

JEFF LOWENFELS Y WAYNE LEWIS

CULTIVAR CON MICROBIOS

*La guía de la red de nutrientes del suelo
del jardinero orgánico*

Prólogo de Elaine Ingham


melusina

Teaming with Microbes, Revised Edition

Copyright © 2010 by Jeff Lowenfels and Wayne Lewis. All rights reserved.

Originally published in the United States by Timber Press, Portland, OR.

© De la traducción del inglés: Carlos Gual Marqués

© Editorial Melusina, S.L.

www.melusina.com

El editor agradecerá que se le haga llegar cualquier comentario, duda o sugerencia a la siguiente dirección de correo electrónico: info@melusina.com

Primera edición: junio de 2021

Edición digital: junio de 2021

Diseño de cubierta: Araceli Segura

Imagen de cubierta: Getty Images

Reservados todos los derechos de esta edición.

ISBN: 978-84-18403-36-1

Dedicamos este libro a nuestras mujeres, Judith Hoersting y Carol Lewis, pues nos permitieron cultivar con microbios desde el principio. Se casaron con jardineros y acabaron con microbiólogos amateur. Permitieron que se hiciera té de compost en la cocina. Soportaron a los hongos, bacterias, nematodos, arañas y lombrices. No dijeron nada cuando nos llevábamos melaza de la despensa. Aprendieron a remover las pilas de compost y a apreciar las setas en nuestros céspedes.

CONTENIDO

Prólogo
Introducción

PRIMERA PARTE. LA CIENCIA BÁSICA

1. ¿Qué hay en la red de nutrientes del suelo y por qué debería interesar a los jardineros?
2. La ciencia del suelo clásica
3. Bacterias
4. Arqueas
5. Hongos
6. Algas y mohos mucilaginosos
7. Protozoos
8. Nematodos
9. Artrópodos
10. Gusanos de tierra
11. Gasterópodos
12. Reptiles, mamíferos y pájaros

SEGUNDA PARTE. APLICAR LA CIENCIA DE LA RED DE NUTRIENTES DEL SUELO AL TERRENO Y AL CUIDADO DEL JARDÍN

13. Cómo se aplica la red de nutrientes del suelo a la jardinería
14. ¿Qué aspecto tienen tus redes de nutrientes del suelo?
15. Herramientas para la restauración y el mantenimiento
16. El compostaje
17. El acolchado
18. Té de compost
19. Los hongos micorrízicos
20. El césped
21. El mantenimiento de los árboles, arbustos y perennes
22. Cultivar anuales y hortalizas
23. Un calendario de jardinería de la red de nutrientes del suelo

24. Nadie fertilizó nunca un bosque primario

Apéndice Reglas para la jardinería y el cultivo con la red de nutrientes del suelo

Prólogo

Los espacios urbanos significan tierra muerta. Significan encorvarse sobre un microscopio durante largas horas mirando a... la nada, salvo partículas inertes. Es aburrido.

La tierra de verdad está activa, viva, en movimiento. Hay bichos por doquier haciendo cosas interesantes. No hay necesidad de inventar letras para viejas canciones. Nada de horas mirando a través de un microscopio a micrómetros y micrómetros de aburrimiento-porque-no-sucede-nada. En vez de eso, tras unos pocos segundos: movimiento, vida, acción.

Los residentes de las ciudades y otros cultivadores han estado echando productos químicos tóxicos en el suelo durante años, sin darse cuenta de que esos productos dañan precisamente las cosas que mantienen a un suelo sano. Cualquier uso de productos tóxicos crea un hábitat para la «mafia» del suelo, una zona de guerrilla urbana, pues mata a la flora y fauna normal que compiten con los malos y los mantienen a raya. Los trabajos recientes indican claramente que los productos químicos tóxicos destruyen la calidad del agua, la salud del suelo y el contenido nutricional de tu comida dada la pérdida, a la larga, de los beneficios del suelo. Si el material tóxico se hubiera aplicado solo una vez en tu vida, no se habría producido la mala situación que tenemos hoy en día, pero normalmente esa primera aplicación mató a los miles de organismos que eran beneficiosos para tus plantas. También mató a un puñado de malos, pero los buenos han desaparecido y no regresan con tanta rapidez como los malos. Piensa en tu vecindario: ¿quién regresaría más rápido si tu vecindario se convirtiera en una zona de guerrilla química? Merodeadores y saqueadores oportunistas, esos son los que vuelven tras los disturbios. En el mundo humano, enviamos a las fuerzas de seguridad para mantener a raya a los criminales. Pero en el suelo, los niveles de fertilizante inorgánico que se usan, o la fumigación constante con pesticidas tóxicos, significan que las fuerzas de seguridad morirán también. Tenemos que restaurar deliberadamente la biología beneficiosa que se ha perdido.

¿De dónde procederán los nuevos reclutas? Tienes que añadirlos — bacterias, hongos, protozoos, nematodos, lombrices, microartrópodos— de nuevo a tu suelo. Las raíces de las plantas se alimentan de estas criaturas beneficiosas, pero para asegurarse de que se restauran estas criaturas beneficiosas, puede que se requiera la entrega de provisiones. Soil Foodweb, Inc. ayuda a la gente a reestablecer rápidamente una biología que crea un punto de apoyo para que regrese la salud a estos sistemas; y este libro describe a estos miembros diligentes en primera línea en la defensa de tus plantas. ¿Dónde viven? ¿Quiénes son sus familias? ¿Cómo envías provisiones —y no productos tóxicos— para ayudar a los reclutas con su tarea?

Recupera la salud de tu suelo. No le echés nada si no sabes lo que le hará a la vida bajo tus pies: *no uses el material*. Si ya has comprado el producto, testéalo tu mismo.

Los productos tóxicos a veces son necesarios para hacer una redada a una plaga o enfermedad, pero deberían usarse como último recurso y no como tu primera respuesta a una planta que se marchita. Si usas productos tóxicos, acuérdate de reemplazar a los buenos, y envíales algo de comida de inmediato.

Reestablecer la biología adecuada resulta crítico. Puede que pierdas algunas batallas por el camino, pero tienes que perseverar y puedes ganar. Piensa estratégicamente: ¿Cómo puedes ayudar a hacer llegar tropas, alimento, medicinas y vendas a la primera línea de la batalla entre las criaturas beneficiosas y las enfermedades y las plagas de la forma más eficaz? Las instrucciones, por lo menos hasta donde sabemos, están en este libro.

A la mayor parte las personas les queda mucho que aprender cuando se trata de suelos. Necesitas la información que Jeff y Wayne han reunido. Y además convierten sus «lecciones» sobre la salud del suelo en algo entretenido. Presentan un material que podría ser árido y aburrido de una manera que resulta amena y comprensible. En vez de tener que trabajar año tras año mirando a través de un microscopio, tal y como hemos hecho mis colegas y yo en nuestro esfuerzo por comprender la biología del suelo, este libro te ofrece una panorámica de lo que hemos aprendido. En este libro se reúne el trabajo de muchos científicos de una manera que permite que la compleja historia de la vida en el suelo sea entendida fácilmente.

Espero que te unas a nosotros y ayudes a aprender cómo devolver la salud al suelo y, en consecuencia, a los alimentos que comes. Las instrucciones están aquí.

DOCTORA ELAINE INGHAM
Presidenta de Soil Foodweb, Inc.

Introducción

Éramos los típicos jardineros suburbanos. Cada año, a principio de la temporada, bombardeábamos masivamente nuestros jardines con una megadosis de fertilizante hidrosoluble alto en nitrógeno y luego regábamos como si no hubiera mañana; más tarde ametrallábamos las malas hierbas latifoliadas con un popular herbicida. A continuación, atacábamos a nuestro huerto y camas de flores con una bolsa o dos de fertilizante comercial y los nivelábamos con un motocultor hasta que el suelo, con el color y la textura del café recién molido, quedaba tan liso e igualado como una salina. Esto lo hacíamos con un fervor religioso, al igual que lo hacían nuestros vecinos. Y una vez nunca era suficiente. Continuábamos usando fertilizantes químicos a lo largo de la temporada como si estuviéramos compitiendo en el certamen de la hortaliza más grande en la feria del estado de Alaska.

Cuando era necesario (y solía serlo), nos enfundábamos ropa de protección —incluidos guantes de plástico y mascarilla— y pintábamos nuestros abedules para protegerlos de los pulgones invasores empleando una cosa que olía a mil demonios y que listaba unos ingredientes que ninguna persona normal podría pronunciar, si asumimos que él o ella se molestaría en leer la increíblemente diminuta letra del etiquetado del producto. Acto seguido fumigábamos nuestras píceas con algo que olía todavía peor y cuya aplicación duraba no uno sino dos años. Suerte que nos protegíamos, pues ambos productos están fuera del mercado. Los retiraron por su peligro para la salud.

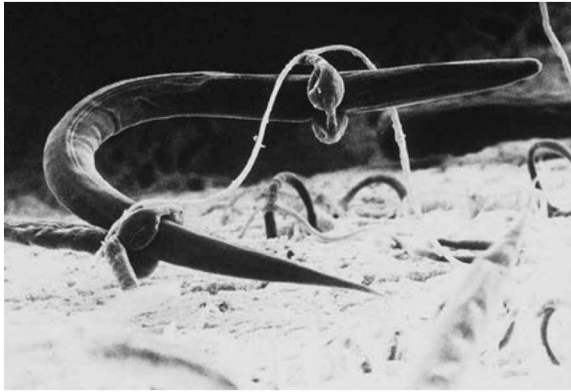
No nos juzguéis mal. Al mismo tiempo practicábamos lo que considerábamos que era una medida «apropiada» de responsabilidad medioambiental y de corrección política. Dejábamos los recortes de césped para que se descompusieran y rastrillábamos las hojas y las dejábamos en los parterres, y de vez en cuando soltábamos una tanda de crisopas, mariquitas y mantis religiosas; esa era nuestra versión de una gestión de plagas integral. Y teníamos una compostera, y reciclábamos los periódicos y las latas de aluminio. Alimentábamos a los pájaros y

permitíamos que todo tipo de fauna deambulara por nuestro terreno. Desde nuestro punto de vista, éramos bastante orgánicos y conscientes del medio ambiente (por no decir abiertamente responsables). En fin, éramos como la mayoría de los jardineros domésticos y manteníamos el equilibrio justo entre una vida mejor con la química y una pizca de las enseñanzas del capitán Cousteau.

Además, solíamos usar solo fertilizantes hidrosolubles altos en nitrógeno. ¿Qué daño podía causar al medio ambiente? Sin duda hacía que las plantas crecieran. Y tan solo usábamos un herbicida, aunque de forma no selectiva, para las latifoliadas. Vale, de acuerdo, alguna vez recurriamos también a algún insecticida pero, cuando lo comparábamos con lo que había en los anaqueles de nuestros viveros favoritos, pensábamos que no era gran cosa. ¿Cómo podíamos estar causando daño si de lo que se trataba era de salvar a una píceas, ayudar a un abedul, o impedir que el diente de león y la oreja de ratón conquistaran el mundo?

La premisa detrás de la manera en que cuidábamos nuestros jardines y huertos era la noción compartida por decenas de millones de otros jardineros y, hasta que no acabes el libro, quizás la tuya también: el nitrógeno de una fuente orgánica es el mismo que el nitrógeno de una inorgánica. A las plantas les daba igual si el nitrógeno, u otros nutrientes, provenía de un polvo azulado que mezclabas con agua o de un estiércol curado. Para ellas todo era nitrógeno.

Entonces un otoño, después de poner los jardines a hibernar y de que nosotros nos acomodáramos para pasar el invierno, mientras buscaba algo para mantener vivo el interés hortícola durante los fríos meses, un amigo jardinero me envió por correo electrónico dos sorprendentes imágenes tomadas por un microscopio electrónico. La primera mostraba con un detalle exquisito a un nematodo atrapado por un filamento fúngico en forma de bucle o hifa. ¡Vaya! Era algo insólito: un hongo liquidando a un nematodo. Nunca habíamos oído hablar o visto algo así; y nos hizo preguntarnos: ¿cómo consiguió el hongo matar a su presa? ¿Qué atrajo para empezar al nematodo ciego a los anillos del hongo? ¿Cómo funcionan esos anillos?



Un nematodo que se alimenta de raíces atrapado por una hifa fúngica. H. H. Triantaphyllou.

La segunda imagen mostraba lo que parecía ser un nematodo similar, pero en este caso no se veía impedido por las hifas fúngicas y había entrado en la raíz de un tomate. Esta fotografía suscitaba sus propias preguntas. ¿Por qué este nematodo no se veía atacado y dónde estaban las hifas fúngicas que habían matado al primer nematodo?

Mientras investigábamos las respuestas a estas preguntas nos topamos con el trabajo de la doctora Elaine Ingham, una microbióloga del suelo famosa por su trabajo sobre la vida que reside en el suelo y, en particular, sobre quién se come a quién en ese mundo. Dado que algunos organismos comen de más de una cadena trófica o son comidos por más de un tipo de depredador, las cadenas se conectan en redes: redes de nutrientes del suelo. Ingham, una profesora excelente, se convirtió en nuestra guía en el mundo completo de comunidades complejas del suelo. A través de ella aprendimos que el hongo de la primera fotografía estaba protegiendo las raíces de la planta; si eso no era suficiente para que nos detuviéramos para reflexionar, acto seguido aprendimos que es la propia la planta la que atrae al hongo a sus raíces. Y también aprendimos qué es lo que mata al hongo que habría prevenido que el nematodo atacara a la raíz de la tomatera.



En ausencia de hifas que bloqueen su camino, un nematodo penetra la raíz de una tomatera para alimentarse. William Weryin y Richard Sayre, USDA-ARS.

Por supuesto que nos empezamos a preguntar qué otras cosas hasta ese momento invisibles ocurrían ahí abajo en el suelo. ¿Acaso influiría el mundo que se revelaba ante nosotros mediante herramientas como el microscopio electrónico en la manera en la que cuidábamos de las plantas de nuestros jardines, huertos y patios? Todos nos sentimos deslumbrados por las imágenes del espacio profundo del Hubble, incompresiblemente lejano, y sin embargo solo unos pocos han llegado a tener la oportunidad de maravillarse ante las fotografías producidas por un microscopio electrónico de barrido, que brinda una ventana a un universo igualmente desconocido situado literalmente bajo nuestros pies.

Buscábamos respuestas y pronto nos dimos cuenta de que, mientras estábamos echando fertilizante y pasando el motocultor por el huerto religiosamente, un grupo creciente de científicos de todo el mundo había realizado un descubrimiento tras otro que ponían en tela de juicio estas prácticas. Muchas disciplinas científicas —microbiología, bacteriología, micología (el estudio de los hongos), mirmecología (el estudio de las hormigas), química, agricultura— habían aunado fuerzas en décadas recientes para centrarse en comprender el mundo del suelo. Lentamente, sus descubrimientos sobre lo que ocurre en el suelo están siendo aplicados a la agricultura comercial, a la silvicultura y a la viticultura. Va siendo hora de que apliquemos esta ciencia a las cosas que cultivamos en nuestros jardines y huertos.

La mayoría de los jardineros está atrapada en la tierra de la horticultura tradicional, un lugar donde los cuentos de la vieja, la ciencia

anecdótica y los hábiles mensajes comerciales diseñados para vender productos dictan nuestras actividades de temporada. Si hay alguna comprensión de la ciencia que subyace a la jardinería, esta siempre se limita a la química NPK del suelo y a su estructura física. A medida que lees estas páginas, aprenderás cómo usar la biología en tu suelo —natural o manipulado— para beneficio propio y de tus plantas. Ya que los fertilizantes químicos matan a los microorganismos del suelo y ahuyentan a los animales más grandes, el sistema por el que abogamos es uno orgánico, libre de productos químicos. Los productos químicos fueron, de hecho, los que mataron a las hifas fúngicas que protegen las raíces y dieron a nuestro amigo el nematodo acceso libre a las raíces inermes de la tomatera tal y como aparece en la segunda fotografía.

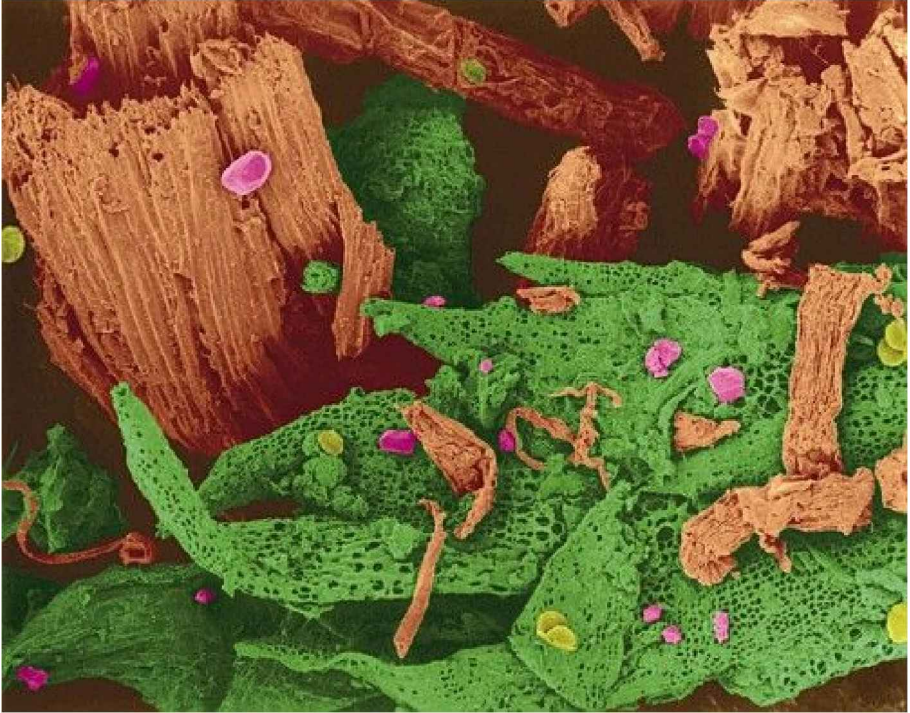
Por necesidad, este libro se divide en dos partes. La primera es una explicación del suelo y de la red de nutrientes del suelo. No hay manera de saltárselo. Tienes que conocer la ciencia antes de poder aplicarla. En este caso por lo menos, la ciencia es fascinante e incluso asombrosa, y además no intentamos hacer de ella un libro de texto. La segunda parte es la explicación de cómo hacer que la red de nutrientes del suelo trabaje en beneficio del suelo y del tuyo propio como jardinero.

Lo que diferencia este libro de otros textos sobre el suelo es nuestro énfasis acusado en la biología y la microbiología de los suelos: las relaciones entre el suelo y los organismos en el suelo y su impacto en las plantas. No abandonamos la química del suelo, pH, intercambio iónico, porosidad, textura y otras maneras de describirlo. Cubrimos la ciencia clásica del suelo, pero desde la premisa de que es el escenario donde la biología representa muchos dramas. Después de presentar a los actores y contar sus historias individuales, lo que sigue son resultados predecibles a partir de sus relaciones o la ausencia de los mismos. En la segunda parte del libro estos resultados se transforman en unas pocas y sencillas reglas, reglas que hemos aplicado en nuestros jardines y terrenos al igual que nuestros vecinos en Alaska, donde iniciamos estas nuevas prácticas. También lo han hecho otros, en particular a lo largo del noroeste del Pacífico, pero también en otras partes del mundo. Pensamos que aprender sobre la ciencia del suelo y luego aplicarla (en particular, la ciencia sobre cómo se interrelacionan varias formas de vida en el suelo: la red de nutrientes del suelo), nos ha hecho mejores jardineros. Cuando eres consciente y aprecias las hermosas sinergias entre los organismos del suelo, no solo te conviertes en un mejor jardinero sino también en un mejor administrador de la tierra. A los jardineros domésticos realmente no les incumbe aplicar venenos, y sin embargo lo hacen: a la comida que cultivan y comen (y, lo que es peor, con la que alimentan a sus familias) y en los céspedes en los que juegan.

Puede que sientas la tentación de ir directamente a la segunda parte del libro, pero te lo desaconsejamos encarecidamente. Resulta esencial que conozcas la ciencia para poder comprender de verdad las reglas. Por supuesto que requiere un poco de esfuerzo (o por lo menos sí lo requiere el capítulo sobre la ciencia del suelo), pero durante demasiado tiempo y para demasiados jardineros todo lo que necesitábamos saber venía en una botella o un frasco y todo lo que teníamos que hacer era mezclarlo con agua y aplicarlo con un pulverizador de una sola boquilla: la comida instantánea se cuele en el cultivo doméstico. Eso sí que es un hobby... Pues bien, queremos que seáis jardineros que piensan y no consumidores sin criterio que reaccionan porque un anuncio en una revista o en la televisión dice que hay que hacer algo. Si quieres ser un buen jardinero, necesitas entender qué es lo que sucede en tu suelo.

Así que ahí vamos. Ahora sabemos que todo el nitrógeno no es igual y que si dejas a las plantas y a la biología en el suelo hacer su trabajo, el cultivo se vuelve más fácil y los jardines mejoran. Ojalá tus terrenos y jardines crezcan hasta alcanzar un esplendor natural. Nosotros sabemos que los nuestros lo hacen.

PRIMERA PARTE. LA CIENCIA BÁSICA



Fotografía de un microscopio electrónico de humus de compost orgánico (marrón), material de plantas en descomposición (verde) y algunas partículas minerales (púrpura y amarillo), 25×. Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

1. ¿Qué hay en la red de nutrientes del suelo y por qué debería interesar a los jardineros?

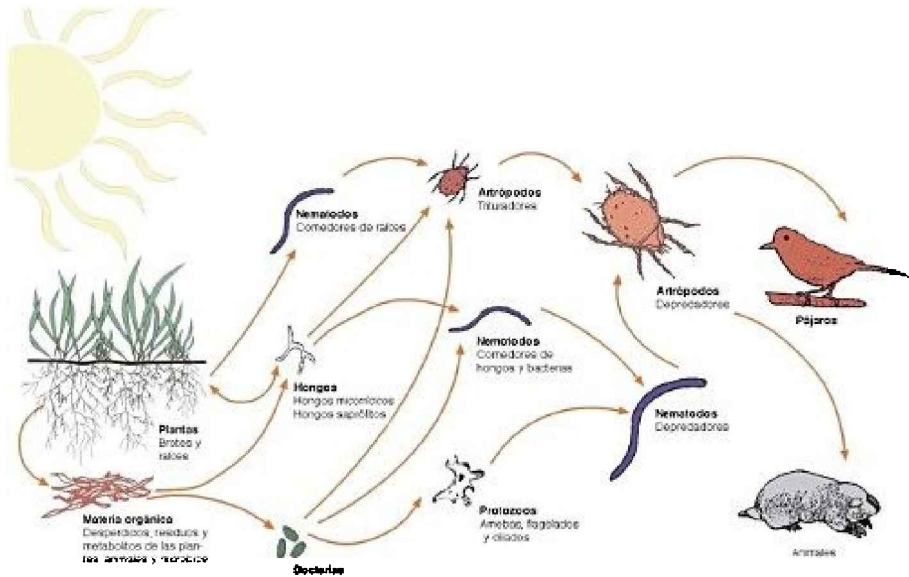
Dada su importancia vital para nuestro hobby, resulta sorprendente que la mayoría de nosotros no nos aventuremos más allá de la comprensión de que un buen suelo sustenta la vida de las plantas y un mal suelo no. Sin duda habrás visto lombrices en un buen suelo y, a menos que uses pesticidas, también te habrás topado con otra vida en el suelo: ciempiés, colémbolos, hormigas, babosas, larvas de coccinélidos y muchos más. La mayor parte de esta vida está en la superficie, en los primeros diez centímetros; aunque se han encontrado algunos microbios del suelo que viven cómodamente a unos increíbles tres mil metros por debajo de la superficie. Sin embargo, un buen suelo no consta tan solo de unos pocos animales. Un buen suelo rebosa vida, aunque rara vez este hecho genere una reacción de satisfacción.

Además de todos los organismos vivos que puedes ver en los suelos de un jardín (por ejemplo, hay hasta cincuenta lombrices de tierra en un metro cuadrado de un buen suelo), hay un mundo entero de organismos del suelo que no puedes ver a menos que uses instrumentos ópticos sofisticados y caros. Solo entonces aparecen los organismos microscópicos —bacterias, hongos, protozoos, nematodos— en cantidades que son cuando menos asombrosas. Una mera cucharita de café de buena tierra de jardín, tal y como la miden los genetistas microbianos, contiene mil millones de bacterias invisibles, varios metros de hifas fúngicas igualmente invisibles, varios miles de protozoos y unas pocas docenas de nematodos.

El denominador común de toda la vida del suelo es que cada organismo necesita energía para sobrevivir. Si bien unas pocas bacterias, conocidas como quimiosintéticas, derivan la energía del azufre, nitrógeno o incluso de compuestos de hierro, el resto tiene que comer algo que contenga carbono para obtener la energía que necesita para sostener la vida. El carbono puede provenir de material orgánico que ofrezcan las plantas,

desechos producidos por otros organismos, o los cadáveres de otros organismos. La primera prioridad de toda la vida en el suelo es la obtención de carbono como combustible del metabolismo; se trata de un mundo en el que comes y te comen, dentro y fuera del suelo.

Hay una canción infantil sobre una señora mayor que accidentalmente se tragó una mosca. A continuación, se tragó una araña («que luchaba y brincaba y cosquilleaba dentro de ella») que quería atrapar a la mosca, y luego a un pájaro que quería atrapar a la araña, y así sucesivamente hasta que se comió un caballo y se murió. («¡Por supuesto!»). Si hicieras un diagrama de quién se espera que se coma a quién, comenzando por la mosca y terminando con el improbable caballo, tendrías lo que se conoce como cadena trófica.



Una red de nutrientes del suelo. USDA-NRCS.

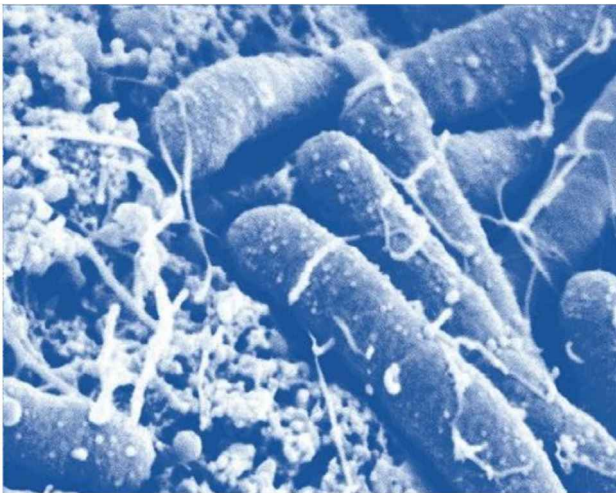
La mayoría de los organismos comen más de una clase de presa, así que si haces un diagrama de quién se come a quién en el suelo, la línea recta de la cadena trófica se convierte a su vez en una serie de cadenas tróficas vinculadas que se solapan entre sí, creando una red de cadenas de nutrientes o red de nutrientes del suelo. El entorno de cada suelo posee un conjunto distinto de organismos y, por tanto, un conjunto distinto de la red de nutrientes del suelo.

Esta es la definición simplificada y gráfica de la red de nutrientes del suelo aunque, como puedes imaginar, este y otros diagramas representan

un conjunto de interacciones, relaciones y procesos físicos y químicos complejo y altamente organizado. Sin embargo, la historia que cada uno cuenta es sencilla y siempre empieza con la planta.

Las plantas tienen el control

La mayoría de los jardineros piensa que las plantas solo absorben nutrientes a través del sistema radicular y alimentan a sus hojas. Pocos se dan cuenta de que las plantas usan una gran parte de la energía que obtienen mediante la fotosíntesis de las hojas para producir productos químicos que secretan a través de las raíces. Estas secreciones se conocen como exudados. Una buena analogía es la transpiración, que es un exudado humano.



La rizosfera es un área de interacción entre la superficie de la raíz de una planta y el área que la rodea. Bacterias y otros microorganismos, así como detritos del suelo, llenan el área. 10 000×. Sandra Silvers, USDA-ARS.

Los exudados de las raíces están presentes en forma de carbohidratos (incluidos los azúcares) y proteínas. Sorprendentemente, su presencia despierta, atrae y hace crecer a determinados hongos y bacterias beneficiosos que viven en el suelo y subsisten con estos exudados y con el material celular que se desprende a medida que crece las puntas de la raíz. Toda esta secreción de exudados y desprendimiento de células ocurre en la rizosfera, una zona que rodea a las raíces de forma inmediata y que se extiende un par de milímetros. La rizosfera, que puede tener la apariencia de la gelatina o la mermelada bajo un microscopio electrónico, contiene una mezcla en constante cambio de

organismos del suelo, incluidas las bacterias, hongos, nematodos, protozoos e incluso organismos mayores. Toda esta «vida» compite por los exudados en la rizosfera, o su contenido en agua o minerales.

En lo más bajo de la red de nutrientes del suelo están las bacterias y los hongos, que se sienten atraídos y consumen los exudados de las raíces de las plantas. A su vez, estos atraen y se ven devorados por microbios más grandes, en particular nematodos y protozoos (¿Recuerdas las amebas, paramecios, flagelados y ciliados que deberías haber estudiado en Biología?) que comen bacterias y hongos (fundamentalmente por el carbono) como combustible para sus funciones metabólicas. Todo lo que no necesitan lo excretan como residuos que las raíces de las plantas absorben como nutrientes. Qué conveniente que esta producción de nutrientes para las plantas se produzca en la rizosfera, el lugar de la absorción de los nutrientes para las raíces.

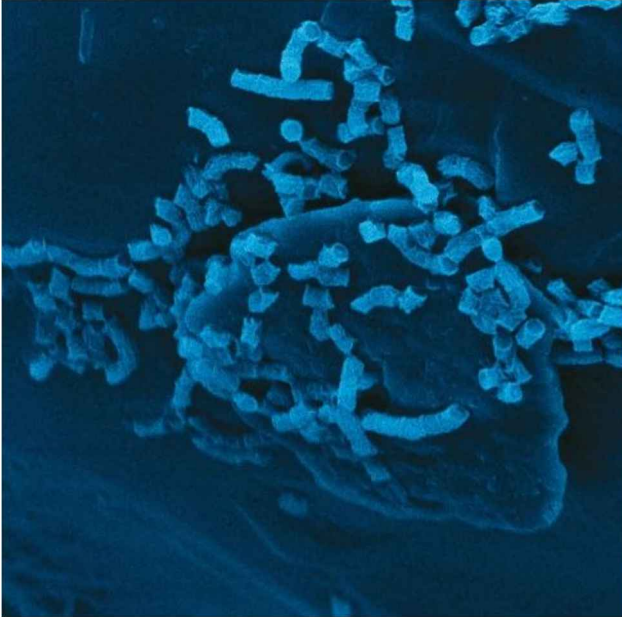
En el centro de cualquier red de nutrientes del suelo están las plantas. Las plantas controlan la red de nutrientes en beneficio propio, un dato sorprendente que no acaban de comprender del todo ni de apreciar los jardineros que interfieren constantemente con el sistema de la naturaleza. Los estudios indican que las plantas individuales pueden controlar el número y las distintas clases de hongos y bacterias atraídos a la rizosfera mediante los exudados que producen. Durante los diferentes momentos de la época de cultivo, las poblaciones de bacterias y hongos de la rizosfera crecen y decrecen dependiendo de las necesidades de nutrición de la planta y de los exudados que produzca.

Las bacterias y hongos del suelo son como pequeñas bolsas de fertilizantes, pues retienen en sus cuerpos nitrógeno y otros nutrientes que adquieren de los exudados y demás materia orgánica (como, por ejemplo, lo que se desprende de las puntas de las raíces). Para continuar con la analogía, los protozoos y nematodos del suelo actúan como «diseminadores del fertilizante» al liberar los nutrientes encerrados en las bacterias y hongos, que serían las «bolsas de fertilizantes». Los nematodos y protozoos aparecen y se comen a las bacterias y hongos de la rizosfera. Digieren lo que necesitan para sobrevivir y excretan el exceso de carbono y otros nutrientes como residuos.

Por tanto, si no se interfiere con ellas, las plantas producen exudados que atraen a los hongos y bacterias (y, a la postre, a nematodos y protozoos); su supervivencia depende de la interacción entre estos microbios. Se trata de un sistema completamente natural, el mismo que ha impulsado a las plantas desde que evolucionaron. La vida del suelo ofrece los nutrientes necesarios para la vida de las plantas, y las plantas inician e impulsan el ciclo produciendo exudados.

La vida del suelo crea la estructura del suelo

Los protozoos y nematodos que se dieron un banquete a costa de los hongos y bacterias que se vieron atraídos por los exudados de la planta, son a su vez devorados por los artrópodos (animales con cuerpos segmentados, apéndices articulados y una cubierta exterior dura llamada exoesqueleto).



Bacterias en una partícula de suelo. Ann West.

Artrópodos son los insectos, arañas e incluso las gambas y langostas. Los artrópodos del suelo se comen entre ellos y ellos mismos son el alimento de serpientes, pájaros, topos y otros animales. En pocas palabras, el suelo constituye un enorme restaurante de comida rápida. En el curso de esta comilona, los miembros de la red de nutrientes del suelo se mueven por doquier en busca de presa o protección y, mientras lo hacen, tienen un impacto en el suelo.

Las bacterias son tan pequeñas que tienen que pegarse a las cosas o ser barridas. Para adherirse producen un biofilm cuyo resultado secundario es que las partículas individuales del suelo se unen entre sí (si el concepto resulta difícil de entender, piensa en la placa que se forma en tu boca durante la noche y que permite a las bacterias adherirse a tus dientes). También las hifas fúngicas viajan a través de las partículas del suelo pegándose a ellas y uniéndolas, en forma de hilo, en agregados.

Las lombrices, junto con las larvas de insectos y los topos y otros animales que escarban, se mueven a través del suelo en busca de comida y protección creando caminos que permiten que entre y salga del suelo el aire y el agua. Incluso los hongos microscópicos pueden ayudar en esta tarea (ver el capítulo 4). Por tanto, la red de nutrientes del suelo, además de proveer con nutrientes a las raíces en la rizosfera, también ayuda a crear la estructura del suelo: las actividades de sus miembros unen las partículas del suelo a la vez que facilitan el paso del aire y el agua a través del suelo.

La vida del suelo produce los nutrientes del suelo

Cuando cualquier miembro de la red de nutrientes del suelo muere, se convierte en alimento para los otros miembros. Los nutrientes en estos cuerpos pasan a otros miembros de la comunidad. Los depredadores más grandes pueden comérselos vivos o pueden descomponerse tras morir. De una manera u otra, los hongos y las bacterias se implican, bien favoreciendo directamente la descomposición del organismo o trabajando en los excrementos del depredador que ha tenido suerte; no hay ninguna diferencia. Los nutrientes se conservan y acaban finalmente retenidos en los cuerpos de incluso los hongos y bacterias más pequeños. Cuando estos se encuentran en la rizosfera, liberan nutrientes en una forma accesible para las plantas cuando ellos mismos, a su vez, son consumidos o mueren.

Sin este sistema, los nutrientes más importantes se lixiviarían. En vez de eso, se ven retenidos en los cuerpos de la vida del suelo. Esta es la verdad del jardinero: cuando aplicas fertilizantes químicos, una pequeñísima parte alcanza la rizosfera y es absorbida, pero la mayor parte se escurre por el suelo hasta llegar a la capa freática. Esto no ocurre con los nutrientes encerrados en los organismos del suelo, un estado que se conoce como inmovilización; estos nutrientes se liberan al final como residuos o se mineralizan. Y cuando las propias plantas mueren y llegan a descomponerse, los nutrientes que retenían vuelven a quedar inmovilizados en los hongos y bacterias que los consumen.

El stock de nutrientes en el suelo está influenciado por la vida del suelo de otras maneras. Por ejemplo, las lombrices introducen materia orgánica en el suelo que será más tarde triturada por los escarabajos y larvas de otros insectos, lo que propiciará la descomposición fúngica y bacteriana. La actividad de las lombrices aporta todavía más nutrientes para la comunidad del suelo.

Las redes de nutrientes del suelo sanas controlan las enfermedades

Una red de nutrientes del suelo sana es aquella que no está siendo destruida por organismos patógenos. Después de todo, no todos los organismos del suelo son beneficiosos. Como jardinero, sabes que las bacterias y hongos patógenos del suelo pueden causar muchas enfermedades a las plantas. Las redes de nutrientes del suelo sanas no solo tienen una cantidad tremenda de organismos individuales sino también una gran diversidad. ¿Recuerdas la cucharita de café de buena tierra de jardín? Quizás veinte mil o treinta mil especies distintas componen sus mil millones de bacterias, lo que supone una población sana tanto en número como en diversidad.

Una comunidad grande y diversa controla a los maleantes. Una buena analogía sería un ladrón en un mercado atestado de gente: si hay suficientes personas alrededor, atraparán o incluso detendrán al ladrón (y es, además, para beneficio propio). Sin embargo, si el mercado está vacío el ladrón se saldrá con la suya, al igual que ocurrirá si es más fuerte, más rápido o de alguna manera está mejor adaptado que aquellos que podrían perseguirle.

En el mundo de la red de nutrientes del suelo, los buenos no suelen atrapar a los ladrones (aunque a veces sí ocurre: como prueba tienes el nematodo con el que comenzamos todo). En vez de eso, compiten con ellos por los exudados y otros nutrientes, aire, agua e incluso espacio. Si la red de nutrientes del suelo está sana, esta competición mantiene a los patógenos a raya; y puede que incluso acaben siendo sobrepujados hasta morir.

Y lo que es igualmente importante es que cada miembro de la red de nutrientes tiene su lugar en la comunidad del suelo. Cada uno, ya sea en la superficie o en el subsuelo, desempeña un papel específico. La eliminación de tan solo un grupo puede alterar drásticamente una comunidad del suelo. Los pájaros participan esparciendo protozoos que llevan en las patas o dejando caer en un lugar a un gusano que atraparon en otro sitio. Y, si se añaden demasiados gatos, puede que la cosa cambie... Los excrementos de los mamíferos ofrecen nutrientes a los escarabajos en el suelo. Mata a los mamíferos o elimina su hábitat o la fuente de alimento (lo que supone lo mismo) y ya no tendrás tantos escarabajos. Y funciona en sentido contrario. Una red de nutrientes del suelo sana no permitirá que un conjunto de miembros se haga tan fuerte que destruya la red. Si hay demasiados nematodos o protozoos, las bacterias y hongos que son su presa tendrán problemas y, al final, también las plantas de la zona.

Y hay otros beneficios. Las redes que los hongos forman alrededor de

las raíces actúan como barreras físicas ante la invasión y protegen a las plantas de los hongos y bacterias patógenos. Las bacterias recubren las superficies de forma tan completa que no hay sitio para que otros se adhieran. Si algo impacta a estos hongos y bacterias y sus números caen o desaparecen, la planta puede ser fácilmente atacada.

Unos hongos especiales del suelo llamados micorrícicos establecen una relación simbiótica con las raíces, ofreciéndoles no solo protección física sino también el suministro de nutrientes. A cambio de exudados, estos hongos ofrecen agua, fósforo y otros nutrientes necesarios para las plantas. Las poblaciones de la red de nutrientes del suelo tienen que estar en equilibrio para que estos hongos no sean devorados y las plantas sufran.

Las bacterias producen sus propios exudados, y el biofilm que emplean para adherirse a las superficies atrapa a los patógenos. A veces las bacterias trabajan en conjunción con los hongos para formar capas protectoras no solo alrededor de las raíces de la rizosfera sino también en un área equivalente alrededor de la superficie de las hojas llamada filosfera. Las hojas producen exudados que atraen a los microorganismos exactamente de la misma forma en que lo hacen las raíces. Estas actúan como una barrera ante la invasión y previenen la entrada en el sistema de la planta de los organismos que causan enfermedades.

Algunos hongos y bacterias producen compuestos inhibidores, algo análogo a las vitaminas y los antibióticos, que ayudan a mantener y mejorar la salud de la planta. La penicilina y la estreptomycinina, por ejemplo, son producidas por un hongo y una bacteria del suelo respectivamente.

No todo el nitrógeno es el mismo

Básicamente, por lo menos desde la perspectiva de la planta, el papel de la red de nutrientes del suelo consiste en hacer que los nutrientes circulen hacia abajo hasta que queden temporalmente inmovilizados en los cuerpos de las bacterias y los hongos y luego se mineralicen. El más importante de estos nutrientes es el nitrógeno, un componente básico de los aminoácidos y, por tanto, de la vida. Por lo general, la biomasa de los hongos y las bacterias (es decir, la cantidad total de cada uno en el suelo) determina la cantidad de nitrógeno disponible de inmediato para uso de la planta.

No fue hasta 1980 cuando los científicos del suelo pudieron medir con rigor la cantidad de bacterias y hongos en el suelo. La doctora Elaine Ingham de la Oregon State University junto con otros empezó a publicar investigaciones que mostraban la proporción de estos dos organismos en

varios tipos de suelo. En general, los suelos menos alterados (los que sostienen los viejos bosques madereros) tenían más hongos que bacterias, mientras que los suelos alterados (tierras tratadas con un motocultor, por ejemplo) tenían más bacterias que hongos. Estos estudios y otros posteriores muestran que los suelos agrícolas tienen una biomasa de hongos a bacterias (proporción H:B) de 1:1: o menos, mientras que los suelos boscosos tienen diez veces más hongos que bacterias.

Ingham y algunos de sus estudiantes de posgrado también descubrieron una correlación entre las plantas y su preferencia por suelos dominados por los hongos frente a aquellos que estaban dominados por las bacterias o eran neutrales. Dado que el camino de los suelos dominados por bacterias a los que están dominados por los hongos sigue el curso general de la sucesión de las plantas, resultó fácil predecir qué tipo de suelo preferían las plantas investigando de dónde provenían. En general, las perennes, árboles y arbustos prefieren los suelos dominados por los hongos, mientras que las anuales, gramíneas y verduras prefieren los suelos dominados por las bacterias.

Una implicación de estos hallazgos para el jardinero tiene que ver con el nitrógeno en las bacterias y los hongos. Recuerda que esto es lo que la red de nutrientes del suelo significa para la planta: cuando estos organismos son devorados, parte del nitrógeno queda retenido en el depredador, pero otra gran parte se libera como desecho en forma de amonio (NH_4) disponible para la planta. Dependiendo del entorno del suelo, este puede permanecer como amonio o ser convertido en nitrato (NO_3) por una bacteria especial. ¿Cuándo ocurre esta conversión? Cuando el amonio se libera en suelos que están dominados por las bacterias. Y esto es así porque estos suelos suelen tener un pH alcalino (gracias a la biopelícula bacteriana), que favorece que las bacterias fijadoras de nitrógeno prosperen. Cuando comienzan a dominar, los ácidos producidos por los hongos bajan el pH y reducen significativamente el número de estas bacterias. En los suelos con una dominancia fúngica, gran parte del nitrógeno permanece en forma de amonio.

Y aquí está el escollo: los fertilizantes químicos ofrecen nitrógeno a las plantas, pero la mayoría lo hace en forma nítrica (NO_3). Sin embargo, una comprensión de la red de nutrientes del suelo deja claro que a la larga las plantas que prefieren los suelos con una dominancia fúngica no prosperarán con una dieta de nitratos. Conocer esto puede significar una gran diferencia en la manera en la que gestionas los jardines y terrenos. Si puedes hacer que o bien los hongos o bien las bacterias dominen, u ofrecer una mezcla a partes iguales (y puedes hacerlo tal y como se explica en la segunda parte), entonces las plantas obtendrán la clase de

nitrógeno que prefieren sin productos químicos, y prosperarán.

Impactos negativos en la red de nutrientes del suelo

Los fertilizantes químicos, pesticidas, insecticidas y fungicidas afectan a la red de nutrientes del suelo, pues son tóxicos para algunos miembros, repelen a otros y alteran el entorno. Algunas importantes relaciones fúngicas y bacterianas no se forman cuando una planta puede conseguir nutrientes gratis. Cuando son alimentadas químicamente, las plantas obvian el método asistido por los microbios para obtener nutrientes y las poblaciones microbianas se ajustan en consecuencia. El problema es que tienes que seguir añadiendo fertilizantes químicos y usando «-cidas», porque la mezcla correcta y la diversidad —la propia base de la red de nutrientes del suelo— ha sido alterada.

Tiene sentido que, toda vez que las bacterias, hongos, nematodos y protozoos hayan desaparecido, otros miembros de la red de nutrientes también desaparezcan. Las lombrices, por ejemplo, al no encontrar alimento y sentirse irritadas por los nitratos sintéticos en el fertilizante de nitrógeno hidrosoluble, se irán. Dado que son unos trituradores importantes de material orgánico, su ausencia significará una gran pérdida. Sin la actividad y la diversidad de una red de nutrientes sana, no solo afectas al sistema de nutrición sino también a todas las demás cosas que conlleva una red de nutrientes del suelo sana: se deteriora la estructura del suelo, el riego puede volverse problemático, los patógenos y las plagas pueden asentarse y, lo peor de todo, la jardinería se vuelve mucho más fatigosa de lo que necesita ser.

Si los fertilizantes químicos basados en sales no matan a partes de la red de nutrientes del suelo, lo hará el empleo del motocultor. Este rito primaveral de la jardinería rompe las hifas fúngicas, diezma a las lombrices y acuchilla y aplasta a los artrópodos. Destruye la estructura del suelo y a la postre hurta al suelo el aire que necesita. Y, de nuevo, eso significa más trabajo a la larga para ti. La polución del aire, los pesticidas, fungicidas y herbicidas matan a miembros importantes de la red de nutrientes del suelo o los «ahuyentan». Cualquier cadena es tan fuerte como su eslabón más débil: si hay una carencia en la red de nutrientes del suelo, el sistema se colapsará y dejará de funcionar adecuadamente.

