

FERTILIZACIÓN NATURAL

# UNA ASOCIACIÓN ESPECIAL ENTRE BACTERIAS Y PLANTAS

*Algunas especies de plantas y de bacterias forman «sociedades», favoreciéndose mutuamente y beneficiando el ambiente a través de un proceso de fertilización natural.*

**Eugenia E. Chaia**

En el suelo se oculta un universo complejo, dinámico y fascinante, que tiene una importancia crucial para el desarrollo de las plantas. Existe una enorme variedad de organismos, desde animales y hongos hasta microbios, cuyos tamaños oscilan entre ser visibles a simple vista o microscópicos. Todos ellos interactúan entre sí y con las raíces de las plantas en un espacio conocido con el nombre de rizósfera. La influencia de toda esta actividad se extiende muy lejos y se manifiesta a lo largo del paisaje y a través del tiempo. Entre las comunidades microbianas, distintos grupos de bacterias se desempeñan haciendo que un elemento primordial para el desarrollo de la vida esté al alcance de las plantas, que lo absorben por sus raíces y lo transfieren a los demás seres vivos. ¿Cuál es este elemento y para qué sirve? Se trata del nitrógeno (N), que se utiliza para la síntesis de compuestos básicos para la constitución de la materia viva.

## El viaje del nitrógeno

Las plantas constituyen el eslabón capaz de absorber y de asimilar el nitrógeno en su forma mineral (o inorgánica), como nitrato o amonio, y de convertirlo a la forma orgánica (formando parte de moléculas que incluyen carbono, hidrógeno y oxígeno), como los aminoácidos, las proteínas y el ADN (siglas con las que se conoce comúnmente el ácido desoxirribonucleico), entre otros. En su forma orgánica, el

nitrógeno es luego transferido a los animales (primero a los herbívoros y, de éstos, a los carnívoros) y a los hongos. Entre otros desechos biológicos, las hojas y los frutos que caen, las plantas y los animales muertos, son degradados o descompuestos gracias a la acción de los hongos, quienes los utilizan para su propia subsistencia. Así transcurre el viaje del nitrógeno a través de diferentes seres vivos, hasta que, en el suelo, las moléculas orgánicas que contienen nitrógeno (liberado por los organismos mencionados) son utilizadas por ciertas bacterias para su propio metabolismo. Estas bacterias finalmente vuelven a convertir el nitrógeno a las formas inorgánicas más simples, las cuales nuevamente pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas. Y, de este modo, continúa su viaje.

Hasta ahora hemos visto el recorrido del nitrógeno en forma similar al juego de la oca, donde el nitrógeno sería la ficha que recorre los distintos casilleros. Pero, ¿de dónde salió esta ficha? Su mayor reserva es la atmósfera, donde representa el 78% del total de los gases. Sin embargo, a pesar de su abundancia, el nitrógeno en forma de gas (N<sub>2</sub>) no es asimilable por las plantas. En este punto se abre un nuevo camino, en el que el nitrógeno en forma de gas es transformado a nitrógeno mineral, básicamente gracias a la acción de varios grupos únicos de microorganismos que, a modo de «diminutos buque factoría», hacen un puente entre el aire y el suelo. Estos microorganismos son los únicos seres vivos capaces de llevar a cabo la serie de reacciones químicas que permiten dicha transformación. Y es aquí donde nos toca presentar a las bacterias fijadoras de nitrógeno, que realizan el proceso conocido como *fijación biológica del nitrógeno* (FBN).

