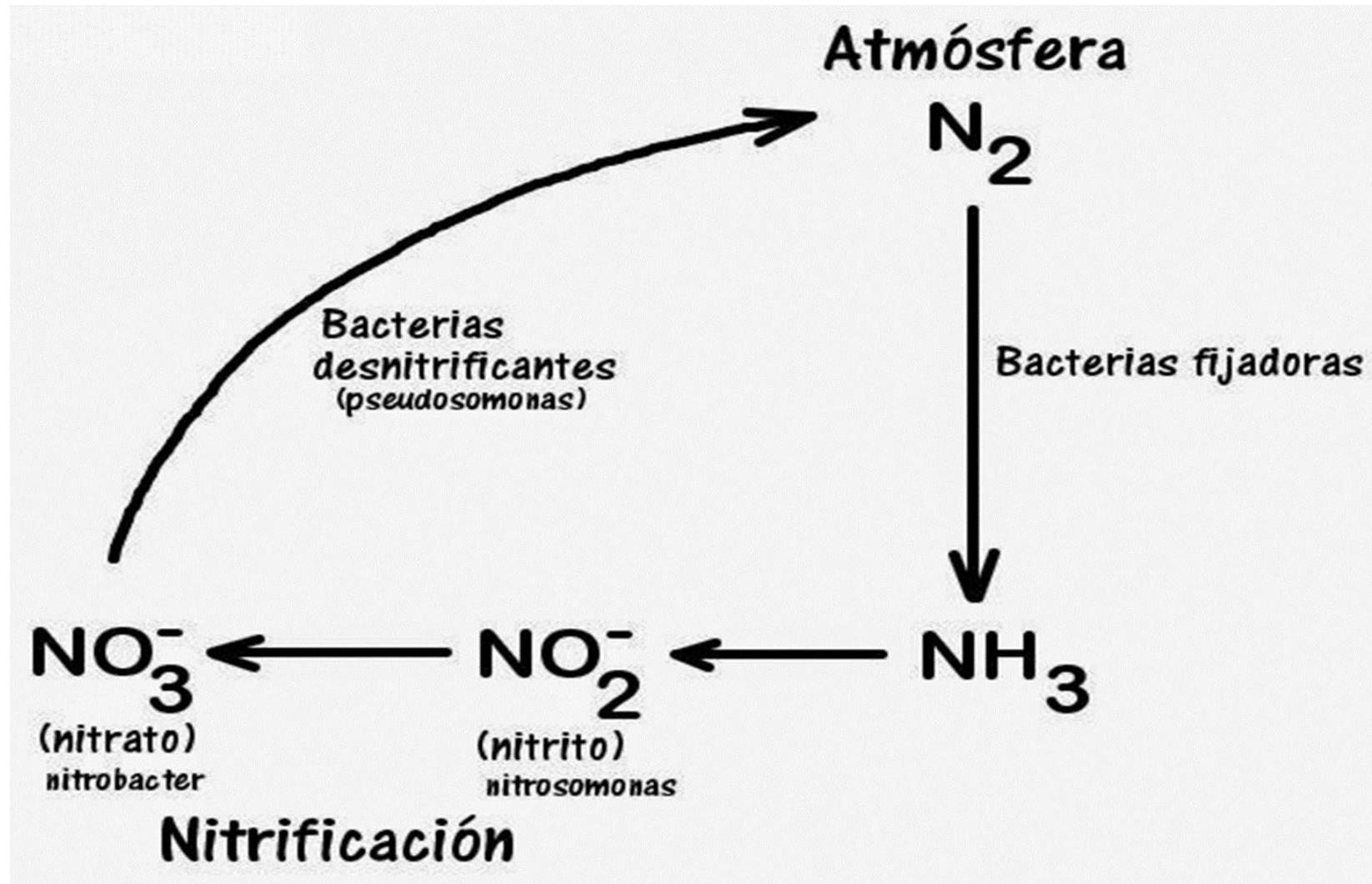
Han sido estudiado por la presencia de nódulos con bacterias de género *Rhizobium*, principalmente la alfalfa, soja, tréboles, maní de interés agrícola.