Las redes de nutrientes del suelo sanas te benefician a ti y a las plantas

¿Por qué debería un jardinero saber cómo funcionan los suelos y las redes de nutrientes del suelo? Porque así puedes gestionarlas para que

trabajen para él y para tus plantas. Mediante el uso de técnicas que emplean la ciencia de la red de nutrientes del suelo en tu jardín, por lo menos puedes reducir, y en el mejor de los casos eliminar, la necesidad de fertilizantes, herbicidas, fungicidas y pesticidas (y un montón de trabajo que viene aparejado). Puedes mejorar los suelos degradados para que vuelvan a ser útiles. Los suelos retendrán los nutrientes en los cuerpos de los organismos de la red de nutrientes del suelo en vez de permitir que se filtren a dios sabe dónde. Tus plantas obtendrán nutrientes en la forma en que cada una en particular quiere y necesita y, en consecuencia, estarán menos estresadas. Tendrás una prevención, protección y supresión de enfermedades de origen natural, y tus suelos retendrán más agua.

Los organismos en la red de nutrientes del suelo harán la mayor parte del trabajo para mantener la salud de las plantas. Miles de millones de organismos vivos estarán trabajando continuamente a lo largo del año, haciendo las tareas engorrosas, proveyendo de nutrientes a las plantas, construyendo los sistemas de defensa contra las plagas y enfermedades, aflojando el suelo e incrementando el drenado, creando los pasadizos necesarios para el oxígeno y el dióxido de carbono. Tú no tendrás que hacer ninguna de estas cosas.

La jardinería con la red de nutrientes del suelo es fácil, pero tienes que devolver la vida a tus suelos. En primer lugar, sin embargo, tienes que saber algo sobre el suelo en el que opera la red de nutrientes del suelo; en segundo lugar, tienes que saber lo que hace cada uno de los miembros claves de la comunidad de la red de nutrientes. Ambas cuestiones se abordan en el resto de la primera parte.

2. La ciencia del suelo clásica

Este sería un buen momento para salir fuera y recoger unos puñados de tierra de distintas partes de tu terreno. Echa un buen vistazo a la tierra. Huélela. Muélela entre tus dedos. Compara las muestras por sus diferencias y similitudes. Cuando repitas estas observaciones tras leer este capítulo, tendrás una perspectiva distinta sobre lo que tienes en las manos.

El jardinero típico sabe muy poco sobre el suelo y su importancia. Sin embargo, para nosotros el suelo es la casa en la que viven todos los organismos de la red de nutrientes del suelo. Es el escenario de los actores que nos interesan. Simplemente, tienes que conocer la naturaleza física del suelo para entender la biología que lo habita y cómo usar esa biología para convertirte en un mejor jardinero. Después de todo, media hectárea de un buen suelo de cultivo rebosa vida y contiene en torno a 1 kg de pequeños mamíferos; 60 kg de protozoos; 400 kg respectivamente de lombrices, artrópodos y algas; 900 kg de bacterias; y una tonelada de hongos.

Si queremos que las cosas crezcan mejor, la mayoría de nosotros sustituirá un suelo de calidad pobre por otro de buena calidad. Los jardineros experimentados detectan un buen suelo cuando lo ven: del color del café, rico en material orgánico, capaz de retener el agua y al mismo tiempo drenarla cuando hay un exceso. Y huele bien. El suelo pobre es pálido, está compactado, drena o demasiado bien y no retiene el agua o retiene demasiada agua, y a veces se torna incluso anaeróbico. Y puede oler mal. Sin embargo, si vas a usar la red de nutrientes del suelo, deberías saber más. ¿De dónde viene el suelo? ¿De qué se compone? ¿Cómo nos podemos poner de acuerdo para describirlo y cómo podemos medir sus características? Estos conocimientos te ayudarán a ajustar tus suelos porque, al final, lo que determina un suelo realmente bueno es lo que deseas cultivar en él: un buen suelo debe ser capaz de mantener una red de nutrientes del suelo compatible con las plantas que sustenta. Confía en nosotros: al final, te alegrarás de saber un poco más sobre el

suelo; algo más allá de su color y olor.

En realidad, ¿qué es el suelo?

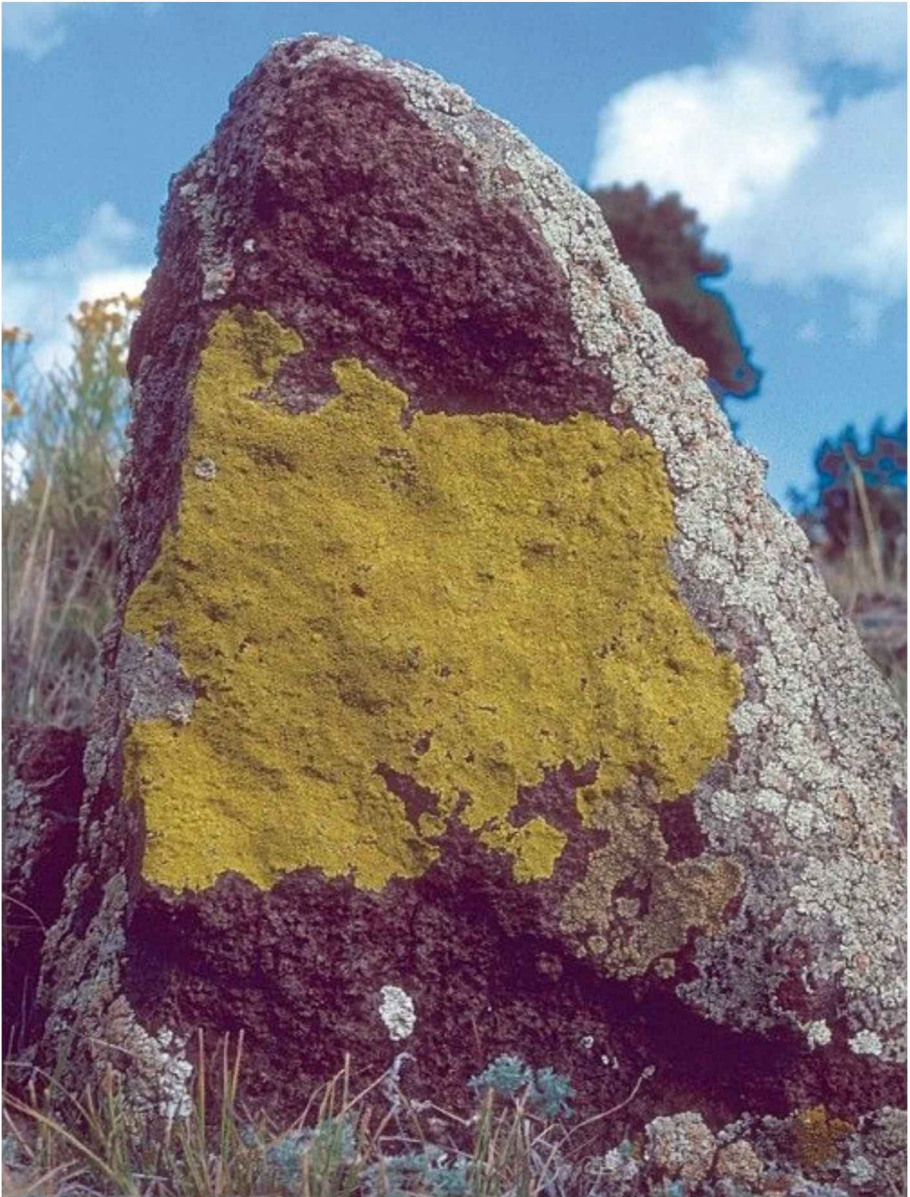
Técnicamente, suelo es toda el materia mineral y orgánico en las capas superiores de la corteza terrestre que está suelto, sin consolidar. La comparación estándar emplea una manzana para representar a la Tierra. Resta el 75 % de la piel, que representa toda el agua, y otro 15 %, que representa a los desiertos o montañas, tierra demasiado caliente, demasiado fría, demasiado húmeda, o demasiado empinada para cultivar plantas. El 10 % restante representa todo el suelo de la Tierra: suelos con las propiedades físicas, químicas y biológicas necesarias para sustentar la vida de las plantas. Cuando tenemos en cuenta las huellas de las ciudades, carreteras u otras infraestructuras obra del hombre (estas, por otro lado, suelen asentarse en algunos de los mejores suelos), la superficie de suelo utilizable se ve más reducida todavía.

Por el momento, lo que nos concierne es la diminuta tira de piel de manzana que representa el suelo en nuestros jardines y terrenos. ¿Cómo hemos llegado aquí? ¿Qué es? ¿Cómo sustenta el crecimiento de las plantas?

La meteorización

El suelo en tu terreno es en gran parte producto de la meteorización. La meteorización es la suma de impactos de todas las fuerzas naturales que descomponen las rocas. Estas fuerzas pueden ser físicas, químicas o biológicas.

Para empezar, la mera acción del viento, lluvia, nieve, sol y frío (junto con la trituración glacial, baches en los lechos de los ríos, el raspado contra otras rocas, los rodamientos con las olas del océano y los chorros de las corrientes) rompen físicamente las rocas hasta convertirlas en diminutas partículas, e inician el proceso de formación del suelo. El agua se congela en las grietas y fracturas y se expande, incrementando su volumen un 9 % (y ejerciendo una fuerza de unos 400 kg por cm²) cuando se convierte en hielo. El tiempo caluroso hace que la superficie de la roca se expanda, mientras que el interior de la roca, tan solo a un milímetro de profundidad, se mantiene fresco y estable. A medida que la capa exterior empuja hacia afuera, se forman grietas y la superficie se pela en partículas más pequeñas.



Los ácidos producidos por el liquen amarillo de esta roca contribuyen lentamente a su conversión en suelo. Dave Powell, USDA Forest Service.

La meteorización química disuelve la roca rompiendo los enlaces moleculares que la mantienen unida mediante la exposición al agua, oxígeno y dióxido de carbono. Algunos materiales de la roca se disuelven, lo que hace que esta pierda la estabilidad estructural y se vuelva más

susceptible a la meteorización física (piensa en un terrón de azúcar que se echa en una taza de té y luego se agita). Los hongos y las bacterias también contribuyen a la meteorización química produciendo productos químicos cuando descomponen la comida (los hongos producen ácidos y las bacterias sustancias alcalinas); además del dióxido de carbono, los microbios producen amoníaco y ácidos nítricos que actúan como solventes. El material de la roca se rompe en elementos más simples. Si bien hay casi noventa elementos químicos diferentes en el suelo, solo ocho son los mayoritarios: oxígeno, silicio, aluminio, hierro, magnesio, calcio, sodio y potasio. Todos tienen una carga eléctrica a nivel molecular, y en diferentes combinaciones estos forman moléculas cargadas eléctricamente que se combinan para formar distintos minerales.

También la actividad biológica provoca la meteorización. El musgo y el líquen (o para ser más precisos, los hongos en ellos) se adhieren a las rocas y producen ácidos y quelatos que disuelven pequeños trocitos de roca para ser usados como nutrientes, lo que resulta en pequeñas fisuras que se llenan de agua. Los ciclos de congelación y deshielo rompen aún más la base material, y las raíces de las plantas más grandes penetran por las hendiduras y las ensanchan forzando la ruptura.

La materia orgánica

La meteorización rompe las rocas en componentes minerales de una clase u otra. El suelo, sin embargo, necesita poder sustentar la vida de las plantas y eso requiere algo más que minerales. De media, un buen suelo de jardín se compone de un 45 % de naturaleza mineral y un 5 % de materia orgánica, constituido por organismos encima y en su interior que se ocupan de sus asuntos cotidianos. A medida que las plantas y animales mueren en la superficie y se descomponen gracias a las bacterias y hongos, finalmente se convierten en humus, un material orgánico rico en carbono de color café. Piensa en el producto final de una compostera; este valioso material es el humus.

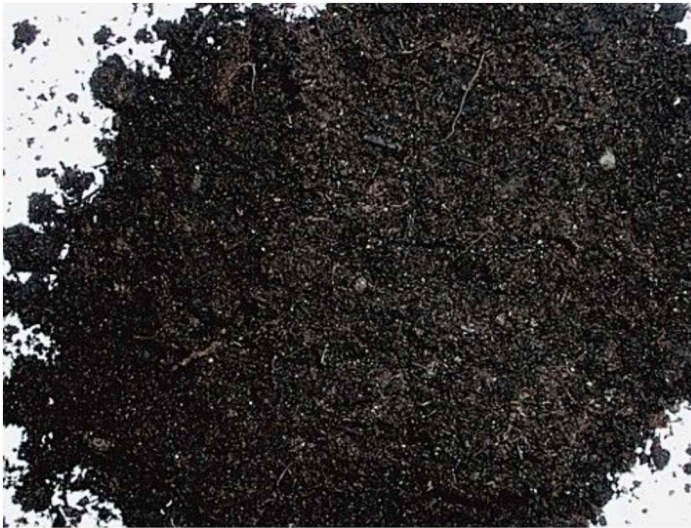
El humus consiste en largas cadenas de moléculas de carbono difíciles romper y con una gran superficie; esta superficie tiene cargas eléctricas que atraen y retienen las partículas minerales. Además, la estructura molecular de las largas cadenas se parece a una esponja: una gran cantidad de recovecos que sirven como verdaderos apartamentos para los microbios del suelo. Una vez que añades humus y otras materias orgánicas, —tales como la materia de plantas muertas y cuerpos de insectos— a los minerales meteorizados, tienes un suelo casi capaz de sustentar árboles, arbustos, céspedes y jardines, si bien aún no está listo

del todo.

El aire y el agua

Los minerales y el humus constituyen la fase sólida del suelo, pero las plantas también requieren oxígeno y agua, las fases gaseosa y líquida. Los vacíos entre partículas minerales y orgánicas se llenan con aire o agua (y a veces ambos).

El agua se mueve entre los espacios porosos del suelo de dos maneras: bien por el empuje de la gravedad o el empuje de las moléculas individuales de agua entre sí, bien por la acción capilar. El agua gravitacional se mueve libremente a través de los suelos. Imagina echar agua en una jarra llena de gravilla: la gravedad empuja el agua al fondo a medida que se llena la jarra. Los poros más grandes promueven el flujo de agua gravitacional. A medida que el agua llena los poros, desplaza y empuja al aire que se encuentra a su paso. Cuando el agua fluye a través, permite que entre un nuevo suministro de aire. Cuando el agua gravitacional alcanza las raíces, que actúan como esponjas, es absorbida.



El humus tiene un rico color café y está repleto de material orgánico. Este puñado tiene aproximadamente un 55 % de materia orgánica. Alaska Humus Company.

Los espacios más pequeños de los poros del suelo contienen una película de agua capilar que no está influenciada por la gravedad y que, en realidad, se queda atrás cuando discurre el agua gravitacional. El líquido

se une por la atracción de sus moléculas entre ellas (una fuerza conocida como cohesión, pero no vamos a complicar las cosas) y también se une a las superficies de suelo que la rodean (una fuerza conocida como adhesión). Esto crea una tensión superficial que provoca que el agua forme una gruesa película en la superficie de las partículas. El agua capilar puede «fluir» hacia arriba. Está disponible para las raíces de las plantas después de que el agua gravitacional haya pasado y, en este sentido, es una fuente principal de agua para las plantas.

El agua higroscópica es una película más fina de agua, de tan solo unas pocas moléculas de grosor, que al igual que el agua capilar se adhiere a partículas del suelo extremadamente pequeñas en virtud de sus propiedades eléctricas. Esta película es tan delgada que los enlaces entre las moléculas de agua y las partículas de suelo están concentrados y son extremadamente difíciles de romper. En consecuencia, las raíces no pueden absorberla, pero esta película de agua resulta crítica para la habilidad de muchos microbios para vivir y viajar. Incluso en condiciones áridas, la superficie de las partículas del suelo retiene algo del agua higroscópica; es imposible sacarla del suelo sin aplicar mucho calor o, en realidad, hervirlo.

Prácticamente la mitad de los espacios porosos de un buen suelo están rellenos de agua y la otra mitad de aire. El movimiento del agua empuja el aire rancio fuera y succiona aire de la superficie, así que añadir agua significa que se produce un intercambio de aire, algo que es importante. Si hay una red de nutrientes del suelo sana, la actividad metabólica de los organismos del suelo usa el oxígeno y crea dióxido de carbono. La presencia de dióxido de carbono es una buena señal de que el suelo contiene vida. Sin embargo, el dióxido de carbono tiene que intercambiarse por aire fresco para que la vida continúe.

En algunos suelos, los espacios porosos están separados los unos de los otros en muchos puntos y no hay intercambio de aire cuando fluye el agua. De hecho, puede que el agua nunca fluya en absoluto. Estos suelos tienen una porosidad pobre, es decir, carecen del espacio adecuado entre las partículas de suelo. Puede que todo el oxígeno en el suelo sea usado para actividades metabólicas anaeróbicas, lo que resulta en unas condiciones de ausencia de oxígeno. Los organismos que pueden vivir en estas condiciones suelen producir alcoholes y otras sustancias que matan las células de las raíces de la planta.

Perfiles y horizontes del suelo

Los suelos están incesantemente expuestos a las fuerzas de la meteorización. La lluvia, por ejemplo, provocará la lixiviación de los

minerales y la materia orgánica del suelo cuando el agua permea el suelo. Este material puede chocar con una barrera impermeable y quedar concentrado en una zona o capa en concreto. El tamaño de las partículas puede provocar que un material en concreto se concentre o se filtre. A la postre y con el paso del tiempo, se forman capas y zonas de material distinto. Esto puede verse, al igual que los estratos en las paredes del Gran Cañón, cuando excavas en el suelo. El perfil de un suelo es un mapa de estas capas u horizontes.

Los científicos del suelo han atribuido una letra o una combinación de letras (e incluso números) a cada horizonte que aparece en un perfil de suelo típico. Afortunadamente, para el jardinero los horizontes superiores —el o y el A— son realmente los únicos que cuentan. El horizonte oi contiene material orgánico que todavía puede ser identificado en concreto (con un poco de entrenamiento, aunque es algo que queda fuera del alcance de este libro); este es el suelo fábriico. El horizonte oe ha experimentado más descomposición y, si bien los materiales son identificables como materia vegetal, no puede saberse qué plantas en concreto están implicadas, incluso con entrenamiento. Este es el suelo húmico. Finalmente, el horizonte oa es donde el material orgánico se ha descompuesto tanto que no es posible identificar su origen; podría provenir de la materia de plantas o animales. Este es el suelo sáprico. De todo esto se obtiene una información bastante útil si quieres saber si tus suelos crearán mas derivados de la descomposición como el nitrógeno, porque el proceso que convierte el suelo en humus no se ha completado; o si tu suelo se ha descompuesto hasta el extremo de que básicamente solo alberga microbios que causan descomposición.

El horizonte A yace bajo el horizonte o. Aquí se acumulan las partículas de humus a medida que el agua discurre por el horizonte o por encima y empuja a las partículas orgánicas hacia abajo. El agua que fluye por este horizonte lleva muchos de los materiales disueltos y en suspensión. Este horizonte A tiene el contenido más alto de materia orgánica y actividad biológica de todos los horizontes del suelo. Aquí es donde crecen las raíces.

A continuación, le siguen varios horizontes del suelo y, al final, el lecho rocoso. Necesitarías una retroexcavadora para excavar a través de todos los horizontes bajo tu terreno, algo que claramente no vale la pena. A menudo faltan uno o dos horizontes, por haberse visto desgastados o transportados por las fuerzas de la meteorización, y con la misma frecuencia resulta muy difícil distinguir entre capas.

Lo importante es que tu jardín y tu terreno tengan un buen suelo —la mezcla adecuada de minerales, materia orgánica, aire y agua— en las capas superiores, la zona donde crecen las plantas. De no ser así, tendrás

que añadir enmiendas o remplazarlo por completo.

El color del suelo

El color puede ser un indicador fácil de lo que hay en tu suelo, ya que a veces el color del suelo depende de los compuestos minerales y orgánicos del mismo. La meteorización, la oxidación, las acciones de reducción de los minerales de hierro y manganeso y la bioquímica de la descomposición de la materia orgánica son los factores fundamentales que influyen en el color del suelo.

Los componentes orgánicos en el suelo constituyen agentes de coloración muy fuertes y producen suelos oscuros; estos pueden acumularse o disolverse y recubrir otras partículas del suelo con un color negro. Cuando el hierro es un componente del suelo, se oxida y las partículas del suelo se cubren de un tono rojo y amarillento. Cuando el óxido de manganeso es un componente principal del suelo, sus partículas adquieren una tonalidad negro púrpura. La presencia de estos colores suele indicar un buen drenaje y aireación.

Los suelos grises pueden indicar carencia de material orgánico. A menudo, también indican condiciones anaeróbicas porque los microbios que pueden sobrevivir en esas condiciones suelen usar el hierro del suelo, volviéndolo incoloro en el proceso. De forma similar, el magnesio se reduce a compuestos incoloros por otros tipos de microbios anaeróbicos del suelo.

Los científicos del suelo usan cartas de colores para identificar, comparar y describir las condiciones del suelo. Para el jardinero, sin embargo, el color juega un papel menor. Para nosotros, un buen suelo tiene el color del café oscuro y ello, de nuevo, debido a sus componentes orgánicos.

La textura del suelo

Los científicos del suelo describen el tamaño de las partículas del suelo en términos de textura. Existen tres categorías de textura del suelo: arena, arcilla y limo. Todos los suelos tienen una textura específica que permite juzgar su propensión a sustentar una red de nutrientes del suelo sana y, por tanto, plantas sanas.

La textura del suelo no tiene nada que ver con su composición. Si piensas, por ejemplo, que el término «arena» se aplica solo a las partículas de cuarzo te equivocas. Es cierto que la mayoría de las partículas de arena son cuarzo mineral, pero toda clase de rocas puede ser meteorizada hasta convertirse en arena: silicatos, feldespatos

(silicato de potasio y aluminio, silicato de sodio y aluminio y silicato de calcio y aluminio), hierro y yeso (sulfato de calcio). Si la arena proviene de barreras de corales en la superficie es caliza. La mayor parte de las partículas de limo también son cuarzo mineral (solo que son mucho más pequeñas en tamaño que las que se encuentran en los suelos arenosos), y los limos pueden tener los mismos componentes que la arena. Las arcillas, por otro lado, se componen de un grupo completamente diferente de minerales, los silicatos de aluminio hidratados, junto con otros elementos tales como en magnesio o el hierro, que a veces sustituyen parte del aluminio.

Así que la idea clave para el jardinero es que la textura solo tiene que ver con el tamaño de las partículas y no su composición. Entonces, ¿qué tamaño de partículas constituye la arena, limo y arcilla?

Empecemos con la arena. Sin duda has estado en una playa y sabes que las partículas de arena son visibles a simple vista. Estas varían en diámetro de 0,06 a 2 mm. Cualquier cosa más grande tiene demasiado espacio entre las partículas individuales para ser útil a un jardinero excepto como grava para un camino. Las partículas de arena son lo suficientemente pequeñas pa-

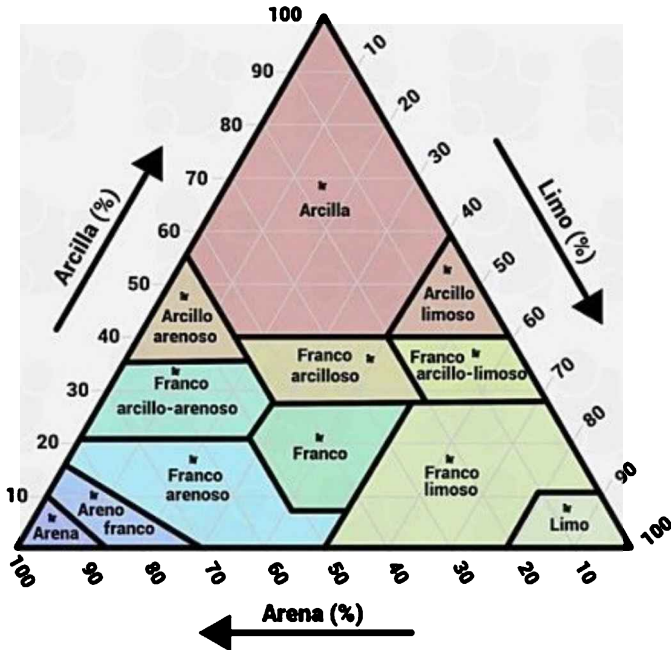
ra retener algo de agua cuando se agregan, pero la mayor parte es agua gravitacional que drena con facilidad dejando mucho aire y tan solo un poco de agua capilar. Además, las partículas de arena son lo suficientemente grandes para verse influenciadas por la gravedad y se asientan rápidamente en el fondo cuando se mezclan con agua. En cuanto a la textura, los suelos con grandes proporciones de arena son grumosos cuando los frotas con los dedos.

El siguiente en el tamaño de la textura es el limo. Las partículas de arena pueden verse a simple vista, pero necesitarás un microscopio para ver las partículas individuales de limo. Al igual que la arena, consisten en roca meteorizada solo que son muchísimo más pequeñas, entre 0,004 y 0,06 mm de diámetro. Los espacios porosos entre las partículas de limo son mucho más pequeños y retienen mucha más agua capilar que la arena. Al igual que la arena, las partículas de limo se ven influenciadas por la gravedad y se depositarán cuando se sumerjan en agua. La textura del limo cuando se frota con los dedos es la de la harina.

Las arcillas se forman durante la intensa actividad hidrotermal o por acción química: la del ácido carbónico cuando meteoriza las rocas que contienen silicatos. Las partículas de arcilla se distinguen enseguida del limo, pero en este caso se requiere un microscopio electrónico, pues estas partículas son así de pequeñas; las más pequeñas que constituyen el suelo tienen 0,0004 mm de diámetro o menos. Las partículas de arcilla son «plásticas» y un poco resbaladizas cuando se frotran con los dedos.

Ello obedece a que las partículas de arcilla absorben y retienen mucha agua, y de ahí que se conozcan como compuestos de silicatos hidratados. Además del silicio, contienen agua y a menudo aluminio, magnesio y hierro.

Para comparar, pongamos las cosas bajo una perspectiva más familiar. Si una partícula de arcilla tuviera el tamaño de una semilla de margarita, una partícula de limo sería un rábano grande, y un grano de arena sería una carretilla de jardín grande. Otra manera de ver la textura del suelo consiste en visualizar un gramo de arena (en torno a una cucharita de café) extendido con el espesor de una partícula. Esto ocuparía un área de aproximadamente una moneda de dos euros. Si tuvieras que extender una cantidad igual de arcilla del grosor de una partícula, necesitarías una cancha de baloncesto e incluso algunas de las gradas alrededor.



Un diagrama de las texturas del suelo.

¿Qué importancia tiene la textura? El tamaño de las partículas determina su área superficial y el área superficial de los espacios porosos entre las partículas individuales. La arcilla tiene una enorme área superficial en comparación con la arena. El limo está en medio. La arcilla tiene espacios porosos más pequeños entre las partículas, pero muchos más espacios porosos en total, así que el área superficial de los espacios porosos en la

arcilla es mayor que la del limo, que a su vez es mayor que la de la arena. Por cierto, la materia orgánica, normalmente en forma de humus, se compone de partículas diminutas que, al igual que la arcilla, tienen mucha área superficial en donde se adhieren los nutrientes de las plantas, lo que evita la lixiviación. El humus también retiene el agua capilar.

Todos los suelos tienen texturas diferentes, pero cada uno puede ponerse en una categoría específica, dependiendo de la cantidad de granos del tamaño de la arena, limo y arcilla que contengan. El suelo ideal de un jardín es el suelo franco, una mezcla relativamente a partes iguales de arena, limo y arcilla. El suelo franco tiene el área superficial de limo y arcilla para retener nutrientes y agua, y el espacio poroso de la arena para facilitar el drenaje y ayudar a absorber aire.

Analiza tu suelo

Un buen suelo de jardín contiene de un 30 a un 50 % de limo, de un 20 a un 30 % de arcilla y de un 5 a un 10 % de materia orgánica. Puedes averiguar lo cerca que están tus suelos de este ideal: la tierra franca. Todo lo que se necesita es un tarro de un litro, dos tazas de agua, una cucharada sopera de un suavizante de agua como, por ejemplo, Calgon líquido. También necesitarás suelo de la parte superior de unos 30 cm de profundidad de las zonas que quieras analizar, ya sea tu huerto, arriates o césped.

Mezcla cada muestra de suelo con dos tazas de agua y una cucharada sopera de suavizante del agua. Déjalo en el tarro, ciérralo y agita vigorosamente de forma que todas las partículas queden suspendidas en el agua. Entonces déjalo en reposo para que las cosas se asienten. Tras un par de minutos, todas las partículas de arena se habrán asentado. Lleva unas cuantas horas para que las partículas más pequeñas de limo se asienten encima de la arena. La mayor parte de las partículas más pequeñas del tamaño de la arcilla estarán en suspensión hasta un día entero. El material orgánico en el suelo flotará arriba y permanecerá ahí durante un periodo más largo.

Espera veinticuatro horas y entonces mide el grosor de cada capa con una regla. Para determinar el porcentaje de cada una, divide la profundidad o grosor de cada capa por el total de la profundidad de las tres capas y luego multiplica el resultado por cien. En el momento que sepas los porcentajes de cada material en tu suelo, podrás empezar a cambiarlo físicamente de ser necesario. Cómo hacerlo se aborda en la segunda parte de este libro.

La estructura del suelo

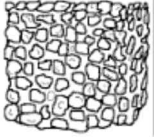



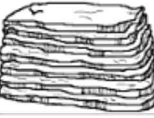

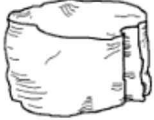
El tamaño individual del material particulado o textura es obviamente una característica importante de los suelos, pero también lo es la forma real que adoptan estas partículas cuando se agrupan. Esta forma o estructura del suelo depende de las propiedades físicas y químicas del suelo. Los factores que influyen en la estructura del suelo son la orientación de las partículas, la cantidad de arcillas y humus, la contracción y esponjamiento debido a las condiciones climáticas (humefacción y secado, así como congelación y deshielo), la fuerza de las raíces, las influencias biológicas (gusanos y animales pequeños) y la actividad humana. Los tipos de estructura del suelo o peds se dividen en varias categorías distintas.

Cuando observas el suelo de tu jardín, no ves partículas individuales sino más bien agregados de estas partículas. La biología en el suelo produce las colas que unen las partículas individuales en agregados. Mientras se ocupan con sus tareas cotidianas, las bacterias, hongos y gusanos producen polisacáridos, carbohidratos pegajosos que actúan como pegamento, juntando partículas individuales de minerales y humus en agregados.

Comencemos con las bacterias. La biopelícula que producen les permite adherirse a las partículas, así como entre ellas. Así se forman colonias y estas se pegan entre sí, así como a las partículas a las que estén adheridas. Los hongos también ayudan a crear agregados del suelo. Un grupo común de hongos del suelo del orden de los Glomales produce una proteína pegajosa llamada glomalina. A medida que los filamentos fúngicos o hifas crecen a través de los poros del suelo, la glomalina recubre las partículas del suelo como si fuera Super Glue, pegando estas partículas en agregados o terrones. Estos agregados cambian los espacios porosos del suelo, facilitando que el suelo retenga agua capilar y nutrientes solubles y reciclándolos lentamente para las plantas.

Las lombrices procesan las partículas del suelo en búsqueda de comida. Las partículas individuales de minerales y material orgánico son ingeridas y finalmente excretadas como agregados; estos son tan grandes que son fácilmente identificables como turrículos. Considera también el impacto de los organismos del suelo cuando lo atraviesan. Cada grupo de animales tiene su ancho corporal. A medida que se mueven, crean espacios en y entre las partículas y agregados. Como comparación, imagina que una bacteria de 1 micrómetro de diámetro ($1 \mu\text{m} = 0,000001 \text{ m}$) tuviera el ancho de un espagueti. Los cuerpos fúngicos suelen ser más anchos, de 3 a $5 \mu\text{m}$. Los nematodos (de 5 a $100 \mu\text{m}$ de promedio) tendrían el ancho de un lápiz, incluso uno de esos gruesos; y los protozoos (de 10 a

100 μm) tendrían el diámetro de un perrito caliente al estilo americano. Si continuamos utilizando nuestra escala, los ácaros y colémbolos del suelo (de 100 a 5 μm) tendrían el diámetro de un árbol de buen porte. Los escarabajos, lombrices y arañas (de 2 a 100 mm) tendrían el diámetro de árboles realmente grandes. Imagina cómo cada uno abre las partículas del suelo mientras discurre en sus actividades cotidianas.

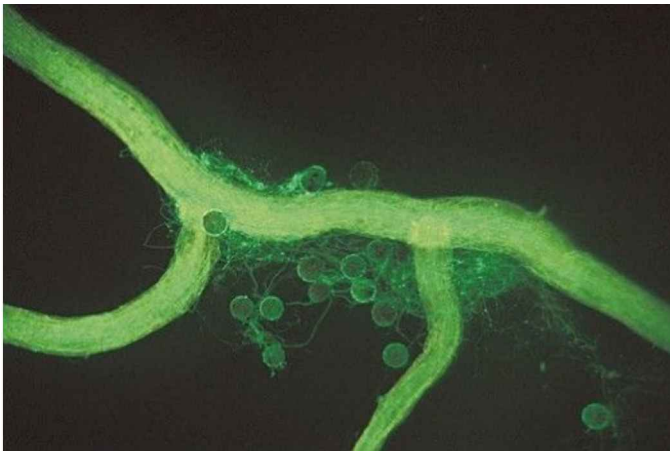
	<p>GRANULAR Recuerda a migajas de galleta y suelo tener un diámetro menor de 0,5 cm.. Típico de los horizontes a, donde han crecido las raíces</p>
	<p>Angular Bloques irregulares normalmente de un diámetro de entre 1,5 y 5 cm.</p>
	<p>Prismático Columnas verticales de suelo que pueden tener una longitud de varios centímetros.</p>
	<p>Columnar Columnas verticales de suelo que tienen una caperuza de sal encima. Se encuentran en los suelos de climas áridos.</p>
	<p>Laminar Láminas delgadas de suelo colocadas de forma horizontal. Se suelen encontrar en los suelos compactados.</p>
	<p>Pulverulentos El suelo se compone de partículas sueltas que no se pegan entre sí. Siempre acompaña a una consistencia suelta. Suele encontrarse en los suelos arenosos.</p>
	<p>Masiva No hay una estructura visible, es duro de romper y suele presentarse en terrones muy grandes.</p>

Peds de la estructura del suelo.

Finalmente, las cargas eléctricas en las superficies de la materia orgánica y en las partículas de arcilla se atraen mutuamente además de a los elementos químicos (calcio, hierro, aluminio) en una solución acuosa, actuando como aglutinantes que mantienen juntas las partículas del suelo.

¿Por qué abordamos esto de la estructura del suelo? Porque la estructura del suelo es una característica clave para unas buenas condiciones de cultivo. Si hay una estructura del suelo adecuada, habrá un amplio drenaje entre los agregados, y también suficiente agua capilar accesible para las plantas. La circulación del aire necesaria para la actividad biológica es suficiente. Y, quizás lo más importante, si hay una estructura del suelo adecuada, habrá espacio para que la biología del suelo pueda prosperar. Una buena estructura del suelo aguanta las lluvias torrenciales, la sequedad de las sequías de tipo desértico, el tráfico de las manadas de animales, y las congelaciones acusadas. La retención del agua y los nutrientes es alta. La vida en su interior y en la superficie prospera.

Una estructura del suelo pobre significa una incapacidad para retener el agua y, en consecuencia, el suelo se colapsa bajo las presiones medioambientales y humanas mencionadas con anterioridad. En él escasea la vida, y la importante reducción de la fertilidad empuja a la gente a recurrir a fertilizantes químicos cada vez en mayor cantidad.



Visión microscópica de un hongo creciendo en una raíz de maíz. Los cuerpos redondeados son esporas fúngicas, los filamentos son hifas fúngicas y el color verde proviene del tinte de la glomalina, el pegamento que mantiene las partículas del suelo unidas. Sara Wright, USDA-ARS.

La capacidad de intercambio catiónico

Todas las partículas diminutas, y no solo el humus, tienen una carga eléctrica. Estas partículas se llaman iones. Los iones con una carga positiva (+) se llaman cationes y los que tienen una negativa (-) aniones. Las partículas cargadas positivamente se ven atraídas eléctricamente a las negativas. Esto es exactamente lo que ocurre cuando los extremos opuestos de un imán se atraen mutuamente. Cuando un catión cargado positivamente se junta con un anión cargado negativamente, el catión es «absorbido» por el anión. Incluso los microorganismos del suelo son lo suficientemente pequeños para tener y verse influenciados por las cargas eléctricas.

Las partículas de arena son demasiado grandes para tener cargas eléctricas, pero tanto las partículas de arcilla como las de humus son lo suficientemente pequeñas para tener muchos aniones cargados negativamente que atraen a los cationes cargados positivamente. Los cationes que se ven absorbidos por la arcilla y el humus incluyen el calcio (Ca^{++}), potasio (K^+), sodio (Na^+), magnesio (Mg^{++}), hierro (Fe^+), amonio (NH_4^+) e hidrógeno (H^+). Todos estos son importantes nutrientes para las plantas, y se retienen en el suelo gracias a estos dos componentes de un buen suelo. La atracción de estos cationes a las partículas de arcilla y humus es tan fuerte que, cuando una solución que los contenga entra en contacto, la atracción es total y tan solo un 1 % de los nutrientes del catión permanecen en la solución.

También hay aniones en el suelo. Estos incluyen el cloruro (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^-) y fosfato (PO_4^-), todos ellos nutrientes de las plantas. Desgraciadamente, los aniones del suelo se ven repelidos por la carga negativa de las partículas de arcilla y humus y, por tanto, permanecen en la solución en vez de ser absorbidos. A menudo, estos nutrientes de las plantas se encuentran ausentes de los suelos de los jardines, pues son lixiviados en la solución del suelo cuando llueve o se riega el suelo: nada los retiene a las superficies del suelo.

Textura del suelo	CIC (MEQ/100g)
Arenas (color claro)	3-5
Arenas (color oscuro)	10-20
Tierras francas	10-15
Franco limoso	15-25
Arcillas y franco arcillosos	20-50
Suelos orgánicos	50-100

Capacidad de intercambio catiónico (CIC) para varias texturas del suelo. Tom Hoffman Graphic Design.

¿Qué importancia tiene esto? Las superficies de los pelos radiculares tienen sus propias cargas eléctricas. Cuando un pelo radicular entra en el suelo, puede intercambiar sus propios cationes por los que están adheridos a las partículas de arcilla o humus y entonces absorber el nutriente catiónico implicado. Las raíces usan cationes de hidrógeno (H⁺) como su moneda de cambio, entregando un catión de hidrógeno por cada catión de nutriente absorbido. Esto mantiene el equilibrio de cargas igual. Así es como «comen» las plantas.

El lugar donde ocurre el intercambio de un catión se conoce como el complejo de intercambio del suelo, y el número de estos lugares mide la capacidad del suelo para retener nutrientes, o la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La CIC de un suelo es simplemente la suma de la reposición de los nutrientes con carga positiva que puede absorber por unidad de peso o volumen. La CIC se mide en miliequivalentes (MEQ) en 100 gr de suelo. Lo que necesita saber el jardinero es que, cuanto más elevado es el número de la CIC, más nutrientes puede retener un suelo y, por tanto, lo adecuado que resulta para cultivar plantas. Cuanto más alta es la CIC, más fértil es el suelo. Puedes pedir que un laboratorio profesional del suelo mida la CIC de tu suelo.

La CIC del suelo depende, en parte, de su textura. La arena y el limo tienen una CIC baja porque las partículas son demasiado grandes para verse influenciadas por una carga eléctrica y retener nutrientes. La arcilla y las partículas orgánicas confieren una CIC elevada a los suelos porque tienen muchas cargas eléctricas: cuanto más humus y, hasta cierto punto, arcilla estén presentes en los suelos, más nutrientes podrán almacenar, y de ahí que los jardineros busquen más materia orgánica para sus terrenos.

Pero todo, incluso lo bueno, tiene su límite. No olvides que las partículas de arcilla son extremadamente pequeñas: demasiada arcilla y poco humus da como resultado una CIC alta pero poco aire en el suelo, porque la porosidad es demasiado pequeña y se ve cortada por la estructura laminar de la arcilla. Un suelo así tiene una buena CIC pero un drenaje pobre. Por tanto, no basta con saber solo la CIC; tienes que conocer la textura y mezcla del suelo.

El pH del suelo

La mayoría de nosotros tiene una comprensión básica del pH como una manera de medir los líquidos para ver si son ácidos o no. En una escala

del 1 al 14, un pH 1 es muy ácido y un pH 14 alcalino (o básico), lo opuesto a ácido. El pH nos dice la concentración iones de hidrógeno (H^+ , un catión) en la solución que se está midiendo. Si tienes muchos iones de hidrógeno en comparación al resto de lo hay en la solución, el pH es bajo y la solución es ácida. Igualmente, si tienes relativamente pocos iones de hidrógenos en la solución, entonces esta tiene un pH alto y es alcalina.

Como jardinero, no necesitas (por suerte) saber mucho más sobre el pH. Sin embargo, lo que sí tienes que entender es que cada vez que una punta de una raíz intercambia un catión de hidrógeno por un catión nutriente, la concentración de iones de hidrógeno en la solución aumenta. Cuando la concentración de H^+ aumenta, el pH baja, es decir, el suelo se vuelve cada vez más ácido. Las cosas, sin embargo, suelen equilibrarse porque las superficies de las raíces también toman aniones de carga negativa, usando aniones hidróxidos (OH^-) como medio de intercambio. Añadir OH^- a la solución eleva el pH (es decir, el suelo se vuelve más alcalino) porque reduce la concentración de H^+ . Los hongos y bacterias son lo suficientemente pequeños para tener cationes y aniones en sus superficies, y retienen o liberan los minerales nutrientes que toman de la descomposición en el suelo. Esto también tiene un impacto en el pH del suelo.

¿Por qué hay que tener en cuenta el pH cuando hablamos de la red de nutrientes del suelo? El pH creado por los intercambios de iones nutrientes influencia qué clase de microorganismos vivirán en el suelo. Esto puede fomentar o disuadir la nitrificación y otras actividades biológicas que afectan al crecimiento de la planta. Y lo que es igualmente importante: cada planta tiene un pH del suelo óptimo. Tal y como aprenderás, esto tiene más que ver con la necesidad de ciertos hongos y bacterias que son importantes para esas plantas para que prosperen en un cierto pH que con la química en sí del pH.

Conocer el pH de tu suelo resulta útil para determinar lo que quieres poner en tu suelo y, en todo caso, para sustentar tipos específicos de la red de nutrientes del suelo. Y saber el pH en la rizosfera ayuda a determinar si se requiere alguna enmienda para ayudar al crecimiento de las plantas.

El resto de la primera parte cubre la biología que vive en el suelo. Sin embargo, primero tienes que valorar el suelo.

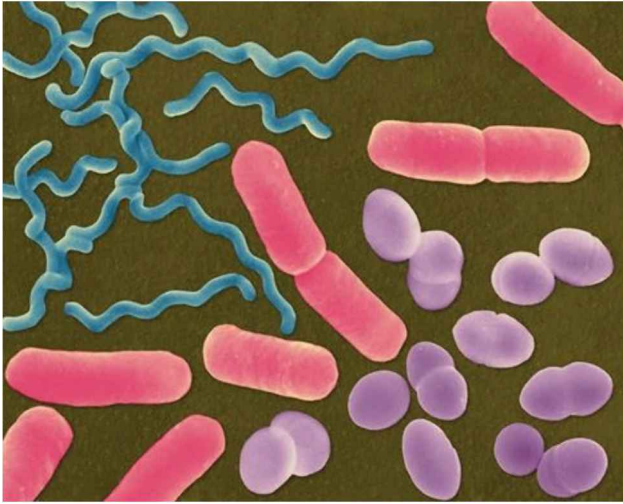
3. Bacterias

Las bacterias están por doquier. Pocos jardineros se dan cuenta de lo cruciales que son para la vida de sus plantas, y aún menos se han puesto a pensar en ellas. Y sin embargo, ningún otro organismo tiene más miembros en el suelo; de hecho, ni siquiera se acerca. En parte esto es así porque estos organismos unicelulares son tan minúsculos que en torno a doscientos cincuenta mil hasta quinientos mil de ellos cabrían dentro del punto que cierra esta frase.

Las bacterias fueron las formas de vida más tempranas en la Tierra, pues aparecieron hace por lo menos tres mil millones de años. Son procariontes: su ADN se encuentra en un único cromosoma que no está confinado en un núcleo. Su tamaño, o para ser más precisos la ausencia del mismo, debe de ser la razón principal de que nuestra familiaridad con las bacterias se limite por lo general a las enfermedades que causan y a la necesidad de lavarse las manos antes de comer. La mayoría de los nacidos durante el *boom* de la natalidad utilizaron un microscopio de mil aumentos para estudiar microorganismos, pero las bacterias son demasiado pequeñas para poderlas ver con cierto detalle con esta capacidad. Los microscopios escolares han mejorado, y algunos estudiantes afortunados pueden tener una visión más cercana, literalmente, de las bacterias. Las tres formas básicas, todas presentes en el suelo, son coco (esféricas u ovaladas), bacilo (con forma de vara) y helicoidal.