**Palabras clave:** *Frankia*, nitrógeno, leguminosas, rizobios.

### Eugenia E. Chaia

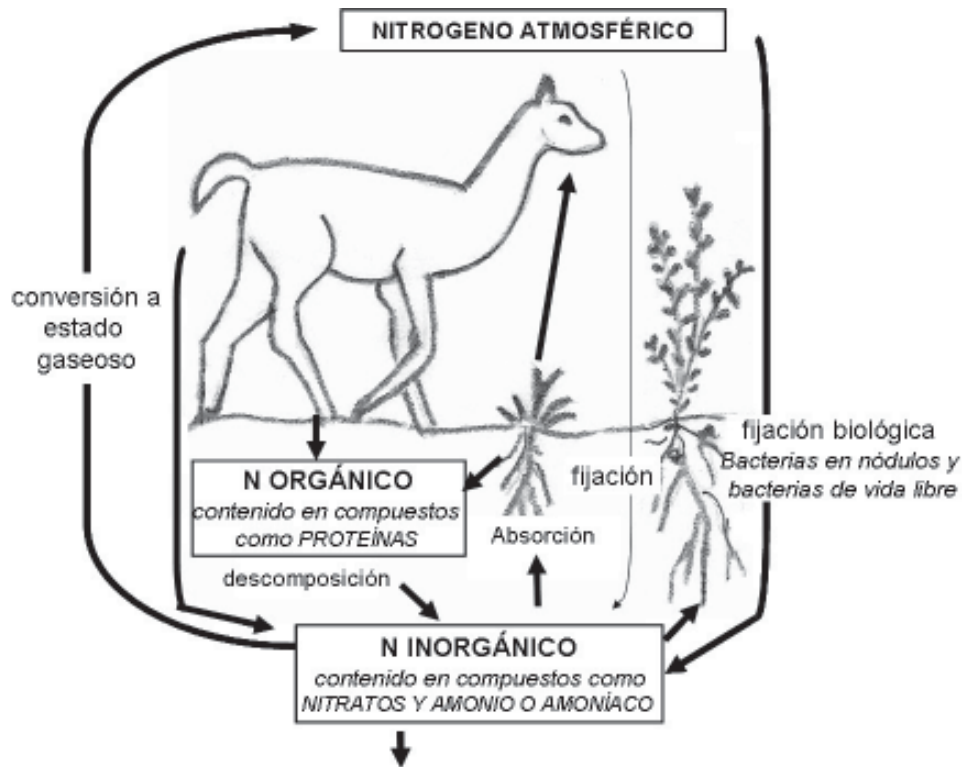
Dra. en Ciencias Naturales.  
Centro Regional Universitario Bariloche, Universidad Nacional del Comahue – Instituto de Investigaciones en Biodiversidad y Medio Ambiente (INIBIOMA), CONICET/UNCo, Argentina.  
eugeniachaia@yahoo.com.ar

Recibido: 07/12/2012. Aceptado: 24/05/2013.

## Autopistas de mano única: El nitrógeno perdido y sus consecuencias

Aunque el nitrógeno es un elemento muy abundante en el ambiente y va viajando del suelo a las plantas, de las plantas a los animales, de las plantas y los animales a los hongos, y desde estos últimos al suelo (en donde algunos grupos de bacterias también tienen su parte, volviéndolo a una forma asimilable para

**Figura 1: Esquema simplificado del ciclo del nitrógeno en la naturaleza.**



las plantas), existen algunos caminos del recorrido que van en una única dirección de salida. Esto significa que el nitrógeno no sigue dando la vuelta en este circuito de los sistemas vivos, sino que se pierde. Pero, ¿adónde va a parar el nitrógeno?