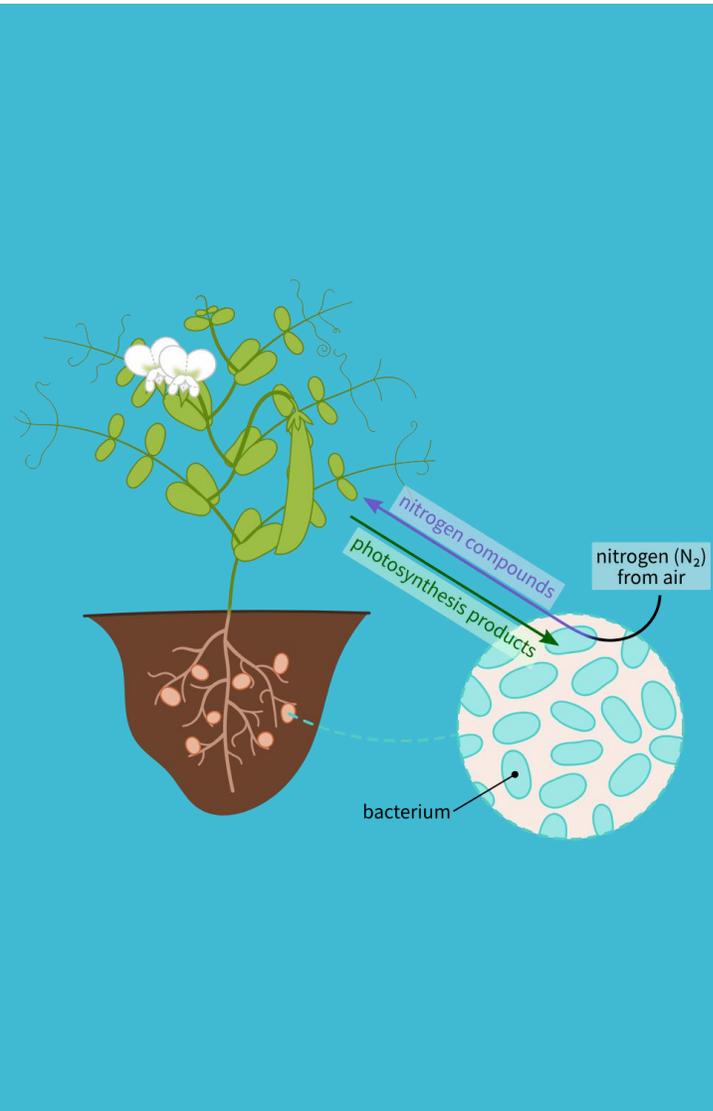
Importancia

- Importante papel en la evolución humana, proporcionando alimento (lentejas, porotos).
- Forraje para la nutrición de animales (trébol, arveja, alfalfa).
- Obtención de madera (Acacia, Leucaena) o para colonizar suelos pobres faltos de nutrientes.



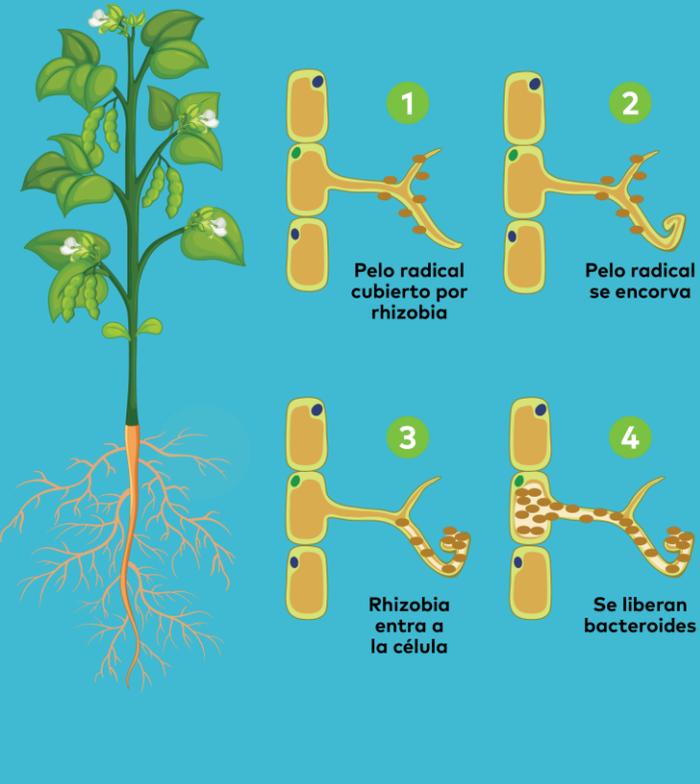
Los átomos de nitrógeno están en continuo movimiento; se desplazan lentamente entre el aire, la tierra, el agua y los organismos, vivos o muertos. A este ininterrumpido ciclo cerrado se le conoce como ciclo del nitrógeno.