En general, las bacterias se reproducen por la división de una célula única, es decir, una célula se divide y crea dos células; estas, a su vez, se vuelven a dividir, etc. Sorprendentemente, en condiciones de laboratorio una bacteria solitaria puede producir en torno a cinco mil millones de descendientes en tan solo doce horas si dispone de suficiente alimento. Si todas las bacterias se reprodujeran a este ritmo todo el tiempo, solo se necesitaría aproximadamente un mes para doblar la masa del planeta. Afortunadamente, las bacterias del suelo están limitadas por las condiciones naturales, los depredadores (en particular los protozoos), y

un ritmo de reproducción más lento que el de sus primas de laboratorio. Por ejemplo, las bacterias deben tener algún tipo de humedad para la absorción de nutrientes y la liberación de residuos. En la mayoría de los casos, también se requiere humedad para que las bacterias se muevan y para transportar las enzimas que utilizan para descomponer la materia orgánica. Cuando los suelos se vuelven demasiados secos, muchas bacterias del suelo entran en estado de latencia. Las bacterias, por otro lado, rara vez mueren de vejez, sino que suelen ser devoradas por alguien o mueren por cambios medioambientales y entonces son consumidas por otros descomponedores, a menudo otras bacterias.



Fotocomposición 800× de las tres formas básicas de las bacterias: coco, bacilo y helicoidal. Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

Descomponedoras primarias

A pesar de su tamaño diminuto, las bacterias son las descomponedoras primarias de la materia orgánica de la Tierra, tan solo detrás de los hongos. Sin ellas, en cuestión de meses nos ahogáramos en nuestros propios residuos. Las bacterias descomponen el material de las plantas y animales para ingerir nitrógeno, compuestos de carbono y otros nutrientes. Estos nutrientes son entonces inmovilizados dentro de la bacteria; solo se liberan (mineralizan) cuando las bacterias son consumidas o mueren y ellas mismas se descomponen.

Diferentes clases de bacterias del suelo sobreviven en distintas fuentes de alimento, dependiendo de lo que esté disponible y donde se encuentren. La mayoría, sin embargo, prospera mejor descomponiendo

materia vegetal joven que esté todavía fresca, lo que los composteros llaman material verde. La materia verde contiene un montón de azúcares que son más fáciles de digerir para las bacterias que los compuestos de carbono más complejos de otra materia vegetal. Los composteros llaman a este material marrón y, hasta que no se descomponga en cadenas de carbono más pequeñas, otros miembros de la red de nutrientes del suelo lo digieren más fácilmente que las bacterias.

Dado su tamaño diminuto, las bacterias tienen que ingerir lo que necesariamente son piezas más diminutas de materia orgánica. ¿Cómo lo hacen? La respuesta corta es que toman su alimento directamente a través de las paredes celulares que se componen, en parte, de proteínas que asisten en el transporte molecular. En el interior de la pared celular de una bacteria hay una mezcla de azúcares, proteínas, carbonos e iones, una rica sopa que está fuera de equilibrio respecto a la mezcla menos concentrada fuera de la pared de la célula: a la naturaleza le gusta mantener las cosas en equilibrio; normalmente, el agua fluiría de la solución diluida de fuera hacia la más concentrada dentro (una forma especial de difusión conocida como ósmosis), pero en el caso de las bacterias, las paredes celulares actúan como barreras osmóticas.

El transporte molecular a través de la membrana celular se consigue de varias maneras. En el transporte activo más importante, las proteínas de la membrana actúan como bombas moleculares y emplean la energía para succionar o empujar el objetivo a través de la pared de la célula: los nutrientes hacia adentro y los productos residuales hacia afuera. Distintas proteínas en la membrana transportan distintas clases de moléculas nutrientes. Una manera de imaginarlo es pensando en una antigua brigada de bomberos con cubos, en la que el agua se pasa de la fuente al fuego: estas proteínas «pasan» los nutrientes al interior de la célula.

El transporte activo es un proceso fascinante pero complicado, impulsado por electrones localizados a ambos lados de la superficie de membrana. Sin duda, el jardinero debería ser consciente y apreciar cómo se alimentan las bacterias, pero solo necesita comprender que las bacterias descomponen la materia orgánica en trocitos cargados eléctricamente y luego los transportan a través de sus membranas celulares, a punto de ser usados. Una vez dentro de la bacteria, los nutrientes quedan retenidos.

Otros miembros de la red de nutrientes del suelo obtienen su energía y nutrientes comiendo bacterias. Si no hay un número suficiente de bacterias en el suelo, las poblaciones de estos miembros de la red de nutrientes del suelo sufren. Las bacterias forman parte de la base de la pirámide de la red de nutrientes del suelo.

Alimentar a las bacterias

Los exudados de las raíces son una comida favorita para ciertas bacterias del suelo y, en consecuencia, enormes poblaciones de bacterias se concentran en la rizosfera, donde estas también encuentran nutrientes de las células que se desprenden con el crecimiento de las puntas de las raíces. Pero no todas las bacterias del suelo viven en la rizosfera porque, afortunadamente, la materia orgánica es casi tan ubicua como las bacterias. Toda la materia orgánica se compone de moléculas grandes y complejas, muchas de las cuales consisten en cadenas de moléculas más pequeñas en patrones repetitivos que suelen contener carbono. Las bacterias son capaces de romper los enlaces a lo largo de ciertos puntos de estas cadenas, creando cadenas más pequeñas de azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos. Estos tres grupos ofrecen la base fundamental que las bacterias necesitan para sustentarse.

Las bacterias emplean enzimas tanto para romper los enlaces que sostienen las cadenas orgánicas como para digerir su alimento. Todo esto se hace fuera del organismo antes de ingerirlo. Las bacterias emplean un sinnúmero de enzimas, pues se han adaptado a lo largo de miles y miles de años para atacar todo tipo de materia orgánica e incluso inorgánica. Resulta una hazaña sorprendente que las bacterias puedan emplear enzimas para descomponer la materia orgánica, mientras consiguen a la vez no impactar en su propia membrana celular.

Con aire y sin aire

Existen dos grupos de bacterias. El primero, las bacterias anaeróbicas, puede vivir en ausencia de oxígeno; de hecho, la mayoría no puede vivir si este está presente. El género bacteriano *Clostridium*, por ejemplo, no necesita oxígeno para sobrevivir y puede invadir y destruir el interior del tejido blando de la materia en descomposición. Los derivados de la descomposición anaeróbica incluyen el ácido sulfhídrico (piensa en huevos podridos), el ácido butírico (piensa en un vómito), amoníaco y vinagre. La tristemente célebre *Escherichia coli* (*E. Coli*) y otras bacterias que por lo general se encuentran en el tracto gastrointestinal de los mamíferos (y también en los compost mal elaborados a base de estiércol) son anaerobios facultativos, lo que significa que pueden vivir en condiciones aeróbicas si es necesario, pero prefieren los entornos anaeróbicos.

La mayoría de los jardineros ha oído derivados de la descomposición anaeróbica, quizás en el jardín, pero sin duda en la nevera. Estos son

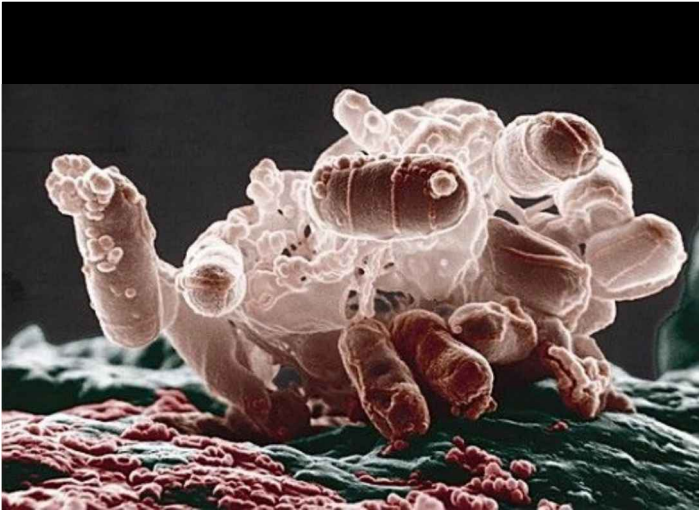
olores para recordar porque, cuando se prepara el compost y se cultiva en la red de nutrientes del suelo, las condiciones anaeróbicas fomentan las bacterias patógenas y, lo que es peor, matan a las bacterias aeróbicas beneficiosas, el otro gran grupo de bacterias: las que requieren aire.

Si bien algunas bacterias aeróbicas facultativas pueden vivir en condiciones anaeróbicas de ser necesario, no es el caso para la mayoría. Las bacterias aeróbicas no suelen causar malos olores. De hecho, las actinobacterias (del orden *Actinomycetales* y, en concreto, del género *Streptomyces*) producen enzimas que incluyen elementos químicos volátiles que dan al suelo su aroma a limpio, fresco y terroso. Cualquiera que haya cultivado reconoce este olor, el olor de un «buen suelo».

Las actinobacterias son distintas de otras bacterias del suelo: en realidad, forman filamentos, casi como las hifas de los hongos. Algunos científicos creen que las especies *Streptomyces* usan los filamentos ramificados para conectar las partículas del suelo para que tanto ellas como las partículas sean demasiado grandes para ser devoradas por sus depredadores naturales, los ciliados protozoarios, que se las tragarían para ingerirlas. Las actinobacterias están particularmente versadas en descomponer celulosa y quitina, dos compuestos de carbono («marrón») difíciles de digerir; la primera se encuentra en las paredes celulares de las plantas y la segunda en las paredes celulares de los hongos y en los caparazones de los artrópodos. Estos no son alimentos normales para otras bacterias. Las actinobacterias están también adaptadas para vivir en un rango más amplio de pH que otras bacterias, desde ácido a alcalino.

Descomposición de la celulosa

La celulosa, un carbohidrato complejo compuesto de largas cadenas de glucosa con base de carbono, es el material molecular que dota de estructura a las plantas. Constituye la mitad de la masa de los cuerpos de las plantas y, a partir de ahí, de la mitad de la materia orgánica creada por la planta. Bacterias especializadas, como la denominada acertadamente *Cellulomonas*, poseen enzimas que rompen la celulosa y que liberan solo cuando entran en contacto con la misma, frente a la liberación aleatoria de enzimas por parte de otras bacterias que comen según el método «acierto o error».



Micrografía electrónica tomada a baja temperatura de una agrupación de la bacteria *E. Coli*. Las bacterias individuales en esta fotografía son oblongas y de color marrón. Eric Erbe, color digital a cargo de Christopher Pooley, USDA-ARS.

La mayoría de las bacterias alcanza su límite cuando se trata de la lignina que es un complejo no carbohidrato, otra materia vegetal molecularmente compleja. La lignina, el componente duro de color marrón de las cortezas y materiales leñosos, es una molécula orgánica más compleja que la celulosa, y se compone de cadenas de alcoholes interconectados; estos son resistentes a las enzimas que producen la mayoría de las bacterias y su descomposición se reserva a los hongos.

Los ciclos de los elementos

Una manera de entender la descomposición es verla como el sistema de reciclado de la naturaleza. Las bacterias en la red de nutrientes del suelo desempeñan un papel crucial en el reciclaje de tres de los elementos básicos para la vida: carbono, azufre y nitrógeno. Por ejemplo, el CO_2 (dióxido de carbono) es un importante derivado del metabolismo bacteriano aeróbico. El carbono fijado en la biomasa vegetal y animal se convierte en gas CO_2 durante la descomposición. La fotosíntesis en las plantas superiores convierte el CO_2 en compuestos orgánicos, que acaban siendo consumidos y luego reciclados de vuelta a CO_2 .

Igualmente, el azufre se recicla. Las bacterias oxidantes del azufre emplean este elemento para hacer sulfatos solubles accesibles a las plantas. Liberados de los materiales orgánicos por bacterias anaeróbicas,

los componentes que contienen azufre son producidos por quimiótrofos, bacterias que obtienen la energía de la oxidación del azufre.

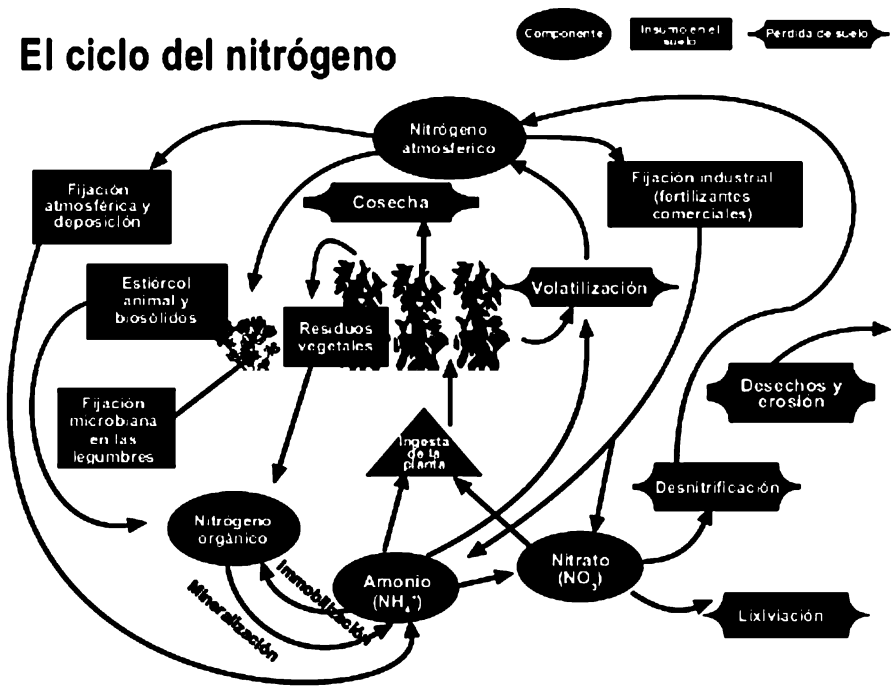
El ciclo del nitrógeno, impulsado en parte por una bacteria especializada, es uno de los sistemas más importantes en el mantenimiento de la vida terrestre: los organismos vivos producen los compuestos orgánicos vitales, las bases de la vida —aminoácidos y ácidos nucleicos— usando el nitrógeno. Los fuertes enlaces que mantienen juntas las moléculas de nitrógeno atmosférico (N_2) hacen que este nitrógeno sea en la práctica inerte e inútil para las necesidades de las plantas. Para que las plantas puedan usar el nitrógeno, este tiene que ser «fijado» —combinado bien con oxígeno o hidrógeno— para producir iones de amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) o nitrito (NO_2^-). Este importante proceso se llama la fijación del nitrógeno.

Ciertas bacterias convierten el nitrógeno de la atmósfera en formas disponibles para las plantas. Los géneros que consiguen la hazaña de fijar el nitrógeno son *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Clostridium*, y *Rhizobium* (cualquiera de los cuales sería un gran nombre para un superhéroe de cómic). Los géneros *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Clostridium*, y *Rhizobium* viven libres en el suelo; en realidad, las especies de *Rhizobium* viven en los tejidos de las raíces de ciertas plantas, en particular las legumbres, donde forman nódulos visibles.

No estamos sugiriendo que tengas que memorizar las especies de bacterias del suelo, pero sí queremos que te centres en el hecho de que la fijación del nitrógeno junto con el reciclaje del carbono y el azufre requieren la intervención de organismos vivos. Estos siempre se enseñan como procesos químicos, pero en realidad son biológicos. Las bacterias realizan estos procesos en el suelo, formando relaciones simbióticas con plantas específicas o existiendo en simbiosis dentro de organismos. Parece un caso en el que la biología crea la química para nosotros.

Otra parte del ciclo del nitrógeno, el lugar en el que «arranca» en el suelo, implica la descomposición de proteínas en amonio (NH_4^+). Este amonio suele aparecer como parte de los desechos producidos por los protozoos y nematodos tras ingerir bacterias y hongos. A continuación, bacterias nitrificantes especiales (*Nitrosomonas* spp.) convierten los compuestos de amonio en nitritos (NO_2^-). Un segundo tipo de bacterias nitrificantes (*Nitrobacter* spp.) convierte los nitritos en nitratos (NO_3^-).

El ciclo del nitrógeno



El ciclo del nitrógeno. Tom Hoffman Graphic Design.

A las bacterias nitrificantes no suelen gustarles los entornos ácidos; sus números (y, por tanto, la conversión de nitrógeno a nitratos) descienden cuando el pH del suelo cae por debajo de 7. Pero resulta que la biopelícula bacteriana (ya mencionada por su habilidad para juntar partículas del suelo) tiene un pH superior a 7. Por tanto, si hay suficientes bacterias en la zona, la biopelícula que producen mantiene el pH en torno a 7 y la nitrificación puede darse. En caso contrario, el amonio producido primero por los organismos en el suelo no se convierte por completo en forma de nitrato. Si el pH es 5 o menos, muy poco amonio se convierte, si es que algo se convierte.

Las bacterias desnitrificadoras convierten las sales de nitrógeno de vuelta a N_2 , el cual escapa a la atmósfera. Resulta obvio que las bacterias desnitrificadoras no ayudan a la fertilidad de un suelo, pero son esenciales en la medida en que mantiene el ciclo del nitrógeno en marcha.

Biopelículas

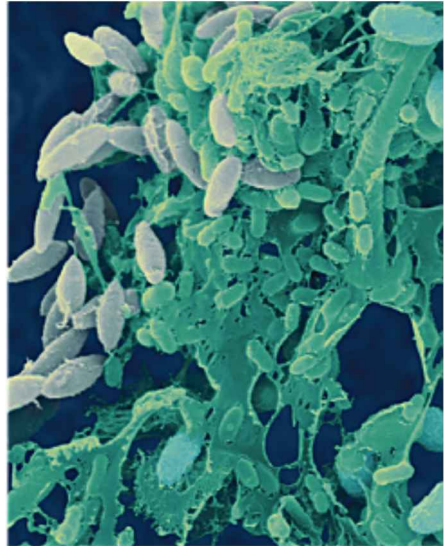
Las biopelículas o biofilms de las bacterias son matrices de azúcares,

proteínas y ADN. El hecho de que el biofilm bacteriano en el suelo sea ligeramente alcalino no solo influye en el pH donde cuenta más, en la rizosfera, sino también amortigua el suelo en la zona, así que el pH permanece relativamente constante.

Algunas bacterias usan su película como vía de transporte, literalmente echando un chorro de esta sustancia como medio de propulsión. (Sin embargo, la mayor parte de las bacterias viaja usando una parte increíble de nanotecnología natural: con la ayuda de una o más de las estructuras en forma de látigos o flagelos que se asemejan y operan como propulsores.) Los biofilms salvan a las bacterias de la desecación cuando el suelo se seca: las bacterias del suelo suelen vivir dentro de pegotes de biopelícula, que se completan con canales repletos de agua para el transporte de nutrientes y desechos. Las biopelículas también pueden ser una defensa contra los antibióticos que producen otros organismos, incluidas las propias bacterias. Las colonias de bacterias protegidas por el biofilm son mil veces más resistentes que las bacterias individuales frente a los antibióticos y los microbicidas.



Micrografía con un microscopio electrónico de barrido (MEB) de una superficie de biofilm. Partes de insectos y fibras de plantas se encuentran incrustadas en la mucosidad, junto con numerosos cristales. Ralph Robinson.



Biofilm bacteriano sobre acero inoxidable, 1600x. Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

Retención de nutrientes

Las bacterias desempeñan un papel destacado en la nutrición de las plantas. Encierran los nutrientes que de otra forma podrían desaparecer como resultado de la lixiviación. Y lo hacen ingiriéndolos mientras descomponen materia orgánica y reteniéndolos en las estructuras celulares. Dado que las propias bacterias están unidas a las partículas del suelo, los nutrientes permanecen en el suelo en vez de ser arrastrados por el agua, como ocurre con los fertilizantes químicos.

Sin duda, estos nutrientes permanecerán atados e inmovilizados dentro de las bacterias hasta que estas sean devoradas y reducidas a desechos. Dado que las bacterias del suelo no viajan muy lejos y hay una fuente abundante de alimento bacteriano en las inmediaciones de la rizosfera, los nutrientes que ingieren las bacterias se mantienen próximos a las raíces. Otros organismos como, por ejemplo, los protozoos, juegan un papel destacado consumiendo bacterias y liberando el exceso de nitrógeno como amonio (NH_4^+) en sus residuos que se depositan en la rizosfera, justo donde las raíces pueden absorber los nutrientes.

Otros beneficios de las bacterias del suelo

Algunas bacterias anaeróbicas producen alcoholes que son tóxicos para la vida vegetal y para otras bacterias. En la jardinería, se pueden evitar estas bacterias anaeróbicas mediante el control de las condiciones que les permiten multiplicarse: una textura del suelo pobre, falta de porosidad, agua estancada y un suelo compactado. Otras bacterias son patógenas que causan enfermedades en las plantas superiores. La lista de bacterias patógenas es larga, incluyendo a bacterias que causan el chancro de los cítricos, enfermedades de las patatas, melones y pepinos, y el fuego bacteriano de las peras, manzanas y análogos. En el suelo hay miles de bacterias patógenas, y se gastan miles de millones de euros cada año para proteger los cultivos frente al daño de las bacterias culpables. *Agrobacterium tumefaciens* causa agallas o tumores que crecen en los tallos de ciertas plantas. *Burkholderia cepacia* es una bacteria que infecta y pudre las raíces de las cebollas. Algunas especies de *Pseudomonas* causan la curvatura de las hojas y los puntos negros en los tomates.

A pesar de la presencia de bacterias patógenas, hay más beneficios en una población de bacterias del suelo sanas que al revés. Por ejemplo, la actividad bacteriana también es la responsable de descomponer contaminantes y toxinas. Estos procesos suelen ser aeróbicos, es decir, requieren oxígeno para que ocurran. Sin duda, habrás oído hablar de las

bacterias que comían el petróleo de un vertido en Alaska; hay bacterias similares que se comerán la gasolina derramada en tu césped, por ejemplo.

Las bacterias del suelo producen muchos de los antibióticos de uso médico de los que hemos acabado dependiendo. Tan solo podemos especular que, dado que estas bacterias tienen que competir no solo con otras bacterias sino también con hongos y otros organismos, tuvieron que desarrollar capacidades de protección. Por ejemplo, las bacterias *Pseudomonas* pueden corregir el mal del pie, una desastrosa enfermedad fúngica del trigo, mediante la producción de fenazinas, unos antibióticos fuertes de amplio espectro. Obviamente, muchas bacterias del suelo mantienen las bacterias patógenas a raya, lo que supone un gran beneficio para una red de nutrientes del suelo sana.

Todas las bacterias compiten entre sí con otros organismos por la cantidad finita de alimento que ofrece el suelo y, por tanto, esto mantiene a las poblaciones en equilibrio. Es más probable que los suelos con una gran diversidad de tipos de bacterias tengan un número mayor de bacterias no patógenas que superarán a las bacterias patógenas en la lucha por el espacio y los nutrientes. Estamos convencidos de que usar las defensas naturales de la red de nutrientes del suelo es la mejor manera de controlar a los malos. Los jardineros deben comprender que las bacterias están en la primera línea de defensa.

4. Arqueas

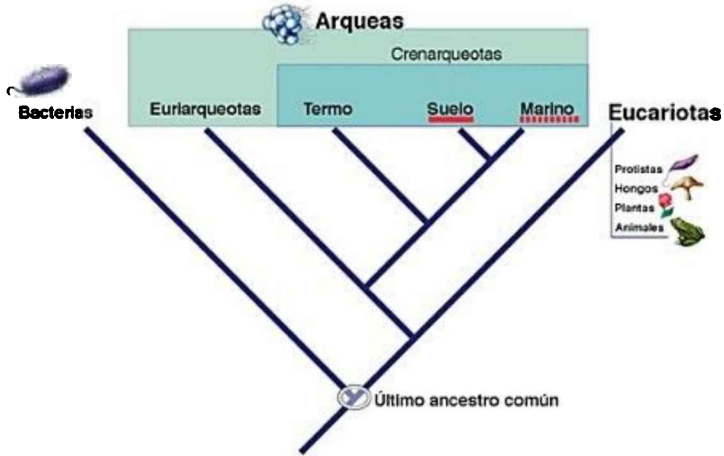
Tan solo hace unos años nadie hubiera pensado en incluir a las arqueas en un libro sobre la red de nutrientes del suelo. Se sabía que estos microorganismos, considerados al principio como un subconjunto extraño e inusual de bacterias, vivían solo en entornos extremos, como alrededor de los géiseres o en las fuentes hidrotermales de los océanos. Como estos lugares no figuran precisamente en las áreas agrícolas u hortícolas, a las arqueas no se las consideraba como miembros de la red de nutrientes del suelo. Entonces, con el paso al siglo XXI y como resultado directo de los avances en la identificación genética de los microbios, se encontraron arqueas en el suelo. Además, parece que el papel que juegan en la fijación del nitrógeno —tomando el nitrógeno atmosférico que no está disponible para las plantas y convirtiéndolo en una forma que estas puedan usar— es crucial. Ahora ya han captado nuestra atención.

Antecedentes

Las arqueas fueron identificadas por primera vez a principios de la década de 1970 por Carl Woese y su investigador asociado George Fox, mientras estudiaban las bacterias en la universidad de Illinois. Y esta es su interesante conclusión: las bacterias se podían dividir en dos grupos diferenciados, las bacterias «normales» y un nuevo grupo de «extremófilas», que no solo sobrevivían sino que prosperaban en entornos con altas temperaturas. El segundo grupo producía metano, como las bacterias en los grandes intestinos de los humanos pero, lo que es más importante, estas nuevas «bacterias» tenían una composición genética distinta. Al poco se descubrió que la composición genética de todas las arqueobacterias (tal y como las llamó originalmente Woese) no solo era distinta de otras bacterias, sino que también difería —y mucho— de la genética de las eucariotas (organismos que poseen una membrana celular, un núcleo verdadero y citoesqueletos), ya fueran protistas, hongos, plantas o animales. Así que se les retiró la etiqueta «bacteria»

del nombre.

Descubrir una nueva forma de vida tan tarde en la historia de la biología fue un acontecimiento sorprendente. Esto llevó a Woese a dibujar un nuevo árbol de la vida con tres dominios o reinos principales: bacterias, arqueas y eucariotas. Muchos creen que el reino de las arqueas es el más viejo de las tres ramas, ya que las condiciones en las que muchas de ellas viven se consideran las condiciones extremas que existieron durante el establecimiento de la vida en la Tierra.



El árbol de la vida. Nicolle Rager Fuller, National Science Foundation.

Parecidos bacterianos

Cuando se trata de distinguir las arqueas de las bacterias surge la palabra «imposible». No ayuda que sean del mismo tamaño, es decir, muy pequeñas. Al igual que las bacterias, medio millón de arqueas pueden caber en el punto que cierra esta frase. La mayoría de las arqueas y las bacterias se parecen tanto que usar el ojo incluso con un aumento grande no revela ninguna diferencia. Al igual que las bacterias, las arqueas suelen viajar dando latigazos con uno o más de sus flagelos; y cuando no están viajando, las arqueas forman también grandes colonias (aunque algunas arqueas viven una vida más solitaria como también hacen algunas bacterias).

Las arqueas crecen y se multiplican como las bacterias; y se dividen. Un estudio sugiere que las células de una arquea se dividen cada veinte minutos en condiciones ideales. No tienes que hacer los cálculos para saber que, en poco tiempo, el mundo sería un lugar muy distinto si

existieran las condiciones ideales.

Las arqueas suelen exhibir las mismas tres formas básicas que las bacterias, aunque algunas (las del género amante de la sal *Haloquadratum*) son cuadradas, una forma que no ha sido vista nunca en las bacterias. También hay arqueas con un filamento parecido a una aguja que se parecen a los actinomicetos. Algunas forman varas perfectamente rectangulares y otras tienen una forma de lóbulo irregular, de triángulo, e incluso la forma de una taza de té.

Lo que singulariza a las arqueas

Con tantas similitudes, ¿en qué se basó Woese no solo para distinguir a las arqueas de las bacterias sino para declararlas un nuevo reino, una rama separada de la vida?

Para empezar, si bien tanto las bacterias como las arqueas tienen paredes celulares que retienen y protegen el material interno, las membranas celulares de las arqueas contienen lípidos, mientras que esto no ocurre con las bacterias. Las paredes de las arqueas también contienen aminoácidos y azúcares que difieren de los que se encuentran en las paredes celulares de las bacterias. Y al contrario de las eucariotas, las paredes celulares de las arqueas nunca contienen quitina (como sí ocurre con los hongos) ni tampoco celulosa (como sí ocurre con las paredes celulares de las plantas). Se trata de un asunto complicado que nos retrotrae a la química orgánica universitaria. Obviamente, se requieren ordenadores y análisis que van más allá de las capacidades de un jardinero para discernir las diferencias. Confía en nosotros, como nosotros confiamos en Carl Woese y sus colegas. A nivel celular, estas distinciones son tan importantes que son suficientes no solo para disgregar a estos organismos «raros» con a veces formas extrañas en su propio grupo, sino también para poner a las arqueas en su propio reino.

La segunda característica que separa las arqueas de las bacterias está relacionada con la genética. Ambas son procariotas: su material genético no está confinado en un núcleo. Sin embargo, los genes de las arqueas (pero no los de las bacterias) están más estrechamente relacionados con los genes de las eucariotas, esos organismos cuyo ADN está confinado en un núcleo. En concreto, tanto en las arqueas como en las eucariotas entran en juego unas enzimas similares en la síntesis del ácido ribonucleico o ARN, que resulta clave en la síntesis de proteínas.

Otro conjunto de características impone una distancia entre las arqueas y las bacterias y las eucariotas. Las arqueas usan muchas sustancias diferentes para obtener energía: azúcares, amonio, hidrógeno y muchos iones metálicos. Algunas pueden incluso utilizar la luz solar

como fuente de energía; otras emplean el dióxido de carbono. Y, si bien algunas bacterias y eucariotas pueden reproducirse por esporas, las arqueas no poseen esa habilidad.

Finalmente, si realmente quieres llegar a la letra pequeña en las diferencias entre arqueas y bacterias: si bien su modo de transporte es el mismo (agitando los flagelos), la composición química de los flagelos y el mecanismo que las hace funcionar son diferentes. Y eso sí que es rizar el rizo...

Clases de arqueas

Determinar la diferencia entre una bacteria y una arquea, por tanto, requiere trabajo a nivel genético. Pensemos en ello como si leyéramos códigos de barras: cada organismo tiene un código único. Usando la secuenciación del ADN y ARN, los científicos pueden leer su composición genética a partir de una muestra dada —el código de barras— de la misma forma que un cajero en un supermercado. Estas técnicas funcionan con el ADN encontrado en líquidos, sólidos y gases. Así, todo tipo de entornos pueden ser valorados, incluidos los suelos. Hasta ahora, han sido identificadas aproximadamente doscientas cincuenta clases de arqueas. Y se encontrarán más ahora que los científicos saben lo que tienen que buscar y disponen de las herramientas adecuadas para ello.

Las arqueas juegan un papel muy importante en el ciclo del carbono, y una manera de agruparlas es centrándose en la manera en que obtienen su energía y nutrientes. Algunas arqueas son fotoautótrofas, pues obtienen la energía de la luz y usan el CO₂ como su fuente de carbono. Otras son fotoheterótrofas, lo que significa que usan la luz para obtener energía, pero el carbono lo obtienen de sustancias químicas orgánicas. Por último, algunas arqueas son quimioheterótrofas, pues emplean sustancias químicas orgánicas como fuentes de energía así como el carbono.

Las arqueas se encuentran en las fuentes termales y los lagos de agua salada, viviendo en rocas enterradas en las profundidades de la tierra, bajo kilómetros de hielo y en los cálidos desiertos; entornos inhóspitos para la mayoría de organismos. Estas extremófilas consiguen sobrevivir en estos entornos porque han desarrollado enzimas especializadas que trabajan a temperaturas altas o bajas y porque sus proteínas pueden plegarse de forma ajustada para evitar la destrucción por parte de la sal, el calor o el frío. Unas características especiales de las membranas de su célula también ayudan a convertirlas en resistentes al calor. Las arqueas que viven en estos hábitats no necesitan oxígeno, pues son todas

anaeróbicas.



Arqueas extremófilas viven en esta piscina natural de agua caliente cercana al géiser Red Cone, en el parque nacional de Yellowstone. William S. Keller, 1964, US-NPS.

Algunas arqueas, conocidas como acidófilas, han realizado ajustes celulares y metabólicos para poder vivir en entornos extremadamente ácidos con un pH tan bajo como el 1. Bombeando constantemente iones de hidrógeno de sus células, manteniendo un pH interno mucho más alto y tan solo ligeramente ácido de 6.5. Otro grupo de arqueas está clasificado como halófilo o amante de la sal. Las arqueas termófilas viven a temperaturas muy altas y las arqueas amantes del frío o psicrofílicas prosperan en zonas congeladas.

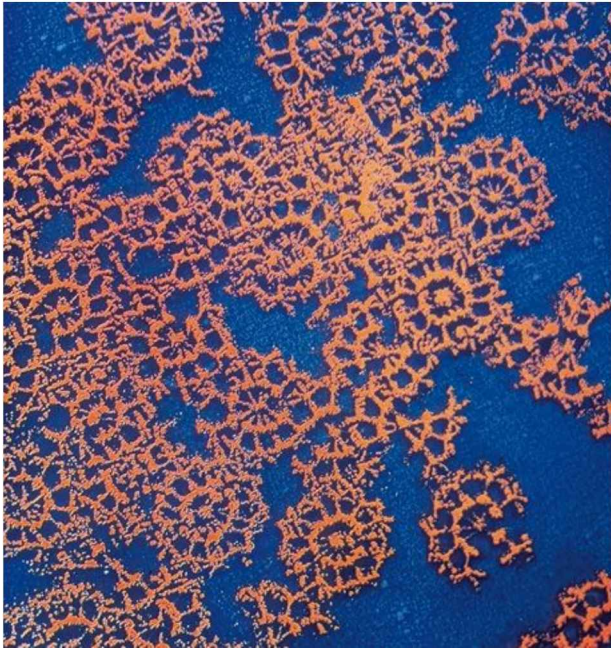


Imagen en color de un microscopio electrónico de transmisión que muestra un complejo enzimático resistente al calor de una arquea extremófila. Esta enzima tiene un uso potencial en la industria pues puede funcionar hasta los 135 °C.
Wolfgang Baumeister, Photo Researchers, Inc.

Muchas de las extremófilas son también metanógenas: su actividad metabólica produce metano. Puede ser una sorpresa saber que el nauseabundo gas de los pantanos y las flatulencias del ganado, que hasta ahora se creía que eran producidos por bacterias, son en realidad un subproducto de los quehaceres cotidianos de las arqueas. Las arqueas metanógenas se encuentran en todos los océanos. De hecho, tantos de estos organismos prosperan con el plancton marino que se estima que la combinación de arqueas en el océano y en tierra hace que estos microorganismos sean la forma de vida más abundante del planeta. El aprovechamiento de las propiedades que permiten a las arqueas sobrevivir en condiciones duras e inhóspitas podría tener enormes consecuencias económicas, pero las técnicas para cultivar arqueas están todavía en sus comienzos.

Las arqueas y el ciclo del nitrógeno

Para reconducir todo esto al asunto que nos concierne, resulta que las arqueas también participan en el ciclo del nitrógeno ilustrado en la

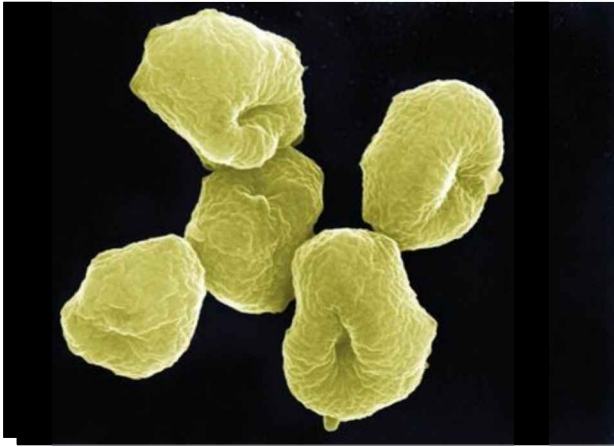
página 60. Este descubrimiento se realizó en dos etapas. Primero, los científicos aislaron, a partir de las arqueas que habitan en los océanos, el gen específico que produce la enzima necesaria para oxidar el amonio. Cuando buscaron el mismo gen en muestras del suelo, descubrieron que predominaba nada menos que tres mil veces más que su gen homólogo en las bacterias. También se centraron en las cantidades de lípidos asociados con los organismos en el suelo y confirmaron la presencia —y, lo que es más sorprendente, la preponderancia— de arqueas en el proceso de fijación del nitrógeno en los suelos. Y lo que es incluso más interesante, el mayor número de arqueas continuaba a mayores profundidades del suelo, mientras que el recuento de bacterias se desinflaba con la profundidad.

Muestras tomadas en todo el mundo mostraron los mismos resultados, lo que llevó a muchos a concluir que las arqueas, en concreto las crenarqueotas, son los oxidantes de amonio más abundantes en el suelo. El descubrimiento es importante, aunque solo sea porque los gases de nitrógeno incluyen el óxido nítrico y el óxido de nitrógeno. Estos son gases de efecto invernadero, y tiene sentido averiguar qué proporción de los mismos proviene de la actividad de las arqueas.

Todavía queda mucho por aprender del alcance del papel que juegan las arqueas en el ciclo del nitrógeno; por ejemplo, cuánto amonio proviene de estas y cuánto de las bacterias. Con independencia del impacto, las arqueas tienen implicaciones importantes para el jardinero que depende de la red de nutrientes del suelo o se alía con ella para ofrecer nitrógeno a las plantas.

Descomponedoras

Al igual que las bacterias, las arqueas son descomponedoras. Descomponen los materiales orgánicos e inorgánicos y reciclan elementos necesarios para la vida. Algunas arqueas obtienen sus nutrientes oxidando compuestos de azufre, que pueden liberar de las rocas. Estas arqueas han sido halladas en lugares donde hay actividad volcánica, como el parque nacional de Yellowstone y el monte Santa Helena en Estados Unidos y en áreas termales de Islandia, Rusia y Japón. También abundan en las fuentes hidrotermales en los suelos marinos, donde o bien oxidan el azufre o bien usan el azufre para oxidar los compuestos de carbono. En ambos casos, el azufre, un nutriente principal para las plantas, es liberado y queda así disponible para otros organismos de la red de la vida y, a la postre, de las plantas.



Las arqueas del género *Sulfolobus* prosperan en las aguas termales volcánicas donde el pH es de 2 y las temperaturas oscilan entre los 75 y los 80 °C. Eye of Science, Photo Researchers, Inc.

El metano es mucho más eficaz atrapando el calor en la atmósfera que el más famoso CO_2 y pensamos que debería ser una mayor causa de preocupación. Las bacterias solían llevarse la culpa por el metano, pero ya no es así. Cuando ciertas arqueas descomponen materia orgánica, no solo liberan nitrógeno para que esté disponible para las plantas, sino que producen metano, un componente clave del gas de efecto invernadero. Una gran fuente del metano atmosférico creado por las arqueas es la producción de arroz: arqueas metanogénicas descomponen materia en los campos inundados de arroz, lo que da como resultado nitrógeno disponible para las plantas y metano. Dada la escala del cultivo del arroz en todo el mundo, esta es una contribución seria. Los niveles de metano han aumentado en un 150 % desde 1750, y se ha sugerido que entre un 10 a 25 % de las emisiones de metano en todo el mundo proviene de la actividad de las arqueas metanogénicas, un significativa y tremenda cantidad. No sorprende que este grupo de arqueas esté sujeto a un estudio intenso por parte de los científicos que quieren averiguar las maneras de reducir la cantidad de metano producido por las actividades agrícolas.



Arqueas metanogénicas trabajando duro para descomponer materia en los arrozales en terrazas de la provincia de Yunnan en el sur de China. Jialiang Gao, cortesía de [GFDL/CC-by-sa-2.5](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/).

La mayoría de los jardineros son ahora conscientes de las zonas muertas por hipoxia o vaciamiento del oxígeno que se forman donde se acumulan las escorrentías de la agricultura, lugares como las aguas de la desembocadura del río Mississippi en el golfo de México. El nitrógeno y fósforo en estas escorrentías permiten que proliferen y prosperen las algas y cianobacterias y estas agotan el oxígeno. ¿Y qué es lo que, afortunadamente, no requiere oxígeno y está ahí para descomponer estos organismos? Las arqueas anaeróbicas.

Otros beneficios de las arqueas

Ciertas arqueas son responsables de la producción de arqueocinas, una clase completamente nueva de antibióticos. Varias han sido identificadas e incluso fabricadas, y se asume que hay cientos más. La estructura de estos antibióticos es diferente de los que producen las bacterias, así que actúan de una forma distinta a los antibióticos existentes. El hecho de que no parezca haber ninguna arquea patógena abre posibilidades interesantes: a lo mejor podrán ser usadas contra los patógenos, tanto de las plantas como de los humanos, que se han vuelto resistentes a los antibióticos producidos por bacterias.

Las arqueas son ya una fuente importante de enzimas especializadas

que trabajan a temperaturas altas; una de estas figura en la clonación del ADN. Otras resultan útiles para elaborar compuestos orgánicos. Las plantas de tratamiento de aguas residuales usan arqueas para la purificación, y la industria de los minerales las emplea en algunos procesos de refinación. Las enzimas de las arqueas incluso se usan en algunos detergentes modernos para la ropa (¿A alguien le apetece un lavado con agua caliente?). Sin duda, habrá aplicaciones que empleen arqueas o sus derivados para la jardinería. Y siempre está la posibilidad de que las arqueas ofrezcan nitrógeno en las redes de nutrientes del suelo artificiales que se establezcan en entornos tan extremos como la Luna o Marte.



Las arqueas en los estómagos de los rumiantes son una fuente principal de gas metano. Keith Weller, USDA-ARS.

Al igual que las bacterias y los hongos, las arqueas establecen relaciones con otros miembros de la red de nutrientes del suelo. Una de estas relaciones se da entre las arqueas metanogénicas y los protozoos en el tracto digestivo de los rumiantes, termitas y otros animales que consumen celulosa. Los protozoos descomponen la celulosa y liberan hidrógeno, y las arqueas metanogénicas convierten el hidrógeno en metano durante el proceso metabólico. Incluso algunos protozoos son huéspedes de este tipo de arqueas, y el intestino grueso de los humanos contiene arqueas que ayudan en la digestión trabajando mutuamente con

las bacterias que también viven en los intestinos.

Se han encontrado arqueas no metanogénicas en el suelo de los bosques boreales, pero tenemos que esperar a que se estudien más para conocer su actividad metabólica y otras características. Por lo que respecta al suelo en tu terreno y jardín, está colonizado por las arqueas que habitan la rizosfera rica en carbono que rodea las raíces. Ya que poco más se sabe sobre los papeles específicos de estas arqueas basadas en el suelo, usaremos en este libro el término claramente impropio de «bacterias» en vez de «bacterias/arqueas» en referencias futuras. No queremos faltarles el respeto a las arqueas, cuya presencia educadamente reconocemos, ni tampoco es nuestra intención sugerir que sean organismos inferiores respecto a las bacterias pero, sin la habilidad para una identificación genética, no conseguimos diferenciarlas.

Hay mucho más por venir

Los descubrimientos continúan. Entender por completo el impacto de las arqueas en la producción de nitrógeno disponible para las plantas, el papel que desempeñan en la creación de metano, y el alcance de su interacción con otros miembros de la red de nutrientes del suelo: todo ello ayudará a completar la comprensión de lo que sucede en el suelo para ayudar a las plantas a crecer. Sin embargo, está claro que las arqueas son miembros importantes de la red de nutrientes del suelo y ya no pueden ser ignoradas.

5. Hongos

Se conocen más de cien mil clases distintas de hongos, y algunos expertos sugieren que un millón más está ahí esperando a ser descubierto. Menciona el nombre y la mayoría de jardineros pensará de inmediato en las familiares amanitas muscaria, políporos, clavarias y pedos de lobo que aparecen en el césped o en la corteza de los árboles (o conocen los hongos del suelo por las enfermedades que causan, pero de esto hablaremos más adelante en este capítulo). Pero, salvo por los filamentos blancos y las setas que producen esporas, los hongos del suelo son tan invisibles como las bacterias y requieren un microscopio con una potencia de ampliación de varios cientos para poder ser vistos. Incluso las congregaciones visibles de micelios suelen estar escondidas en la materia orgánica que estén descomponiendo.

Los hongos, además, son minusvalorados por los jardineros y, sin embargo, juegan un papel clave en la red de nutrientes del suelo y son una herramienta importante para los que cultivan siguiendo los principios de la red de nutrientes del suelo. No fue hace mucho cuando eran considerados plantas sin clorofila y se incluían a efectos de clasificación en el reino de las plantas. Sin embargo, ya que los hongos no pueden realizar la fotosíntesis y construyen sus paredes celulares con quitina en vez de celulosa, entre varias características únicas, ahora se encuentran en su propio reino en el dominio de las eucariotas.

Los hongos, al igual que las plantas superiores y los animales, son eucariotas: organismos que tienen células con núcleos verdaderos confinados. Cada célula puede tener más de un núcleo. Los hongos suelen crecer desde las esporas hasta las estructuras tipo filamentos llamadas hifas. Un filamento hifa individual se divide en tabiques celulares llamados septos. Las cámaras que conectan las células de las hifas rara vez están selladas por completo respecto a otras células en el filamento, lo que permite que los líquidos fluyan entre células. Las masas de hifas invisibles crecen lo suficientemente cerca para formar filamentos visibles o micelios que puede que hayas visto en la hojarasca

descompuesta. Los hongos se reproducen de muchas maneras distintas y no solo por esporas, pero nunca mediante semillas como suelen hacer las plantas más avanzadas.

Una hifa fúngica es considerablemente más grande que una bacteria, pues la longitud media es de 2 a 15 μm con un diámetro de 0,2 a 3,5 μm , aunque sigue siendo tan fina que se requieren cientos de miles de filamentos de hifas individuales para formar una red lo suficientemente gruesa para ser visible por el ojo humano. Una cucharadita de café de suelo de un buen jardín puede contener varios metros de hifas fúngicas invisibles al ojo: millones y millones se unen para producir algo tan obvio como un *Boletus edulis* o una intrincada amanita muscaria, ambos en toda su gloria fructífera. Estas y otras setas son simplemente los cuerpos fructíferos de los hongos. Imagínate la energía y nutrientes necesarios para producirlos.