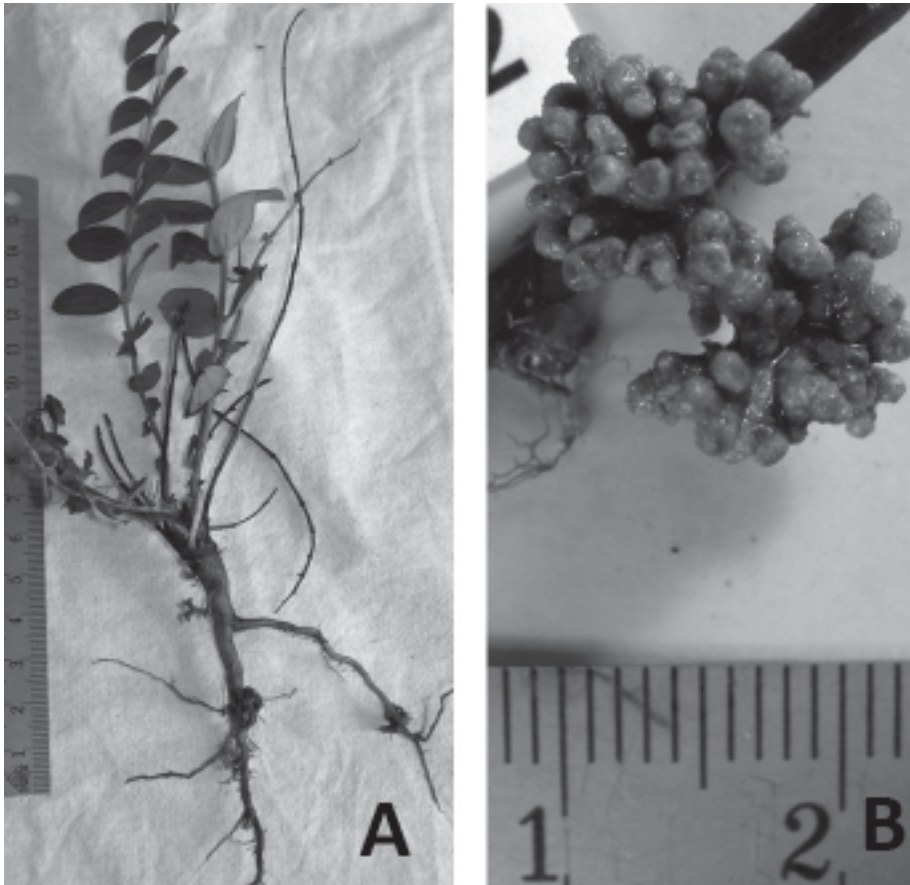
Debido a la acción de ciertas bacterias que viven en suelos inundados o en los que ocurrieron incendios, una parte del nitrógeno puede ser arrastrada por las lluvias hacia las napas y cauces de agua, y otra puede volver a la atmósfera en forma de gas. Otras pérdidas que alteran profundamente el flujo del nitrógeno a lo largo de este circuito tienen diferentes destinos y son las debidas a actividades humanas por la extracción de vegetación. Ejemplos de estas actividades son la deforestación y el desmonte de ambientes naturales y las cosechas agrícolas. En suma, todo esto constituye el núcleo del movimiento de uno de los elementos que circulan y se reciclan en los ecosistemas, llamado *ciclo del nitrógeno* (ver Figura 1).

Las pérdidas de nitrógeno son el principal limitante, luego de la escasez de agua, del crecimiento y de la producción vegetal. Por lo tanto, permanentemente se deben incorporar nuevas «fichas» en este juego de la oca, ya sea favoreciendo la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno, o aplicando fertilizantes nitrogenados (que se obtienen mediante la conversión industrial de nitrógeno gaseoso a mineral). Ambos procesos tienen un costo elevado. Por un lado, el viaje de la atmósfera al suelo requiere de una alta cantidad de energía y, por otro, el costo de la utilización de los fertilizantes es elevado desde los puntos de vista económico y ecológico. Esto último se debe a que su fabricación requiere un alto suministro de combustibles fósiles y que, además, luego de su aplicación, una parte del nitrógeno se pierde. De estas pérdidas, una parte ocurre por la conversión a la forma gaseosa, que se va hacia la atmósfera, y otra por el efecto de las lluvias

o del riego, que produce su infiltración en el suelo, hacia las napas de agua. Ambos tipos de pérdidas causan daños ambientales, como la reducción de la capa de ozono, el aumento del efecto invernadero y la contaminación de cursos de agua, respectivamente. El aporte de nitrógeno para las prácticas agrícolas durante la década del 90 es casi equiparable al efectuado naturalmente por las bacterias fijadoras de nitrógeno en ecosistemas terrestres. Las estadísticas de la FAO (Organización para la Alimentación y la Agricultura, de la Organización de las Naciones Unidas) estiman que para el año 2015 la demanda de fertilizantes nitrogenados aumentará con una tasa anual de 1,7%. Si bien, dada la demanda mundial de alimentos, actualmente es imprescindible la utilización de fertilizantes químicos, es un desafío para el futuro poder incrementar los procesos biológicos de fijación del nitrógeno para lograr una reducción de los costos ambientales.