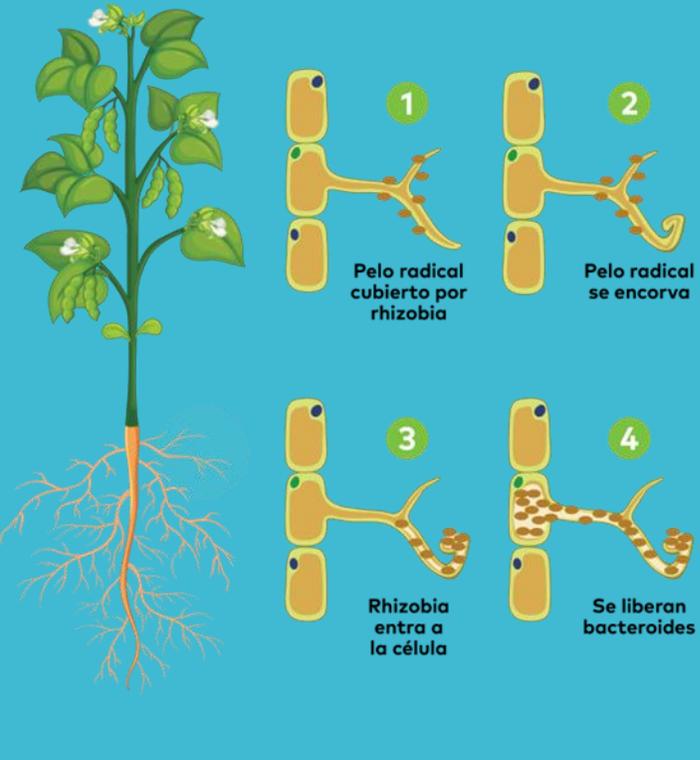
- La simbiosis se da entre leguminosas y bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* y *Azorhizobium* en el suelo como bacilos móviles, Gram negativos.
- El establecimiento de una simbiosis efectiva entre leguminosas y rizobios es un proceso complejo. Hay especificidad de huésped.
- La infección de las raíces con una cepa adecuada de la bacteria conduce a la formación de nódulos.
- Implica mecanismos de señalización química y reconocimiento por parte de ambos simbioses.

Mecanismo de infección

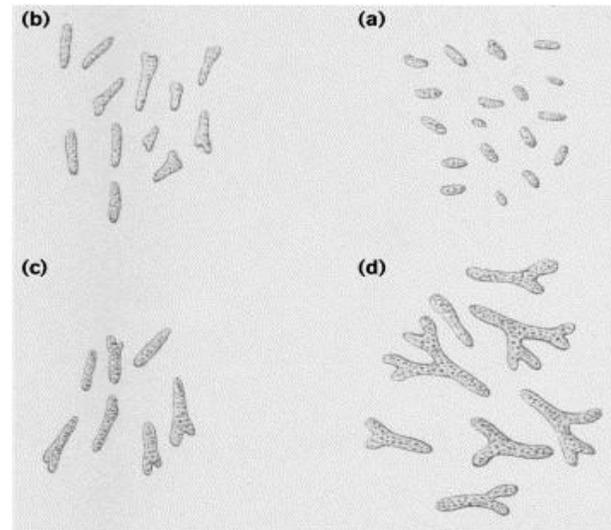


- Las raíces liberan flavonoides como señal, compuestos fenólicos que inducen la expresión de los genes de nodulación en los rizobios.
- Como resultado, los rizobios producen factores de nodulación “factores nod-lipo-quitin oligosacáridos), que inducen una serie de respuestas en la planta preparando los canales de infección, la formación del nódulo, etc.
- Los Rizobios entran en la raíz por el extremo de los pelos absorbentes que se retuercen en forma de báculo.
- Se forma en el pelo uno o varios tubos de infección dentro de los cuales los rizobios se hallan dispuestos en fila. El tubo de infección penetra en las células del córtex de la raíz.