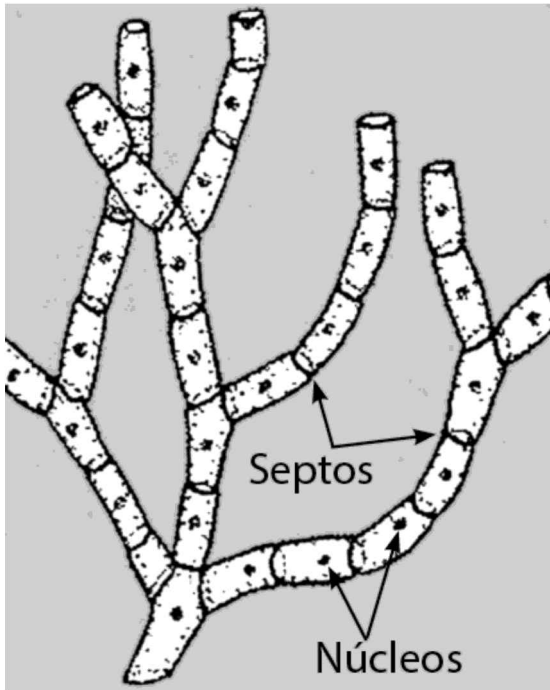


Diagrama de una hifa. Tom Hoffman Graphic Design.

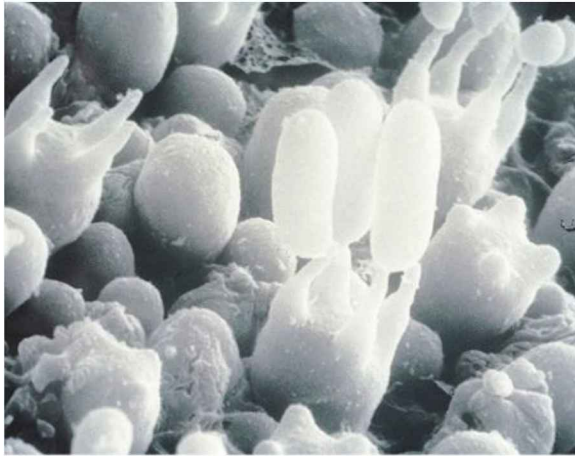
Una ventaja clave que los hongos tienen sobre las bacterias, y quizás sea la razón de su clasificación errónea durante tanto tiempo como plantas, es la habilidad de las hifas para crecer en longitud. A diferencia de las células bacterianas cuyo mundo es muy finito, las hifas fúngicas pueden viajar por un espacio medido en metros, distancias que para una bacteria

serían verdaderamente épicas. Y a diferencia de las bacterias, los hongos no necesitan una película de agua para avanzar por el suelo. Así, las hifas fúngicas pueden sortear los huecos y recorrer distancias cortas, lo que les permite localizar nuevas fuentes de alimento y transportar los nutrientes de un lugar a otro que puede estar relativamente lejos de su origen.

La habilidad para transportar los nutrientes es otra diferencia clave entre los hongos y las bacterias. Las hifas fúngicas contienen citoplasma, un líquido que circula por todo el septo de sus células. Cuando la punta de una hifa invade a un nematodo, por ejemplo, vacía a su desventurada víctima de sus nutrientes y lo distribuye en el citoplasma hifal y, a partir de ahí, al cuerpo principal del hongo. Así, los nutrientes se transfieren de la punta hifal hacia un lugar totalmente nuevo que puede encontrarse a varios metros de distancia (piensa en una cinta transportadora). Una vez están dentro del hongo, los nutrientes quedan inmovilizados y ya no se perderán para el suelo.



Amanita muscaria, la hermosa pero venenosa matamoscas. Judith Hoersting.



Las esporas fúngicas se producen en cuerpos que se elevan por encima del hongo para favorecer la dispersión. T. Volk. Con permiso de la American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota.

Los hongos producen estructuras especiales —por ejemplo, las setas en la superficie y las trufas en el subsuelo— para dispersar esporas. Ya que los hongos crecen en todo tipo de entornos, han diseñado algunos métodos complejos para conseguir la dispersión de esporas, incluyendo los olores atractivos, detonantes, resortes y sistemas de propulsión a chorro. Para asegurarse la supervivencia, las esporas fúngicas pueden desarrollar unas membranas duras que les permiten entrar en un estado de latencia durante años si las condiciones no son las adecuadas para una germinación inmediata.

Al igual que las bacterias, los hongos se dan por doquier; algunas especies pueden incluso existir en la región helada de la Antártida. La dispersión aérea de las esporas ayuda a explicar por qué los visitantes de, pongamos, Alaska reconocerán especies de hongos que crecen en la lejana Australia. Aunque las esporas en estado de latencia se encuentran por todo el mundo, necesitan las condiciones correctas para germinar y crecer. Así, pueden encontrarse esporas fúngicas a continentes de distancia de su origen, pero puede que no sean funcionales porque las condiciones para crecer no son las adecuadas.

El crecimiento y declive fúngico

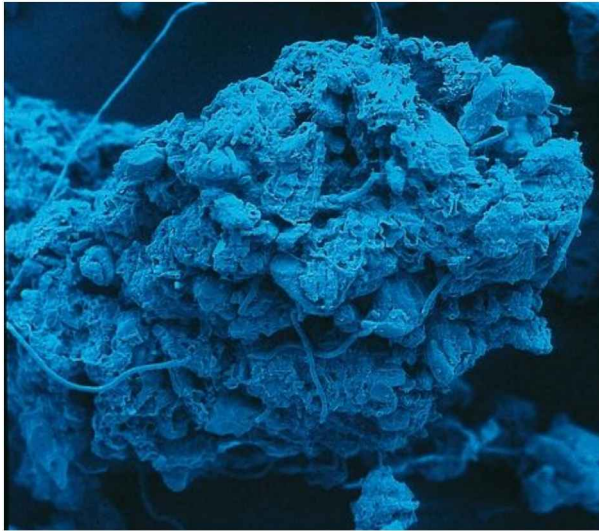
Si bien algunos hongos prefieren los azúcares «más suaves» y más fáciles de digerir característicos de la comida de la que se alimentan las bacterias, la mayoría se inclina por comidas más difíciles de digerir

(principalmente porque las bacterias son mejores y más rápidas a la hora de hacerse con e ingerir los azúcares simples). Sin embargo, los hongos ganan en la competición por los alimentos más complejos: producen polifenol oxidasa, una enzima fuerte que incluso disuelve la lignina, el compuesto leñoso que une y protege la celulosa. Otra característica de los hongos es su capacidad para penetrar en las superficies duras. Los hongos han perfeccionado un crecimiento apical, es decir, un crecimiento en la punta hifal. El crecimiento apical o de la punta es un proceso increíblemente complejo, una obra de ingeniería similar a construir un túnel bajo un río que requiere una gran coordinación entre sucesos. Incluso antes de los microscopios electrónicos, los científicos identificaron una mancha oscura, el Spitzenkörper, en la punta de una hifa que crecía activamente. Cuando el crecimiento hifal cesaba, el Spitzenkörper desaparecía. Al parecer, esta misteriosa región tiene que ver con el control o quizás la dirección del crecimiento apical.

Durante el crecimiento apical, nuevas células se ven constantemente empujadas a la punta y a lo largo de las paredes laterales alongando el tubo hifal. El citoplasma ofrece los materiales a la punta que avanza para conseguir el crecimiento de las hifas fúngicas; para ello, el citoplasma transporta vesículas cargadas con todos los materiales «de construcción» necesarios. Por supuesto, es importante evitar que el material ajeno fluya dentro o fuera de la hifa mientras ocurre el crecimiento. Durante todo este tiempo, se liberan poderosas enzimas capaces de disolverlo todo salvo los compuestos de carbono más persistentes mientras se van colocando las nuevas células. Imagínatelo: estas enzimas son lo suficientemente poderosas para convertir la lignina, celulosa y demás materia orgánica dura en azúcares sencillos y aminoácidos, y sin embargo no descomponen las paredes celulares de quitina de los hongos.

Los hongos pueden crecer hasta 40 μm en un minuto. Dejemos a un lado la velocidad, que es increíblemente rápida para organismos tan diminutos, y comparemos la distancia que cubren con el movimiento de una típica bacteria del suelo, que puede viajar 6 μm en toda su vida.

Al igual que la muerte de cualquier organismo del suelo, la muerte de los hongos significa que los nutrientes contenidos en su interior se vuelven disponibles para otros miembros de la red de nutrientes del suelo. Cuando los hongos mueren, sus hifas dejan atrás un sistema de metro de túneles microscópicos de hasta 10 μm de diámetro, a través de los cuales puede fluir el aire y el agua. Estos «tubos» son también importantes zonas de seguridad para las bacterias que intenten eludir a los protozoos: estos últimos son significativamente más grandes que los túneles.



Filamentos fúngicos muertos pegados a una partícula del suelo. Ann West.

Los hongos son los principales agentes de descomposición en la red de nutrientes del suelo. Las enzimas que liberan permiten que penetren no solo en la lignina y celulosa de las plantas (muertas o vivas) sino también en las cáscaras de quitina de los insectos, los huesos de los animales y — como muchos jardineros han aprendido— incluso en la proteína de las fuertes uñas de los pies y manos. Las bacterias se saben defender, pero requieren alimentos más sencillos de digerir, a menudo los derivados de la descomposición fúngica, y a menudo solo después de que estos alimentos hayan sido descompuestos o abiertos por los hongos y otros. Comparados con los hongos, las bacterias están en la liga no profesional respecto a su capacidad para descomponer.

Alimentación fúngica

Las sustancias digestivas ácidas producidas por los hongos y filtradas a través de las puntas hifales son similares a las que emplean los humanos; sin embargo, los hongos no necesitan un estómago como recipiente en donde digerir la comida. Al igual que las bacterias, los hongos carecen de orificio bucal, pues la descomposición fúngica rompe los materiales orgánicos en compuestos que el hongo puede entonces ingerir a través de sus paredes celulares via difusión (osmosis) y transporte activo. Los nutrientes que toman los hongos suelen ser inmovilizados, al igual que ocurre cuando los ingieren las bacterias, y más tarde son liberados. Al igual que las bacterias, los hongos deberían ser vistos como contenedores

vivientes de fertilizantes.

El exceso de ácidos, enzimas y desechos se deja atrás mientras el hongo continúa creciendo y, como consecuencia, la digestión de materiales orgánicos continúa a pesar de que el hongo ya se ha ido, abriendo el material orgánico para la descomposición bacteriana y haciendo que los nutrientes estén disponibles para las plantas y otros en la comunidad del suelo. El crecimiento hifal confiere al hongo la habilidad para moverse a través de distancias relativamente grandes hasta las fuentes del alimento en vez de tener que esperar a que este se acerque (si bien también puede hacer esto último, tal y como prueba el hongo que atrapó al nematodo). Los hongos pueden, por ejemplo, extenderse hasta la hojarasca de la superficie, descomponer las hojas y luego traer los nutrientes de vuelta a la zona de las raíces, lo que supone una enorme ventaja respecto a las bacterias, el otro reciclador de nutrientes básico en la red de nutrientes del suelo.

Los hongos del suelo suelen estar ramificados y son muy capaces de recoger compuestos orgánicos de diferentes fuentes a la vez. Una vez que el material nutriente está dentro de la membrana celular, se transporta de vuelta a través de una red de hifas fúngicas que a menudo termina en las raíces de la planta, donde algunos hongos lo intercambian por exudados. Así, el mismo hongo puede extender las hifas hacia arriba y hacia abajo, absorbiendo algunos nutrientes críticos —fósforo, cobre, hierro, nitrógeno— además de agua. En el caso del fósforo, por ejemplo, la propensión de los hongos a recogerlo y transportarlo a grandes distancias es realmente sorprendente. Este mineral está casi siempre encerrado en los suelos; incluso cuando se aplica como fertilizante, el fósforo deja de estar disponible para las plantas en segundos. Los hongos no solo buscan este nutriente necesario para las plantas, sino que tienen la habilidad de liberarlo de sus enlaces químicos y físicos. Luego transportan su presa de vuelta a las raíces de las plantas, donde se absorbe y utiliza el fósforo.

No olvides que, en los supuestos en los que un hongo lleva comida a las puntas de las raíces de una planta, eso obedece a que se sintió atraído por los exudados de la planta. Los hongos son buenos, pero quien controla es la planta.

Los hongos y el nitrógeno disponible para las plantas

Algunos hongos intercambian nutrientes por exudados, pero la mayoría de las veces los nutrientes se liberan como desecho tras ser consumidos por los hongos o cuando estos mueren y se descomponen. Gran parte de lo que se libera es nitrógeno. Un principio clave del cultivo con la red de

nutrientes del suelo es que las plantas pueden tomar el nitrógeno de dos formas: bien como iones de amonio (NH_4^+) o como iones de nitrato (NO_3^-). El nitrato liberado por los hongos está en forma de amonio (NH_4^+). Si las bacterias nitrificantes están presentes, este se convierte en dos pasos en nitrato (NO_3^-).

Las enzimas producidas por los hongos son claramente ácidas y bajan el pH. Recuerda que la baba de las bacterias eleva el pH del suelo; las bacterias que fijan el nitrógeno suelen requerir un pH por encima de 7. A medida que los suelos empiezan a estar dominados por los hongos, las bacterias que fijan el nitrógeno que se requiere para convertir el amonio en nitratos disminuyen porque el pH ha bajado debido a los ácidos que producen los hongos. En consecuencia, permanece más amonio como amonio disponible para la planta en vez de convertirse en nitratos. Esto tiene implicaciones importantes para el cultivo con la red de nutrientes del suelo: los suelos dominados por hongos tienden a tener nitrógeno amoniacal. Eso está muy bien si tienes una planta que prefiere el amonio al nitrato, pero no es tan bueno si prefiere el amonio convertido en nitratos (quién prefiere qué se explica en el capítulo 13).

Adaptaciones fúngicas

Los hongos han desarrollado todo tipo de estrategias astutas para alargar la vida y el hongo que atrapó al nematodo es prueba de ello. El hongo que desarrolló esta creativa y útil adaptación es un *Arthrobotrys dactyloides*. El anillo que atrapó al nematodo es una rama hifal que se retuerce hacia sí. Estas ramificaciones constan cada una de tan solo tres células que, cuando son tocadas, producen una señal para dejar que entre el agua; entonces las células se hinchan hasta tres veces su tamaño y la incauta víctima muere en una décima de segundo. Resulta bastante sorprendente que se trate de una trampa sofisticada tendida por una ramificación invertida que emplea tan solo tres células. De nuevo, la nanotecnología solo puede esperar duplicar un proceso tan complejo. El hongo no solo se las ingenió para matar nematodos que son ciegos, sino que para empezar los atrajo a su trampa. En este caso, el hongo libera un compuesto químico que atrae al gusano.

En cuestión de tan solo unos minutos tras atraparlo, la punta de la hifa fúngica entra en el cuerpo del nematodo, secreta sus potentes enzimas y comienza a absorber los nutrientes. Como el nematodo solo tiene una actividad, comer, el gusano suele ser un verdadero tesoro de nutrientes para el hongo. Por supuesto que estos nutrientes quedan encerrados dentro del hongo hasta que sea devorado por uno de sus depredadores o

los intercambie por exudados. Entonces los nutrientes se mineralizan y vuelven a estar disponibles para las plantas.

El hongo *Pleurotus ostreatus*, el champiñón ostra común que puedes comprar en el supermercado, emplea otra técnica inteligente para atrapar la comida. Emite gotas tóxicas desde las puntas de las hifas: un incauto nematodo (nuestra perenne víctima fúngica fácil...) va a su aire buscando comida, toca una gota y en cuestión de minutos queda inmovilizado. Unas horas más tarde el hongo está dentro del nematodo y ya lo está digiriendo.

No es una mala forma de asegurarse una comida: atrae a tu alimento y o bien lo atrapas o bien lo aturdes, y luego lo consumes. También se han desarrollado otros mecanismos. Algunos hongos emplean adhesivos para pegarse a los nematodos. Otros hongos del suelo atrapan protozoos e incluso colémbolos, que son microartrópodos lo suficientemente grandes para ser vistos por el ojo humano. Cuando están pegados, los hongos digieren su presa y de nuevo encierran o inmovilizan los nutrientes para las plantas.

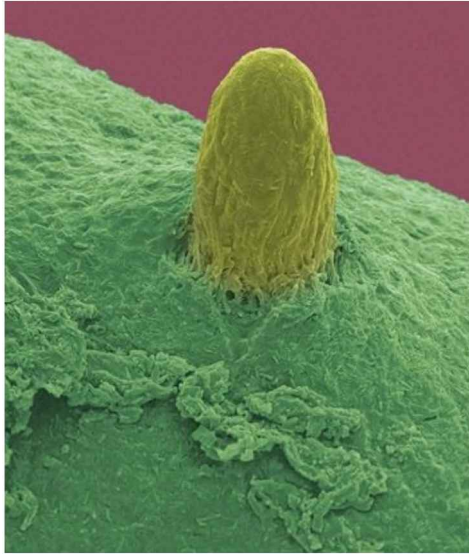
Lo que empuja a los hongos del suelo hacia unos nutrientes en particular es todavía una cuestión pendiente. Se sabe que algunos envían los filamentos, como si fueran scouts, en busca de nutrientes. Si alguna vez has visto a un perro de caza bien adiestrado buscar un pájaro caído, entenderás cómo funciona. El perro traza círculos hasta que su nariz encuentra al pájaro. Algunos hongos poseen claramente capacidades de sensación táctil o de contacto que les permiten orientarse en una dirección determinada para poder invadir a su presa u otra fuente de comida. Otros demuestran una habilidad para detectar sustancias químicas específicas que saben que están cerca de una presa en particular.

Para el jardinero, basta saber que los hongos encuentran nutrientes. Cuando dan con una fuente, los filamentos fúngicos se dirigen a la zona y literalmente se asientan, digiriendo el material, y a menudo combinando una fuente de material nutriente con otra y trasportándolos de vuelta a la base del hongo. Mientras tanto, otros filamentos buscan más alimento que pueda ser atacado. Los nutrientes se guardan dentro de las paredes celulares para evitar la lixiviación.

Los hongos y la simbiosis

Los hongos del suelo forman relaciones mutuas con las plantas que son extremadamente importantes. La primera es la asociación de ciertos hongos con las algas cuyo resultado es la formación de líquenes. En esta relación simbiótica, el hongo obtiene comida del alga, que usa sus

poderes de fotosíntesis mientras que los filamentos fúngicos conforman el talo o cuerpo del líquen en el que vive la pareja. Unas sustancias químicas que secreta el hongo rompen la roca o la madera sobre la que crece el líquen. Esto crea minerales y nutrientes para el suelo, los microbios del suelo y las plantas.



Una pequeña rama sobresale del talo principal de un líquen de un árbol. Dennis Kunkel, Microscopy, Inc.

La segunda es la asociación simbiótica micorrícica (del griego «hongo-raíces») entre las raíces de las plantas y los hongos. A cambio de los exudados de las raíces, los hongos micorrícicos buscan agua y nutrientes y luego se los traen a la planta. La planta se convierte en dependiente de los hongos, y los hongos, a su vez, no pueden vivir sin los exudados de la planta. Sin duda es un mundo maravilloso.

Las micorrizas se conocen desde 1885, cuando el científico alemán Albert Bernhard Frank comparó los pinos plantados en suelos esterilizados con los plantados en suelos esterilizados a los que se les habían inoculado hongos del bosque. Las plántulas del suelo inoculado crecieron más rápido y con mayor porte que los del suelo esterilizado. Y, sin embargo, no fue hasta 1990 cuando los términos micorriza (la relación simbiótica raíz-hongo) y micorrícico (el adjetivo) comenzaron a asomar la cabeza en el léxico de la industria agrícola, sin que todavía llegara al cultivador doméstico.

Somos los primeros en admitir que el asunto nos pilló por sorpresa, y eso que uno de nosotros había escrito una popular columna sobre

jardinería cada semana durante treinta años y ni una vez los mencionó debido a su supina ignorancia, un estado que compartía con la mayor parte de los jardineros. Ahora conocemos el alcance de nuestra ignorancia: por lo menos el 90 % de todas las plantas forman micorrizas, y probablemente el porcentaje es del 95 % o incluso más. Y lo que es peor, aprendimos que estas relaciones comenzaron hace unos 450 millones de años con la evolución de las plantas terrestres: las plantas empezaron a crecer en la superficie de la Tierra solo después de que los hongos entraran en relación con las plantas acuáticas. Sin los hongos micorrízicos, las plantas no obtendrían las cantidades y clases de nutrientes que necesitan para su mejor rendimiento. Tenemos que alterar nuestras prácticas de cultivo para no matar a estos cruciales y beneficiosos hongos.

Quizás los jardineros no aprecian a los hongos porque todos los hongos del suelo son muy frágiles. Si el suelo está demasiado compactado, los tubos fúngicos se aplastan y los hongos mueren. Está claro que los fungicidas —pero también los pesticidas, los fertilizantes inorgánicos y la alteración física del suelo (pasar el motocultor, el desfonde)— destruyen las hifas fúngicas. Las sustancias químicas lo hacen succionando el citoplasma del cuerpo fúngico. Pasar el motocultor simplemente rompe las hifas. Incluso los cuerpos fructíferos de los hongos micorrízicos disminuyen cuando los hongos están expuestos a la contaminación, en particular, la que contiene sustancias nitrogenadas.

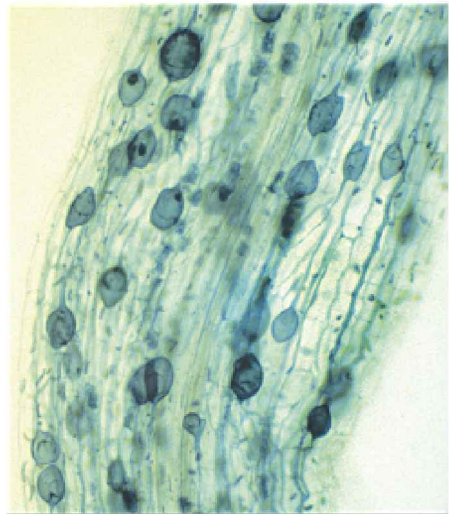
Hay dos clases de hongos micorrízicos. La primera, las ectomicorrizas, crece cercana a la superficie de las raíces y puede formar redes a su alrededor. Las ectomicorrizas están asociadas a los árboles de hojas caducas y a las coníferas. La segunda clase la conforman las endomicorrizas. Estas penetran y crecen dentro de las raíces y se extienden fuera hacia el suelo. Las endomicorrizas son las preferidas por la mayoría de las verduras, plantas anuales, gramíneas, arbustos y los árboles de madera blanda.

Ambas clases de hongos micorrízicos pueden extender tanto el alcance como el área superficial de las raíces de las plantas; por ejemplo, el área superficial de las raíces de un árbol puede incrementar con la asociación de setecientas a mil fantásticas veces. Los hongos micorrízicos obtienen los carbohidratos que necesitan de los exudados de la planta hospedadora y emplean esa energía para extenderse por el suelo, bombeando humedad y excavando nutrientes de lugares a los que las raíces por sí solas no llegarían. Pero estos no son mineros solitarios; conforman redes complejas y a veces llevan agua y nutrientes a las raíces de distintas plantas, y no solo a aquella de donde empezaron. Resulta extraño pensar que un hongo micorrízico asociado a una planta ayudaría

a otras a la vez, pero ocurre.



Ectomicorriza formando una densa red blanca alrededor de las raíces. Mycorrhizal Applications.



Endomicorriza penetrando raíces.
L. H. Rhodes.

Encontrar y traer el fósforo que resulta tan crítico para las plantas parece ser una de las principales funciones de muchos hongos micorrícicos; los ácidos que producen las micorrizas pueden desbloquear, rescatar y transportar el fósforo encerrado químicamente de vuelta a la planta hospedadora. Los hongos micorrícicos también liberan el cobre, calcio, magnesio, cinc y hierro para uso de las plantas. Y como siempre, cualquier compuesto nutriente que no se entregue a las raíces de la planta queda encerrado en los hongos y se libera cuando estos mueren y se descomponen.

Endófitos

Los endófitos —hongos que viven toda su vida o la mayor parte de ella dentro de los tejidos de las plantas— forman la tercera relación simbiótica importante entre los hongos y las plantas. Los hongos endófitos, a diferencia de sus primos micorrícicos subterráneos que viven junto a las raíces, se han adaptado para vivir en las estructuras de las plantas por encima de la tierra en las hojas, tallos y corteza, si bien algunos crecen en el tejido de las raíces. La mayoría de los árboles y arbustos están infestados por no solo uno sino cientos de diferentes

especies de hongos endófitos, y todas las plantas analizadas hasta la fecha —incluidas las plantas que viven en el océano y en agua dulce— contienen por lo menos una clase de hongos endófitos. La razón por la que estos microorganismos ubicuos escaparon a nuestra atención durante tanto tiempo se explica porque la mayoría prospera dentro de su hospedador de forma asintomática, es decir, llevando una vida feliz sin dañar al hospedador en absoluto y a menudo reportándole beneficios.

Los científicos sabían de los endófitos por lo menos desde 1904, cuando se publicó un trabajo que hablaba de un hongo endofítico de una gramínea anual. Sin embargo, adquirieron carta de naturaleza a mediados de la década de 1970, cuando se llevó a cabo una comparación del ganado en diferentes pastos. Algunos ganados se vieron afectados de forma adversa cuando comieron la hierba que había sido invadida por hongos endófitos. Los intentos por cultivar la hierba en cuestión sin los endófitos puso de manifiesto varias cosas interesantes. Primero, la hierba no prosperó tan bien. Segundo, la hierba sin los hongos perdió resistencia a su principal plaga. Un estudio en la década de 1980 del raigrás inglés mostró cómo los hongos hacían que incrementara su resistencia a los insectos. Estudios posteriores demostraron que algunas hierbas de césped tienen una resistencia a otros hongos que derivan de los endófitos, como los que causan la quemazón del césped, pero que hay excepciones a la regla de sus efectos benignos: algunos endófitos limitan la producción de semillas, por ejemplo.



La estructura de junco constituye el cuerpo fructífero de un hongo endofítico hospedado por una *Agrostis*. Es la única indicación de que un hongo vive a través

de las hojas, inflorescencias e incluso las semillas, transmitiendo la relación a la siguiente generación. Uljana Hesse y Christopher Schardl.

La mayoría de los hongos endófitos son ascomicetos, también llamados hongos saco porque sus esporas se producen en estructuras parecidas a sacos. Las colmenillas, trufas, levaduras del pan y del alcohol y la mayoría de los hongos que forman líquenes son ascomicetos, si bien no todos son endófitos. Las esporas de los hongos endófitos suelen ser transportadas a su hospedador por las corrientes de aire, cuando se ven dispersadas de los hongos alojados en otra planta. Algunos hongos endófitos invaden las semillas de su hospedador y crecen con la planta. Y algunos insectos transmiten esporas cuando viajan de planta en planta (¡Taxi!). Una vez ha germinado, el hongo pasa el resto de su vida con el hospedador.

Al igual que los hongos micorrícicos, algunos hongos endófitos requieren de ciertas plantas hospedadoras en concreto. Otros son menos específicos e infectarán muchas clases distintas de plantas. Aunque pueda ser endófito para una planta, el mismo hongo puede ser patógeno para otra. Varios hongos son endófitos para unas gramíneas, pero parasitarios para otras.

Parece ser que la mayoría de los hongos endófitos transmite algún beneficio a sus plantas hospedadoras. Por ejemplo, algunos producen toxinas que matan a los pulgones y otros insectos succionadores que atacan al hospedador e incluso pueden detener el pasto de los mamíferos. Algunos endófitos mejoran la germinación de las semillas del hospedador, lo que asegura la supervivencia de la especie. Otros producen sustancias antipatógenas o inducen a la planta hospedadora a incrementar la resistencia a las enfermedades por sí misma. Muchos hongos endófitos comienzan la descomposición tan pronto como muere la planta hospedadora, asegurando el reciclaje de nutrientes, al parecer, para la progenie de la planta hospedadora y también de otros hongos. Existe una carrera para comercializar muchos de estos beneficios, lo que promete un conjunto completamente nuevo de biocontroles y bioproductos que mejorará el crecimiento de las plantas, la producción y la salud que la red de nutrientes del suelo necesita.

Hongos patógenos y parasitarios

Los hongos beneficiosos compiten por los nutrientes y forman redes de protección, a menudo en conjunción con las bacterias, alrededor de las raíces (e incluso en la superficie de las hojas, pues las hojas producen exudados que también atraen a las bacterias y hongos). Esto previene que

algunos de sus primos patógenos y parasitarios invadan la planta. La lista de los patógenos fúngicos que tienen un impacto en los cultivos de la agricultura y la horticultura es larga; el asunto llena muchos libros y está más allá del alcance de esta obra. Los hongos conocidos como carbones, por ejemplo, impactan las flores de los granos de cereal. La roya causa enfermedades en el trigo, avena, centeno, frutas y pinos. Los problemas más comunes en el jardín son las peronosporas que causan el mildiu (*Plasmopara* spp., *Sclerophthora* spp.), el tizón (*Phytophthora* spp.) y la roya blanca (*Albugo* spp.).



Un hongo del moho gris (*Botrytis cinerea*) que ha atacado a una fragaria. Scott Bauer, USDA-ARS.

Que levante la mano el jardinero que no se ha encontrado con la botritis u oídio de la vid, un nombre genérico para un grupo de hongos que infectan distintas plantas con los mismos resultados: un crecimiento fúngico antiestético en forma de polvillo gris o blanco que cubre las hojas, tallos y flores. La mayor parte del oídio de la vid produce esporas transportadas por el aire que no requieren agua para germinar. Con una temperatura de entre 15 y 27 °C y una alta humedad, estas esporas germinan e infectan a los hospedadores en tu terreno. ¿Y qué decir de la fusariosis de los tomates, la primera cosa que se sospecha cuando las hojas empiezan a amarillear desde abajo hacia arriba? Está causada por

el *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, un hongo que se transmite por la tierra que puede sobrevivir una década o más en estado de latencia. Entra en la planta por las raíces e invade su red de distribución del agua. Otra prueba patente del poder de los hongos es la *Armillaria mellea* (Armillaria de color miel), que causa la muerte del roble; un diminuto hongo que derriba a imponentes robles. La actividad fúngica descompone la lignina y la celulosa del árbol hasta tal punto que este muere.

Los hongos patógenos y parasitarios aprovechan varios puntos de entrada a las plantas, incluidas las estomas (las aberturas en la superficie de las hojas que permiten a las plantas respirar) y las heridas. Y, por supuesto, teniendo en cuenta las enzimas que pueden descomponer la lignina que es dura de digerir, no resultará sorprendente para ningún jardinero que algunos hongos puedan disolver la cutícula y las paredes celulares de una planta que está siendo atacada. Si piensas que es difícil, piensa en los hongos que penetran en los azulejos de un baño, y ten en cuenta que algunos hongos pueden penetrar el granito en busca de comida.

Todo este libro podría estar lleno de descripciones de hongos que consiguen su alimento a expensas de las plantas vivas. Pero no es este nuestro propósito, tan solo que te des cuenta de que el suelo está repleto de hongos, una idea que los jardineros comprenden enseguida a través de la experiencia directa.

El solapamiento funcional con las bacterias

Debería ser obvio a estas alturas que, en una red de nutrientes del suelo sana, los hongos y las bacterias arriman el hombro para unas tareas parecidas y comparten las mismas funciones. Al igual que las bacterias, algunos hongos producen vitaminas y antibióticos que matan a los patógenos en el suelo, así como en el cuerpo humano. Cabe recordar la penicilina, el más famoso hongo convertido en antibiótico. En 1928, el bacteriólogo inglés Alexander Fleming regresó a su laboratorio tras unas vacaciones y se encontró con que un hongo había contaminado una placa de Petri que contenía la bacteria *Staphylococcus*. Arruinó su experimento, pero vio que no había ninguna bacteria que creciera cerca del hongo y, a partir de entonces, el mundo de la medicina nunca ha sido el mismo.

Los hongos, como las bacterias, juegan un papel crucial en la red de nutrientes del suelo como descomponedores, recicladores de nutrientes, constructores de la estructura del suelo y simbiontes beneficiosos y previenen, así como causan, enfermedades. Además, su capacidad para tener un impacto en el pH del suelo los convierte en una herramienta

importante para cultivar con la red de nutrientes del suelo.

6. Algas y mohos mucilaginosos

Las algas y los mohos mucosos no están relacionados; simplemente los agrupamos porque, si bien juegan papeles distintos en la red de nutrientes del suelo, por lo general no afectan a los jardineros. Dicho esto, esperamos haber dejado claro que la red de nutrientes del suelo es una comunidad de organismos que interpreta una obra de teatro: si se elimina a uno u otro de los personajes, esto puede tener consecuencias significativas en cómo se desarrolla la trama.

Algas

Las algas se definen en líneas generales como organismos fotosintéticos unicelulares o filamentosos, que incluyen las algas marinas e incluso los quelpos gigantes. ¿Quién no ha visto algas en un estanque, un río o un lago, en la playa o, si no ahí, en la pared de un acuario? Hay tres clases de algas: marinas, de agua dulce y terrestres, y estas últimas suelen vivir en el suelo, cerca o sobre la superficie (donde la luz solar está disponible) y no cerca de las raíces. Como la mayoría de las algas, requieren condiciones muy húmedas, así que resulta sorprendente encontrar algunas que crecen en cálidos desiertos y en los polos congelados, si bien incluso estas requieren una película de agua para sobrevivir.

Aunque las algas están íntimamente relacionadas con las bacterias en el árbol de la vida, a menudo se piensa en ellas como plantas primitivas porque son fotoautotróficas, lo que significa que toman la energía del sol y producen su propio alimento. De hecho, las algas, al igual que las plantas, son productoras primarias y no dependen de la materia orgánica del suelo u otros miembros de la red de nutrientes del suelo para sus necesidades alimenticias como sí dependen las bacterias y los hongos. Además, las algas carecen de la especialización que caracteriza a las plantas superiores y, al contrario de las plantas, no tienen raíces, hojas o tallos verdaderos y no tienen un sistema vascular para la conducción del agua y la comida. Las paredes celulares de todas, salvo las diatomeas, una

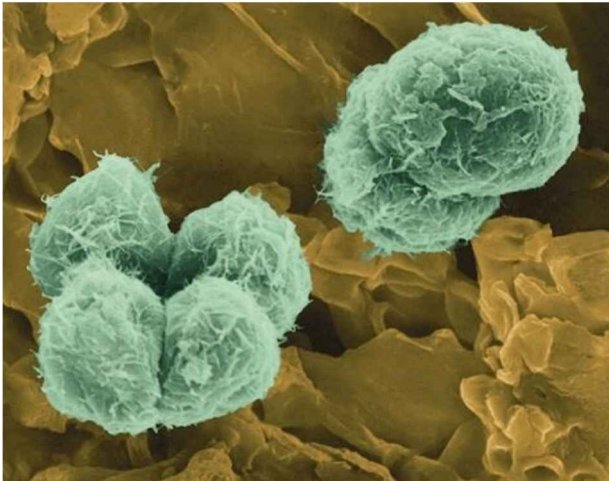
forma de alga, contienen celulosa y, en este sentido, son como las plantas. Las paredes celulares de las diatomeas se componen de sílice recubierto de una piel orgánica que se descompone y desaparece cuando el organismo muere dejando atrás enormes cantidades de esqueletos de sílice que componen la tierra de diatomeas, un producto familiar para muchos jardineros.

La mayoría de los jardineros asocia las algas con masas de agua y no con un bancal elevado o un césped. Y sin embargo las encontrarás si hay suficiente humedad, pues las algas terrestres no solo requieren luz sino también una película de agua para poder sobrevivir. Una cucharadita de suelo puede contener entre diez mil y cien mil células de algas verdes (phylum *Chlorophyta*), algas verde-amarillas (*Xanthophyta*) y diatomeas (*Bacillariophyta*). En su momento, las algas sirvieron como organismos pioneros creciendo en las superficies de rocas húmedas y, cuando morían, combinándose con la roca meteorizada, el aire y el agua para formar suelos tempranos. De esta manera importante las algas ayudaron al comienzo de la sucesión de la vida ofreciendo la necesaria materia orgánica cuando no había otra.

Las algas ayudan a crear suelo formando ácidos carbónicos como parte de sus funciones metabólicas. Esto causa la meteorización de la roca, un gran ejemplo de la meteorización química como resultado de la actividad biológica. Los trozos minerales resultantes y las algas se combinan y producen a la postre suelo. Esto no dista de la descomposición de las superficies rocosas por parte de los líquenes, la relación simbiótica entre ciertas algas y hongos. El hongo ofrece un entorno húmedo y relativamente seguro en el que pueda vivir el alga y, como contrapartida, recibe alimento fotosintetizado de esta. En esta relación, las habilidades para descomponer del alga se ven complementadas por sus compañeros fúngicos, lo que acelera considerablemente el proceso de meteorización. Los líquenes aportan nitrógeno al suelo, y las algas verdeazuladas (*Cyanophyta*) emplean la enzima nitrogenasa para fijar el nitrógeno, en una relación simbiótica o no simbiótica, de forma similar a las bacterias que fijan el nitrógeno. Así es cómo las plantas del arroz pueden obtener nitrógeno del agua en la que crecen.



Esqueletos de diatomeas, 445×. Dennis Kunkel Microscopy, Inc.



Algas verdes creciendo en la corteza de un árbol, 40×.
Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

En realidad, el papel de las algas en la jardinería es menor debido a su

necesidad de luz solar, que tan solo puede penetrar una corta distancia bajo suelo. Sin embargo, cuando sí están presentes en el suelo, las algas pueden excretar polisacáridos, mucílago y babaza —todas ellas pegajosas— que ayudan a unir y agregar las partículas del suelo. Y las algas encajan en algunas redes de nutrientes del suelo como productoras primarias que son devoradas por ciertos nematodos.

Mohos mucilaginosos

Los mohos mucilaginosos son organismos de aspecto inusual parecidos a las amebas que habitan en la madera húmeda en estado de putrefacción, hojas, estiércol, residuos vegetales del césped, setas podridas y otro material orgánico. Pasan la mayor parte de su vida persiguiendo bacterias y levaduras en el suelo. El puñado de centenares de clases de mohos mucilaginosos son de muchas maneras como los hongos, pero se diferencian principalmente en cómo comen. Mientras que los hongos «digieren» sus alimentos externamente y luego los llevan dentro del organismo, los mohos mucilaginosos tragan la comida y la digieren internamente.

Los dos grupos de mohos mucilaginosos —dictiostélidos (mohos mucilaginosos celulares) y mixomicetos (mohos mucilaginosos plasmodios)— tienen un ciclo vital similar: comienzan como esporas y germinan como mixoamebas, organismos ameboides que viven en el suelo e ingieren bacterias, esporas fúngicas y pequeños protozoos, encerrando los nutrientes que contienen para prevenir la lixiviación. Ellos mismos son presa de las larvas de insectos, gusanos y, en particular, unos escarabajos especializados con unas mandíbulas diseñadas para recoger el suave moho y metérselo en la boca.

En un momento dado, por ninguna razón aparente, las mixoamebas individuales se agregan todas juntas; hasta unas ciento veinticinco mil, más o menos, forman una masa que se parece a una gran babosa, un pegote de gelatina o, en algunos casos, al vómito. Estas masas tienen varios tamaños, vienen en tonos tostado, amarillo, rosa o rojo, y son en realidad bastante atractivas a su manera. Las especies de un género común de moho mucilaginoso plasmodio, *Physarum*, suelen medir 2,5 cm de grosor y pueden crecer hasta 30 cm o más de anchura.



Estadio de mixoameba del moho mucilaginoso sobre la hierba. B. Clarke.



La agregación de mohos mucilaginosos puede parecerse al vómito de un perro.
Tom Volk.

Las células individuales en la masa pierden sus paredes y el plasmodio resultante (o masa multinucleada de citoplasma) emerge del suelo y se

mueve lentamente por encima de las hojas, césped, accesos asfaltados, troncos, mantillo y cualquier otra cosa en su camino. Y lo hace a una velocidad media de 1 mm por hora, tragando comida a medida que avanza. Si se pone una fuente de materia orgánica muerta cerca del plasmodio, irá hacia ella. Y lo que es más sorprendente, si cortas un plasmodio por la mitad o en cuartos, las partes se volverán a juntar.

Se han avanzado todo tipo de teorías para explicar por qué se agregan estos organismos. Puede ser que, cuando el alimento escasea, surge la necesidad de trabajar en equipo. Después de todo, hay argumentos a favor de que la unión hace la fuerza. Lo que sí se sabe es que cada mixameba individual deja un poco de una sustancia química atrayente a su paso mientras viaja, es de suponer, en su busca de nutrientes. Otros mohos mucilaginosos entran en contacto con esta «hoja de babaza», que no dista mucho de la que deja una babosa cuando avanza, y toman la misma senda añadiendo exudados al camino. A medida que cada vez más organismos se reúnen en el camino, cada uno añadiendo su babaza química a la mezcla, la atracción incrementa hasta que agregados de mixamebas se congregan en una masa creciente.

Finalmente, el plasmodio encuentra un punto apropiado y forma una estructura fructífera o esporangio. Este cuerpo de aspecto inusual tiene una forma distinta para cada especie de moho mucilaginoso. Algunos esporangios son como diminutas torres levantadas en cuyo ápice se forman las esporas. Los esporangios son de color amarillo, azul, rojo, marrón y blanco, y forman un hermoso arco de colores que realmente es tan bonito como cualquier cosa que puedas cultivar en tu jardín.

Desde la perspectiva de la red de nutrientes del suelo, los mohos mucilaginosos ayudan a reciclar los nutrientes, y la babaza que cada mixameba individual crea sirve para unir las partículas del suelo. Cuando las condiciones se vuelven desfavorables, los plasmodios se secan y se convierten en un fino polvo. Aunque estos organismos no juegan un papel importante en el jardín, cuando un jardinero se encuentra con ellos, nunca lo olvida.

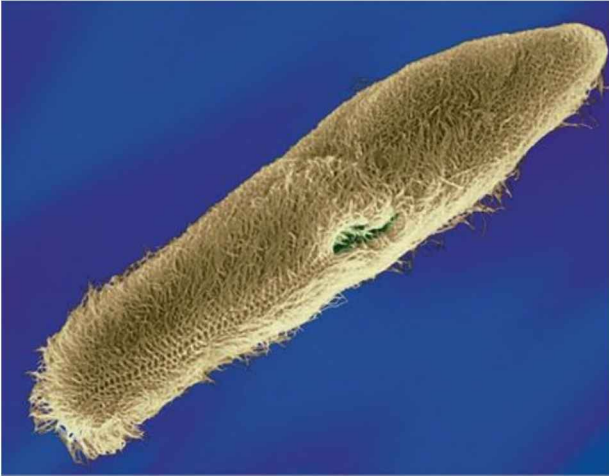
7. Protozoos

La mayoría de los jardineros habrá investigado los protozoos como parte de alguna tarea de la clase de biología, en la que siempre había que identificar y bosquejar las partes de la célula de un paramecio. Entonces, quizás recuerden que los protozoos son organismos unicelulares con un núcleo, lo que los hace eucariotas y, por tanto, miembros del dominio Eukarya junto con los hongos. Los protozoos (un término que usamos en este libro a efectos descriptivos para referirnos abreviadamente a un grupo de organismos unicelulares no algales ni fúngicos parecidos a los animales) son casi siempre heterótrofos, lo que significa que no pueden producir su propia comida. En vez de eso, obtienen sus nutrientes primordialmente ingiriendo bacterias, pero también algún hongo de vez en cuando y, en menor medida, otros protozoos.

Los paramecios siguen siendo los microbios favoritos. Y esto es así porque estos y otros protozoos del suelo son considerablemente más grandes que las bacterias: de 5 a 500 μm frente a de 1 a 4 μm . Esto puede que te siga pareciendo pequeño pero, en el mundo de los microorganismos, 500 μm es algo muy grande, tan grande que bajo una iluminación ideal un paramecio, por lo menos en el agua, sería visible al ojo humano. Aún así tendrías que mirar con detenimiento y sin duda no serías capaz de diferenciar ninguna de las características internas o externas que te enseñaron a etiquetar en el colegio; pero puedes verlos revoloteando sin un microscopio. A través de un microscopio electrónico el detalle indistinguible se vuelve observable.

Los protozoos son algo a evitar si tienes un tamaño tan pequeño como una bacteria. En comparación, si una bacteria individual tuviera el tamaño de un guisante, un paramecio sería tan grande como una sandía. De ahí que las bacterias puedan esconderse de la mayoría de los protozoos en las porosidades del suelo que son demasiado pequeñas para que puedan alcanzarlas. Otra manera de hacer la comparación consiste en volver a la misma cucharadita de buen suelo con su contador de miles de millones de bacterias y «solamente» varios miles de protozoos.

Se conocen más sesenta mil clases de protozoos y, en contraposición a cualquier esperanza residual de juventud que puedas tener de que solo viven en estanques, la mayoría vive en el suelo; sin embargo, todos ellos necesitan agua para llevar una vida activa. Dado el papel crucial que desempeñan, una revisión rápida de la biología del colegio —y un poco más— es lo que toca.