**Contribuyentes ejemplares: Las sociedades entre bacterias fijadoras de nitrógeno y plantas**

Existen numerosas especies de bacterias con la capacidad de fijar el nitrógeno gaseoso de la atmósfera que cuentan con la gran ventaja ecológica de realizar el proceso en forma natural y causando muy bajas pérdidas de este nutriente, en comparación con los fertilizantes químicos. La capacidad de estas bacterias radica en la característica común de poseer una enzima (las enzimas son sustancias que facilitan el inicio de las reacciones químicas y que aumentan la veloci-



**Figura 2: A) Planta joven de deou matarratones (*Coriaria ruscifolia*) con nódulos actinorrícicos en su raíz en cuyo interior se aloja la bacteria simbiótica fijadora de nitrógeno gaseoso *Frankia*. B) Vista ampliada de nódulos actinorrícicos.**

dad de las mismas) llamada nitrogenasa, que favorece la conversión del nitrógeno gaseoso a mineral (en la forma de amoníaco,  $\text{NH}_3$ ) que puede ser asimilado por ciertas plantas.

Las distintas especies de estas bacterias pueden vivir en el agua o en el suelo, solas o en compañía de hongos, algas o plantas, formando sociedades particulares. Ahora bien, ¿qué significa que una bacteria se asocie a una planta? En una sociedad, entre organismos tan dispares como bacterias y plantas, alguno de sus miembros o ambos pueden beneficiarse hasta llegar al caso que la relación se convierta en un vínculo imprescindible para ambos.

¿Cuáles son las causas del vínculo entre una planta y una bacteria? Como sabemos, las plantas son fábricas de sustancias orgánicas, como azúcares, lípidos y proteínas, entre otras. Estas sustancias, tanto en el interior de las raíces como en el suelo (si son liberadas en forma de líquidos al medio externo) pueden resultar un manjar nutritivo para las bacterias. Y, por otro lado, las bacterias fijadoras de nitrógeno le pueden brindar a las plantas un nutriente tan valioso como escaso, como lo es el nitrógeno mineral. Es así que algunas especies de bacterias pueden vivir como vecinas de las raíces (en la rizósfera) y otras en su interior, formando una unión más íntima. En este caso, surge una ventaja adicional brindada por las plantas que alojan a las bacterias en el interior de estructuras especialmente construidas para ellas, llamadas nódulos

(ver Figura 2), los cuales consisten en un verdadero hogar: un espacio seguro, protegido de los enemigos, con una despensa siempre llena y con un alquiler que se paga en «fichas de nitrógeno». Este tipo de asociación, donde ambos organismos se ven favorecidos, se denomina *simbiosis*.