Mecanismo de infección



- Los rizobios contenidos en el tubo de infección son liberados en el citoplasma de estas células meristemáticas donde adquieren una forma distinta al rizobio de vida libre y se los llama bacteroides que fijan el nitrógeno molecular.
- El nódulo consume oxígeno que requiere para generar energía y fijar el N_2 el aumento de oxígeno inactiva la nitrogenasa, esta es regulada por la Leg Hb, una molécula transportadora de O_2 que contiene grupo hemo y da a los nódulos color rojizo.



Complejo enzimático nitrogenasa

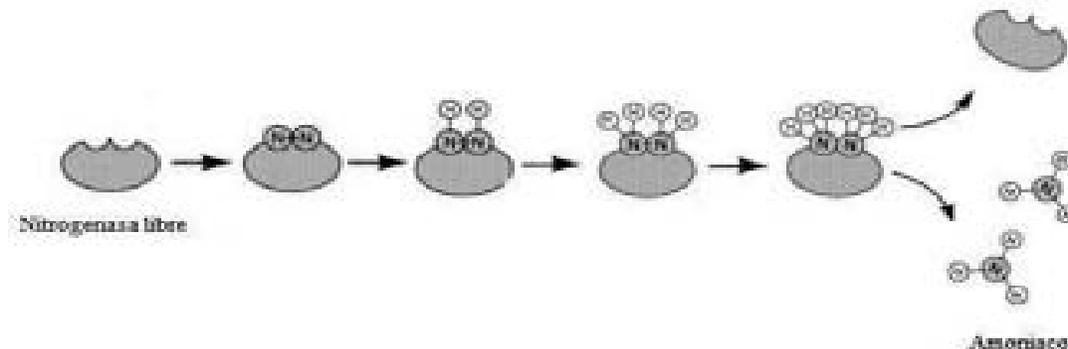
Las bacterias fijadoras de nitrógeno están equipadas con un complejo enzimático denominado nitrogenasa.

La nitrogenasa es un enzima proteica, formado por dos metaloproteínas: la ferroproteína y la molibdoferroproteína.

Este enzima produce la catálisis de la reacción primordial de la fijación del nitrógeno, es decir, la transformación en amoníaco del nitrógeno presente en la atmósfera.

La nitrogenasa se inactiva irreversiblemente en presencia de oxígeno. Para su máxima eficiencia la nitrogenasa debe trabajar a muy bajas tensiones de oxígeno.