Un paramecio tal como se ve a través de un microscopio electrónico, 130×.
Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

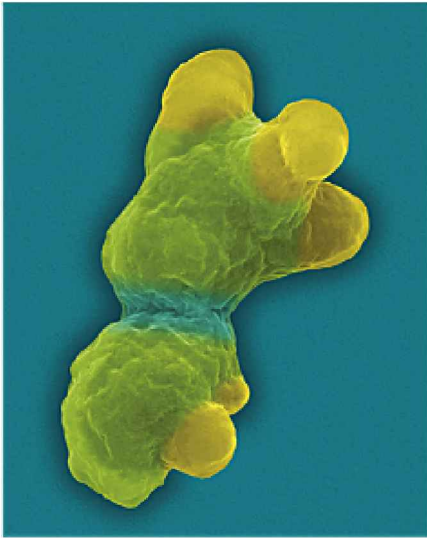
Amebas, ciliados y flagelados

Los protozoos vienen en tres «modelos» básicos. Primero, los pseudópodos, animales unicelulares con formas amorfas que la mayoría recordará como amebas. Estos están constantemente en movimiento, una proeza que consiguen extendiendo su citoplasma —la sopa con todas sus partes vitales— en uno o más falsos apéndices llamados pseudópodos (falsos pies). Los pseudópodos son de dos clases. El primero tiene un exoesqueleto con forma de concha y cinco agujeros predefinidos (piensa en un bolo o en un guante de golf), por los que pueden aparecer los pseudópodos. La segunda clase carece de concha exterior o pseudópodos predefinidos; estas amebas son microorganismos relativamente grandes y serían tan visibles como los paramecios si no fueran tan traslúcidas. Las amebas carecen de boca e ingieren las bacterias rodeándolas y fagocitándolas en burbujas de gas en las que se transfieren enzimas digestivas. Entonces se absorbe la vesícula entera y los productos de desecho se expulsan más tarde.

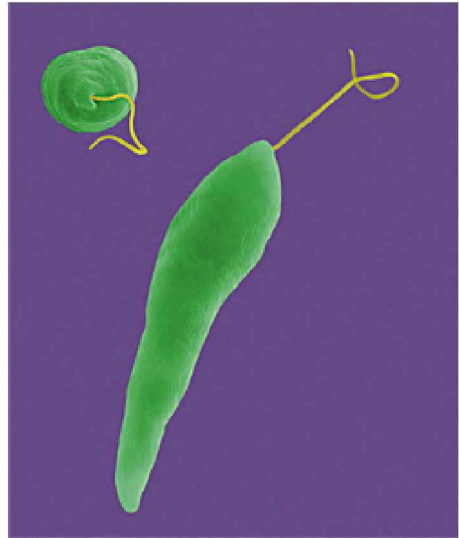
Los siguientes en tamaño son los ciliados. Estos protozoos son

considerablemente más pequeños que sus primos ameboides, pero aún así más grandes que sus presas bacterianas. Los ciliados están recubiertos de hileras de pelo que baten como los remeros en una galera romana, impulsando al organismo en busca de comida o alejándolo de sus enemigos. Además, estas criaturas «remo» crean corrientes que traen a las bacterias a la región de la boca para ser ingeridas. El familiar paramecio es un protozoo ciliado.

El tercer y más pequeño tipo de protozoos lo configuran los flagelados. Sus uno o dos largos pelos con forma de látigo les permiten moverse a la busca de comida. Unos pocos flagelados como la euglena (el «clásico» flagelado de los estanques de agua dulce) produce su propio alimento mediante la fotosíntesis, lo que lo convierte en autótrofo. Sin embargo, la mayoría son heterótrofos, pues obtienen los nutrientes comiendo y asimilando otros organismos del suelo.



Fotografía de un microscopio electrónico de una ameba, 700x. Dennis Kunkel Microscopy, Inc.



Euglena, 440x.
Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

Más relaciones simbióticas

Al igual que hacen tantos organismos de la red de nutrientes del suelo, los protozoos establecen relaciones simbióticas, en particular con las bacterias, hasta el extremo de que estas asociaciones parecen ser la norma y no la excepción. Un ejemplo clásico es el de los flagelados que

residen en las entrañas de las termitas y asimilan las fibras de madera que las termitas comen. Ahora sabemos que la relación es a tres bandas: el microscopio electrónico revela que también hay microbios en las tripas de la termita; estos fijan el nitrógeno de la atmósfera para los flagelados. No es común encontrar una relación simbiótica triple, pero sin duda se encontrarán más gracias al servicio del microscopio electrónico.

También muchos ciliados establecen relaciones simbióticas con bacterias. Algunos ciliados viven en la arena y «cultivan» bacterias; y son las arqueas generadoras de metano dentro de los ciliados las responsables, en parte, del gas metano que se desarrolla en algunos ciliados mientras ocurre la respiración anaeróbica.

La policía que controla la población

Los protozoos se ven atraídos y entran en un área donde hay una buena oferta de bacterias en una progresión bastante consistente (de media, un protozoo puede comer diez mil bacterias al día). Primero vienen los flagelados, los más pequeños de estos microbios; estos pueden moverse en pequeños espacios del suelo, lugares a donde los protozoos que son más grandes no pueden acceder y que están repletos de bacterias. Incluso cuando los ciliados que son más grandes llegan al lugar, la todavía gran población de bacterias ofrece suficiente sustento para tanto los flagelados como los recién llegados ciliados. Finalmente, irrumpen las amebas en busca de presa bacteriana (y también protozoos más pequeños). La presión combinada sobre la población bacteriana se vuelve tan grande que los números empiezan a caer. A medida que las bacterias fácilmente disponibles se vuelven más difíciles de encontrar, los ciliados y amebas más grandes empiezan a comerse a los ciliados y amebas más pequeños. Esto reduce la población de los ciliados y amebas lo que, a su vez, permite que la población de bacterias se estabilice y regrese a un nivel que permite que la red de nutrientes del suelo mantenga el equilibrio.

¿Por qué los protozoos no consumen todas las bacterias? Una razón es que los protozoos se ven restringidos por la babaza bacteriana; esta película dificulta que penetren, y carece del oxígeno que necesitan. Otra razón es que las bacterias son más pequeñas y pueden esconderse en diminutos poros del suelo.

Parece contrario al sentido común que las crecientes poblaciones de protozoos suelen por lo general desembocar en poblaciones crecientes de bacterias que son las que constituyen su presa. Esto ocurre porque menos bacterias significa menos competencia por los nutrientes entre las

bacterias supervivientes. No tener que estar constantemente compitiendo por la comida significa que pueden dividirse al estar bien alimentadas. De la misma forma, su progenie tendrá algo que comer y también podrá multiplicarse. Si los protozoos consiguen controlar su población, pueden tener todas las bacterias y hongos que necesiten comer.

Y no son solo las poblaciones de bacterias las que los protozoos mantienen en equilibrio. En su búsqueda de sustento, algunos protozoos atacan a los nematodos. Otros reducen las poblaciones de nematodos al competir por los mismos recursos alimenticios que son limitados, es decir, protozoos y hongos. Esto también ayuda a prevenir que las poblaciones de los nematodos «malos» crezcan con fuerza.

Los protozoos necesitan humedad para vivir, viajar y reproducirse y, en condiciones normales del suelo, el agua higroscópica —esa fina película de agua que queda en las superficies de las partículas del suelo y agregados— la ofrece. Si las cosas se secan, sin embargo, la mayoría de los protozoos deja de comer y dividirse, y entra en estado de latencia y se encierra en un quiste. El tiempo que pueden sobrevivir en este estado varía de una especie a otra: algunas pueden soportar un periodo árido extendido de varios años. Esta técnica asegura la supervivencia de tanto los protozoos como las plantas que se benefician del nitrógeno y otros nutrientes que aquellos liberan en su actividad.

Mineralizadores

De crítica importancia para el funcionamiento de la red de nutrientes del suelo resultan los desechos que se producen cuando los protozoos ingieren bacterias u hongos. Estos desechos contienen carbono y otros compuestos nutricionales que habían quedado inmovilizados, pero que vuelven a estar otra vez mineralizados y disponibles para las plantas. Los compuestos de nitrógeno, incluido el amonio (NH_4^+), forman parte de estos. Si las bacterias fijadoras de nitrógeno están presentes (recuerda que estas suelen requerir un pH de 7 o más para tener buenas poblaciones), el amonio libre se convierte en nitratos. De no ser así, el nitrógeno permanece en forma de amonio.

La mineralización de los nutrientes es crucial para la supervivencia de las plantas en un sistema natural. Nuestra premisa es que, si se destroza la red de nutrientes del suelo o se interfiere con ella, el jardinero tiene que tomar cartas en el asunto y trabajar extra, lo que convierte la jardinería en una obligación y no en un agradable hobby. Si no te convence, entonces considera que hasta el 80 % del nitrógeno que

necesita una planta proviene de los desechos producidos por los protozoos comedores de bacteria y hongos. Dado que las bacterias y los hongos se ven atraídos a los exudados de la planta en la rizosfera, y ahí es donde los protozoos los consumen, se entrega una enorme fuente de alimento para la planta justo en las raíces.

Otras funciones de la red de nutrientes del suelo

Todos los protozoos participan en cierto grado en el proceso de descomposición cuando ingieren involuntariamente pequeñas partículas de materia orgánica. Estas son entonces descompuestas en piezas más pequeñas, si no son completamente asimiladas, y se vuelven disponibles para las bacterias y hongos en el flujo de desechos. Y otros miembros de la red de nutrientes del suelo dependen de los protozoos como una de sus fuentes de alimento, lo que nos recuerda otra vez que estamos tratando con una red de nutrientes del suelo y no con una cadena. Ciertos nematodos, por ejemplo, dependen de los protozoos como su fuente de comida y han desarrollado partes de la boca especializadas para ingerirlos mejor. También los gusanos dependen de las poblaciones sanas de protozoos. Si no hubiera protozoos en la zona, los jardines se verían privados de gusanos. De la misma forma, muchos microartrópodos requieren una dosis sana de protozoos para prosperar.

Por último, no todos los protozoos son beneficiosos. Algunas clases comen raíces, pero en una red de nutrientes del suelo sana a estos los mantienen a raya otros protozoos caníbales. Así que hasta cierto punto los protozoos sirven de comida para sí mismos y continúan siendo — incluso los peores de ellos— personajes cruciales en la red de nutrientes del suelo.

8. Nematodos

Los nematodos son gusanos ciegos no segmentados que, junto con los protozoos, mineralizan los nutrientes contenidos en las bacterias y hongos. Su nombre proviene del griego: *nema* significa «hilo», un descriptor apto para estos microorganismos. Los nematodos son considerablemente más grandes que los protozoos, con una longitud media de 2 mm y un diámetro de 50 μm (frente a los 0,5 mm de un protozoo decente). Aún así, es difícil verlos sin un microscopio. Cuando puedes verlos a simple vista, suelen aparecer como pelos humanos. Decimos «suelen» porque el nematodo más grande que se conoce, *Placentonema gigantissima*, puede crecer hasta unos abracadabrantos nueve metros. Afortunadamente, este nematodo vive en la placenta del cachalote y no en el suelo. Estos fascinantes gusanos redondos son, en realidad, la segunda forma de vida animal más numerosa junto con los artrópodos. Se han identificado hasta la fecha más de veinte mil especies de nematodos, y los científicos sugieren que puede haber hasta un millón de especies en total. Son ubicuos y sin embargo la mayoría de los jardineros sabe poco sobre ellos, salvo los que son parasitarios y dañan las raíces.

Nuestra cucharadita de buen suelo repleto de vida microbiana tiene un promedio de en torno a 20 nematodos que comen bacterias, otros 20 que se alimentan de hongos, y unos pocos depredadores y comedores de plantas, con el número absoluto de entre 40 y 50 nematodos. El número de nematodos que comen hongos frente a los que comen bacterias está directamente relacionado con la disponibilidad del alimento que requieren.

Consumidores quisquillosos

Los nematodos son unos grandes consumidores en el suelo. Todos tienen un largo tracto alimentario que discurre de la boca al ano, que se sitúa al final de la cola. La piel de los nematodos es, en realidad, una cutícula que

protege al animal tanto de los ataques físicos como químicos y le ofrece un apoyo estructural liviano. Para el jardinero, la mejor manera de clasificarlos es por sus hábitos de comida: varios nematodos han desarrollado partes de la boca especializadas que les permiten atacar y obtener su particular clase de presa.

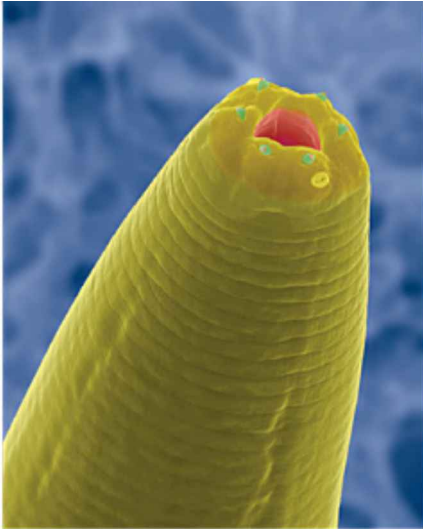
Comencemos con los nematodos que comen material vegetal vivo. Estos parásitos de las plantas suelen tener estiletes como agujas que les permiten perforar las paredes celulares de las plantas con facilidad. Algunos de estos nematodos que comen raíces son ectoparasitarios (es decir, se alimentan desde la superficie de la raíz), mientras que otros son endoparasitarios y penetran en la raíz para alimentarse. Los nematodos herbívoros pueden causar lesiones en la raíz además de quistes y grandes protuberancias, y de ahí que los jardineros los llamen «nematodos del nudo de la raíz». Resulta obvio que los nematodos que comen raíces no ayudan al cultivo en cuestión.

Los siguientes son los bacterívoros, los nematodos que comen bacterias. En este caso, la parte de la boca especializada es un tubo hueco. Un nematodo bacterívoro equipado de esta guisa puede consumir multitudes de estos diminutos organismos en una hora. Otros nematodos son micófitos, es decir, se alimentan de hongos. Este tipo de nematodo también tiene estiletes para penetrar en las paredes celulares de quitina de las hifas fúngicas. Al igual que sus compañeros propagadores de fertilizante —los protozoos—, estas dos clases de nematodos mineralizan los nutrientes contenidos en los cuerpos más pequeños de los microbios, haciendo que de nuevo estén disponibles para las plantas.

Los nematodos depredadores se alimentan de protozoos, algas (incluidas las diatomeas) y otros miembros pequeños de la red de nutrientes del suelo: larvas, gorgojos, avispas e incluso pequeños invertebrados como los gusanos (los primeros nematodos beneficiosos que se vendieron para uso en la jardinería se destinaban a controlar las babosas). Los nematodos depredadores también se comen mutuamente, lo que previene la sobreexplotación de las bacterias y hongos y el mantenimiento de una población de nematodos destructivos —fundamentalmente los herbívoros— baja. Al igual que la explotación de las bacterias por los protozoos, la explotación de los hongos por parte de los nematodos libera los recursos de comida fúngica de tal forma que las poblaciones de hongos incrementan hasta cierto punto, lo que resulta en un incremento en la descomposición de basura orgánica. Así, los nematodos son indirectamente responsables de parte de la descomposición que ocurre en y sobre el suelo.

Otros nematodos son omnívoros, pues comen todo lo mencionado, hasta una mera espora de hongo. Algunos ingieren incluso materia

orgánica y, en consecuencia, son directamente responsables de la descomposición de esta.



Extremidad del estilete de un nematodo micófago. Dennis Kunkel Microscopy, Inc.



Un nematodo depredador típico. Bruce Jaffee, UC Davis.

La mineralización y otros trucos

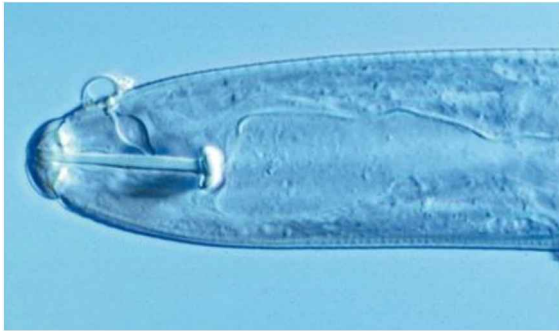
Probablemente, la mineralización sea lo más importante que los nematodos (por lo menos los bacteriófagos y micófagos) hacen para los jardineros. Los nematodos necesitan menos nitrógeno que los protozoos; los que comen hongos y bacterias, por tanto, liberan más nitrógeno previamente inmovilizado a la rizosfera en forma de amonio. De nuevo, si las poblaciones de bacterias fijadoras del nitrógeno en la zona no son numerosas (como ocurrirá si el pH está por debajo de 7), el nitrógeno mineralizado permanece predominantemente en forma amoniacal (es decir, no se convierte en nitrato).

Pero hay algo novedoso: como los nematodos son más grandes que las bacterias, hongos y protozoos, requieren suelos más porosos por donde viajar, y sus números se verán reducidos si el suelo no tiene la textura adecuada o si está demasiado compactado. Cualquiera de estas situaciones los bloqueará a la hora de buscar nutrientes. Incapaces de buscar comida, o bien morirán o bien se marcharán a otro lado; entonces

el flujo de nitrógeno disponible para las plantas disminuirá considerablemente.

Todos los nematodos, y no solo los fugitivos, desempeñan un papel a la hora de transportar bacterias a lugares alejados de sus orígenes. Esto es así porque las bacterias se adhieren a la piel de los nematodos y se propagan a otras zonas a medida que los nematodos avanzan por el suelo en busca de comida. Dado que las propias bacterias tienen una movilidad extremadamente baja en el suelo, esto supone una gran ventaja para ellas: pueden ir en «taxi» a los nuevos recursos de comida. También se podría decir que esto ayuda al nematodo, pues a veces se come la progenie de sus pasajeros e incrementa la mineralización en una nueva área. Los hongos también pueden aprovechar los viajes de los nematodos. Esto ocurre a menudo porque el desafortunado nematodo es víctima de un ataque fúngico y continúa con sus asuntos mientras se lo están comiendo vivo.

Los nematodos han desarrollado formas interesantes de localizar la comida en el suelo. Puede que tengan partes de la boca especializadas, pero no tienen ojos. ¿Cómo sobrevive un nematodo ciego en el suelo o, ya puestos, en cualquier otra parte? Algunos nematodos pueden sentir variaciones extremadamente pequeñas en las temperaturas del suelo. «Saben» en qué temperaturas viven fuentes de comida en particular; se moverán a través del suelo hasta encontrar el gradiente de temperatura correcto y continuarán viajando hasta toparse con su alimento preferido.



Una espora fúngica con su tubo germinativo ha entrado por un lado de este nematodo y se dirige hacia el estilete retraído. Bruce Jaffee.

Otros encuentran la comida detectando ciertas sustancias químicas asociadas con esta. Cuando han dado con el rastro, actúan como misiles sensibles al calor, fijan el blanco en su presa y atacan. Nuestro hongo favorito, el que captura nematodos con su lazo, los atrae con una sustancia química. Sin duda, este método de encontrar comida tiene sus

desventajas.

En fin, los nematodos son animales increíblemente diversos e interesantes que, como todos y cada uno de los demás organismos de la red de nutrientes del suelo, merecen (y tienen) sus propios libros dedicados a ellos.

9. Artrópodos

Aunque no supieras cómo se llaman, has visto y conoces a un montón de artrópodos: moscas, escarabajos y arañas, por ejemplo. No es una exageración decir que los artrópodos reinan el mundo: en torno a tres cuartas partes de los organismos vivos son artrópodos. Y aún así, a pesar de sus números y su tamaño más grande, los artrópodos no están a la cabeza en términos de biomasa: la de los nematodos e incluso los protozoos es mayor.

Artrópodo viene del griego y significa «pies articulados» (en realidad, los artrópodos tienen las extremidades y cuerpos segmentados, pero te haces una idea). Además de las patas articuladas y los cuerpos segmentados, todos los artrópodos comparten un exoesqueleto de quitina, el mismo material del que están hechas las paredes de los hongos. Conoces cómo son los caparazones de las langostas, gambas y cangrejos, ejemplos familiares de artrópodos marinos; sus caparazones son de quitina. Al igual que la piel-cutícula de los nematodos, este exoesqueleto ofrece protección y una estructura liviana (un esqueleto interno es considerablemente más complicado y pesado). A medida que los artrópodos crecen, mudan su exoesqueleto y crece uno nuevo más grande.

Los artrópodos suelen tener tres (pero pueden tener solo dos) segmentos corporales, comenzando por una cabeza o cefalón, luego un pecho o tórax, y finalmente un abdomen. La mayoría de ellos vive la vida en tres etapas: comienzan como huevos que eclosionan y viven la primera parte de sus vidas en forma larvaria; a continuación, metamorfosean en una forma muy diferente para sus vidas adultas. Una oruga, para emplear un ejemplo conocido, es el estado larval de una mariposa, el adulto que pondrá los huevos para que comience el ciclo de nuevo. Muchos artrópodos viven las tres etapas en o sobre el suelo, pero muchos también pasan tiempo en el suelo durante solo una o dos. Sin duda, cualquier jardinero que se haya protegido de las cortadoras entiende perfectamente que solo se necesita una etapa para dañar a una

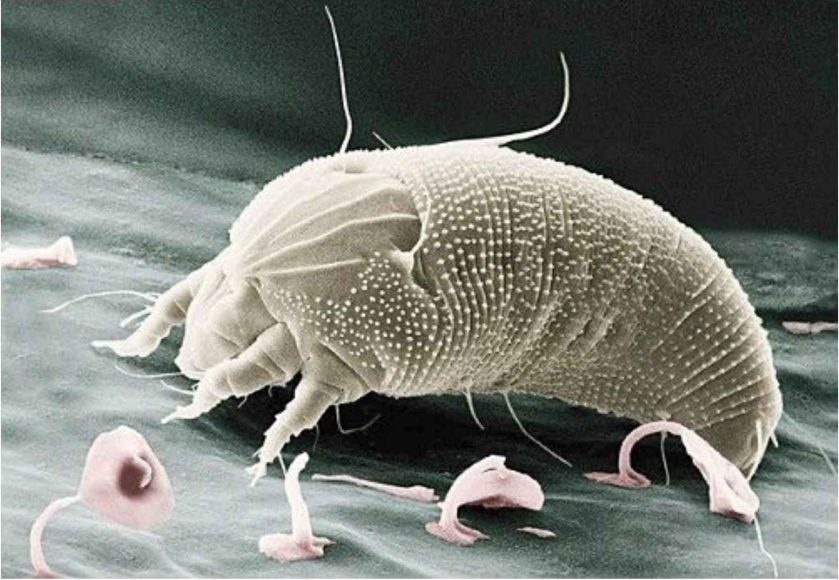
planta.

Los artrópodos varían en tamaño, desde los descomunales cangrejos rojos gigantes que miden unos dos metros de ancho a las diminutas termitas que requieren un microscopio potente para ser vistas. Los que solo pueden ser vistos con un aumento están clasificados como microartrópodos; los que pueden ser vistos sin la ayuda de una lupa o microscopio se conocen como macroartrópodos.

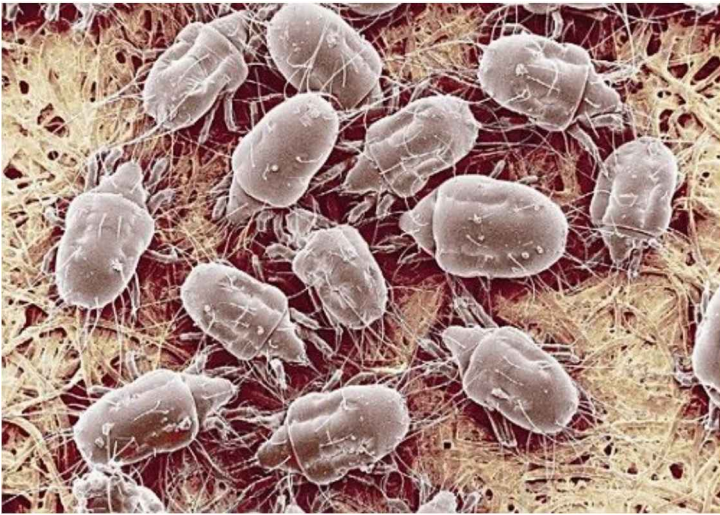
Además de servir de alimento a otros miembros de la red de nutrientes del suelo, los artrópodos del suelo son importantes para la comunidad en su condición de trituradores, depredadores y aireadores del suelo. La presencia o ausencia de algunos de estos personajes clave puede indicarle a un jardinero mucho sobre la salud de los suelos y las plantas que crecen en ellos.

la clasificación de los artrópodos

Como no tienen más que un interés vago en ellos, la mayoría de los jardineros agrupa a todos los artrópodos como simplemente «insectos» o «bichos». Puede que algún jardinero conozca a unos cuantos de los populares o impopulares que habitan en los jardines locales pero, aparte de esto, no muchos más. Parte del problema viene dado porque hay demasiados artrópodos: el filo Arthropoda es sin duda el más grande del reino animal. Es tan grande, que supone para nosotros un desafío: ¿Cómo podemos nosotros, como autores, mostraros a vosotros los lectores cómo usar la red de nutrientes del suelo sin avasallaros con información? Hay demasiadas clases de artrópodos que viven en el suelo para describirlos a todos o incluso aproximarse a hacerlo y, sinceramente, también hay demasiada nomenclatura científica. Así que tened paciencia con la poca que empleemos.



Un ácaro rojizo (*Aceria anthocoptes*), 700×. Eric Erbe, USDA-ARS.



Ácaros del moho (*Tyrophagus putrescentiae*), 100×. Eric Erbe, USDA-ARS.



Milpiés en busca de alimento en el suelo.
Frank Peairs, Gillette Entomology Club.



Grillo mormón hembra. Michael
Thompson, USDA-ARS.

Los jardineros están de acuerdo en que usar los nombres científicos, normalmente derivados del latín o el griego, es la única forma de identificar con precisión una planta; pero la mayoría no ha aprendido la sopa de letras que los científicos usan para clasificar a los miembros del filo Arthropoda, cuyos miembros tienen el mayor impacto en la red de nutrientes del suelo. Aquí listaremos las clases como un comienzo.

Clase Arachnida: arañas, escorpiones, ácaros, garrapatas y opiliones.

Clase Chilopoda: ciempiés.

Clase Diplododa: milpiés.

Clase Insecta: colémbolos, pececillos de plata, termitas, efímeras, libélulas, zigópteros, plecópteros, cortapicos, mántidos, cucarachas, insectos palo, saltamontes, saltamontes longicornios, grillos, grilloblatodeos, emblópteros, zorápteros, psocópteros, piojos, piojos de los libros, piojos chupadores, moscas escorpión, pulgas, arañuelas, neurópteros, hormigas león, hemípteros, polillas, mariposas, moscas, escarabajos, sínfitos, abejas, avispas y hormigas.

Clase Malacostraca: cochinillas y cochinillas de humedad.

Ya te has familiarizado con muchos miembros de la clase Insecta. A pocos jardineros hay que recordarles que decenas de miles de insectos viven en y sobre el suelo y las plantas. Sin duda habrás visto representantes de un orden de esta clase en concreto, el orden Coleoptera (escarabajos), cuando te dedicas a las tareas de la jardinería. Con aproximadamente 290.000 especies descritas, sería difícil pasarlos por alto.



Termitas de Formosa alimentándose de madera de píceas y abedul. Peggy Greb, USDA-ARS.



Este escarabajo depredador (*Thanasimus formicarius*) se alimenta del barrenillo, una plaga grave para los pinos. Scott Bauer, USDA-ARS.

Las funciones de la red de nutrientes del suelo

La mayoría de los artrópodos del suelo, en particular los que habitan en la superficie del suelo, son trituradores. Mastican la materia orgánica en su búsqueda constante de comida creando trozos más pequeños. El resultado es que se incrementa la actividad fúngica y bacteriana porque la trituración expone superficies de desechos orgánicos que ofrecen a las bacterias y hongos un nuevo lugar por donde atacar.

A medida que trituran y van moviéndose de aquí para allá, los artrópodos transportan la vida microbiana adherida a sus cuerpos o en los detritos que empujan o llevan consigo. Ya que la mayoría de los artrópodos son alimento para animales más grandes, las distancias totales a las que los microbios pueden ser llevados (considera una colonia bacteriana devorada por una larva que luego ingiere un petirrojo) pueden ser realmente enormes. La actividad microbiana se incrementa si el taxi lleva a los pasajeros a una buena fuente de comida. Con todo, lo más importante es la trituración. Dos artrópodos comunes, los ácaros y los colémbolos, son responsables ellos solos del reciclaje del 30 % de las hojas y detritos de madera depositados en el suelo de un bosque de la zona templada.

Si se encuentran con una cantidad de materia orgánica muerta insuficiente, los artrópodos suelen atacar a las fuentes vivas de nutrientes orgánicos. E incluso si la oferta de materia orgánica disponible es lo suficientemente abundante para saciar a un artrópodo razonable, algunos de ellos (los grillos topo, las moscas de las flores, las cigarras) subsisten de alguna manera a base de raíces. Las larvas de la mosquilla negra, por ejemplo, eclosionan e inmediatamente comienzan a

comer pelos radiculares para acabar comiendo de las raíces y el tallo para gran menoscabo de la planta invadida.



Larvas de la mosquilla negra con las alas oscuras. Whitney Cranshaw, Gillette Entomology Club.

Pero hay otros artrópodos que se comen a otros miembros de la red de nutrientes del suelo para sobrevivir. Al eliminar a estos personajes, estos depredadores hacen sitio para que otros artrópodos ocupen sus nichos vacíos, ayudando a crear una asimilación completa de la materia del suelo. Por último, y de una forma parecida a la manera en que lo hacen los protozoos y nematodos, algunos artrópodos comen hongos, otros bacterias, pero esta vez se liberan los nutrientes a una escala mayor, como corresponde a su mayor número y tamaño.

Muchos artrópodos realizan sus tareas cotidianas solo en la superficie del suelo. Sin embargo, un número sorprendente vive por debajo por lo menos una parte del tiempo. Cuando los artrópodos hacen sus cosas, mezclan y airean el suelo; y sus desechos también añaden materia orgánica.

Ácaros

Varios artrópodos del suelo desempeñan un papel dominante en la red de nutrientes del suelo. De entre estos figuran los ácaros, de los que hay dos clases básicas en el suelo. Los primeros, los ácaros oribátidos, tienen la mayor población de todos los artrópodos del suelo, con hasta varios cientos de miles por metro cuadrado; una razón fundamental para esto es que la hembra oribátida no necesita un macho para poner huevos fertilizados. Estos ácaros importantes tienen entre 0,2 y 1 mm de largo. Los ácaros oribátidos habitan las superficies de los suelos, en particular

los restos de desechos, pero también viven en plantas, incluidos musgos y líquenes. Algunos ácaros oribátidos se alimentan de nematodos vivos; otros de colémbolos muertos. La mayoría, sin embargo, come hongos y algas y material vegetal en descomposición y, debido a sus grandes números, son unos recicladores y descomponedores importantes de la red de nutrientes del suelo. Aunque son vulnerables al nacer y en la posterior etapa de ninfa, cuando se vuelven adultos sus exoesqueletos hacen que estos ácaros sean inmunes a la mayor parte de la depredación salvo la de las hormigas, escarabajos y animales más grandes como las salamandras.

La segunda clase de ácaros del suelo, los ácaros gamásidos, está formada por importantes depredadores del suelo. Sus poblaciones (y puede haber varios cientos de gamásidos en un metro de suelo) dependen de la disponibilidad de su fuente de alimento, que resulta que es la mayoría de los otros artrópodos que pastan por el suelo. En este sentido, la presencia y los números de ácaros gamásidos se considera una herramienta útil para determinar la salud del suelo: si hay muchos es que sus compañeros deben de ser abundantes, y eso suele indicar una red de nutrientes del suelo sana. Sin embargo, al tener un cuerpo blando para ser artrópodos, les va peor que a los ácaros oribátidos cuando se enfrentan a un depredador y ellos mismos son presa para todo tipo de artrópodos.

Colémbolos

Los colémbolos (*Collembola* spp.), otro grupo importante de artrópodos, son los insectos más activos en el suelo. Puedes esperar encontrar hasta cincuenta de estas «pulgas del suelo» por centímetro cuadrado en los suelos que tengan suficiente material orgánico. Oscilan entre 0,2 y 2 mm de largo, y a menudo se les ve como pequeños bichos que saltan en el aire cuando se remueve la capa superior de desechos del suelo.

Los colémbolos carecen de alas. En vez de eso, poseen una cola en forma de tenedor, o fúrcula, que se dobla debajo de ellos, pero es capaz de tensarse en un instante (introduciendo un fluido en su base), impulsando al animal hasta un metro hacia atrás para evitar el peligro.



Un colémbolo que muestra la fúrcula bien desarrollada que permite a estos animales «saltar» hasta a un metro de distancia de los depredadores. Michael W. Davidson.

Al igual que muchos miembros de la comunidad del suelo, los colémbolos se han adaptado a varios entornos distintos. Los que habitan en la superficie, por ejemplo, han desarrollado fúrculas, ojos, largas patas y antenas. En cambio, los que viven en partes profundas del suelo son ciegos o casi ciegos y no necesitan una fúrcula grande o patas largas, pues serían una rémora a la hora de viajar en busca de comida. Algunos colémbolos con fúrculas incluso más desarrolladas están adaptados para vivir entre la hierba.

La dieta de un colémbolo consiste en bacterias, hongos y materia orgánica en descomposición. Los colémbolos a veces consumen también nematodos y materia de animales muertos, y ellos mismos son una de las comidas preferida de los ácaros.

Termitas y hormigas

Otros dos miembros de la red de nutrientes del suelo generosamente representados, las termitas y las hormigas, en realidad no están relacionados, aunque se parecen. Las hormigas están emparentadas con las abejas y las avispas; suelen tener ojos, cuerpos opacos, una cintura estrecha, patas largas y un exoesqueleto duro. En contraste, las termitas son ciegas, tienen cuerpos blandos y traslúcidos y patas cortas. La actividad trituradora de ambos insectos ayuda a descomponer la materia orgánica de la superficie del suelo.

Las termitas comen mayoritariamente materiales que contengan celulosa. Al igual que lo hacen otros artrópodos, abren la materia orgánica, lo que facilita que los hongos y bacterias accedan a ella. Parte de esta materia orgánica es trasladada a túneles y escondrijos, donde se

vuelve disponible para distintas poblaciones de microbios. De hecho, es la construcción de túneles y montículos lo que distingue tanto a las termitas como a las hormigas de otros artrópodos. Cuando construyen sus hogares, las termitas y las hormigas mezclan el suelo de la superficie y la subsuperficie. En el caso de las hormigas, pueden mezclar hasta seis toneladas de suelo cada año. En las zonas tropicales, la contribución de la actividad de las termitas y las hormigas a mezclar el suelo es mayor que la de los gusanos. Obviamente, los túneles de las termitas y las hormigas ofrecen un paso para que el aire y el agua entren en el suelo y para que se desplacen otros animales. A veces estos túneles facilitan que las raíces penetren el suelo; a menudo las raíces siguen el camino de los túneles.

Los montículos formados en la superficie por las termitas y las hormigas contienen material de la subsuperficie y, a medida que estos montículos se meteorizan y se rompen, se altera la mezcla de suelo en la superficie. Por último, el epigaster de las termitas contiene arqueas metanogénicas que producen tanta cantidad de metano que las termitas son un causante importante del gas invernadero en la atmósfera.

En resumen, debido a sus enormes números y a la variedad de trabajos que realizan, los micro y macroartrópodos resultan cruciales para cualquier funcionamiento de la red de nutrientes del suelo, y su presencia, tanto en cantidad como en clase, es un indicio de que la comunidad no solo funciona, sino que está sana y prospera.

10. Gusanos de tierra

Los gusanos de tierra son los más reconocibles de todos los animales en la red de nutrientes del suelo y resulta que son los más importantes para la jardinería y el cultivo. Con toda probabilidad, los que te encuentres serán de las especies de *Aporrectodea*, *Eisenis* o *Lumbricus*, nombres genéricos que no nos son familiares y que refieren a las más conocidas de las setecientas familias aproximadamente de gusanos de tierra que suelen estar en los buenos suelos de jardín. Técnicamente, los gusanos de tierra son gusanos segmentados, u oligoquetos, y crecen de unos pocos centímetros hasta incluso un metro de largo. Incluyen al más pequeño y menos familiar gusano blanco (*Enchytraeus doerjesi*) que se encuentra en los suelos de los bosques (puede que los jardineros no lo conozcan a menos que tengan peces tropicales, para los que este gusano es una de sus comidas favoritas). Los gusanos blancos son mucho más pequeños que las tradicionales lombrices de jardín, con solo entre unos pocos milímetros a unos pocos centímetros de largo; en los suelos ácidos de los bosques suceden y remplazan a las lombrices, porque estas los evitan. Por increíble que parezca, media hectárea de un buen suelo de jardín contiene entre dos y tres millones de gusanos de tierra (alrededor de 10 a 50 gusanos de tierra por 0,10 m²); esto es suficiente para que realicen la labor de una excavadora y, de hecho, este equipo es capaz de mover unas sorprendentes dieciocho toneladas de suelo al año en busca de comida. En media hectárea de suelo forestal, podemos encontrar en torno a cincuenta mil de sus primos; un número grande, pero pequeño en comparación. Obviamente, los gusanos de tierra no desempeñan un papel tan destacado en la red de nutrientes del suelo de los bosques como sí ocurre en los jardines.

Los primeros colonos europeos transportaron muchas variedades de gusanos de tierra a la costa oriental de América del norte. Los gusanos viajaron en las macetas plantadas y en los lastres de los barcos, y uno puede imaginar que fueron un equipaje muy deseado para los agricultores que conocían el gran valor que estos tendrían en el Nuevo

Mundo. Una vez en tierra, se movieron por el continente en los suelos plantados con frutales y viveros. Y prosperaron. El único lugar en América del norte en donde a los gusanos europeos no les ha ido bien es en el desierto cálido del suroeste. La común lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*), por ejemplo, que domina en los suelos de los jardines de costa a costa, llegó con los europeos. Tampoco la lombriz roja (*Eisenia fetida*), un gusano común para el compost, es nativa (a pesar de que a menudo se la denomina lombriz roja de Wisconsin); y aún así es una de las favoritas (con razón) para los que se encargan de los contenedores de vermicompost (humus de lombriz). Todos los gusanos de tierra tienen la habilidad de propagarse en áreas nuevas y sobrevivir y multiplicarse hasta alcanzar una población tremenda.

Se necesitan dos gusanos para tener progenie, si bien los gusanos tienen órganos sexuales masculinos y femeninos. Cada uno tiene una banda mucosa en la que incubar los huevos que luego deposita en un pequeño capullo. Cada capullo contiene quince o más crías que, una vez que eclosionan, suelen estar lo suficientemente maduras para reproducirse en cuestión de tres o cuatro meses. Cuando uno se para a pensar que algunos gusanos viven quince años mientras continúan reproduciéndose, resulta comprensible que haya poblaciones tan grandes en el suelo.

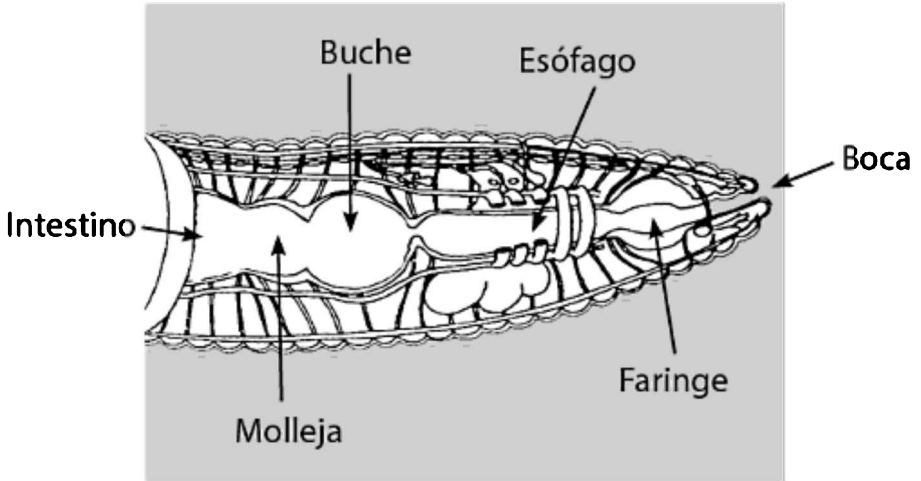
Los gusanos son una fuerza poderosa en el suelo. Charles Darwin, quien los estudió en profundidad (e incluso escribió un libro sobre ellos), defendía que todas las partículas del suelo habían pasado por un gusano por lo menos una vez. Con independencia de que estuviera en lo cierto, su papel en la red de nutrientes del suelo es clave: están íntimamente involucrados en la trituración de la materia orgánica, la aireación del suelo, la agregación de partículas y el transporte de materia orgánica y microorganismos por el suelo. También incrementan la población microbiana y ayudan al crecimiento de las raíces de las plantas.

Máquinas comedoras

A pesar de que los gusanos de tierra no tienen ojos, las células sensoriales en su piel son muy sensibles a la luz. Su boca, o prostomio, es una almohadilla carnosa que se asemeja de alguna manera a un labio extendido; esta, junto con la laringe del gusano, es extremadamente musculada, pero carece de dientes.

¿Qué come un gusano? Fundamentalmente bacterias, por lo que no debería sorprender que los suelos con grandes poblaciones de gusanos suelen estar dominados por las bacterias. Otras comidas son los hongos, nematodos y protozoos, además de la materia orgánica sobre la que o en

la que viven estos microorganismos. ¿Cómo come un gusano? Comienza empujando la laringe fuera de la boca y la utiliza junto a su prostomio para asir la comida y llevarla dentro del cuerpo. Entra la comida y los fuertes músculos empiezan a desmenuzarla en partículas. Y la mezcla con saliva para humedecerla.



Extremo superior de un gusano de tierra. Tom Hoffman Graphic Design.

A continuación, la comida viaja al esófago del gusano hasta llegar al buche. Desde este compartimento de almacenamiento se desplaza a la molleja, un músculo extremadamente fuerte que está parcialmente lleno de arena y pequeñas partículas de roca. Cuando la molleja se contrae y expande, la arena —que hace las veces de «dientes» del gusano desdentado— muele la comida. Cuando la comida está lo suficientemente molida, viaja al intestino del gusano. Pero, justo antes, se mezcla con carbonato de calcio.

Dada su reputación de recicladores de materia orgánica, resulta cuando menos sorprendente tener que decir que los gusanos de tierra carecen de las enzimas necesarias para asimilarla y en vez de eso dependen de las bacterias. Toda la molienda en la molleja asegura que la comida que llegue a los intestinos será lo suficientemente pequeña y abierta para que las bacterias que viven allí la asimilen con rapidez. Los nutrientes producidos por las bacterias son finalmente absorbidos por el flujo sanguíneo, y cualquier materia orgánica no asimilada por completo se elimina. Puede que esto suponga un desecho inútil para un gusano, pero para un jardinero se trata de una fantástica enmienda para el suelo.

Los turrículos

Los turrículos (el nombre que se da a los excrementos de los gusanos) tienen un 50 % más de materia orgánica que el suelo que no ha sido alterado por los gusanos. Se trata de un sorprendente aumento que cambia radicalmente la composición del suelo, incrementando la capacidad de intercambio catiónico debido a la mayor cantidad de superficies orgánicas con una carga. Otros nutrientes, por tanto, tienen la habilidad de adherirse a la materia orgánica que ha pasado por un gusano.

Y los beneficios no acaban aquí. Las enzimas digestivas del gusano (o, para ser más rigurosos, las que son producidas por bacterias en los intestinos del gusano) deshacen muchos de los enlaces químicos que de otra forma mantendrían los nutrientes bloqueados e impedirían que estuvieran disponibles para las plantas. Así, los turrículos son hasta siete veces más ricos en fósforo que el suelo que no ha sido alterado por los gusanos. Tienen diez veces más potasa disponible; cinco veces más nitrógeno; tres veces el magnesio usable; y tienen una vez y media más calcio (gracias al carbonato de calcio añadido durante la asimilación). Todos estos nutrientes enlazan con la materia orgánica en las bolitas fecales.

Los gusanos pueden evacuar unas sorprendentes de diez a quince toneladas de turrículos por media hectárea al año. Este número casi increíble es claramente significativo para los jardineros: la habilidad para incrementar la disponibilidad de nutrientes sin tener que acarrear y añadir toneladas de fertilizantes es lo más cercano a la alquimia que se puede conseguir.

Los señores de la trituración

Los gusanos de tierra están clasificados como trituradores. Cuando buscan comida, descomponen la hojarasca del jardín y el césped, lo que acelera la descomposición del material vegetal de forma directa o indirecta. Abren las hojas y otra materia orgánica, lo que da a las bacterias y a los hongos un mejor acceso a la celulosa (y otros carbohidratos) y a la lignina (un no carbohidrato) en la materia orgánica. Está claro entonces que los gusanos de tierra facilitan el reciclaje de nutrientes de vuelta a las plantas. Al mismo tiempo, puede que también cambien la composición de la comunidad de la red de nutrientes al competir con los hongos y bacterias e incluso comiéndose a estas mismas poblaciones. La magnitud del impacto de los gusanos de tierra se evidencia en un dato sencillo: las hojas en el suelo de un bosque, o en un

jardín o césped tardarían normalmente uno o quizás dos años en descomponerse sin la trituración del gusano, pero tan solo tres meses con su presencia. En algunas partes de los Estados Unidos y Canadá, los bosques han sido invadidos por los gusanos de tierra abandonados por los pescadores. Esto ha alterado por completo el hábitat, y bosques enteros se ven afectados porque la capa de detritos se descompone más rápido de lo que sería saludable para los árboles y el resto de la red de nutrientes del suelo.

El resultado final de la trituración y asimilación por parte de los gusanos son diminutas partículas de detrito orgánico que los microorganismos pueden comer. Las poblaciones microbianas en el suelo se ven mejoradas porque algunos microbios acaban mezclados con las bolitas de deposición de los gusanos durante su formación y eliminación, lo que crea enclaves protegidos para los hongos y las bacterias.