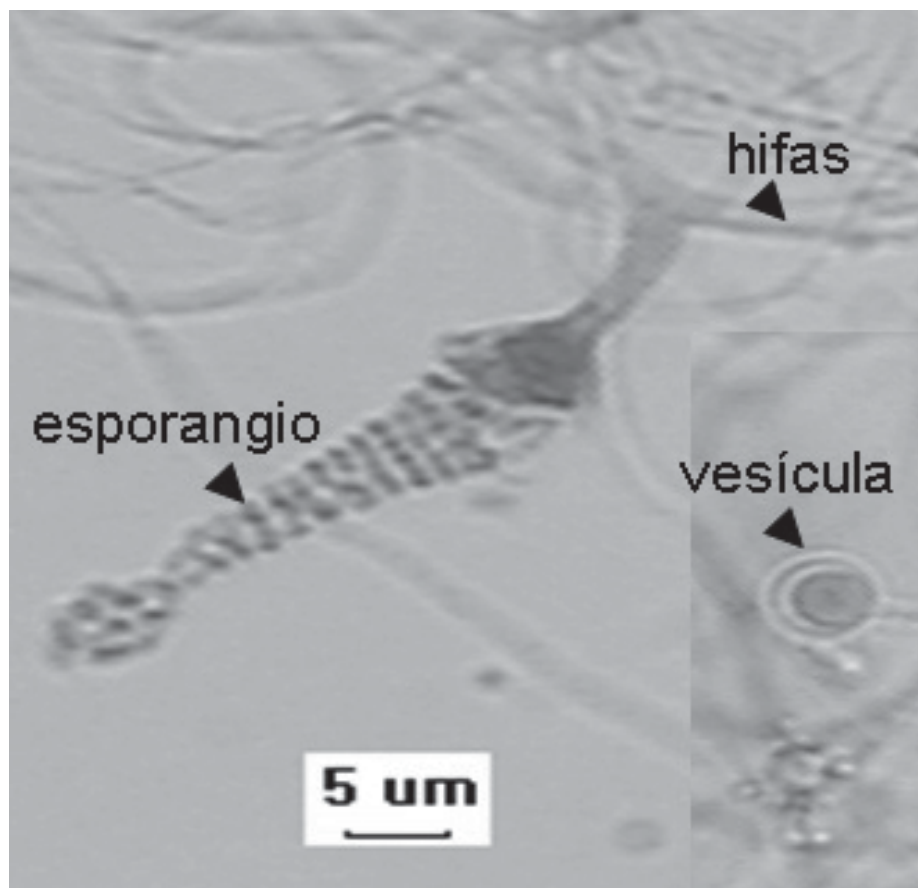
Existen dos grupos de bacterias fijadoras de nitrógeno capaces de formar con ciertas plantas este tipo de sociedad: las que forman la

*simbiosis rizobial* y las que forman la *simbiosis actinorrícica*. Los compañeros del primer caso son bacterias del grupo de los rizobios (con varias especies, entre las que se incluye *Rhizobium*) que viven en gran parte de las plantas leguminosas (más de 1700 especies) y son aquellas cuyos frutos son porotos, como por ejemplo la alfalfa, los lupinos, la soja y el algarrobo. La simbiosis actinorrícica esta integrada por *Frankia*, una bacteria con un aspecto particular, no emparentada con los rizobios, y que se asocia principalmente con raíces de árboles y arbustos de varias familias de plantas (que incluyen más de 250 especies), como los alisos, las casuarinas y el olivo de Bohemia, entre otros. Ambas simbiosis realizan la mayor contribución de nitrógeno atmosférico fijado en los ecosistemas terrestres.

### ***Frankia*, una bacteria especial, y el comienzo de una amistad**

Entre las bacterias que forman simbiosis con plantas y tienen la capacidad de captar el nitrógeno gaseoso, se encuentra *Frankia*. Esta bacteria puede formar estructuras diferentes con formas de filamentos, esferas y gránulos, conocidos con los nombres técnicos de hifas, vesículas y esporangios con esporas. Todas estas estructuras forman un entramado conocido como *micelio*, el que puede observarse en el interior de los nódulos simbióticos. Este mismo micelio también puede observarse si se hace crecer la bacteria en

**Figura 3: Aspecto general de la bacteria fijadora de nitrógeno *Frankia* con sus diferentes estructuras (cultivada en un medio específico para su crecimiento).**



una sopa especialmente diseñada con todos los ingredientes necesarios para su desarrollo (medio de cultivo, ver Figura 3). Las vesículas son la «cocina» donde el nitrógeno gaseoso es convertido a nitrógeno mineral por parte de la cocinera responsable de esta transformación: la enzima nitrogenasa.