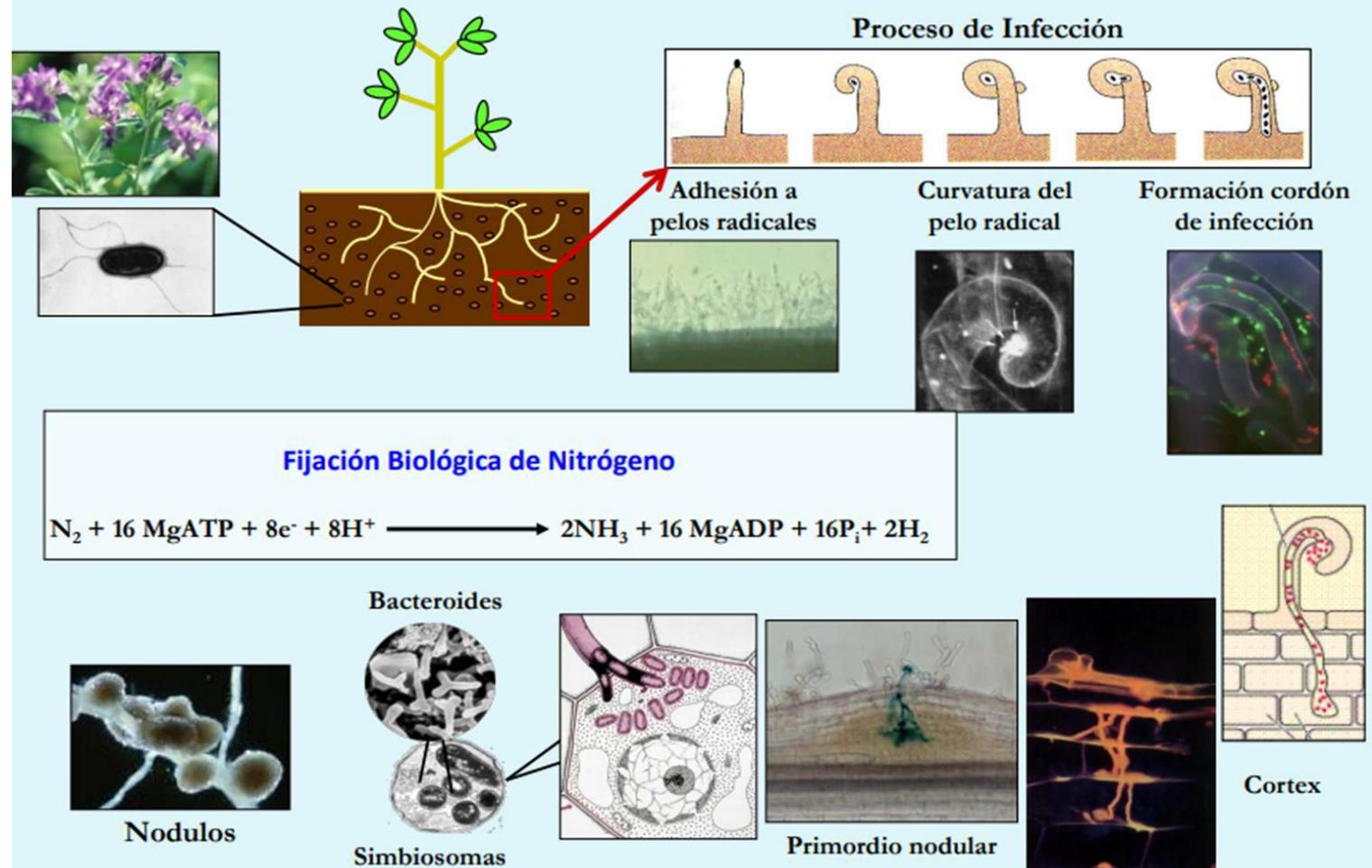
La leghemoglobina actúa como filtro de oxígeno; regula la tensión de oxígeno en el nódulo radicular. De esta forma permite que la nitrogenasa desarrolle su actividad eficientemente, para lo cual requiere gasto de ATP.



Reducción de nitrógeno catalizada por la nitrogenasa.