Un gusano abandona un turrículo en la superficie de un césped.

Galerías

Los gusanos de tierra son increíblemente fuertes, una necesidad que viene dada por la cantidad de excavaciones que realizan. Mientras se abren camino a través del suelo para alimentarse, los gusanos pueden desplazar rocas que equivalen a seis veces su peso. Estar dentro del suelo les ofrece humedad, control de la temperatura y protección frente a los pájaros y otros depredadores de la superficie.

Distintas clases de gusanos cavan distintas galerías, algunas

permanentes y otras temporales. Las temporales se abandonan cuando se llenan de deposiciones y detrito; las raíces crecen en estos pasadizos, pues pueden adentrarse más de lo que hubieran conseguido por sí solas, y al mismo tiempo tienen acceso a nutrientes y a los microorganismos que los liberaron. Algunas clases de gusanos de tierra se mueven de arriba abajo en el suelo, a veces hasta una profundidad de hasta cuatro metros. Trituran desechos de la superficie y se llevan una parte a sus galerías. Cuando excavan los túneles, la tierra más profunda se deposita en la superficie. Otros gusanos de tierra viajan de forma horizontal y rara vez abandonan los primeros quince centímetros del suelo, pero incluso estos redistribuyen la materia orgánica hasta una distancia de aproximadamente un metro, si bien en el mismo horizonte. En ambos casos, este movimiento se asemeja a llevar comida a otra parte de la ciudad y tiene un impacto en toda la población de la red de nutrientes del suelo. Los gusanos de tierra también mueven microorganismos, bien adheridos a sus cuerpos o en los desechos que llevan bajo tierra, lo que da pie al inicio de comunidades donde antes no había.

Los gusanos de tierra no solo incrementan la porosidad de la tierra, sino que, al descomponer y mezclar la materia orgánica, incrementan su capacidad para retener el agua. De nuevo, piensa en un par de millones de gusanos excavando en aproximadamente media hectárea de un buen suelo de cultivo. Sus galerías se convierten en importantes pasajes para que el agua drene y para el paso del aire. Y, dado que algunos gusanos se mueven verticalmente y otros horizontalmente a través del suelo, estas galerías pueden llevar el agua a todo tipo de lugares bajo tierra, ya sea para uso inmediato de las plantas o para almacenarla para que sea absorbida más tarde.

A todo el mundo le encantan los gusanos de tierra

Aparte de los pájaros, unos pocos parásitos y moscas parasitarias y algún mamífero ocasional (un topo, un pescador al que le gusten los peces tropicales), los gusanos tienen pocos enemigos. Los pájaros a los que atraen al césped se los comen pero, desde la perspectiva de la red de nutrientes del suelo, no todo está perdido. No solo el guano de los pájaros contiene nutrientes y microorganismos, sino que las patas de los pájaros transportan protozoos y estos se propagan cuando el ave va de un lado a otro. Y alguna vez un pájaro dejará caer un gusano en un nuevo paraje.

Considera los beneficios de los gusanos de tierra: trituran los detritos y así otros organismos pueden asimilarlos con más facilidad. Incrementan la porosidad, la capacidad de retención del agua, la fertilidad y la materia orgánica de los suelos. Rompen los suelos duros, crean pasillos para las

raíces y ayudan a que se unan las partículas del suelo; reciclan los nutrientes y microbios en nuevos parajes a medida que avanzan por los suelos en busca de comida. Con todos estos beneficios, ¿no resulta extraño que el jardinero sea uno de los depredadores del gusano de tierra? El uso del motocultor y otros métodos mecánicos para remover el suelo destroza las galerías de los gusanos y reduce o incluso destruye sus poblaciones al cortarlos en pedazos que nunca se regeneran en gusanos completos. Y el cultivador que emplea fertilizantes químicos está literalmente echando sal en la herida: estos productos químicos son sales que irritan a los gusanos y los expulsan del jardín.

Una población de gusanos llamativa es un claro signo de una comunidad sana de la red de nutrientes. Significa materia orgánica, bacterias, hongos, protozoos y nematodos: todo lo necesario para sustentar una población de gusanos y todos en su sitio. Con estos en la base, lo más probable es que otras partes de la red de nutrientes del suelo también estén en orden.

11. Gasterópodos

¿Qué jardinero no se ha topado con ciertos miembros del orden Mollusca? O quizás los conozcas como babosas y caracoles. A menudo, a los gasterópodos (del griego estómago-pie) se les denomina moluscos, pero al que se le ocurrió el nombre común derivado del griego estaba en lo cierto, pues es una descripción adecuada de lo que parecen ser estos organismos: un gran pie que come mucho. La mayoría de las babosas de jardín tiene el tamaño de un meñique, pero algunas especies crecen hasta los 45 cm, la pesadilla perfecta de cualquier jardinero. Además, los moluscos se suelen asociar con las criaturas de agua salada y dulce, en particular, almejas y ostras, y no con el jardín. Con más de cuarenta mil especies, los gasterópodos son el grupo más grande del orden Mollusca.

Los caracoles de tierra, de donde evolucionaron las babosas, emergieron del mar hace unos trescientos cincuenta millones de años junto con la concha que habían desarrollado para protegerse de los enemigos que habitaban el agua y las sustancias químicas en el agua. Como se podría esperar de su aspecto y del daño que ambos infligen al jardín, tanto las babosas como los caracoles tienen una fisiología similar. La diferencia principal entre los dos es la concha del caracol, que se compone de calcio. Con los años, las babosas de jardín evolucionaron a partir de estos caracoles y, dependiendo de la especie, perdieron por completo o mayoritariamente la concha.

Las babosas y caracoles son extremadamente susceptibles a la deshidratación. Y aquí es donde el caracol tiene una ventaja sobre la babosa. La babosa tiene que encontrar una zona humedecida para sobrevivir en tiempos secos. El caracol puede resguardarse en la concha, sellar la abertura secretando una mucosidad que se endurece en una capa gruesa y coriácea, u opérculo, y permanecer hasta cuatro años dentro de su concha sellada. Cuando el caracol está preparado para salir, simplemente se abre camino comiéndose el opérculo y ya está.

¿Por qué evolucionarían los caracoles a babosas si entrañaba perder este maravilloso artilugio? Está claro que una babosa tiene mayor

movilidad y control del tamaño: puede meterse en lugares que una concha dura no permitiría, lo que incrementa enormemente su ámbito de búsqueda de comida (que puede llegar a 1,5 km en una noche). Además, el mantenimiento de la concha requiere el acceso al calcio, lo que limita las áreas en las que un gasterópodo con concha puede vivir. Las babosas, que necesitan menos calcio, no están sujetas a esta restricción: su libertad de movimiento y su habilidad para obtener nuevos recursos de comida no se ven impedidas.

Las babosas y caracoles de jardín son nocturnos, probablemente porque este sea el momento de humedad más alta o de menor cantidad de calor deshidratante. También puede obedecer a que este sea el momento de ser menos susceptible para los depredadores. Pasan el día escondidos en el suelo o bajo los detritos. Cuando cae la noche, se mueven deslizándose en un único y muscular «pie» a través del cual secretan glicoproteínas, una mucosidad pegajosa de azúcares y proteínas.

Esta mucosidad se fabrica en las células localizadas en el pie muscular de la babosa o caracol y se exuda desde el centro del pie. Entonces los bordes exteriores del pie se alargan y deslizan hacia delante sobre la mucosidad. Las babosas y caracoles son capaces de alargarse hasta veinte veces el largo de sus cuerpos. El lubricante se endurece más tarde para formar caminos reconocibles por otras babosas y caracoles (y jardineros) o por la propia babosa cuando regresa tras buscar comida. Resulta increíble que la mucosidad contenga productos químicos que son odiosos para los depredadores, en caso de que el gasterópodo esté siendo seguido.

Las babosas y caracoles son hermafroditas, lo que significa que pueden autofertilizarse; sin embargo, la mayoría se fecunda por fertilización cruzada, lo que permite a ambos compañeros poner de cien a doscientos huevos traslúcidos hasta seis veces al año. Estos se depositan justo debajo de la superficie del suelo, donde pueden permanecer durante años hasta que las condiciones, básicamente de humedad, sean las adecuadas. Ecllosionan en tan poco tiempo como dos semanas si las condiciones acompañan, lo que suele ocurrir en los jardines. Las babosas y caracoles pequeños son diminutos, pero están preparados para comer como adultos y buscan comida tras uno o dos días de haber nacido. Regresan a su «nido» cada mañana durante los primeros meses; adquieren la madurez sexual al cabo de seis meses y están completamente desarrollados al cabo de aproximadamente dos años.



Una babosa roja en busca de comida. Gary Bernon, USDA-APHIS.

Puede que pienses que solo se comen tus cultivos de lechuga y col rizada, pero tanto las babosas como los caracoles se alimentan de hongos, algas, líquenes y materia orgánica en descomposición. Aunque cueste creerlo, no solo se alimentan de las plantas en la superficie. Se ha señalado que las babosas pasan apenas un 5 o 10 % del tiempo por encima de la superficie. Por cada babosa que ves sobre la superficie, hay tres o cuatro bajo tierra buscando comida en el suelo. Tanto las babosas como los caracoles poseen una rádula, una serie de dientes quitinosos parecidos a una escofina de madera, que permite a estos gasterópodos de jardín moler la comida hasta conseguir partículas muy finas. Muchas babosas y caracoles son capaces de digerir la celulosa.

Las babosas y caracoles tienen su lugar en la red de nutrientes del suelo. Aceleran la descomposición triturando su comida antes de consumirla. Al igual que los gusanos de tierra y algunos artrópodos, abren la materia orgánica para que los hongos y bacterias puedan acceder a ella. Sus viajes bajo tierra crean pasadizos para el aire, el agua y las raíces; la mucosidad que producen ayuda a unir el suelo. Ellos mismos son una fuente de comida para los escarabajos carábidos y estafilínidos (en particular en su estadio larval), arañas, culebras, salamandras, lagartos y pájaros. Algunos nematodos que se alimentan de babosas están ahora disponibles a nivel comercial; estos gusanos ciegos detectan la temperatura de una desafortunada babosa y la atacan; partes de la víctima serán la comida de un nematodo con suerte mientras que el resto quedará para la colonización y descomposición bacteriana y fúngica.

Cuando los gasterópodos forman parte de una red de nutrientes sana, sus números están bajo control; no se convierten en la peligrosa plaga que pueden ser en un jardín donde el uso de productos químicos y otras

prácticas dañinas ha desequilibrado el sistema.

12. Reptiles, mamíferos y pájaros

No dedicaremos mucho tiempo a estos animales más grandes. Para muchos jardineros son una plaga, pero las ardillas, ratones, marmotas, conejos, ardillas listadas, topillos, topos, perritos de las praderas, tuzas, serpientes, lagartos, todos ellos excavan y viajan por el suelo, mezclando, moviendo y depositando materia orgánica y ofreciendo pasadizos y reservorios para el agua y el aire. A pesar de todo, la mayoría de los jardineros preferiría no ver a ninguno de ellos en sus jardines y huertos, ya sea por miedo (reptiles) u odio (marmotas, conejos, topos, lo que sea si excava). ¿Y mencionamos a los alces y a los ciervos?

El papel que estos animales más grandes desempeñan en un huerto es muy distinto al que pueden jugar en otras partes del terreno. Pero con independencia de por dónde deambulen, su papel es importante y está apuntalado por microartrópodos y microorganismos, que los superan de largo en número en la red de nutrientes del suelo. El estiércol de todos los reptiles, mamíferos y pájaros sirve como fuente de alimento para otros miembros de la red de nutrientes del suelo que los reciclan como nutrientes. También llevan microbios en y sobre sus cuerpos y pies de un lugar a otro y, cuando mueren, sus cadáveres los descomponen la vida del suelo.



Las ardillas listadas siempre están ocupadas y sus actividades afectan a la red de nutrientes del suelo. Paul Bolstad.

Las actividades de los animales más grandes son más fáciles de observar y, por tanto, mejor conocidas que las de otros miembros de la red de nutrientes del suelo; pero al igual que todas las formas de vida, sus cantidades dependen del hábitat y los alimentos que requieren. La presencia de pájaros, en particular, indica que están presentes artrópodos, gusanos y larvas más grandes, así que ver pájaros yendo de aquí allá en tu césped o incluso en tu jardín debería ser reconfortante: hay una red de nutrientes que funciona. Por supuesto que lo mismo se puede decir de los topos que excavan tu terreno en busca de las larvas del escarabajo japonés. Puede que no quieras tener topos construyendo túneles en tu terreno, pero como sabes cómo funciona la red de nutrientes del suelo, por lo menos sabes que hay una fuente de alimento por algún lado que sustenta tu población de topos. Esto debería animarte a hacer algo respecto a los topos que no implique el uso de productos químicos y venenos.

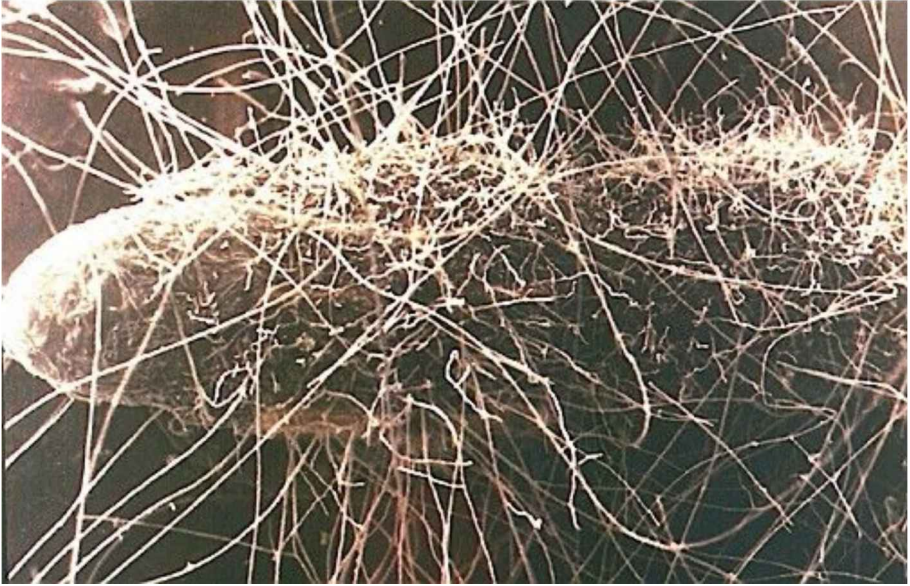
¿Cómo encajamos los humanos en la red de nutrientes del suelo? Tenemos un impacto enorme que no suele ser positivo. La mayoría de los jardineros y cultivadores nunca han oído hablar de los sistemas de la red de nutrientes del suelo, a pesar de que existen en todos lados, y no tienen la mínima noción del papel que juegan los microbios y artrópodos en ellos. Y, por supuesto, rara vez saben cuándo es suficiente y casi siempre alteran el fiel de la balanza de una red de nutrientes del suelo equilibrada.



Los petirrojos son unos grandes «taxistas» microbianos. Terry Spivey, USDA Forest Service.

El uso del motocultor; la fumigación con herbicidas, pesticidas, fungicidas y acaricidas; los suelos compactados; la eliminación del material orgánico de los terrenos y bajo los árboles; todas estas prácticas humanas afectan a la red de nutrientes del suelo de tu terreno y de tus jardines. Cuando se destruye un nicho, la red de nutrientes del suelo comienza funcionar de manera imperfecta. En el momento en que desaparece un miembro de un nicho, ocurre lo mismo. En ambos casos, el jardinero debe dar un paso adelante para colmar el vacío o el sistema fallará por completo. En vez de trabajar contra la naturaleza, sería mejor que el jardinero cooperara con ella; y esto, como hemos visto, no requiere mucho trabajo duro. Al menos no lo requiere si este entiende y colabora con la red de nutrientes del suelo, dejando que sus miembros hagan el trabajo.

SEGUNDA PARTE. APLICAR LA CIENCIA DE LA RED DE NUTRIENTES DEL SUELO AL TERRENO Y AL CUIDADO DEL JARDÍN



Hongos micorrícicos se extienden a partir de una raíz, lo que aumenta la capacidad de la planta para obtener nutrientes y agua. Mycorrhizal Applications.

13. Cómo se aplica la red de nutrientes del suelo a la jardinería

Ahora dispones de una apreciación de los numerosos beneficios que una red de nutrientes del suelo sana en funcionamiento te ofrece como jardinero y cultivador. Por supuesto que los ensayos de campo con flores cortadas en California serán diferentes de lo que sería ideal para los cultivos en surcos en Georgia pero, con independencia de tu clima, del tipo de suelo que tengas, las cosas solo mejorarán cuando pongas a todos esos hongos, bacterias, protozoos, nematodos, artrópodos y otros miembros de la red de nutrientes del suelo a trabajar para ti, veinticuatro horas al día, siete días a la semana, para que el tuyo sea un terreno mejor y un mejor jardín, y tú un mejor jardinero.

Primero, una red de nutrientes del suelo completamente activa tendrá una retención de nutrientes mejor en los suelos. Los cuerpos de todos sus miembros retienen (inmovilizan) materiales que se descompondrán a la larga en nutrientes para las plantas. Cada vez que se consume un hongo o bacteria y es asimilado por un protozoo o nematodo, se dejan atrás nutrientes en forma disponible para las plantas. Y dado que las plantas atraen a los hongos y bacterias a su rizosfera, los nutrientes que aportan están en el lugar idóneo para ser absorbidos.

A continuación, una red de nutrientes del suelo sana da como resultado una mejora de la estructura del suelo, comenzando por las bacterias que producen babaza que une las diminutas partículas del suelo en agregados más grandes. Las hifas fúngicas, los gusanos, insectos y sus larvas, e incluso los pequeños mamíferos viajan a través del suelo creando pequeños y grandes túneles. El resultado son los suelos con la porosidad adecuada, lo que permite la retención del agua y el drenaje además de la aireación, todo ello necesario para un crecimiento sano de las plantas.

Las redes de nutrientes del suelo ofrecen defensas contra las enfermedades y contra aquellos cuyo crecimiento poblacional y hábitos

podrían desbaratarla. Algunos miembros de la red de nutrientes del suelo actúan como policías, persiguiendo y capturando a los malos. Otros actúan como médicos, entregando vitaminas y hormonas. Los hongos y las bacterias sirven como barreras alrededor de las plantas que bloquean la entrada de herbívoros con la intención de llegar a las raíces, tallos u hojas; también compiten por los nutrientes, el espacio e incluso el oxígeno que los malos necesitan para sobrevivir.

Por último, los organismos de la red de nutrientes del suelo influyen el pH donde importa, justo en la rizosfera, lo que determina qué clase de nitrógeno, nitrato o amonio prevalece. Una planta que atrae y recibe su forma de nitrógeno preferida rendirá de forma óptima. La microbiología del suelo puede incluso ocuparse de los contaminantes, que es lo que realmente son los productos químicos aplicados a los céspedes y jardines, por no mencionar los contaminantes en el aire y, en algunos casos, en el agua. En una red de nutrientes del suelo sana, hay algo en el suelo que se come casi todo lo que puedes encontrar en el suelo, incluidas muchas cosas que el ser humano deposita, queriendo o sin querer.

Nuevas reglas

Hemos desarrollado diecinueve reglas sencillas para guiar al jardinero cultivador en el uso de la red de nutrientes del suelo (ver el apéndice para un sumario de la lista completa). Regla nº 1: Algunas plantas prefieren los suelos dominados por los hongos; otras prefieren los suelos dominados por las bacterias. Las plantas necesitan nitrógeno para producir aminoácidos; es crucial para su crecimiento y supervivencia. De ahí que los fertilizantes solubles de nitrógeno inorgánico funcionen tan bien para el crecimiento de las plantas a la vez que son perjudiciales para la red de nutrientes del suelo. En una solución acuosa, estos nitratos (NO_3^-) están disponibles de inmediato para las raíces de las plantas, que realmente actúan como esponjas. Como aniones, se disuelven en la solución acuosa en vez de adherirse al humus o a las arcillas como harían como cationes con carga positiva.

Las plantas tienen disponibles dos formas de nitrógeno cuando hay una red de nutrientes del suelo sana: nitratos y amonio (NH_4). Y, como ocurre con la mayoría de las cosas en la vida, cuando hay elección, algunas plantas prefieren el nitrógeno como nitrato y otras como amonio.

Cuando los nematodos y los protozoos consumen hongos y bacterias, el nitrógeno se libera en forma amoniacal en la corriente de desechos. El

amonio se oxida rápidamente o se convierte en nitratos por las bacterias fijadoras del nitrógeno cuando están presentes en el suelo en suficientes números. Esto suele ser la norma cuando los suelos están dominados por bacterias en comparación a los hongos porque la babaza que producen las bacterias del suelo tiene un pH superior a 7, el entorno adecuado para las bacterias nitrificadoras. En los suelos dominados por las bacterias, las bacterias nitrificadoras prosperan.

Los hongos propician mediciones de pH más bajas porque producen ácidos orgánicos para descomponer la materia orgánica y obtener nutrientes. Si hay suficientes ácidos fúngicos para contrarrestar la babaza bacteriana, el pH del suelo cae por debajo de 7, convirtiendo el entorno en ácido y, por tanto, cada vez más inadecuado para las bacterias nitrificadoras. Más amonio permanece como amonio.

Como jardinero, debes darte cuenta de que las plantas en tu terreno no son una excepción a la regla nº 1. Los fertilizantes de nitrógeno soluble que usas no solo eliminan la vida de los microbios en la red de nutrientes del suelo, sino que puede que no sean el mejor tipo de fertilizantes para las plantas que pretendes cultivar. Por lo general, las plantas pueden sobrevivir usando incluso la forma menos preferida. Sin embargo, las plantas rinden mejor con una forma de nitrógeno frente a la otra.

Quién quiere qué

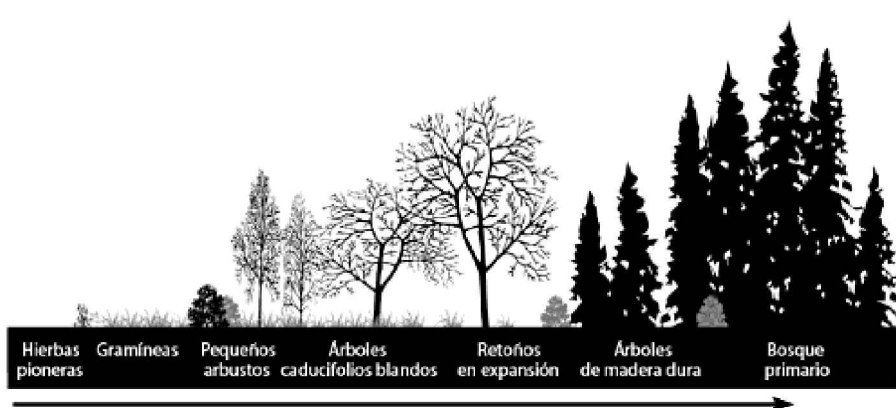
La respuesta a lo que una planta en concreto prefiere se encuentra en las dos siguientes reglas de cultivo de la red de nutrientes del suelo. La regla nº 2 señala que la mayoría de las hortalizas, anuales y gramíneas prefiere el nitrógeno nítrico y rinde mejor en suelos dominados por bacterias. La regla nº 3 indica que la mayoría de árboles, arbustos y perennes prefieren el nitrógeno amoniacal y rinden mejor en suelos dominados por los hongos.

Estas dos reglas eliminan las conjeturas de lo que podría haber sido una de las cosas más difíciles a la hora de empezar a cultivar con la red de nutrientes del suelo. Las reglas facilitan adivinar qué le gusta a quién pero, una vez que entiendas lo que está detrás, lo valorarás incluso más.

Las comunidades de sucesión más tempranas están dominadas por las bacterias. A medida que más material orgánico se acumula en los productos de desecho de estos organismos y la vida vegetal que sustentan, las esporas fúngicas tienen por fin suficientes nutrientes disponibles para germinar. Con un lugar para asentarse y los recursos para sustentarse, los hongos resultantes prosperan.

Otros muchos factores desempeñan un papel pero, para ceñirnos a lo que nos interesa, a medida que la vida vegetal y la red de nutrientes del

suelo se diversifican, la cantidad de hongos se incrementa y más plantas de vida corta como las anuales dan paso a las plantas perennes de las praderas que son más permanentes. Se produce más materia orgánica que ofrece alimento a poblaciones fúngicas en constante crecimiento. Aparecen los arbustos y les siguen los árboles caducifolios blandos, expandiéndose con los retoños, los árboles de madera dura, y finalmente la clase de coníferas que se encuentra en los bosques primarios. Mientras tanto, la biomasa fúngica crece en proporción a las bacterias, las cuales no pueden competir en absoluto porque están limitadas a asimilar los azúcares simples y otros carbohidratos cuya disponibilidad se ve limitada por la masa creciente de plantas más complicadas repletas de lignina y celulosa.



Sucesión de las plantas de hierbas en un suelo desnudo a bosques primarios.
Tom Hoffman Graphic Design.

Si salimos de la playa, por decirlo de alguna manera, pasando por los herbazales a las viejas coníferas, cada paso incrementa el dominio de los hongos. Parte de este incremento se explica por la naturaleza tentativa de la vida vegetal temprana. Es difícil formar relaciones micorrícicas con las raíces de las plantas cuando estas mueren tras un corto periodo de tiempo. Para eso es mejor vivir solo, pues la relación carece de ventajas.

Parece ser que hay casi el mismo número de bacterias —de cien millones a mil millones— en una cucharadita de suelo de un jardín, pradera o bosque. La diferencia en el dominio de los hongos sobre las bacterias tiene que ver en general con el incremento de la biomasa fúngica, y no con la disminución de la biomasa bacteriana. Las plantas que normalmente crecerían cerca de la «orilla» en el continuo prefieren los jardines o terrenos dominados por las bacterias, y las que crecen hacia el otro extremo, el lado de los bosques primarios, rinden mejor en

suelos dominados por los hongos. La transición ocurre en las plantas de las praderas, que son como el equilibrio entre los dos polos. Esto, por otra parte, es análogo al césped de tu casa.

Otra manera de averiguar qué clase de nitrógeno preferirá una planta en concreto se basa en considerar cuánto vive. Si solo va a vivir en el suelo una temporada, como ocurre con las hortalizas y las anuales, entonces sabes que su forma preferida de nitrógeno es el nitrato. Cualquier cosa en el suelo que dure un año o más preferirá por lo general grandes cantidades de amonio. Esto es algo que, además, tiene sentido. Recuerda que los números de las bacterias se mantienen más o menos iguales en todos los entornos de crecimiento; es el aumento de la biomasa fúngica lo que cambia la proporción. Los hongos son organismos muy frágiles y requieren tiempo para crecer. Si son hongos micorrícicos, lo que sucede con muchos hongos del suelo, entonces necesitan tener una raíz viva con la que asociarse. Cuanto más tiempo esté viva esa raíz, más largos serán los hongos micorrícicos, por decirlo así. (Puede que no sean más largos, sino que tenga más ramificaciones.) Y, por último, los desechos de las plantas que viven una temporada aproximadamente no suelen tener la lignina ni la celulosa que son una buena fuente de alimento fúngico. Estos están repletos de celulosa casi exclusivamente, algo que gusta a las bacterias. Entonces mandan las bacterias.

	JARDÍN	PRADERA	BOSQUE
BACTERIAS	100 m. a 1.000 m.	Igual	Igual
HONGOS	Varlos metros	10 a 100 metros	2 a 60 kms (en coníferas)
PROTOZOOS	Miles	Miles	Cientos de miles

Poblaciones microbianas (recuento de bacterias y protozoos; longitud de las hifas fúngicas) en una cucharadita de varios suelos. Tom Hoffman Graphic Design.

proporción de biomasa hongos/bacterias

Para algunas de las plantas en concreto que te encuentres, la proporción ideal de biomasa hongos/bacterias (ratio H:B) ha sido observada y medida. Para emparejarla, puedes incrementar los hongos añadiendo alimentos fúngicos, o favorecer a las bacterias añadiendo comida bacteriana; en capítulos posteriores se explicará cómo hacerlo (o consulta el apéndice para un resumen de las cosas concretas para conseguirlo).

Si eres un cultivador de hortalizas, debes intentar conseguir una biomasa que tenga una pizca más de bacterias que de hongos. En

concreto, los cultivos de zanahorias, lechugas, brécol y col prefieren un ratio H:B de 0,3:1 a 0,8:1; los tomates, maíz y trigo se sitúan en un ratio H:B de 0,8:1 a 1:1. Los céspedes prefieren un ratio H:B de 0,5:1. Los laboratorios de análisis agrícolas analizarán tu suelo y te darán el ratio H:B.

Los árboles requieren un ratio H:B más alto. Los suelos de los bosques, donde se originaron muchos de los árboles y arbustos ornamentales, tienen una biomasa de hongos cien veces superior a la de bacterias. Las coníferas requieren los suelos más dominados por los hongos con un ratio H:B de 50:1 a 1000:1. Los arces, robles y álamos requieren menos hongos con un ratio H:B de 10:1 a 100:1. Los especímenes de huerto rinden mejor en suelos con un ratio H:B de 10:1 a 50:1; y algunos árboles (aliso, haya, álamo temblón, álamo norteamericano y otros que se originaron en los ecosistemas ribereños) en realidad rinden mejor en suelos dominados por las bacterias cuando son jóvenes y en suelos dominados por los hongos (con un ratio H:B de 5:1 a 100:1) cuando maduran.

A aquellos de vosotros a los que les gusten las flores querrán saber que la mayoría de las anuales prefiere suelos dominados por las bacterias, mientras que la mayoría de las perennes prefiere suelos con una dominancia fúngica. De nuevo, la cantidad de tiempo que vive una planta influencia las reglas.

Los arbustos suelen preferir una dominancia fúngica más pronunciada que las vivaces (son de vida larga, así que siguen las reglas). Las nativas de los bosques de coníferas, en contraposición a las de los bosques caducifolios, requieren un ratio H:B más alto. El rododendro, por ejemplo, requiere una dominancia fúngica muy fuerte, mientras que el contoneaster o la lila se contentan con menos.

Hay más reglas por venir, pero no olvides las reglas nº 2 y 3 porque la gestión del nitrógeno es fundamental para el éxito en un terreno o en un jardín.

14. ¿Qué aspecto tienen tus redes de nutrientes del suelo?

Si vas a utilizar la ciencia que acabas de conocer, lo primero que tienes que saber es el estado actual de las redes de nutrientes del suelo en tu terreno. Una vez has establecido una base, entonces puedes determinar lo que hay que hacer para conseguir la mejor red de nutrientes para lo que sea que estés cultivando.

Realiza un censo

¿Mencionamos redes de nutrientes del suelo en plural? A estas alturas del libro, esto no debería sorprender. Distintos lugares producen distintos exudados que atraen a distintos hongos y bacterias. Estos, a su vez, atraen a diversos organismos depredadores. Así que, tal y como esperarías, la vida del suelo alrededor de las raíces de los árboles a un lado de tu casa será completamente diferente a la que rodea a las raíces de tus hortalizas, que es distinta a la vida del suelo que sustenta tu césped y, posiblemente, incluso a la de los árboles que se encuentran al lado de tu propiedad.

Las zonas que fueron expuestas en el pasado a los fertilizantes comerciales tendrán menos vida en el suelo que aquellas que se mantuvieron en un estado natural. Partes de tu terreno que fueron compactadas en exceso o por donde pasó el motocultor con frecuencia tendrán menos hongos y gusanos que aquellas que dejaste sin molestar. Puede que tengas un huerto o una plantación inicial de coníferas. Es importante averiguar cuál es la vida en las distintas redes de nutrientes del suelo de tu terreno. Para ello debes ir inspeccionando el suelo y averiguar qué hay.

Las imágenes de este libro ya te avisaron: puede que encuentres cosas en el suelo que, al examinarlas de cerca, te causen pavor. (En general, desaconsejamos poner nada bajo un microscopio electrónico. A ese nivel,

¡toda la vida tiene dientes!) Lo que queremos decir es que, cuando le eches un vistazo a algunos de los microartrópodos presentes en el suelo, puede que nunca quieras poner las manos en el suelo otra vez. A veces la ignorancia realmente es una bendición; sin embargo y en este caso, unos pocos conocimientos no te harán ningún daño y, en realidad, te ayudarán a ser mejor jardinero. Simplemente recuerda que ponías las manos en el suelo antes de saber lo que había y nunca te lastimaste.

Tendrás que repetir el procedimiento siguiente con los suelos de cada una de tus zonas de jardines y céspedes, e incluso alrededor de árboles y arbustos en concreto. Nosotros hemos hecho esto docenas de veces en nuestros terrenos y lo que encontramos nunca deja de asombrarnos.

Primero encuentra a los animales más grandes

Comienza excavando un agujero en suelo de unos 30 cm². Usa una pala más o menos grande, no importa, las medidas no tienen que ser exactas. Pon todo el suelo que extraigas en una lona o en una caja para poder cribarlo en busca de los animales más grandes que puedas encontrar en el suelo: gusanos, escarabajos, larvas de insectos, cualquier organismo que puedas ver a simple vista y recoger sin tener que recurrir a unas pinzas. Haz un seguimiento de lo que te vayas encontrando.

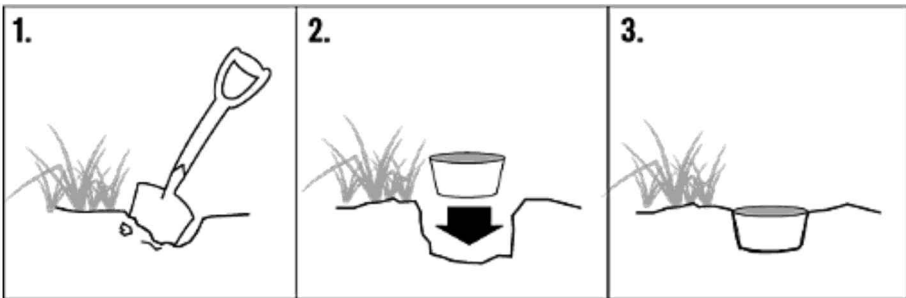
Ninguno de nosotros está entrenado para identificar todos los organismos en nuestros suelos y, sinceramente, las variedades que hay son tan grandes que exceden el alcance de este libro. Hazlo lo mejor que puedas a la hora de identificarlos; recurre a la ayuda de otros. Con el tiempo te volverás lo suficientemente competente en este propósito. La novedad y la mera exposición a la misma hará que el proceso de aprendizaje sea más fácil. A nosotros no nos llevó mucho tiempo, y a ti no te llevará mucho tiempo familiarizarte con los organismos de la red de nutrientes del suelo.

Si encuentras gusanos o sus turrículos, es una buena señal. Recuerda que los gusanos sirven de alimento para los pequeños mamíferos y comen bacterias, hongos y protozoos, y algún que otro nematodo. Si los gusanos están en tu muestra, con toda probabilidad todo un conjunto de organismos de la red de nutrientes del suelo está atareado trabajando en ese suelo, y probablemente se trate un buen suelo orgánico con una bonita textura. De igual forma, la presencia de milpiés y ciempiés, escarabajos, arañas, colémbolos e incluso unas pocas babosas y caracoles indica una la red de nutrientes del suelo sana. Si te encuentras con estos, tienes una buena ventaja de salida. Ya has comenzado a colaborar con los microbios, por no mencionar a los macroartrópodos y gusanos.

	JARDÍN	PRADERA	BOSQUE
ARTRÓPODOS	<100	500-2000	10,000-25,000
GUSANOS DE TIERRA	5-30	10-50	10-50

Cantidad de organismos visibles en 30 cm cuadrados de diversos suelos. Tom Hoffman Graphic Design.

Sin embargo, para asegurarte de que realmente estás capturando lo que hay en tu suelo, tienes que tender trampas. Muchos organismos de la red de nutrientes del suelo vagan por la superficie del suelo durante todo o parte del día. Para hacer un recuento del máximo posible, necesitarás enterrar un contenedor de un litro dejando el borde a ras de suelo. Si vives en un lugar lluvioso, coloca algún recubrimiento (un paraguas abierto funcionará) que impida que el agua entre en la trampa. A continuación, vierte aproximadamente un centímetro de anticongelante de automóvil que sea seguro para los animales o echa una bola de alcanfor o dos, y déjalo estar varios días o una semana. Diseña tantas trampas como zonas estés analizando.



Una sencilla trampa te permitirá realizar un censo de los animales más grandes en tu suelo. Tom Hoffman Graphic Design.

Los incautos gasterópodos y macroartrópodos caerán en estas sencillas trampas para ser contados luego. Registra las trampas visualmente de vez en cuando para ver lo que has capturado. Si tienes niños o mascotas, deja a un lado el anticongelante y opta por las bolas de alcanfor. Ambos se usan para matar a las presas y que no se coman entre ellas y estropeen el censo; no sirven para atraer, así que no son absolutamente necesarios. Al final de la semana deberías encontrar unos pocos artrópodos tales como escarabajos, milpiés y ciempiés. Puede que encuentres algunas babosas e incluso un gusano o dos.

Lleva un registro de todas tus trampas. ¿Que las trampas están vacías? Eso significa que tienes que hacer mucho trabajo para restaurar las redes

de nutrientes del suelo de tu terreno. Si hay pocos de los más grandes participantes en las redes de nutrientes del suelo, eso significa que algún eslabón o eslabones anteriores de las cadenas tróficas están ausentes.

Cuenta los organismos más pequeños

Para inspeccionar los microartrópodos necesitas una clase de trampa distinta: un embudo de Berlese, llamado así por Giovanni Berlese (1863-1927), el científico que lo inventó.

Puedes construir fácilmente tu embudo de Berlese. Primero, corta la base de una botella de plástico de un litro, del tipo en el que vienen embotellados los refrescos y zumos. Voltea la botella de forma que la boca mire al suelo (esto es el embudo). A continuación, coloca una malla metálica de 5 cm con aperturas de 1,5 a 3 mm en la botella para que se asiente en el cuello. Nada mayor que las aperturas de la malla pasará por ella.

A continuación, coloca la boca de la botella en un contenedor de un litro. El contenedor tiene dos fines. El primero es actuar como depósito para recoger los organismos que traspasen la malla y lleguen al cuello del embudo. El segundo es sostener el embudo y darle estabilidad. Se trata, después de todo, de una botella de refrescos boca abajo y no se sostiene bien. Nosotros usamos contenedores grandes de yogurt o queso fresco porque tienen el tamaño perfecto para sostener la botella y son fáciles de encontrar.

El siguiente paso consiste en llenar el embudo de tierra y broza, los desechos orgánicos que se encuentran encima del suelo con un grosor de pocos centímetros. Comienza con un jardín en concreto o tu césped y toma una muestra de unos 20 cm de profundidad.

Si quieres hacer las cosas de forma un poco más científica, vierte un poco de anticongelante o etanol en el contenedor para que cubra justo el fondo. Cualquiera de los dos matará todos los organismos para que no se coman entre ellos antes de que puedas observar tu captura. Puedes saltarte este paso sin miedo a que los bichos abandonen el contenedor; el plástico es demasiado resbaladizo. Unos pocos organismos serán pasto del canibalismo, a medida que la locura por alimentarse en el suelo continúe en el contenedor; esto puede ser un espectáculo de una fascinación mórbida.

Acto seguido, aplica calor. Esto hace que la vida en tu mezcla se mueva de la tierra (donde se está perfectamente a gusto) al contenedor. Suspende una bombilla de 40 a 60 vatios sobre la parte abierta del embudo (o colocarlo bajo una luz existente de una potencia similar) lo conseguirá. La parte superior del embudo debería estar unos 15 cm por

debajo de la fuente de calor. Ten cuidado: puede que tengas la mejor red de nutrientes del suelo en funcionamiento, pero si le prendes fuego a la casa al sobrecalentar los materiales en tu embudo de Berlese, a tu pareja no le hará mucha gracia con independencia de lo estupendo que esté el jardín.

Enciende la luz y deja el embudo de Berlese sin molestar por lo menos tres días. La luz y el calor empujarán a los organismos del suelo a través de la malla hasta el miniestanque del contenedor. Algunos ponen unas bolas de alcanfor encima de la tierra en vez de usar el calor de una bombilla con idénticos resultados: una diminuta estampida de microartrópodos y otros organismos hacia tu observatorio. Puedes echar un vistazo todas las veces que quieras, pero no pares el proceso durante al menos tres días (lo mejor es una semana) si deseas conseguir toda la vida posible en tu contenedor.

Ahora toca contar la captura. Tu mejor opción es observar el contenido del contenedor con una lupa o un «MacroScope», un monocular que te permite quedarte a la distancia de un brazo, pero poder ver los microartrópodos atrapados y el gasterópodo ocasional como si estuvieran a solo un par de centímetros del ojo.

Lo que nos sorprendió (y, sinceramente, a pesar de todas las investigaciones que hemos realizado para este libro, continúa sorprendiéndonos) la primera vez que hicimos esto fue la cantidad de seres vivos que vimos: ácaros, media docena de animales en distintos estadios larvales, diminutos escarabajos, colémbolos y mucho más. Básicamente, nunca habíamos visto antes a la mayor parte de estos bichos. Uno espera que esto pase cuando el asunto tiene que ver con microbios pero, en cuanto jardineros de toda la vida (que han vivido una vida relativamente larga y han pasado demasiado tiempo cavando suelo), pensábamos saber lo que vivía allí. Estamos seguros de que te sorprenderás de igual manera y sentirás la misma clase de asombro.

Dado que las poblaciones de micro y macroartrópodos son distintas en distintas áreas y dado que es importante que por lo menos tengas una idea general de lo que hay normalmente en tu red de nutrientes del suelo, puede que tengas que ponerte en contacto con alguna cooperativa local o alguna agencia de agricultura para recabar información sobre lo que has recogido. También puedes contactar con la universidad más cercana. Y hay muchos recursos disponibles en internet.

Hay que admitir que los censos no son perfectos. Atrapas lo que estaba por ahí en el momento que tendiste las trampas, pero se trata de una instantánea de por lo menos los miembros móviles de la red de nutrientes del suelo. Una población diversa y numerosa de microartrópodos en la base de captura de un embudo de Berlese es una

buena señal de que las cosas están bien encaminadas y sugiere que una buena población de microorganismos está presente. De igual forma, la ausencia de diversidad y número debería ser causa de cierta preocupación; necesitarás trabajar para que vuelvan.

«Contar» microorganismos

¿Cómo valoras la población de microorganismos que son, después de todo, la principal fuente de retención de nutrientes y reciclaje en la red de nutrientes del suelo? La cantidad de nematodos, protozoos, bacterias y hongos ayudará a saber qué nutrientes están disponibles para tus plantas y la habilidad del suelo para mineralizar e inmovilizar estos nutrientes. Si sabes lo que hay en el suelo, sabes lo que falta aunque, cuando se trata de microorganismos, nosotros somos los primeros en admitir que no podrás determinar con precisión lo que hay en tu suelo, incluso con un potente microscopio. Sin embargo, sí serás capaz de identificar nematodos, algún protozoo y algas, y por lo menos ver (pero no identificar) bacterias. Es mejor dejar las mediciones exactas a los profesionales.

Pero, primero, vamos a inferir algunas cosas. Si encontraste muchos gusanos de tierra en tu muestra, es probable que tus suelos contengan buenas poblaciones de bacterias, protozoos y demás, porque esto es lo que suelen comer los gusanos. Y en algunos suelos y mantillos puedes encontrar evidencias de hongos, ya sean micelios (donde hay materia orgánica en descomposición) o cuerpos fructíferos en forma de setas. Si ya te preocupas por tu propiedad y no usas pesticidas, fungicidas y fertilizantes basados en sales, y sabes que la materia orgánica que depositas en tu terreno y jardín se descompone rápidamente (en unos seis meses en una zona templada), ahora tienes otra evidencia sólida de que los miembros de la base de tu red de nutrientes del suelo están por lo menos relativamente sanos.

A lo mejor no te convence la idea, pero puedes medir algunas poblaciones de nematodos hasta cierto punto. Primero, hazte con un embudo de Berlese o de cocina y coloca un tubo de goma látex de tipo quirúrgico del largo de una mano en el extremo más pequeño; sujeta el tubo de goma y cierra la salida del embudo con una pinza reversible. A continuación, recoge unos puñados de tierra y mézclalos con agua sin cloro para que forme un fango espeso pero un tanto líquido. Rellena la mitad del embudo con el fango y añade más agua para que lo cubra generosamente. Los nematodos se hundirán hasta el cuello del embudo. Tras veinticuatro horas, abre y cierra la pinza reversible rápidamente y examina el concentrado que has soltado con la mejor ampliación que

puedas. Un microscopio y unas pocas gotas en una lámina producirán un gran espectáculo.

Pero, de nuevo, conseguir una valoración precisa de la población microbiana requiere la experiencia y el equipamiento sofisticado de laboratorio de un profesional. Los análisis tradicionales del suelo determinan sus deficiencias básicas (análisis NPK) y miden el pH y la CIC. Estos resultan útiles pero, para los propósitos de la red de nutrientes del suelo, la evaluación de la cantidad de hongos y bacterias resulta particularmente crítica.

Es muy sencillo que cualquier laboratorio agroalimentario realice un análisis de nematodos de los suelos; y los protozoos se pueden ver con microscopios relativamente baratos. Si tienes un buen número de nematodos beneficiosos y apenas población de malos (o ninguna), sabes que dispones de una buena capacidad de reciclar nutrientes. Lo mismo ocurre si tienes un montón de protozoos. Pero lo que también quieres saber, por parte de cualquier laboratorio que analice tu suelo biológicamente, son las cantidades de biomasa. ¿Cuánta biomasa fúngica hay en tu suelo? ¿Qué cantidad de biomasa bacteriana? Ahí es donde se almacenan los nutrientes, en los cuerpos de los hongos y las bacterias. Esta información determinará qué tipo de organismos dominan en tus suelos y en qué proporción existen. Cada vez más laboratorios de análisis agrónomos reconocen el valor de analizar los suelos por su microbiología. Deberías poder encontrar un laboratorio que satisfaga tus necesidades. Provisto con resultados de tus propios sondeos visuales y estos test microbiológicos de laboratorio, sabrás lo que está activo en tu suelo e, implícitamente, lo que no está ahí. A continuación, debes aprender lo que puedes hacer para mantener y ayudar a los miembros existentes de la red de nutrientes del suelo; y si algunos no están presentes, estos pueden ser activados mediante las técnicas de cultivo de la red de nutrientes del suelo.