*Frankia* puede habitar en el suelo, aunque no se conoce con certeza cuál es su apariencia allí, y es en este entorno donde se asocia con las raíces de las plantas. Pero no todo es tan sencillo; no cualquier bacteria puede asociarse con cualquier planta. Como en todas las parejas, ambos miembros tienen que encontrarse y «agradarse» o, dicho en términos más técnicos, deben reconocerse y ser compatibles. Este reconocimiento se produce mediante un «diálogo» entre las bacterias y las raíces de las plantas. Este diálogo constituye un verdadero sistema de comunicación, cuyo «lenguaje» o código está dado por distintas sustancias químicas sintetizadas y emitidas secuencialmente por ambos organismos y conduce primero al acercamiento y después al ingreso de la bacteria a la raíz. Por último, la misma raíz forma el nódulo donde habitará la bacteria y metabolizará el nitrógeno atmosférico que será provisto a la planta.

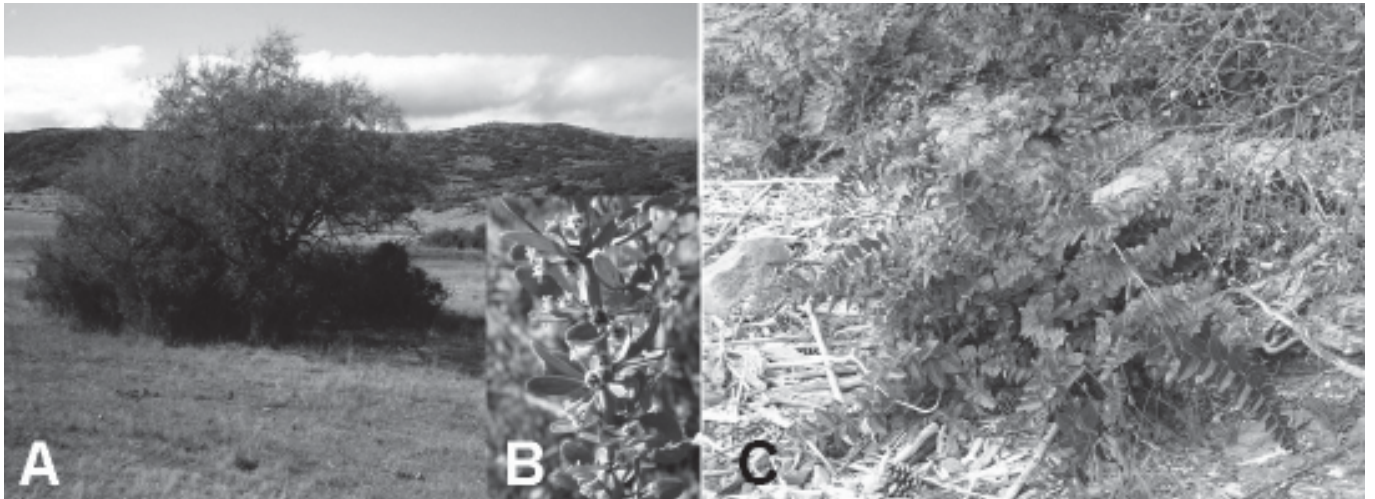
### **Y se siguen sumando asociados: Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal**

Además de su asociación con *Frankia*, las plantas actinorrícicas, al igual que las demás especies vegetales, pueden interactuar con una extensa comunidad microbiana de manera independiente, sinérgica (actuando en forma mancomunada y produciendo un efecto mayor) o antagónica (donde uno de los organismos puede ejercer una acción que inhibe al otro). En particular, las plantas actinorrícicas se benefician con diversas comunidades de bacterias y hongos que

habitan en su rizósfera. Entre las bacterias se hallan algunos actinomicetes emparentados con *Frankia*, que estimulan la formación de los nódulos en las raíces de las plantas (por la producción de hormonas y enzimas extracelulares) y, por lo tanto, el crecimiento vegetal. Entre los hongos, se encuentran algunos del grupo de las micorrizas, que penetran por las raíces, se alojan en su interior (formando otra simbiosis) y además se extienden por fuera de ellas en el suelo. Allí forman una red que puede llegar a zonas distantes de las raíces, donde captan agua y nutrientes importantes, como el fósforo, que suministran a las plantas.