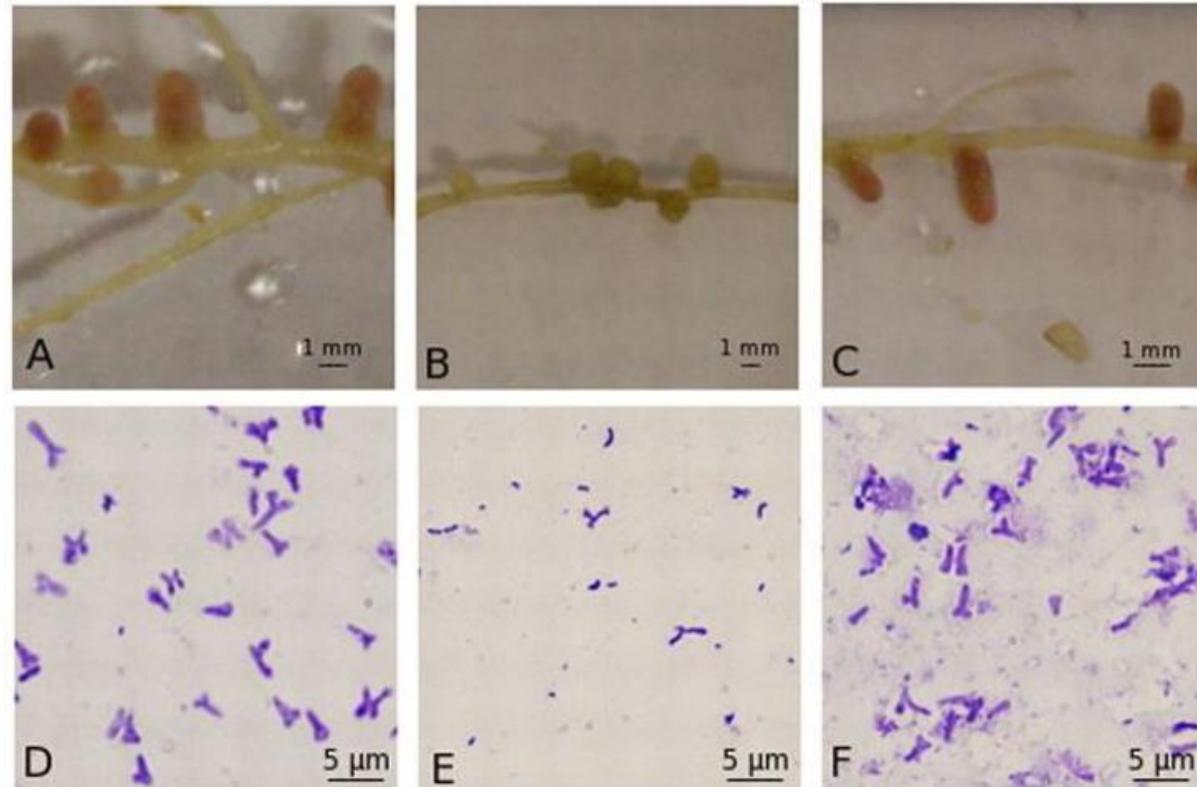
Relación de nódulos radiculares con bacterias fijadoras de N₂

Esquema del proceso Simbiosis *Rhizobium*-Leguminosa

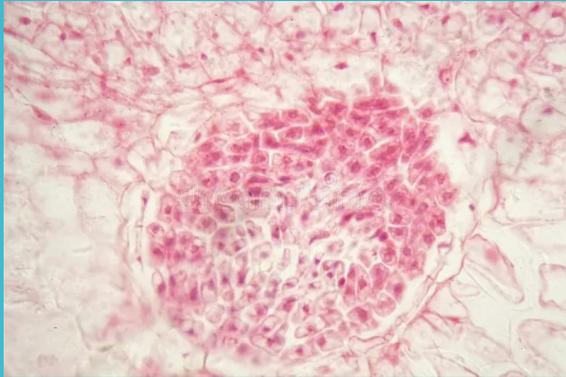


Nódulos

La coloración rojiza en el interior de los nódulos indica que las bacterias están vivas y activas. Los nódulos muertos, inactivos o senescentes, suelen tener una coloración verde grisácea o marrón.



Nodos (A a C) y bacteroides (D a F) de *P. sativum* cv. (arveja).



Nódulos efectivos

- pocos y situados sobre todo en la raíz primaria
- voluminosos, con superficie lisa o rugosa
- actividad meristemática y nodular prolongada
- infección generalizada, zona bacteriana grande con muchos bacteroides
- interior pigmentado de rojo

Nódulos inefectivos

- numerosos y repartidos en todo el sistema radicular
- pequeños con superficie lisa
- actividad meristemática y nodular corta
- pocas células infectadas, pocos o sin bacteroides y gránulos de almidón
- interior no coloreado de rojo.

Inoculante para leguminosas



- En muchos suelos el nivel y la eficiencia de los rizobios no son adecuados y la nodulación y la fijación de nitrógeno resultan insuficientes para satisfacer las demandas del cultivo
- La inoculación artificial resulta imprescindible cuando se introducen nuevas leguminosas y hay deficiencia en nitrógeno lo que limita el desarrollo vegetal
- La inoculación favorece la eficiencia de la fijación y promueve una rápida instalación de la simbiosis Es importante la calidad de los inoculantes
- El método y las condiciones de inoculación deben permitir la supervivencia de los rizobios, además la semilla inoculada debe poseer la especie de rizobio adecuada y en número suficiente

La eficiencia de la fijación se evalúa por el número de nódulos, la masa nodular, el peso seco de la planta y el contenido de nitrógeno de la parte aérea