**EJEMPLO DE ANÁLISIS DE UNA MUESTRA DE COMPOST
DATOS DE LA BIOMASA ORGÁNICA***

Número de muestra	Identificador	Peso seco por 1 g	Biomasa bacteriana		Biomasa fungica		Diámetro de las raíces	Protozoos		Número total de nematodos / g	
			activa (µm/g)	total (µm/g)	activa (µm/g)	total (µm/g)		Cantidad por g	Ciliados		
363	NW Vermi	0,31	188	4002	46	4926	2,75	1136894	146882	1831	48,1
364	KUS- Térmico	0,3	458	2193	32,7	5959	3	489291	19478	1557	67,2
		Ambos demasiado húmedos; dejar secar el material para evitar condiciones anaeróbicas	Ambos excelentes	Ambos excelentes	Ambos excelentes	Ambos excelentes	Presencia comunidades fungicas de lucha contra enfermedades en ambas muestras	Excelente cantidad de protozoos. Este material se inoculará bien en el suelo con los protozoos cuando se aplique.	Un número elevado de ciliados indica una buena estructura del compost. Los agregados pueden ser anaeróbicos en el interior, pero a medida que los elementos anaeróbicos se van de los agregados, encuentran condiciones aeróbicas, como indican las cifras elevadas de flagelados y amebas. Esto indica una amplia variedad de micrositios y por tanto una variedad de bacterias y hongos excelente.	Buena cantidad y diversidad. Posible presencia de migrantes. Hay que mantener los hongos adecuados para proteger las plantas.	
Cantidad óptima		0,45-0,85	15-25	100-3000	15-25	100-300	(A)	10000+	10000+	50-100	20-30

El compost en proceso de descomposición puede tener una actividad que oscila de 10 a 100%. El compost maduro debe tener una actividad entre 2 y 10%. La biomasa y la actividad fúngica dependen mucho de la planta cultivada. La cantidad óptima indicada aquí es para un compost 1.1.

A - El diámetro de la hifa de 2.0 indica sobre todo hifas de actinomicetos; 2.5 indica que la comunidad es principalmente de ascomicetos, hongos típicos de praderas; los diámetros de 3.0 o más indican una comunidad fuertemente dominada por hongos beneficiosos, una comunidad de basidiomicetos.

En la elaboración de la estructura óptima de la red alimenticia deben tenerse en cuenta la estación, la humedad, la tierra y la materia orgánica.

00363: Compost maduro procedente de Illinois (Estados Unidos). Olor medio
Utilizar en la preparación del té de compost

00364: Compost maduro, olor medio

Muestra	Intento	Notas
363	Actividad	Presencia de actinomicetos
363	T.F.	Buena diversidad y diámetros de hifas entre 1,5 y 0,8
364	T.F.	Excelente diversidad y diámetros entre 1,5 y 20 y principalmente 3 y muchas hifas largas

*Análisis realizado por el laboratorio Soil Food Web, Inc.

RELACIONES ENTRE LOS ORGANISMOS

Número de muestra	Identificador	Biomasa bacteriana total / Biomasa fúngica total	Biomasa fúngica activa / Biomasa fúngica total	Biomasa bacteriana activa / Biomasa bacteriana total	Biomasa fúngica activa / Biomasa bacteriana activa	Alimentación en N disponible para la planta procedente de depredadores (kg / semi-hectárea)	Presencia de nematodos que alimentan las raíces
363	NW-Verm	1.23	0.01	0.05	0.24	150+ pero pérdida de N	No detectada
364	KIS-Térmico	2.72	0.01	0.21	0.07	150+ pero pérdida de N	No detectada
Cantidad óptima		*(1)	*(2)	*(2)	*(3)	*(4)	*(5)

(1) Para las siguientes plantas, gramíneas: 0.5-1.5; bayas: arbustos: viña: 2-5; árboles de hoja caduca: 5-10; coníferas: 10-100.

(2) Los organismos activos en el compost deben estar por debajo de 0.10. El compost no está maduro ni estable si está por encima de 0.10

(3) Para las plantas anuales, la relación debe ser de 1 o menos; para las perennes, debe ser de 2 o más.

(4) Basado en la liberación de N por el consumo de bacterias y hongos por protozoos y nematodos. A menudo los protozoos y nematodos compiten por la búsqueda de alimento. Cuando unos tienen niveles altos, los otros los pueden tener bajos. Del mismo modo, cuando el número de depredadores es elevado, la cantidad de presas es menor.

(5) Identificación al género.

NEMATODOS POR GRAMO DE COMPOST

	363	364
DEPRADADORES DE BACTERIAS		
Butlerius	4,86	1,04
Cuticularia	7,42	14,62
Eucephalobus		0,35
Mononchooides	0,77	
Plectus		1,04
Rhabditidae	1,53	1,04
Rhabdolaimus		0,35
DEPRADADORES DE HONGOS		
Aporcelaimus		0,35
Mesodorylaimus		0,35
DEPRADADORES DE HONGOS Y RAICES		
Aphelenchus	0,26	
Ditylenchus	0,26	0,70

15. Herramientas para la restauración y el mantenimiento

Ahora que tienes una idea de lo que puebla tu suelo, es el momento de poner en marcha las acciones necesarias para asegurar que tus redes de nutrientes del suelo ofrecen a tus plantas lo que necesitan en forma de nutrientes y protección.

Compost, acolchado y té de compost

Aquí es donde comienzas a colaborar con los microbios y te conviertes en un cultivador de la red de nutrientes del suelo. Para la mayoría de los suelos, tu primer objetivo será restaurar una red de nutrientes del suelo diversa y completa. A medida que regresen los organismos beneficiosos, verás la diferencia no solo en los suelos sino también en tus plantas. Algunas zonas (céspedes y camas de anuales, por ejemplo) responden muy rápido; otros sitios tendrán redes de nutrientes del suelo que requieran más tiempo para establecerse o cambiar. Gran parte de la respuesta de tu terreno tendrá que ver con las prácticas anteriores. Si en el pasado saturabas tu terreno con pesticidas, herbicidas, fungicidas comerciales o fertilizantes químicos basados en sal, puede que tengas que reestablecer por completo las redes de nutrientes del suelo; esto puede llevar un año o más. Los jardineros que han sido «orgánicos» no necesitan más que afinar sus redes de nutrientes del suelo establecidas, mediante el empleo de nuevas prácticas o la intensificación de otras.

Es sencillo. Compost, acolchado y té de compost (y a veces hongos micorrícicos) son las herramientas del cultivador de la red de nutrientes del suelo y, cuando se usan, solo se requieren tres estrategias para restaurar la red: aplicar el compost adecuado; aplicar el acolchado de forma adecuada, con las clases adecuadas de materia orgánica; y aplicar té de compost aireados activamente (TCAA). Una vez establecidas las redes de nutrientes del suelo, se pueden mantener con las mismas

estrategias bien individualmente bien en combinación. Si se emplean bien, estas herramientas de gestión sustituirán a los fertilizantes convencionales con sustancias químicas. Estas herramientas alimentan a los microbios que alimentan a las plantas. Si mantienes a los microbios contentos, sanos y diversificados, obtendrás resultados excelentes.

El compost ha sido usado para sustentar a los organismos de la red de nutrientes del suelo desde mucho antes de que nadie supiera que existían. Es un medio de crecimiento probado y efectivo. El compost puede inocular una zona con microbios que sustentan la red de nutrientes. El compost elaborado de la forma correcta contiene el complemento completo de microorganismos de la red de nutrientes del suelo: hongos, bacterias, protozoos y nematodos. Además, está repleto de materia orgánica que ofrece espacio para vivir y nutrientes para la cuadrilla de microbios que contiene. El compost acabado nunca huele mal, lo que debería ser una señal inequívoca de que los microbios anaeróbicos están haciendo de las suyas. Debería tener un olor terroso y fresco, y siempre tiene el color de un café rico y oscuro. La única cautela es que en los tiempos modernos uno tiene que saber qué se utilizó para hacer el compost, pues muchas de las sustancias químicas que queremos evitar no se descomponen lo suficiente en el compost.

Los mantillos orgánicos también son una herramienta de cultivo eficaz para la red de nutrientes del suelo. Por orgánico queremos decir materiales naturales repletos de carbono y nitrógeno, es decir, hojas, recortes de césped y virutas de madera. Estos ofrecen el entorno adecuado para los organismos de la comunidad del suelo y mucho alimento orgánico para que puedan sobrevivir. Después de todo, estos materiales son los que componen la pila de compost. El acolchado es una especie de compost frío: no se calienta como la pila de compost, pero se descompondrá durante un largo periodo de tiempo. Al ofrecer diferentes clases de materia orgánica como el acolchado, puedes establecer o suplementar a diferentes miembros de la red de nutrientes del suelo, más de los que ofrecerán el tipo de nitrógeno que prefieran las plantas que crecen en esa zona.

El té de compost aireado activamente es un líquido que se extrae fácilmente del compost. Si el TCAA se hace de forma correcta, este contendrá el mismo conjunto de microorganismos que el compost del que deriva. La expresión «té de compost aireado activamente» se emplea para distinguir estos té de compost modernos de los té de la vieja escuela que quizás tus padres o abuelos elaboraban dejando en remojo una bolsa de compost o estiércol durante unas semanas. El TCAA se elabora introduciendo aire en una mezcla de compost, agua declorada y nutrientes microbianos. A diferencia de los té tradicionales que

terminan siendo anaeróbicos, el TCAA permanece aeróbico, y los microorganismos aeróbicos son los beneficiosos. La energía del aire que burbujea en la mezcla arranca a los microbios del compost y los lleva al té. Ahí crecen y se multiplican, formando un estofado de microbios de la red de nutrientes que puede aplicarse al suelo.

Los té de compost aireado son más fáciles de hacer y de aplicar que el compost y tienen una mayor concentración de microbios, así que no necesitas tanto té para inocular una zona como sí necesitarías con un compost ordinario. Estos té también se pueden pulverizar sobre la superficie de las hojas, donde el compost no se adhiere. Y ahí los microbios beneficiosos superan a los patógenos en la lucha por el alimento y el espacio.

Más trabajo ahora, menos más tarde

El uso adecuado del compost, acolchado y té de compost reducirá significativamente la cantidad de trabajo que requiere el mantenimiento de terrenos y jardines. Hacer la conversión de sustancias químicas a microbios entraña un poco de trabajo, pero a la larga, una vez que pases a una marcha más larga y hagas los cambios necesarios, habrá menos trabajo que hacer. Los microbios estarán trabajando para ti. Necesitarás regar menos, pues los animales de la red de nutrientes habrán mejorado la capacidad de retención del agua y el aire de tu suelo. No necesitarás fertilizar porque habrá un reciclaje adecuado de nutrientes en el suelo. Y tendrás la seguridad de que tus plantas reciben la clase de hidrógeno que prefieren.

Tendrás menos problemas relativos a la salud de tus plantas y algunas herramientas efectivas y fáciles de usar si las cosas van mal. Y si todo esto no te ahorra tiempo y esfuerzo, no tener que pasar el motocultor o remover el suelo —nunca más— seguro que lo hace. Lo mejor de todo es que no habrá productos químicos peligrosos; no habrá lixiviación en la capa freática. Cuando colaboras con los microbios, no hay letra pequeña que leer, ni tampoco problemas de salud para ti, tu familia o tus mascotas.

Has visto de forma sucinta cuáles son las herramientas principales de la red de nutrientes del suelo; cada una merece y tendrá su propio capítulo. Una vez que empieces a aplicar todas las reglas utilizando estas herramientas, estamos seguros de que ya no mirarás atrás.

Pero antes, una rápida mirada hacia delante

Y por lo que depara el futuro, ¿quién sabe? Tras el descubrimiento del

doctor Frank, los hongos micorrícicos están por fin disponibles para la compra por parte de los jardineros domésticos que los necesitan en viveros y tiendas de todo el mundo, junto con productos microbianos derivados de la red de nutrientes del suelo. Otras variedades de organismos de la red de nutrientes y su relación con las plantas están siendo estudiadas mientras escribimos esto. Dado el avance de las técnicas científicas, el alto interés en la materia y las implicaciones no solo humanas sino también económicas del uso de bioproductos, es seguro que se añadirán más —cada vez más a menudo— como herramientas para la restauración y el mantenimiento.

Endófitos

Los hongos endófitos ya se están usando para hacer medicinas para las personas. Una de ellas, el Taxol, es quizás el más famoso de los medicamentos para luchar contra el cáncer. El potencial para crear medicamentos adicionales que salven vidas —en particular, aquellos con propiedades antimicóticas, antibióticas y antioxidantes— desarrollados a partir de los endófitos es real. Esto añade una nueva premura a la necesidad de preservar los bosques primarios para no eliminar sin darnos cuenta endófitos importantes junto con los árboles y la red de vida que sustentan. Recuerda que cada planta que se ha analizado hasta ahora tiene endófitos.

Se sabe mucho sobre el papel que estos hongos tienen en el crecimiento y la salud de las gramíneas, sus compañeras simbiotas de elección (ver el capítulo 5). Sin duda, los herbicidas y pesticidas orgánicos para uso en los céspedes domésticos no pueden estar muy lejos de desaparecer, en particular dado que cada vez más comunidades están (afortunadamente) eliminando o restringiendo el empleo de productos químicos. En lo alto de nuestra lista de deseos están los hongos endófitos que eliminan del césped el diente de león.

Un género de hongos endófitos, *Trichoderma*, se asocia con las raíces de las plantas; sus miembros se encuentran en casi todos los suelos (y también en el tejido de los árboles por encima del suelo) y son de los hongos más fáciles de cultivar. Uno de nosotros ha visto *T. harzianum*, con su característico verde cuando está recubierto de esporas, en un queso consumido a medias que necesitaba ser desechado; el otro lo ha cultivado en compost mezclado con un puñado de copos de avena o harina de avena en polvo sin cocinar.

Las especies de *Trichoderma* son micoparásitos: obtienen nutrientes atacando a otros hongos. También pueden vivir del material orgánico. Algunos trichodermas solo parasitan clases concretas de hongos; otros

son más generalistas. Al mismo tiempo, estos hongos incrementan de alguna manera el crecimiento de la planta hospedadora. Una variante, la T-22, puede reducir el nitrógeno que necesita un cultivo de maíz entre el 30 y el 40 por ciento. La variante PTA-3701 vive a costa de la *Botrytis cinerea* (moho gris), algo que les alegrará oír a muchos jardineros. Los productos que contienen trichodermas ya está siendo utilizados para proteger todo tipo de cultivos comerciales, de las lentejas a los tomates. Además de la *Botrytis*, son efectivos contra las especies de *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, y *Sclerotium*.

FRANKIA

Frankia es un género de actinomicetos, las bacterias que forman largos filamentos de organismos individuales parecidos a las hifas. Las especies forman nódulos radiculares en las plantas hospedadoras y producen nitrogenasa, la enzima necesaria para romper los fuertes enlaces moleculares de nitrógeno atmosférico para que este pueda convertirse en amonio. Las frankias son responsables de aproximadamente el 15 % de todo el nitrógeno fijado biológicamente.

Las frankias suelen asociarse con plantas que crecen en el suelo con una deficiencia en nitrógeno, lo cual tiene sentido dada su habilidad para ayudar a las plantas necesitadas de nitrógeno fijándolo a partir del atmosférico. Aparecen en las raíces de las especies pioneras; esas pueblan las zonas alteradas. Las encontrarás en suelos cuando un volcán finaliza una erupción, un glaciar se retrae o las dunas del desierto se desplazan y crecen. Son importantes en entornos más fríos como Alaska, Canadá, Rusia, partes de Nueva Zelanda y los países escandinavos donde hay pocas legumbres para fijar el nitrógeno y donde la producción de nitrógeno en el suelo es, por tanto, baja.

Algunas especies invaden el pelo radicular que, una vez infectado, desarrolla un espacio para ellas. Otras crecen dentro de la raíz y alrededor de la célula que acaban por invadir. Esto conduce al desarrollo de órganos que parecen raíces y crecen de las puntas a medida que se añaden nuevas células. En el interior es donde las frankias fijan el nitrógeno. Hasta ahora, se conocen veinticuatro géneros distintos de plantas capaces de formar una relación con las frankias, en las que doce especies de esta última están implicadas. Los alisos (*Alnus* spp.), los helechos dulces (*Comptonia* spp.), los mirtos (*Myrtus* spp.) y las hayas de Canarias (*Myrica* spp.) se encuentran dentro de las plantas actinorricas, tal y como se las conoce por su relación con los actinomicetos.



Nódulo de una raíz actinorrhíca. David Benson.

Algunos estudios sugieren que las especies de *Frankia* pueden fijar el nitrógeno sin asociarse con la raíz de una planta, meramente estando en la rizosfera; esto las convierte en un biofertilizador en potencia (para el nitrógeno) y abre la posibilidad de cultivar en suelos con deficiencias de nitrógeno. No tenemos ninguna duda de que los poderes para fijar el nitrógeno de las frankias estarán pronto a disposición de los jardineros.

Cianobacterias

Las cianobacterias, otro grupo con potencial para ser una «herramienta», existen desde hace por lo menos tres mil quinientos millones de años y están por doquier, en la tierra y en los océanos, si bien es más probable que los jardineros las encuentren como una pegajosa babaza oscura en los lados de las macetas de arcilla o recubriendo los patios de madera húmedos. El cloroplasto, el órgano que elabora la comida para las plantas durante la fotosíntesis, es en realidad una cianobacteria que ha evolucionado a simbiote que vive dentro de un compañero algal, una combinación que dio como resultado las plantas tal y como las conocemos. Una cianobacteria importante crece sobre las hojas de unos pequeños helechos acuáticos (*Azolla* spp.) que flotan en los campos de arroz; produce nitrógeno para los helechos y, cuando estos mueren, se convierte en una gran fuente de nutrientes para los microbios que alimentan a las plantas de arroz.

Al igual que otras bacterias, estos microorganismos fotosintéticos unicelulares suelen formar colonias, hojas y tapetes de largos filamentos. Crecen en los 25 cm superiores de suelo absorbiendo el agua (ahí donde la haya) y dejando atrás cuando migran una sustancia pegajosa que une las partículas del suelo y ayuda a prevenir la erosión: imagina unos

productos que mejoran la estructura del suelo, absorben agua hasta diez veces su peso y pueden proteger a las plantas de la sequía y las condiciones adversas. Sin duda, las cianobacterias desempeñarán un papel a la hora de hacer estos productos una realidad.



La gran cianobacteria cilíndrica pertenece a los *Microleus*; la cuerda de células en forma de cuentas a la *Anabaena*. La *Anabaena* también contiene heterocistos, células especializadas que ayudan a fijar el nitrógeno atmosférico en el suelo. Tony Brain, Photo Researchers, Inc.



Foto coloreada de un MEB de una especie (verde) del fijador de nitrógeno *Rhizobium*, que vive en el nódulo de una raíz de un guisante. Steve Gschmeissner, Photo Researchers, Inc.

Rizobios

Descubiertos por primera vez en 1889, los rizobios son otro importante grupo de fijadores de nitrógeno que se asocian con las raíces de las legumbres (guisante, soja, altramuza, trébol). No fijan el nitrógeno por sí mismos hasta que han entrado en una raíz, y forman un nódulo donde las colonias de bacterias crecen y trabajan. A cambio del nitrógeno producido, la planta ofrece a las bacterias un lugar donde vivir, carbonos y nutrientes y el acceso al oxígeno. Es una gran relación en la que parte del nitrógeno producido se queda en el suelo a disposición de otras plantas y miembros de la red de nutrientes del suelo.

El jardinero doméstico puede comprar rizobios, y estos son una herramienta eficaz que actúa rápido cuando se inocula en las semillas y raíces de las legumbres. La reacción del pelo radicular ocurre en aproximadamente un minuto tras la inoculación, y el nitrógeno basado en los rizobios se empieza a producir al cabo de unas dos semanas. Se trata de una colaboración «instantánea» con los microbios.

Bacterias y hongos que solubilizan el fósforo

Gran parte del fósforo de los fertilizantes queda encerrado químicamente en el suelo junto con el calcio, magnesio, hierro y aluminio para formar fosfatos insolubles. En esta forma el fósforo no está disponible para las plantas. Las bacterias y hongos que solubilizan el fósforo, como indica su nombre, producen ácidos orgánicos capaces de convertir el fósforo insoluble en una forma que puede ser absorbida por las plantas. Parece haber una relación entre los hongos endomicorrícicos y las bacterias que solubilizan el fósforo. El fósforo liberado por las bacterias del suelo debe ser rápidamente absorbido para que no se vuelva a convertir en una forma insoluble. Si los hongos endomicorrícicos están cerca, parte de este fósforo se absorbe y se entrega a las plantas hospedadoras. Las bacterias pueden viajar con las hifas en busca de fosfatos. Es incluso posible que los hongos endomicorrícicos estimulen a la planta para que produzca más exudados que atraigan a las bacterias solubilizadoras.

En un estudio, la inoculación de las bacterias que solubilizan el fósforo en la caña de azúcar dio como resultado un incremento de la producción en un 12 % y se necesitó menos fertilizante, lo que redujo los costes. Dado que todas las plantas dependen del fósforo para la producción de energía, estas bacterias están siendo sujetas a un intenso estudio. Ya hay productos, un tanto marginales en relación al mercado hortícola doméstico, que los emplean y es una apuesta segura predecir que cada vez más bioproductos los llevarán.

rizobacterias

Muchas rizobacterias —bacterias que viven en la rizosfera— producen metabolitos especiales (una palabra elegante para referirse a todas las sustancias producidas por el metabolismo), incluyendo las giberelinas (reguladores del crecimiento de las plantas que se usan profusamente en los viveros y la industria agrónoma) y las citoquininas (reguladores del crecimiento de las plantas que promueven la división celular y ayudan enormemente a la salud de las plantas y a su desarrollo). Estas rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas también

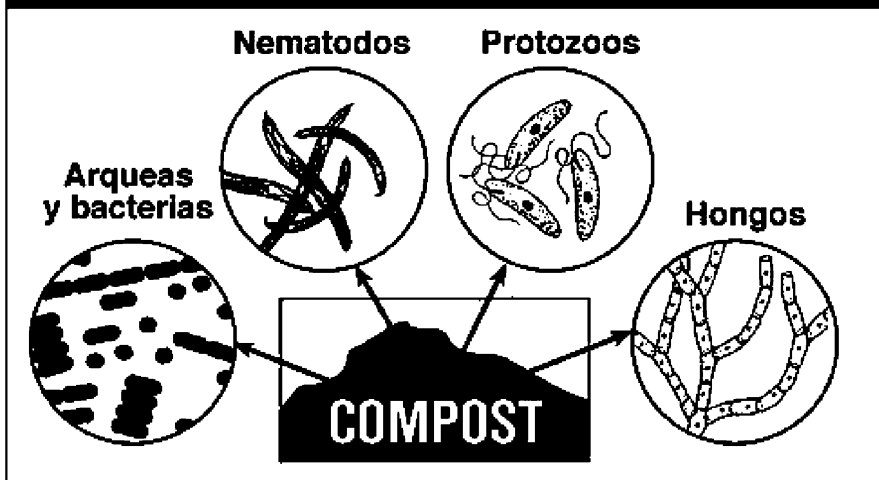
producen enzimas, incluidas las quitinasas que son necesarias para descomponer la quitina, el principal componente de las paredes de las hifas fúngicas. Se ha descubierto que las rizobacterias ayudan en la absorción de nutrientes e incluso en la solubilización del fósforo; en algunos casos, incrementan la ramificación y el desarrollo del pelo radicular. El resto de metabolitos que puede haber está por ver, literalmente. Lo que sí sabemos es que con cada descubrimiento se abre una nueva frontera e —inevitablemente— habrá más adiciones al cuarto de aperos de la red de nutrientes del suelo. Así que habrá que hacer sitio.

16. El compostaje

El compostaje es todo un universo de diversos organismos de la red de nutrientes del suelo. No importan las enormes cantidades que encontramos en un buen y fértil suelo de jardín: la cantidad de organismos en una cucharadita de compost, en particular las poblaciones microbianas, es simplemente demasiado grande para poderla comprender: hasta mil millones de bacterias, de 150 a 300 m de hifas fúngicas, de 10.000 a 50.000 protozoos, y de 30 a 300 nematodos. Además de las cantidades extremadamente altas de microbios, el compost contiene todo tipo de microartrópodos y a veces gusanos. El compost rebosa vida.

La regla nº 4 (El compost se puede utilizar para inocular microbios beneficiosos y vida en los suelos de tu terreno e introducir, mantener y alterar la red de nutrientes del suelo en una zona concreta) establece el uso del compost como una herramienta fundamental de la red de nutrientes del suelo. La regla nº 5 amplía la anterior: añadir compost y su red de nutrientes del suelo en la superficie del suelo lo inoculará con la misma red de nutrientes del suelo. Los organismos del compost que aplicas a tus jardines, arbustos, árboles y perennes propagarán la vida lo más lejos que puedan: es su destino manifiesto microbiano. Sin embargo, la mejor manera de satisfacer las necesidades nutritivas de una planta consiste en echarle el compost que tenga la dominancia microbiana adecuada.

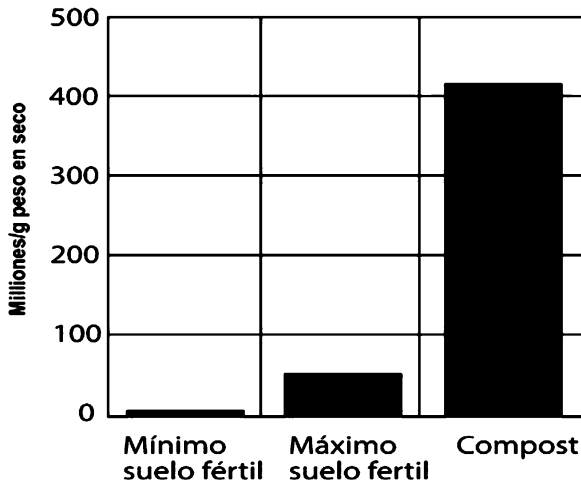
Organismos microbianos en el compost



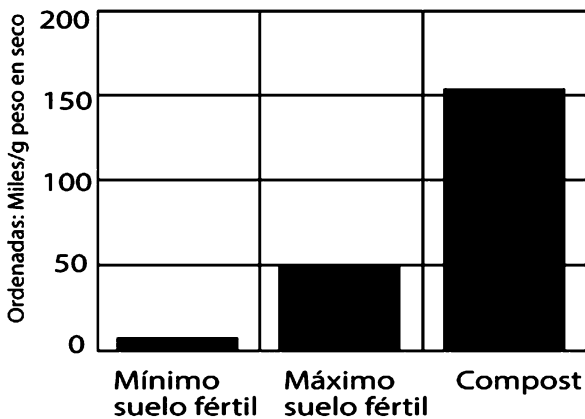
El compost contiene los organismos clave de la red de nutrientes del suelo que retienen, además de reciclar, los nutrientes de la planta. Tom Hoffman Graphic Design.

No todos los compostajes son iguales

Muchos jardineros no conceden mucha importancia al compostaje. Lo hacen o lo compran y lo aplican; todo es lo mismo. Sin embargo, hay más de una clase de compost, algo que sorprende a muchos fabricantes veteranos de compost. Nosotros también pensábamos que todo el compost, con independencia de lo que hubiera en él, al final tenía la misma biología y el mismo pH. Pero sin duda, y tras una reflexión —en particular cuando sabes algo sobre los organismos de la red de nutrientes del suelo que constituyen el compost—, la idea de que un producto final siempre es el mismo no tiene ningún sentido. Al igual que con casi todos los demás sistemas, al final lo que entra condiciona lo que sale.



Poblaciones de bacterias en suelo fértil y compost. Tom Hoffman Graphic Design.



Poblaciones de hongos en suelo fértil y compost. Tom Hoffman Graphic Design.

El hecho es que, simplemente, usando un poco de la ciencia de la red de nutrientes del suelo puedes hacer un compost dominado por hongos o por bacterias; todo depende de lo que para empezar echas en la pila o contenedor. Y dado que algunas plantas prefieren su nitrógeno amoniacal y otras en forma de nitrato (reglas nº 2 y nº 3), hacer compost que favorece la producción de una u otra forma de nitrógeno tiene sentido.

Cómo hacer compost

Los agricultores han estado haciendo compost para mejorar los suelos por lo menos desde la época de los romanos. Solo fue en el siglo pasado cuando el compost quedó relegado frente a los productos químicos para hacer que las cosas crecieran. Antes de eso, si trabajabas en una granja o en un jardín, usabas el compost o el estiércol rutinariamente para incrementar la fertilidad. Todo esto cambió cuando los motores de combustión interna sustituyeron al caballo y cada vez menos hogares tenían gallinas, vacas, cerdos y otra ganadería. La agricultura y la horticultura requerían de productos químicos porque había escasez de estiércol y, por tanto, de compost.

Elaborar y usar el compost ha vuelto con fuerza entre los cultivadores y jardineros domésticos y se ha convertido incluso en políticamente correcto: hacer compost reduce el valioso espacio de los vertederos, pues al menos se recicla una parte de los desechos de un hogar. Hay docenas de contenedores de compost disponibles comercialmente y un número parejo de libros que te enseñan a hacerlo de diversas formas. Sin embargo, en el centro de todo sistema de compostaje están los microorganismos del suelo, los miembros de la red de nutrientes del compost. Ellos son los responsables de un buen compost con independencia del método empleado. Su actividad metabólica crea el calor y los derivados que hacen que el proceso de compostaje funcione.

Esto es un capítulo, y no un libro, sobre el compostaje. Lo que vamos a describir es un poco de la ciencia detrás del compostaje y unos pocos procedimientos básicos para hacer compost en casa. Una vez que hayas hecho unas pocas pilas, podrás experimentar y crear el sistema que mejor se adapte a las necesidades de tus plantas y tu clima, la disponibilidad de espacio e incluso las exigencias de tu pareja. Además de los necesarios microbios del suelo, el compostaje requiere calor, agua, aire y materiales orgánicos con las cantidades correctas de carbono y nitrógeno, todas ellas mezcladas en las proporciones adecuadas.

Los materiales orgánicos están fácilmente disponibles: recortes de hierba, hojas otoñales, virutas de madera, paja, serrín, ramas y prácticamente todos los desechos de la cocina (salvo las carnes y las grasas). Las heces de humanos y mascotas no deberían agregarse al compost dada la posibilidad de que los organismos patógenos sobrevivan incluso a las altas temperaturas del proceso de compostaje; por la misma razón desaconsejamos la inveterada práctica de usar otros estiércoles en el compost. ¿Por qué arriesgarse si desconoces qué clase de antibióticos u otros medicamentos se usaron para alimentar a los animales? ¿Quién quiere preocuparse por la *E. coli*?

Al igual que lo hacen en el suelo, las bacterias, hongos y otros organismos buscan mayoritariamente el carbono en la materia orgánica

de la pila de compost. Este es el combustible de sus metabolismos. Los microbios también necesitan nitrógeno para fabricar las enzimas que usan en el proceso de descomposición y las proteínas (incluidos los componentes clave, los aminoácidos) que son necesarias para construir estructura y enzimas.

Se necesita humedad para tener un entorno óptimo para los microorganismos y prevenir que mueran o entren en estado de latencia. No puedes tener bacterias, protozoos o nematodos activos sin el agua necesaria para su transporte y otras funciones vitales.

El aire es necesario porque los organismos beneficiosos del suelo que descomponen los materiales carboníferos y nitrogenados son aeróbicos; respiran aire y necesitan oxígeno. Es cierto que en una pila de compost se pueden desarrollar condiciones anaeróbicas y también habrá descomposición en esas condiciones. Sin embargo, también vendrán aparejadas de la producción de cosas perjudiciales para las plantas como los alcoholes, de los cuales una parte por millón matará las células de la planta. Está claro, entonces, que es importante mantener las pilas de compost aeróbicas, y de ahí que las pilas se remuevan y se abran para aportar aire al sistema.

Por último, el calor que se requiere para hacer compost no proviene del sol sino de la actividad metabólica de la vida del suelo, siendo la mayor parte de la actividad bacteriana. Tal y como verás, el calor es lo que crea el entorno que hace que crezcan las poblaciones y cambie su carácter en el momento adecuado durante el ciclo del compost.

Mezcla estos ingredientes en las proporciones adecuadas, y acabarás teniendo un rico y migajoso suelo de humus de color café y olor dulce que además estará repleto de vida. Aunque puede requerir un año o más, es posible hacer un buen compost en tan solo unas semanas. Pero con independencia del método empleado, son los microbios los que hacen la mayor parte del trabajo.

Estadios mesófilo y termófilo

El material del compost atraviesa tres fases de temperatura distintas. La primera de estas fases es la mesófila. Los organismos mesófilos prosperan en temperaturas moderadas, entre 20 y 40 °C.

Incluso en este primer estadio, el trabajo comienza sobre las rectas y difíciles de digerir cadenas de celulosa, que son descompuestas en cadenas más pequeñas de glucosa; las bacterias son particularmente duchos en la despolimerización, tal y como se conoce este proceso. Mientras tanto, los hongos de la podredumbre parda de la madera (basidiomicetos, las setas «regulares») y ciertas bacterias (*Bacillus* spp.,

Heliospirillum spp.) están activos descomponiendo otro material difícil de digerir. Estos microbios producen endosporas, esporas resistentes a los elementos químicos y al calor. Esto les permite sobrevivir en la siguiente fase más caliente del proceso de compostaje para regresar cuando las temperaturas descienden.

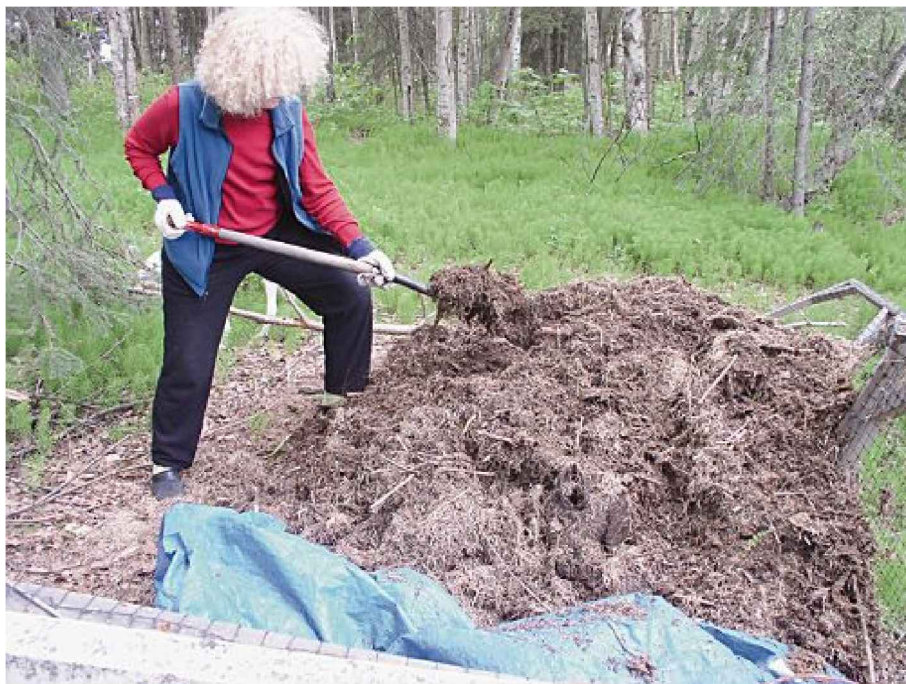
Los organismos más grandes del suelo se unen a los hongos y bacterias y rompen la materia orgánica de la pila a medida que buscan comida; y la actividad microbiana en las entrañas de algunos de estos animales resulta en más descomposición química. Toda esta actividad metabólica crea calor y eleva la temperatura a 40 °C. En este punto, hace demasiado calor para la actividad continuada de los organismos mesófilos, y los que se han adaptado a temperaturas más altas toman el relevo.

En caso de que te estés preguntando cómo se calienta una pila de compost en la primavera tras un invierno helado, es muy sencillo: algunas bacterias son psicrófilas, lo que significa que prosperan con temperaturas justo por encima de la congelación, aunque algunas de ellas puedan continuar funcionando a temperaturas tan bajas como los 0 °C. La actividad metabólica de estas bacterias amantes del frío incrementa la temperatura de la pila lo suficiente para despertar a los organismos mesófilos de temperaturas más altas para que tomen el relevo.

Los organismos en el segundo estadio del ciclo del compost, la fase termofílica, pueden soportar temperaturas de 40 a 65 °C, e incluso más. Durante este periodo, los carbohidratos complejos se rompen completamente. También se descomponen algunas proteínas y las hemicelulosas, que son estructuras más resistentes. Muchas otras bacterias (*Arthrobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Streptomyces* y otros actinomicetos) y hongos se suman o comienzan a desempeñar un papel prominente. Su calor metabólico provoca que la temperatura en la pila de compost continúe subiendo; estas altas temperaturas también matan a los patógenos que pueda haber en la mezcla.

Estas dos fases ocurren muy rápido: una pila de compost hecha adecuadamente debería alcanzar los 57 °C entre veinticuatro y setenta y dos horas. Por lo general, si tienes la mezcla correcta de carbono y nitrógeno, el centro de la pila se calentará a 57 °C en un día y a 65 °C transcurridos tres. Si la pila no se está calentando, entonces tienes que removerla (es decir, intercambiar el interior y la parte de abajo con la parte exterior y el material en la superficie) para añadir oxígeno. Si esto no funciona, añade material verde fresco (pues está lleno de azúcares fácilmente digeribles que ofrecerán a las bacterias la comida que necesitan). También se pueden añadir periódicos, pulpa de fruta o inóculos de compostaje comercial para que ayuden a calentar la pila.

Tienes que monitorizar las pilas de compost. Se recomienda mantener una pila entre 60 y 65 °C durante por lo menos unos días porque en este rango termófilo los microbios patógenos del compost mueren. A 65 °C también se destruyen las semillas de las malas hierbas. Nunca dejes que una pila de compost supere los 68 °C porque empezará a quemar carbono. Para enfriar temporalmente una pila que se ha sobrecalentado, remuévela (en efecto, removerla tanto la calienta como la enfría). Esto no solo abre la pila al aire, sino que asegura que todo el material en la pila ha sido tratado. Si remover no consigue enfriarla, añade agua o más material marrón, cambiando la proporción de verde (comida bacteriana fácil de digerir) hacia los alimentos más fúngicos. Dado que las bacterias son los organismos primarios que generan el calor, esto debería ralentizar las cosas.



Removiendo una pila de compost. Judith Hoersting.

No hay nada malo en meter la mano en la pila para calibrar el calor. O, si no, puedes meter un clavo largo de los que se usan para fijar canalones o una varilla de metal; estos transmiten el calor y los notarás calientes cuando las cosas estén yendo bien. Sin embargo, un termómetro es más preciso; puedes comprar un termómetro de suelo diseñado para este propósito o usar uno para horno.

Estadio de maduración

A medida que las proteínas y carbohidratos complejos se descomponen y comienzan a disminuir, hay una reducción de la actividad metabólica y la temperatura de la pila empieza a bajar. Los organismos mesófilos, cuyas esporas especialmente protectoras les permitieron sobrevivir el estadio de temperatura más alto, se reafirman y sustituyen a los organismos termófilos. El compost entra así en su estadio final de maduración.

Durante el estadio de maduración se completa la descomposición de la lignina, el compuesto vegetal más resistente. Los enlaces que mantienen juntas las cadenas de alcoholes en la lignina son extremadamente largos y estructuralmente más difíciles de atacar y romper que cualquier otra cosa en la pila. Los actinomicetos, las bacterias con forma de cadenas que se parecen a los hongos, continúan su ataque contra estos remanentes vegetales tan difíciles de asimilar. Estos son los mismos organismos que confieren ese olor terroso asociado al buen compost y al buen suelo, que proviene de su trabajo descomponiendo la celulosa, lignina, quitina, y proteína. Los principales participantes fúngicos en este último estadio, los basidiomicetos, continúan con su trabajo.

También durante este estadio de maduración, los decomponedores físicos continúan apoyando al equipo microbiano. Los nematodos, colémbolos y ciempiés pacen y eso hace que incrementen las poblaciones de hongos y bacterias; y, a medida que estas poblaciones crecen, también lo hace su actividad de unificar el suelo. Muchos nematodos habrán muerto por el estadio termófilo, pero aquellos que hayan sobrevivido tendrán un montón de bacterias y hongos a su disposición y, como grupo, prosperarán. También los gusanos trabajan la materia orgánica en la pila exponiéndola a las bacterias y luego recubriendo las partículas con una mucosidad que las une en agregados. Las hormigas, caracoles, babosas, ácaros, arañas, escarabajos de la familia de los estafilínidos y cochinillas pueden acudir a la pila y abrir la materia orgánica a medida que buscan comida, triturándola y facilitando así el ataque de los microbios. El resultado final de que todos los organismos se dediquen a sus tareas cotidianas es el compost.

Lo mejor es mantener la pila de compost entre 40 y 55 °C después de su subida termófila inicial a 65 °C. Asegúrate de remover el exterior de la pila hacia el centro para que todo el material se descomponga. Si la pila cae por debajo de 40 °C antes de madurar, plantéate añadir un poco de material verde alto en nitrógeno. Si se mantiene por encima de 55 °C, añade más material marrón que contenga carbono. Sin duda, airear una pila siempre la enfriará inicialmente y, si tienes suficiente fuerza, removerla de forma repetida es el único control que necesitas. Echar

agua a una pila también la enfriará, pero se trata de una medida más drástica.

La pila debe mantenerse húmeda durante todo el proceso. No dejes que se seque, pero tampoco dejes que se empape tanto que no haya flujo de aire. Puede que tengas que añadir agua cuando volteas la pila, o que tengas que cubrirla para que la lluvia no la empape. Si todo va bien, y normalmente es así, el compost «sucede». Tras dos o tres vueltas tu pila debería ser compost. Está acabada —o madura— cuando no puedes reconocer lo que hay en ella.

Proporción C:N y la dominancia fúngica o bacteriana

La proporción entre el carbono y el nitrógeno debe ser la correcta para hacer el compost; la ratio ideal C:N para este fin debe estar aproximadamente entre 25:1 a 30:1. Si tienes demasiado carbono, el nitrógeno se gasta rápidamente y el proceso de descomposición se ralentiza. Si tienes demasiado nitrógeno, los organismos lo atrapan y el carbono se libera hacia la atmósfera o se mezcla con el agua de la pila. Pero con la proporción ideal las cosas van rápido y la descomposición es completa.

A menudo, los jardineros dividen el material de compostaje disponible en dos categorías: marrón y verde. El material orgánico marrón curado sustenta a los hongos mientras que material orgánico verde y fresco a las bacterias (regla nº 6). Los elementos marrones —incluyendo la hojarasca otoñal, la corteza, virutas de madera, ramitas y ramas— contienen carbono; el carbono ofrece a los miembros de la red de nutrientes del suelo energía para el metabolismo. Los elementos verdes —cosas como los recortes de hierba, las malas hierbas recién arrancadas, restos de comida de la cocina— contienen un montón de alimentos bacterianos fácilmente digeribles y son buenas fuentes de hidrógeno. Cuanto más fresco esté el elemento verde, más contribuirá con nitrógeno a la pila. El nitrógeno ofrece a los organismos de la red de nutrientes del suelo las bases para las proteínas que se usan, entre otras cosas, para producir enzimas digestivas que son necesarias en el proceso de descomposición.

No todo el desecho orgánico disponible tiene la ratio ideal C:N: el serrín, por ejemplo, está en 500:1 y el papel en 170:1. Los dos desechos orgánicos de los que deberías tener un buen aprovisionamiento son los recortes de hierba (19:1) y las hojas de los árboles (de 40:1 a 80:1); si los mezclas, tendrás la proporción adecuada.

Es posible manipular los materiales del compost para que el producto resultante sea alto en hongos o alto en bacterias, o una cosa equilibrada entre ambos: simplemente, incrementa los materiales marrones (para

elevar la cantidad de hongos) o los materiales verdes (para elevar el recuento de bacterias). Una buena mezcla de materiales para una receta fúngica contendría de 5 a 10 % de harina de alfalfa, de 45 a 50 % de recortes de hierba frescos y de 40 a 50 % de hojas marrones o pequeñas virutas de madera. Una receta bacteriana adecuada incluiría un 25 % de harina de alfalfa, un 50 % de recortes de hierba frescos y un 50 % de hojas marrones o corteza.

De nuevo, los materiales verdes que van al compost ofrecen azúcares simples fáciles de utilizar y montones de nitrógeno y son muy buenos para sustentar bacterias. Los materiales marrones en las pilas de compost se componen de lignina que es difícil de digerir, celulosa y tanino (y a veces, también nitrógeno). Los hongos prefieren esta clase de material y tienen las enzimas para romperlo. Y solo entonces pueden las bacterias atacarlo.