### **El secreto de las plantas fijadoras de nitrógeno y ventajas adicionales**

Como ya sabemos, una parte del nitrógeno captado por las plantas vuelve al suelo contenido en los restos vegetales que, luego de la acción de animales y hongos, son fragmentados y descompuestos. Pero aquí tenemos que considerar un aspecto importante. Dado que el nitrógeno es muy valioso y escasea en el suelo, las plantas en general lo «cuidan» mucho y lo resguardan. Por ejemplo, antes de que se produzca la caída de las hojas envejecidas (senescentes), la mayoría de las plantas lo reabsorben en una alta proporción y lo almacenan en sus raíces y tallos. Esta reserva servirá luego para sintetizar proteínas y otros compuestos, y reiniciar el crecimiento en la siguiente temporada. De este modo, las hojas que caen llevan una cantidad relativamente baja de nitrógeno al suelo. Esta



**Figura 4: Plantas actinorrízicas nativas en su ambiente natural en el noroeste de la Patagonia. A) Chacay (*Ochetophila trinervis*). B) Detalle de una rama con flores. C) Deu (*Coriaria ruscifolia*). (Fotos G. Bernardi).**

reabsorción de nutrientes implica un gasto energético alto pero ventajoso en comparación con perder un nutriente tan importante como el nitrógeno. Sin embargo, esto no es así con las plantas en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno gaseoso. Debido a que este nutriente es suministrado por las mismas bacterias alojadas en los nódulos, las que lo toman de una fuente casi ilimitada (la atmósfera), las plantas simbióticas no necesitan economizar el nitrógeno contenido en sus hojas senescentes. Entonces, las hojas que caen contienen una proporción de nitrógeno comparativamente alta. Este hecho constituye una gran ventaja para el ambiente en donde se encuentran estas plantas, ya que su presencia permite incrementar notablemente el nitrógeno del suelo, proveyendo un efecto fertilizante.

### Las plantas actinorrízicas

Las distintas especies actinorrízicas habitan naturalmente en ecosistemas templados y fríos, y en las zonas elevadas de las regiones tropicales. Dado que no dependen del nitrógeno del suelo, pueden crecer en aquellos que prácticamente carecen de este elemento, como los suelos arenosos o pedregosos y otros afectados por glaciaciones, vulcanismo y actividades humanas.

Debido a todas sus características adaptativas las plantas actinorrízicas son utilizadas para la protección y la recuperación de suelos. Los registros más antiguos, inferidos a partir del estudio de granos de polen, indicarían que los incas utilizaban árboles de aliso del cerro (*Alnus acuminata*) para reducir la erosión y esta-

*Naipes patagónicos*

0294 15 455 2532  
[www.naipespatagonicos.com.ar](http://www.naipespatagonicos.com.ar)  
[contacto@naipespatagonicos.com.ar](mailto:contacto@naipespatagonicos.com.ar)

bilizar suelos en las terrazas de cultivos, en sistemas que actualmente conocemos como agroforestales. Esta suposición se refuerza con las crónicas de los conquistadores, en las que se menciona que este pueblo tenía una tradición muy fuerte en la plantación y protección de árboles. En la actualidad, en Centroamérica, son utilizados en zonas de pendientes pronunciadas intercalados con cultivos de maíz para estabilizar suelos y mejorar su fertilidad. También fueron sembrados en Alaska para recuperar la vegetación de un área de más de seis mil hectáreas con residuos provenientes de lavados de petróleo de esquistos (*shale oil* en inglés). Algunas especies de la familia de las casuarinas fueron utilizadas en ambientes con diferentes características. Por ejemplo, se han desarrollado plantaciones en China, que abarcan unas 300 mil hectáreas, con el fin de crear barreras contra el viento, estabilizar suelos arenosos y mejorar la fertilidad; en Kenia, en zonas de canteras de piedra caliza, donde se había perdido toda la superficie fértil; en Nueva Caledonia, en áreas contaminadas por la minería de níquel; y en Pakistán, en suelos salinos, que ejercen un efecto tóxico y deshidratante.

### ¿Y por casa cómo andamos? La simbiosis actinorríca en el noroeste de la Patagonia

En la región del noroeste patagónico, que incluye distintos ambientes como el bosque lluvioso, el bosque seco, los matorrales y la estepa, crecen seis especies nativas que forman simbiosis actinorríca. En la estepa y en los matorrales crecen el chacay (*Ochetophila trinervis* o *Discaria trinervis*), el chacay de la cordillera o chacaya (*Discaria chacaye*) y la mata negra (*Discaria articulata*), mientras que en la zona del bosque húmedo crecen el crucero (*Colletia hystrix*) y el deu o mata ratón (*Coriaria ruscifolia*) (ver Figura 5). El chacay y el chacay de la cordillera son muy abundantes en las zonas de matorrales, de estepa y también en riberas de ríos y lagos. Estas especies pueden obtener de la atmósfera más de un 60% del nitrógeno contenido en sus tejidos. Por otra parte, las hojas senescentes del chacay pueden contener más del doble de la concentración de nitrógeno que las hojas de otras especies no fijadoras de la región. Teniendo en cuenta que la mayor parte de este nitrógeno proviene de la atmósfera, esta alta proporción del nutriente en las hojas que caen es un aporte adicional al suelo, constituyendo un fertilizante natural. Estas características, sumadas a la presencia casi constante de *Frankia* con capacidad de nodular en suelos de los diversos ambientes, confiere a estas especies un valor importante para ser utilizadas en la restauración de suelos deteriorados de la región por factores diversos, como la compactación por la presencia de ganado, incendios o erosión por viento y agua.

Este ejemplo de especies de la flora nativa y sus microorganismos asociados nos permite resaltar el significado de las complejas interrelaciones que suceden entre los seres vivos y, en especial, del valor de nuestros recursos naturales para reducir los costos ambientales por la utilización de fertilizantes de origen industrial.

### Bacterias y desinfectantes

Las bacterias son los organismos más antiguos y los más abundantes del planeta; colonizan todos los ambientes y, del mismo modo que las que actúan en el ciclo del nitrógeno, actúan en infinidad de procesos naturales beneficiosos. Estos procesos incluyen, entre otros, la degradación y absorción de nutrientes en el tubo digestivo de animales y de humanos, la degradación de numerosas sustancias contaminantes del ambiente, la producción de antibióticos, la participación en el reciclado de nutrientes y la promoción del crecimiento de las plantas. Una baja proporción de las bacterias son causantes de enfermedades. Por tal razón, sería bueno fomentar una reflexión crítica cuando las publicidades de productos de limpieza o de higiene personal prometen eliminar el 99,9% de las bacterias (¿del planeta?) cuando, en verdad, muchas de ellas forman parte de nuestra flora natural y beneficiosa.

## Lecturas sugeridas

- Ferrari, A.E. y Wall, L.G. (2004). Utilización de árboles fijadores de nitrógeno para la revegetación de suelos degradados. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 105, 63-87.
- Solans, M., Vobis, G., Chaia, E.E. y Wall, L.G. (2004). Efectos de promoción del crecimiento en *Discaria trinervis* por cepas de actinomycetes. En: Monzón de Asconegui, M.A., García de Salamone, I.E. y Miyazaki, S.S. (Eds.), *Biología del Suelo* (pp.181-185). Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomía.
- Reyes, F., Gobbi, M.E. y Chaia, E.E. (2009). El chacay, un arbolito valioso. *Ecos del Parque. Periódico del Parque Nacional Nahuel Huapi*, V(10), p. 4. En URL: [www.nahuelhuapi.gov.ar/Paginas/ecos/Ecos\\_del\\_Parque\\_N\\_10.pdf](http://www.nahuelhuapi.gov.ar/Paginas/ecos/Ecos_del_Parque_N_10.pdf)
- Wall, L.G. (2005). *Plantas, bacterias, hongos, mi mujer, el cocinero y su amante. Sobre interacciones biológicas, los ciclos de los elementos y otras historias*. Colección Ciencia que Ladra. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.