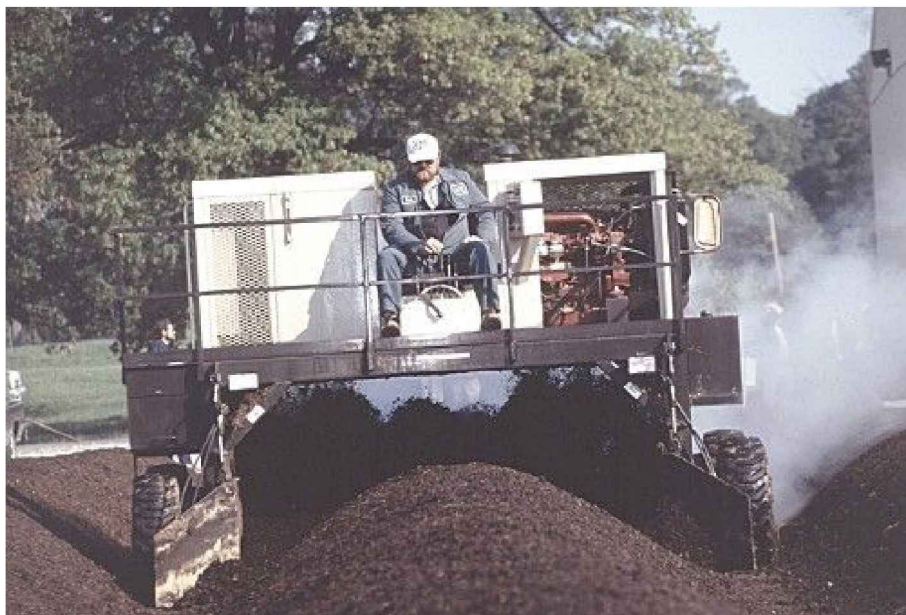
Otros factores importantes

Las bacterias en el compost tenderán a amortiguar el pH en torno a 7 y 7.5; los hongos del compost tienden a amortiguar el pH en torno a 5.5 y 7. Así que quieres que haya hongos en todos tus compost para prevenir que este se vuelva demasiado alcalino. Cuanto más material fúngico haya en tu compost, más bajo será el pH, hasta cierto punto.

Los fertilizantes inorgánicos, pesticidas, herbicidas, acaricidas y fungicidas matan a los miembros de la red de nutrientes del suelo y, por tanto, no tienen ningún papel en el compostaje. Los materiales que van a ir a las pilas de compost deberían estar libres de estos productos químicos. Es probable que se descompongan con el tiempo, pero acaso no ocurra antes de que se esparza el compost; entonces, ¿por qué arriesgarse con productos químicos cuando no es necesario? Además, dado que muchos de estos productos no son selectivos cuando se trata de microbios, pueden interferir con el propio proceso de compostaje al eliminar microbios que contribuyen al calor y a la descomposición.

El tamaño de la materia que pongas en la pila también es importante. Si hay demasiada materia fina y menuda, la pila se comprimirá y en seguida se volverá anaeróbica. Si el material es demasiado grande, habrá tanto aire difundándose a través que la pila que se calentará demasiado, o no se descompondrá de forma adecuada o lo suficientemente rápido porque las bacterias no podrán acceder lo suficientemente rápido para establecer la suficiente población. Hay un delicado equilibrio cuando se trata del tamaño de los materiales que se añaden a una pila de compost, y solo la experimentación te dará la comprensión que necesitas y, finalmente, el control que quieres.

Además, una pila de compost necesita una mínima cantidad de masa de aproximadamente un metro cuadrado para que se pueda calentar de forma adecuada. Puedes hacer pilas más grandes, pero incrementar el tamaño genera más trabajo, pues toda la pila tiene que ser aireada y volteada por lo menos unas cuantas veces para que no se vuelva anaeróbica. En nuestra experiencia, una pila de aproximadamente 1,80 m de ancho y alto es lo más grande que puedes necesitar sin tener que recurrir a una ayuda mecánica para voltearla y airearla.



Un profesional remueve su compost para airearlo. Ken Hammond, USDA-ARS.

Resulta muy fácil hacer compost literalmente en una pila, arrojando ingredientes en el propio suelo y mezclándolos. Algunos prefieren una zona encajonada para contener el material y removerlo con más facilidad. Un simple vallado de madera o malla de alambre de corral de 1 m de diámetro y 1,5 m de alto funciona muy bien. Utilizar un palet de madera o una pantalla sujeta con bloque de cemento en la base permitirá que circule el aire por la pila, lo que supone menos trabajo de mantenimiento. Algunos defienden con ahínco los compostadores rotatorios: echas el material orgánico y, para airearlo, haces rotar el contenedor unas cuantas veces. Cuando averigües cómo evitar que el material en los contenedores no acabe con demasiado moho (un problema crónico con los sistemas cerrados), estos pueden ser muy efectivos. En realidad, tendrás que experimentar para conseguir lo que se

adapte a tus gustos y necesidades.

Con independencia del montaje que elijas, tendrás que vigilar la humedad de la pila. Coloca los materiales en capas de 10 a 15 cm, alternando entre lo verde y lo marrón y asegurándote de que cada una está humedecida. Cuando empiece la actividad metabólica, necesitarás asegurarte de que la pila se mantiene humedecida durante todo el proceso de compostaje. Dado que no quieres que la pila esté mojada (pues esto favorece la actividad anaeróbica), asegúrate de mezclar material húmedo con material seco si es necesario. Si haces el compostaje en un clima seco, aplanla la pila o haz una impresión cóncava en la parte de arriba de la pila para recoger la lluvia que pueda caer. Por el contrario, si haces el compost en un lugar en el que llueve con frecuencia, cubre la pila con una lona o considera la posibilidad de hacer el compost en un contenedor cerrado.

Si la pila está demasiado húmeda, no se calentará adecuadamente. Deberías poder coger un puñado de tierra de tu pila y estrujarla para que salgan unas pocas gotas de agua pero no más. Si la pila se moja demasiado, entonces añade material seco o remuévela. Es un trabajo duro, así que es mejor hacerlo bien desde el principio.

El compost caliente matará en la mayoría de los casos las semillas de las malas hierbas y los patógenos, pero no hay ninguna razón para añadir material enfermo o material de malas hierbas realmente repulsivas a tu pila hasta que le cojas el truco al proceso y puedas distinguir el compost de lo que podríamos decir que es «casi compost»; hay una gran diferencia. Tienes que finalizar el proceso de compostaje para cerciorarte de que las semillas de las malas hierbas y los patógenos ha sido destruidos

¿Cómo saber que tienes un buen compost? Analízalo. Puedes enviar tu compost a un laboratorio biológico, pero una forma más fácil y barata es oler el producto final. Si huele mal, como vómito o materia en putrefacción o vinagre, entonces contiene organismos anaeróbicos y sus derivados y no debería usarse. Si huele como el amonio, entonces no está acabado. En ambos casos, airéalo para cambiar las condiciones, y déjalo que se asiente unos días antes de realizar otro test nasal. Deberías saber cómo huele un suelo fresco; el buen compost debería oler «a limpio» de la misma forma.

También puedes plantar algo en él. Un buen compost sustenta el crecimiento de las plantas. Si no hay suficientes depredadores comiéndose los hongos y bacterias, entonces los nutrientes que retienen no se reciclarán y podrás distinguir las carencias de la planta.

Compost para perezosos

Una mezcla moderna de «compost instantáneo» requiere 3 m³ de hojas de árbol marrones y una bolsa de 22 kg de harina de alfalfa de una tienda de forrajes. Esta mezcla funciona aún mejor si se trituran las hojas para que los microbios bacterianos puedan ponerse enseguida manos a la obra para descomponerla. Si no dispones de harina de alfalfa, comienza con una proporción similar de recortes de hierba y hojas, y trabaja a partir de esto. Si la pila se sobrecalienta, usa menos hierba; si no se calienta lo suficiente, usa más. Esto asume que la humedad y el aire son los adecuados. Hemos aprendido por experiencia que, si esparces los recortes de hierba y los dejas secar un día o dos antes de agregarlos a la pila de compost, no se enmarañarán ni olerán.

Conforma tu pila con capas empezando con 10 cm de hojas y a continuación una capa de harina de alfalfa (o hierba) del mismo grosor, otra capa de hojas, otra de harina de alfalfa y así sucesivamente. Riega ligeramente cada capa y luego coloca la siguiente. Añade palitos y ramas a medida que la formas para incrementar la circulación del aire a través y hacia el centro.

Una vez que hayas acumulado por lo menos 3 m³ de la materia orgánica que se necesita para tu ejército de microbios y otros organismos de la red de nutrientes del suelo, estos empezarán a trabajar. El calor debería ser aparente en veinticuatro horas. A partir de entonces tendrás que monitorizar la temperatura: no debería superar los 65 °C o descender muy por debajo de los 40 °C. Remover la pila incrementará el calor hasta que esta alcance el estadio de maduración. A partir de entonces removerla no tendrá ese efecto; removerla reducirá la temperatura temporalmente hasta que los microbios vuelvan a trabajar en concierto. En todo caso, el agua enfriará la pila.

Si esto te parece demasiado trabajo, prueba el compost frío: simplemente, apila materia orgánica en una esquina del terreno y déjala ahí. Este material acabará descomponiéndose, solo que muy lentamente; el compost frío puede requerir un año o más frente al compost caliente que requiere unas pocas semanas o meses. Sin embargo, el resultado final es compost y, siempre y cuando contenga un conjunto adecuado de organismos, no importa el sistema que emplees. Ten en cuenta que los gusanos, escarabajos, milpiés y otros micro y macroartrópodos estarán representados con poblaciones más elevadas en el compost frío. Por tanto, es bueno mantener una pila de compost frío en todo momento, con independencia de lo energético que seas; la diversidad de organismos que añade solo puede ayudar a tu jardín. En la red de nutrientes del suelo, una diversidad de miembros mayor significa una mejor capacidad

para eliminar patógenos o controlarlos, bien mediante un ataque directo bien compitiendo por los nutrientes o el espacio.

Vermicompostaje

Cuando se procesan los materiales orgánicos a través de los gusanos se obtiene vermicompostaje, que casi siempre está dominado por las bacterias (pocos o ningún hongo están implicados en la digestión de los gusanos). No hay calor en el proceso porque mataría a los gusanos. En vez de eso, los gusanos (es decir, las bacterias en su interior) digieren los materiales y evacúan turrículos. Puedes comprar gusanos de tierra especiales para este trabajo, así como un contenedor (o fabricártelo tú mismo) para alojarlos; este puede ser una simple caja de plástico o cartón. Cuando sale del contenedor, el vermicompostaje tiene una dominancia bacteriana; los turrículos —recubiertos de polisacáridos además de carbohidratos y proteínas simples— son perfectos para sustentar buenas poblaciones bacterianas.

Los buenos materiales para comenzar el vermicompostaje incluyen los desechos alimentarios (nada de grasas o carnes), papel, cartón, hojas y hierba verde; o también puedes usar los mismos materiales que emplearías para formar una pila de compostaje normal. Si tu material contiene malas hierbas, hazles primero un compostaje térmico antes de añadirlas al contenedor. Todos los materiales marrones tienen que ser triturados primero o si no desmenuzados, para que los gusanos puedan ingerirlos más rápido. Con suerte tus materiales incluirán algunos microartrópodos para que ayuden a descomponer la materia para los gusanos. Colocar el contenedor en el exterior favorecerá la actividad de artrópodos e insectos en el interior.

Inocula tus suelos

No se requiere mucho compost para dar vida a tus suelos. Para inocularlos, esparce de 0,5 a 2,5 cm de compost apropiado (fúngico, bacteriano o uno equilibrado) alrededor de las plantas. El compost fúngico debería aplicarse alrededor de los árboles, arbustos y la mayoría de las perennes; el compost bacteriano es el más apreciado para los jardines de hortalizas y flores, así como los céspedes (revisa las reglas de la red de nutrientes del suelo de la nº 1 a la nº 4). El compost puede surtir su efecto mágico en el suelo en tan poco tiempo como seis meses. Tras solo este corto periodo de tiempo, la nueva vida en el suelo será evidente en los primeros de 15 a 38 cm del suelo inoculado. Y con esta nueva vida vienen todos los beneficios de la red de nutrientes del suelo:

descompactación, aireación, mejora en la retención del agua y drenaje, y un incremento en la retención y disponibilidad de los nutrientes. Trascurrido un año, la vida en el suelo llegará a una profundidad de aproximadamente 46 cm.

Es cierto que conseguir los materiales y hacer una pila de compostaje lleva un poco de trabajo. Sin embargo, los beneficios que se derivan del compostaje son casi incalculables cuando se trata de gestionar la red de nutrientes del suelo en tu vida. El compostaje es una herramienta indispensable en el cultivo con la red de nutrientes del suelo.

17. El acolchado

El acolchado o mantillo es cualquier cosa que puede ponerse encima del suelo para reducir la evaporación, prevenir el crecimiento de malas hierbas y aislar a las plantas. Si usamos esta definición, las lonas de plástico son un gran acolchado. Sin embargo, y para nuestro propósito, solo estamos interesados en el acolchado orgánico, el acolchado que proviene de cosas que estuvieron vivas y que pueden reciclarse en nutrientes en manos de los organismos de la red de nutrientes del suelo. Los acolchados orgánicos incluyen las hojas y el moho de las hojas, la pinocha envejecida, recortes de hierba, cortezas y virutas, paja, estiércol suficientemente curado (si realmente lo quieres usar), algas marinas, «casi compost», restos vegetales y papel.

Nuevas razones para usar los acolchados

La mayoría de los jardineros está familiarizada con la razón estándar para usar el acolchado en el jardín. Una capa lo suficientemente gruesa asfixiará a las malas hierbas existentes al privarles de la necesaria luz solar o incluso impidiéndoles germinar. Los acolchados también sirven para dotar a las áreas paisajísticas de un aspecto más limpio y para enfriar los suelos cuando hace demasiado calor; donde hace frío, los acolchados aíslan el suelo; y donde hay ciclos de heladas y deshielo, los acolchados funcionan muy bien para prevenir la germinación prematura de las plantas al mantener los suelos congelados. Los acolchados previenen la compactación del suelo que causan las lluvias intensas. Y reducen en gran medida la evaporación del suelo.

Pero se omite en la típica lista de razones para usar el acolchado que este ofrece nutrientes y un hogar para ciertos organismos de la red de nutrientes del suelo; y que un buen acolchado hace maravillas a la hora de suministrar los beneficios de la red de nutrientes del suelo al propio suelo. Por ejemplo, los gusanos se llevan el material del acolchado a sus guaridas bajo tierra para triturarlo; el resultado son los turrículos ricos

en nutrientes, más gusanos, más túneles de gusanos y guaridas, mejor irrigación del agua y de la aireación. Todo tipo de micro y macroartrópodos puede vivir en el acolchado, acelerando la descomposición, añadiendo al contenido orgánico del suelo, y atrayendo a otros miembros de la red de nutrientes del suelo.

Aceptamos abiertamente que el acolchado no es tan efectivo como el compost para añadir microbios de forma rápida a la red de nutrientes del suelo. El acolchado no puede igualar la diversidad de organismos de la red de nutrientes del suelo del compost; el proceso de descomposición no se ha completado (y puede que ni siquiera haya empezado), así que los acolchados orgánicos carecen de la variedad y cantidad de organismos del compost.

También reconocemos que los acolchados pueden desembocar en un frenesí alimentario protagonizado por bacterias y hongos que —si no se ve igualado por un frenesí alimentario protagonizado por nematodos y protozoos— puede desembocar en que los nutrientes queden encerrados a expensas de las plantas de la zona. Esta es otra razón por la que los acolchados previenen las malas hierbas tan bien: la biología en los acolchados encierra el nitrógeno, azufre, fósforo y otros nutrientes en la superficie del suelo donde se coloca el acolchado. Estos dejan de estar disponibles para las malas hierbas cuyas raíces son poco profundas, mientras que, a mayor profundidad, donde se encuentran las raíces de tus plantas, las cosas siguen en orden. Sin embargo, cuando los acolchados se usan de forma apropiada, los nutrientes pueden reciclarse a partir de estos.

Uno de los beneficios de usar acolchados que debería ser evidente para ti a estas alturas es que, si utilizas la clase adecuada de acolchado, se puede determinar la dominancia de hongos o bacterias.

Acolchado de bacterias u hongos

La regla nº 6 sigue siendo operativa en este caso. Un acolchado de materiales orgánicos marrones envejecidos sustenta a los hongos; uno de materiales orgánicos verdes frescos sustenta a las bacterias. Aplicar un acolchado de hojas marrones a tu jardín propiciará un chorro de hongos; colocar un acolchado verde favorecerá a las poblaciones de bacterias. Ambos acabarán atrayendo a los microartrópodos, artrópodos, gusanos y otros participantes de la red de nutrientes del suelo. Estos trabajarán el acolchado, arrancando trocitos para llevarlo al suelo, triturándolo y cavando túneles, transportando a otros miembros de la red a nuevos lugares. Ya conoces la historia: una red de nutrientes del suelo evoluciona. Hay muchos buenos acolchados orgánicos disponibles gratis

o a bajo precio. Los recortes de hierba frescos —el acolchado verde más disponible de forma inmediata— contiene todos los azúcares necesarios para atraer y alimentar a las bacterias. Evita la hierba que provenga de céspedes donde se usaron productos químicos para matar las malas hierbas o pesticidas (y no aceptes recortes de céspedes en los que los perros formen parte de la red de nutrientes del suelo). Ten cuidado en no apilar los recortes en capas demasiado gruesas, pues puede iniciar el compostaje y que se vuelvan anaeróbicos. Esto creará un olor repugnante o un calor que puede interferir con la propia red de nutrientes del suelo en la que quieres actuar.

Nuestro acolchado marrón favorito proviene de las hojas que guardamos cada otoño cuando caen. Estas sustentan la dominancia fúngica a menos que las triturés en pedacitos muy pequeños (en cuyo caso se abren a las bacterias, que ganarán a los hongos a la hora de hacerse con ellas). También tenemos la experiencia de que en los acolchados de hojas crecen más hongos (o por lo menos crecen más rápido) que en los de virutas. El serrín de turba esfagnácea se suele utilizar como acolchado. La turba, sin embargo, es biológicamente estéril y debería mezclarse con otros materiales para introducir un poco de microbiología. La pinocha, otro acolchado marrón disponible para algunos, es un gran acolchado, pero solo cuando ha envejecido un poco: contiene terpenos, tóxicos volátiles que resultan dañinos para muchas plantas. Las virutas de cedro también contienen altos niveles de terpenos y deberían ser evitadas, pero la mayoría de las demás virutas de árbol, corteza triturada o en forma de astillas y serrín son grandes acolchados marrones y funcionan muy bien, en particular si están envejecidos o si las mezclas con alguna forma de nitrógeno orgánico, como la hierba verde o incluso la harina de alfalfa, para asegurarte una proporción C:N adecuada y que nada se toma prestado de los microbios del suelo que quedan bajo el acolchado.

La duración de la efectividad del acolchado depende de la clase de acolchado que se emplee. Por ejemplo, una capa de 5 cm de virutas de corteza durará de tres a cuatro años, pues la lignina, celulosa y las ceras de la corteza son materiales que a los microbios les cuesta descomponer. Durante este periodo, los hongos dominarán. Las hojas, por otro lado, pueden descomponerse por completo en seis meses; los hongos dominan al principio, pero las bacterias crecen en número cuando son capaces de meterse en el material.



Las hojas son un material estupendo para un acolchado marrón. Judith Hoersting.

Dónde y cómo colocas el acolchado también juega un papel importante. La regla nº 7 (el acolchado colocado sobre la superficie tiende a sustentar hongos, mientras que el acolchado trabajado en el suelo sustenta bacterias) significa que es posible usar un tipo concreto de acolchado como, por ejemplo, las hojas de los árboles, y obtener dos tipos de dominancia en el suelo. Entierra la mayor parte del acolchado y les facilitarás las cosas a las bacterias. Si se coloca en la superficie, los hongos dominarán la actividad de descomposición durante un tiempo porque les resulta más fácil viajar del suelo al acolchado.

Y eso no es todo. Las condiciones del acolchado también son importantes. Si humedeces y trituras el acolchado por completo, se acelera la colonización bacteriana (regla nº 8). Las bacterias necesitan un entorno húmedo, pues en caso contrario entran en estado de latencia. Y si el material se tritura, tendrá más área superficial; incrementar el área

superficial significa que resulta más fácil acceder, y las poblaciones de bacterias aumentan. Para prevenir que los hongos accedan a su fuente de alimentos, algunas bacterias producen antibióticos que suprimen el crecimiento fúngico, lo cual facilita que las bacterias consigan el dominio una vez que se han establecido. Si quieres más bacterias, utiliza acolchados verdes que han sido triturados y humedecidos. Si solo dispones de acolchado marrón y necesitas establecer un dominio bacteriano, trocéalo en pedacitos finos y mézclalo en los centímetros superiores del suelo.

Por otro lado, tenemos los acolchados gruesos y secos que sustentan la actividad fúngica (regla nº 9). Los acolchados con menos de un 35 % de humedad se consideran «acolchados secos». Por supuesto que los hongos necesitan algo de humedad para prosperar y crecer, pero las bacterias dependen más de la humedad. Si quieres actividad fúngica, usa hojas marrones o virutas; no las pulverices o humedezcas demasiado, y colócalas en la superficie.

De nuevo la proporción C:N

Para descomponerse, el acolchado requiere aire, carbono, nitrógeno y la biología adecuada; y de nuevo entra en juego la proporción de carbono a nitrógeno. Si hay abundancia de carbono en el acolchado pero no mucho nitrógeno, o una ratio de 30:1 o mayor, entonces los microbios descomponedores usan el nitrógeno del acolchado y, una vez que se agote, tomarán el nitrógeno del suelo en contacto con el acolchado.

La gente exagera con la idea de que se «roba» el nitrógeno, pues por lo general solo ocurre en el fino punto de contacto del suelo con el acolchado. Si bien ahí sí tiene un impacto real, no suele afectar a la rizosfera ni a las bacterias y hongos que residen en ella. Con todo, no hay necesidad de buscarse problemas. La experiencia nos ha enseñado que las posibilidades de que el nitrógeno quede inmovilizado en los suelos bajo un acolchado de virutas puede reducirse si estas son de un centímetro o más. Esto previene gran parte de la colonización bacteriana que verías en virutas más pequeñas y, en lo que respecta a los acolchados, son fundamentalmente las bacterias las que encierran el nitrógeno en el suelo que está alrededor.

La aplicación de los acolchados

Los acolchados son fáciles de conseguir y relativamente fáciles de manejar y usar para apoyar a tu red de nutrientes del suelo. Solo tienes que aplicar las reglas y el acolchado apropiado (verde o marrón; húmedo

o seco; grueso o fino) de la forma adecuada (introduciéndolo o dejándolo en la superficie) alrededor de tus plantas (hortalizas, anuales y gramíneas, o árboles, arbustos y perennes). Ten cuidado: si añades una capa más gruesa de entre 5 a 7,5 cm, puedes bloquear la humedad y el aire y asfixiar a los hongos micorrízicos. No coloques el acolchado muy prieto contra los tallos o troncos; esto puede causar una descomposición microbiana de la propia planta; así que deja un poco de espacio.

Si ya utilizas acolchados en tu propiedad, sabes las grandes cosas que se pueden conseguir: mantener las malas hierbas a raya, retener la humedad durante el verano, aislar los suelos en invierno. Ahorran mucho trabajo, ¿verdad? Imagina el trabajo adicional que te ahorrarán cuando los uses para alimentar a las plantas con la clase de nitrógeno que prefieren. Así que corrige cualquier equivocación que puedas haber cometido y vuelve a aplicar el tipo adecuado de acolchado de la forma adecuada a cada tipo de planta que tengas.

Los acolchados producen resultados notables cuando se usan junto con el compost. Echa primero el compost y luego cúbrelo con un acolchado. Al igual que hacen con el suelo, los organismos del compost inocularán el acolchado y también comenzarán a descomponerlo.

Por último, puedes favorecer todas las bacterias y hongos que quieras en el acolchado, pero si no tienes los recicladores de nutrientes adecuados, en particular protozoos y nematodos, no tendrá un gran efecto en tus plantas. En realidad, puedes cultivar tus propios protozoos poniendo en remojo recortes de hierba, alfalfa, heno o paja en agua sin cloro durante tres o cuatro días. Es una buena idea que el agua burbujee con una bomba de aire de acuario y una piedra difusora para mantener la mezcla aeróbica. Si observas con cuidado esta sopa, deberías poder distinguir con alguna dificultad a los protozoos correteando (si usas una lupa, tendrás más garantías de verlos). Vierte esta sopa de protozoos en los acolchados e incrementarás el poder de reciclado nutricional de la segunda herramienta de cultivo de la red de nutrientes del suelo.

18. Tés de compost

El té de compost —la tercera herramienta de cultivo de la red de nutrientes del suelo— devuelve la microbiología al suelo. Esto es una cosa muy buena porque hay algunos problemas prácticos con el uso de las otras dos herramientas, el compost y los acolchados. Junto con el esfuerzo que supone remover una pila de compost, si tienes un jardín de un buen tamaño con muchos árboles y arbustos, transportar el compost y los acolchados de un lado a otro y aplicarlos puede suponer un duro trabajo. Además, tienes que hacer acopio de un montón de ambos salvo que tengas un terreno pequeño. Pero, ¿cuál es el problema principal de ambas herramientas? Que tardan en alcanzar la rizosfera. Y ninguna de los dos se pega a las hojas. Las plantas generan exudados de las hojas que atraen a las bacterias y hongos a la filosfera, el área inmediatamente alrededor de la superficie de las hojas. Al igual que en la rizosfera, estos microbios compiten con los patógenos por el espacio y la comida y en algunos casos pueden proteger las superficies de las hojas del ataque. No puedes introducir de inmediato esta microbiología en la rizosfera —y en la filosfera en ningún caso— con el compost o el acolchado.

Por el contrario, los tés de compost aireados activamente suelen ser de fácil aplicación —tanto en el suelo como en la superficie de las hojas— y se colocan justo donde se necesitan. Son rápidos y baratos, y constituyen una manera fascinante de gestionar la microbiología de la red de nutrientes del suelo en tus terrenos y jardines, pues superan cómodamente las limitaciones del compost y los acolchados.

Lo que los TCAA no son

No confundas el té de compost aireado activamente con los lixiviados de compost, los extractos de compost o los tés de estiércol, todos ellos empleados por los agricultores y jardineros durante siglos.

El lixiviado de compost es un líquido que rezuma del compost cuando se comprime o cuando se añade agua y se produce lixiviación. Sin duda

estos brebajes obtienen un poco de color y pueden tener algún valor nutricional, pero los lixiviados hacen poco a la hora de dotar a tus suelos de vida microbiana: las bacterias y hongos del compost están pegados a la materia orgánica y a las partículas del suelo con pegamentos biológicos; simplemente, no se los lleva el agua.

El extracto de compost es lo que obtienes cuando dejas el compost en remojo durante un par de semanas o más. El resultado final es una sopa anaeróbica con quizás un poco de actividad microbiana aeróbica en la superficie. La pérdida de tan solo la diversidad microbiana aeróbica (sin mencionar el riesgo de que contenga patógenos anaeróbicos y alcoholes) indica que los extractos de compost no valen el esfuerzo. No consideramos seguro ni recomendable usarlos.

El té de estiércol, que se crea colgando una bolsa de estiércol en agua durante varias semanas, también es anaeróbico. Usar estiércol es buscarse problemas con los patógenos y, en particular bajo condiciones anaeróbicas, prácticamente garantiza la presencia de *E. coli*. Queremos que los microbios beneficiosos trabajen en nuestros suelos y, para conseguirlo, tienes que mantener las cosas aeróbicas.

El té de compost moderno

Por otra parte, los tés de compost modernos son mezclas aeróbicas. Si el té se hace de forma adecuada, será un concentrado de microbios aeróbicos beneficiosos. La población bacteriana, por ejemplo, crece de mil millones en una cucharadita de compost a cuatro mil millones en una cucharadita de compost aireado activamente. Estos tés se elaboran añadiendo compost (y algunos nutrientes extra para alimentar sus microbios) a un agua sin cloro y aireando la mezcla durante uno o dos días. Es esta combinación, o aireación activa, lo que lleva a los tés de compost anaeróbicos hechos a la vieja usanza a la época moderna; también es lo que mantiene a estos tés aeróbicos y, por tanto, seguros. El flujo de aire debe ser suficiente para mantener el té aeróbico durante todo el proceso.

10–150 µg	Bacterias activas
150–300 µg	Total bacterias
2–10 µg	Hongos activos
5–20 µg	Total hongos
1,000	Flagelados
1,000	Amebas
20–50	Ciliados
2–10	Nematodos benéficos

Estándares mínimos para los organismos por mililitro de té de compost. Tom Hoffman Graphic Design.

Se requiere energía para separar a los microbios del compost. Ya conoces la energía que necesitas a diario (o por lo menos deberías) para eliminar otra forma de babaza bacteriana: la placa de tus dientes. La babaza bacteriana de los suelos es igual de fuerte. Ten en cuenta, por otro lado, que las hifas fúngicas crecen no solo en la superficie de la miga de compost sino también en las oquedades. Tienes que aplicar energía para arrancar estos filamentos además de «despegar» a las bacterias. Y, sin duda, un exceso de acción enérgica puede matar a estos microbios. La acción del dispositivo debe ser lo suficientemente fuerte para extraer los microbios, pero no tan fuerte para que no mueran los microbios una vez fuera del compost y dentro del té.



Este té de compost aireado activamente rebosa de bacterias, hongos, protozoos y nematodos extraídos del compost. Judith Hoersting.

El dispositivo

Cada vez hay más dispositivos en el mercado para elaborar el té de compost. Estos oscilan entre los sistemas pequeños de 20 a 75 litros que pueden hacer suficiente té para colmar las necesidades de una hectárea, hasta los comerciales que son capaces de producir hasta cuatro mil litros o incluso más por cada elaboración. Internet es un buen lugar para consultar estos kits y compararlos. Los fabricantes deberían ser capaces de demostrar que sus máquinas pueden extraer poblaciones viables de hongos, así como de bacterias; pero solo un análisis biológico te dirá los números. Insiste en ver uno y, si no lo tienen, no lo compres.

También puedes confeccionarte tu propio dispositivo. Es fácil y es lo que recomendamos a aquellos que empiezan con los tés. Todo lo que necesitas es uno de esos ubicuos bidones de plástico de 20 litros; añádele una bomba de aire de acuario (la más grande que te puedas permitir), una piedra difusora y un poco más de un metro de tubo de plástico. Las mejores bombas tienen dos salidas de aire; si no puedes conseguir una, usa por lo menos dos bombas de una salida. Que haya una aireación suficiente resulta crucial. Una vez que tengas tu sistema operativo, sabrás si tienes suficiente aire. Si el té huele bien, todo está en orden. Si comienza a oler mal, el té se ha vuelto anaeróbico.



Este dispositivo de la marca kiss puede elaborar té en doce horas para tratar una propiedad de una media hectárea. Judith Hoersting.



El BobOlator, que utiliza una cámara para retener el compost, elabora unos doscientos litros en veinticuatro horas. Judith Hoersting.

Aprendimos en la clase de física que, cuanto más pequeñas las burbujas, mayor es la ratio superficie/aire y, por tanto, mayor intercambio con el agua; pero cuando las burbujas son demasiado pequeñas —menos de un milímetro— pueden cortar los microbios. Las piedras difusoras de acuario funcionan bien si te acuerdas de mantenerlas limpias (así como el tubo de plástico que conecta a la bomba). Otro sistema que puede sustituir a la piedra difusora es una manguera perforada de 13 mm de diámetro y unos 60 cm de largo diseñada para el sistema de riego por goteo. Esta manguera puede ser enrollada y pegada con cinta al fondo del bidón para dar una mejor «cobertura» de burbujas que la piedra difusora.

Sujetamos la piedra difusora o la manguera perforada al fondo del bidón, luego conectamos el tubo y lo llevamos desde el bidón a la bomba. Si quieres tener un sistema que luzca realmente bien, puedes comprar un pequeño aro de plástico diseñado para ser colocado en la pared del bidón para ensartar el tubo de aire y que no haya goteo de líquido. Si lo colocas lo suficientemente bajo en la pared del bidón, o incluso en el fondo, resultará más fácil sujetar lo que sea que uses para crear burbujas desde el fondo del bidón.



Es fácil fabricar un dispositivo para hacer té de compost aireado activamente usando bombas de aire de acuario y piedras difusoras. Judith Hoersting.

Algunos ponen su compost en una bolsa porosa antes de sumergirlo, en vez de dejar que se mezcle libremente en el agua. Esto elimina la necesidad de colar el té antes de aplicarlo, que es algo que tendrás que hacer si pretendes usarlo con un pulverizador de jardín (si solo vas a utilizar el té para empapar el suelo, no es necesario colarlo). Un par de pantys grandes funcionan bien como «calcetín» para el compost. Ahorraremos a nuestros lectores el tiempo de búsqueda: aprendimos leyendo las etiquetas en los escaparates que la talla más grande de medias suele ser la 3 (talla 46 aprox.). Puedes agrandar el ancho alrededor de un bidón de veinte litros de forma que las piernas caigan en el bidón, y rellenarlas con compost. O puedes anudarlas y rellenar la «bolsa» que se crea con compost. Esta descansará en el agua.

Ubicación y limpieza

La temperatura es importante cuando elaboras té de compost. Si hace demasiado frío, la actividad microbiana se ralentiza. Si la temperatura es muy elevada, entonces los microbios se cuecen literalmente o entran en un estado de latencia. La temperatura ambiente resulta ideal. Vigila la temperatura del agua. Es esta una de las variables que puedes ajustar más tarde de ser necesario, y un registro de esta información resultará útil para el laboratorio que analice tus muestras. Si no puedes colocar tu dispositivo en un sitio cálido con temperaturas estables, entonces un pequeño y barato calentador de acuario puede ser necesario; estos

vienen con termostatos automáticos. Si hace demasiado calor en el lugar donde elaboras el té, puedes plantearte «empaquetar» tu bidón con hielo o ir añadiéndolo para mantener la temperatura baja.

El té de compost debe hacerse evitando la luz solar directa porque los rayos ultravioletas matan los microbios. Y, dado que las proteínas (los cuerpos de los gusanos, básicamente) en el compost tienen tendencia a espumear en el té, asegúrate de colocar tu dispositivo en un sitio donde se pueda tolerar un poco de vertido.

Debería ser evidente —aunque hay que señalarlo— que, cuando se elaboran tés de compost aireados activamente, es importante limpiar enseguida. La babaza bacteriana es fuerte y puede embozar las salidas de aire en los burbujeadores y en los tubos. Este biofilm aparecerá en los lugares más extraños. Se pegará a los lados del bidón y se acumulará en la hendidura en el fondo. Puede que tengas que desmontar las mangueras y accesorios para limpiarlos a fondo. Así que, incluso antes de usar el té, limpia tu dispositivo. Si lo haces cuando aún está húmedo, normalmente podrás limpiarlo frotando o expulsarlo con la presión del agua de una manguera; como mínimo échale un chorro de agua. Utiliza un producto con un 3 % de peróxido de hidrógeno o una solución al 5 % de bicarbonato de sodio para limpiar la babaza que se haya secado.



Estas franjas negras son biofilm que se formó en el interior de un dispositivo para elaborar té de compost. Si se deja así, el biofilm puede impactar negativamente en la calidad del té producido. Judith Hoersting.

Ingredientes

Los té de compost aireados activamente contienen muchas bacterias, hongos, nematodos y protozoos, porque eso es lo que hay en el compost. Lo que hace que estos té sean una herramienta tan buena para red de nutrientes del suelo (además de la alta concentración de microbios) es que puedes hacerlos a medida para alimentar a las plantas según sus necesidades específicas añadiendo ciertos nutrientes (ver la regla nº 10). Cuando elaboras el té de compost, utiliza la regla nº 10, que se aplica por igual al compost, encolchados y suelos; y esta evoluciona a la regla nº 11: eligiendo el compost con el que empiezas y los nutrientes que le añades, puedes elaborar té que son claramente fúngicos, dominados por bacterias o equilibrados. Para muchos, el proceso de la elaboración se convierte en un hobby en sí mismo, que no es muy distinto de elaborar cerveza.

Sin embargo, todas las recetas comienzan con los ingredientes básicos, y el primero es el uso de agua libre de cloro. La regla nº 12 es muy importante: los té de compost son muy sensibles al cloro y a los conservantes en el agua y en los ingredientes con que se elaboran. Es de importancia vital que ninguno de los ingredientes que uses contenga conservantes de ningún tipo. Esto tiene sentido: después de todo, el objeto de estos productos químicos es matar o disuadir a la vida microbiana. Si utilizas un sistema de agua que usa cloro, necesitarás llenar el bidón con agua y dejarlo formando burbujas de agua durante una hora o dos. El cloro se evaporará y el agua será segura para los microbios. Los sistemas con filtros de carbono y ósmosis inversa también funcionan bien para retirar el cloro y las cloraminas, y resultan particularmente útiles si necesitas grandes cantidades de agua. Como regla de buen cubero, un filtro de carbono que contenga unos 0,03 m³ de carbono filtrará unos 18 litros de agua por minuto.

A continuación, necesitas utilizar un buen compost (perdónanos la redundancia: para nosotros todo el compost es bueno o no es compost). Recuerda que no haya restos químicos en el material y, por supuesto, huélelo. Si no huele bien, no es un buen compost. Sin duda, la mejor manera de averiguarlo es mediante un análisis. Evita el «casi compost», el compost que no ha completado el proceso o se ha vuelto apestoso y anaeróbico. Olvida el compost al que se dejó sobrecalentarse y matar a todos los microbios beneficiosos reduciendo su red de nutrientes del suelo. Si tienes baja diversidad de microbios en tu compost, también tendrás baja diversidad en tu té.

El humus de lombriz es un buen sustituto del compost. Está lleno de microbios beneficiosos y tiende a ser muy bacteriano (recuerda el papel que juegan las bacterias dentro de los gusanos cuando digieren la comida), en particular, cuando es fresco. Para la elaboración de 20 litros,

necesitarás aproximadamente cuatro tazas de compost o humus de lombriz. Puedes utilizar proporcionalmente menos compost cuanto más grande sea el bidón.

AGUA SIN CLORO	COMPOST
110 l	2 kg (20 tazas)
220 l	3 kg (28 tazas)
2200 l	7 kg (60 tazas)

La cantidad de compost (o humus de lombriz) que se usa para elaborar el té no varía linealmente, como muestra esta tabla. Tom Hoffman Graphic Design.

Por lo que respecta a los ingredientes extra, puedes alimentar a la población microbiana mientras se elaboran los tés. Las melazas (no sulfuradas porque eso mataría a los microbios) en polvo o líquidas, miel de azúcar de caña, sirope de arce, y zumos de frutas, todos ellos alimentan a las bacterias en los tés e incrementan su población. Dos cucharadas de cualquiera de estos azúcares simples en unos veinte litros de agua ayudarán a las bacterias a multiplicarse y establecer el dominio. Si elaboras más té, añade más nutrientes en la misma proporción: la cantidad de todos los nutrientes añadidos variará linealmente a medida que incrementa el tamaño de tu bidón. Los azúcares más complejos y la emulsión de pescado son también buenos alimentos para las bacterias, si bien ambos sustentarán el crecimiento fúngico. Para favorecer el crecimiento fúngico en tus tés de compost, añade kelp, ácido húmico y ácido fúlvico, y harina de roca fosfórica, que no solo ofrecen nutrientes a los hongos sino también superficies donde adherirse mientras crecen. *Ascophyllum nodosum* es un kelp de aguas frías (kelp noruego) que puede adquirirse por internet, en los centros de jardinería o incluso en las tiendas de forrajes, donde a menudo se vende como harina de algas. La pulpa de frutas como la naranja, el arándano y la manzana también ayudará al crecimiento de hongos en los tés de compost, así como el extracto de aloe vera (sin conservantes), la manzana y el hidrolizado de pescado (que es, en esencia, el pescado triturado con las espinas y demás digerido enzimáticamente). Puedes comprar hidrolizado de pescado en algunos viveros o elaborarlo tú mismo añadiendo papaína (alias papaya peptidasa) o kiwi (que también contiene la enzima adecuada) a una mezcla de pescado para que se digieran enzimáticamente las espinas. La yuca y las zeolitas también son buenos alimentos fúngicos y no sustentan poblaciones de bacterias.

Concede a los hongos una ventaja en la salida

Muchos de los que por primera vez empiezan a elaborar té acaban frustrados porque puede ser difícil hacer que crezcan los suficientes hongos para conseguir un té equilibrado, y aún más uno dominado por estos. Esto se debe a que las bacterias crecen y se multiplican rápidamente en el té dada una nutrición adecuada, mientras que el tiempo de elaboración nunca es suficientemente largo para que los hongos puedan multiplicarse; tan solo crecen más grandes. La mejor manera consiste en activar los hongos en el compost antes de hacer el té, permitiendo que las poblaciones se multipliquen antes de ser expulsadas del compost para entrar en el bidón del té.

Esta activación se consigue fácilmente: unos días antes de elaborar el té, mezcla el compost con proteínas simples que sirvan como buen alimento fúngico como, por ejemplo, semilla de soja molida, malta en polvo, harina de avena, salvado de avena o, lo mejor, avena para bebés en polvo. Mezcla completamente cualquiera de estos en una proporción de tres a cuatro cucharadas por taza de compost. Asegúrate de que el compost está lo suficientemente húmedo, es decir, que puede extraerse una gota de agua de un puñado. Vierte la mezcla en un contenedor y colócalo en un lugar cálido y oscuro. Una alfombra de calor para semilleros, colocada bajo el contenedor, funciona muy bien para conseguir la temperatura adecuada.

Tras unos tres días a 27 °C, los hongos en tu compost —si tenías la suficiente cantidad para empezar— habrán crecido, y sus filamentos invisibles de hifas convergerán en micelios visibles. El compost debería parecerse a la barba de Santa Claus recubierta con largos y mullidos filamentos blancos. En unos pocos días más, habrá tantos filamentos fúngicos que todo el contenedor de compost estará pegado.



Los micelios fúngicos se activan añadiendo nutrientes fúngicos al compost antes de elaborar el té. Judith Hoersting.

La hora del té

Una vez actives el dispositivo, las burbujas agitarán el compost y comenzarán a despegar a los microbios y a expulsarlos de donde estaban. Dependiendo del compost y de los nutrientes, puede que se forme un poco de espuma; esto puede indicar que se está liberando proteína de gusano del compost, algo que es bueno. Puedes añadir hongos micorrízicos a final del ciclo de elaboración. Si pones las esporas en el té mientras se está haciendo o bien serán destruidas o bien las hifas fúngicas que producen serán destruidas; ambas son muy frágiles. Además, como los hongos micorrízicos viven de los exudados de las raíces, tanto estos como el té tienen que alcanzar rápido las raíces de las plantas.

Lleva de veinticuatro a treinta y seis horas desarrollar un buen té usando nuestro sencillo bidón burbujeante; algunos fabricantes comerciales lo elaboran en doce horas con sus sistemas de alta energía. En cualquier caso, durante la elaboración el té se vuelve marrón café, lo que también es una buena señal: las sustancias húmicas del compost se

separan y van al té. Puede también que aumente la temperatura unos pocos grados como resultado del incremento en la actividad metabólica. La mejor parte es el olor. El olor de los té de compost, en particular cuando se usa melaza como nutriente, es saludable, dulce y terroso.

Los té de compost tienen una vida de anaquel corta. Habrá tantos microbios en el compuesto que rápidamente esquilmarán los nutrientes y empezarán a comerse los unos a otros; y lo que es más importante, gastarán todo el oxígeno. Si te molesta el olor de un té, es porque probablemente se ha vuelto anaeróbico y debería ser descartado; obviamente, no lo viertas en tus plantas. Lo mejor es usar el té de compost durante las primeras cuatro horas de su elaboración, si bien durará, con una población menguante, entre tres y cinco días si se mantiene refrigerado o si lo mantienes burbujeando con aire.

Cuando adquieras experiencia elaborando los té, puede que quieras modificar tu máquina para mejorarlos, es decir, para conseguir aquellos que tengan el mayor número de microbios. Por ejemplo, además de sustituir la piedra difusora por una manguera perforada, también mejoramos el tamaño de nuestra bomba; en un momento dado, dimos con una bomba de aire de 1/3 cv y ahora hacemos té burbujeante en serio en un contenedor de plástico de 120 litros. Las burbujas proceden de distintas piezas; estamos continuamente experimentando y usamos aireadores para acuarios y jacuzzis, rosetas de regadera, e incluso tubos de plástico con perforaciones de entre 5 y 10 mm.

La aplicación

Para empezar, te diremos que nunca puedes aplicar demasiado té de compost (nuestras investigaciones no muestran ningún efecto adverso de las aplicaciones ilimitadas). No quema ni las raíces ni las hojas de las plantas, y la microbiología del té se ajustará a los nutrientes disponibles en el lugar. La aplicación repetida del té de compost no hará sino ayudar a incrementar la diversidad de poblaciones microbianas en tus suelos. Úsalo en los céspedes, hortalizas, árboles, arbustos, anuales y perennes. A diferencia de los pulverizadores y las mangueras con goteros que emplean productos químicos, el té de compost es seguro y de fácil aplicación.

En el momento en que el té esté a punto, aplícalo para empapar el suelo con una taza, una regadera de plástico (las bacterias pueden afectar al zinc de los contenedores metálicos), o (si el té está colado) con un pulverizador manual. Dado que el té de compost se «pegará» a la superficie de las hojas, puedes inocularlas con microbios beneficiosos con un espray foliar. Para que resulte efectivo como espray foliar, el té tiene

que cubrir el 70 % de la superficie de las hojas. Recubre la hoja por ambas caras. Cuando apliques el té de compost a los suelos, empapa las plantas y la tierra a su alrededor con tu té. Nunca será demasiado.

Y no te olvides del sol: los rayos ultravioletas matan a los microbios. Si vives en latitudes meridionales, tendrás que aplicarlo antes de las diez de la mañana o a partir de las tres de la tarde, cuando los rayos UVA sean más débiles, incluso en un día nublado. No hay ninguna loción para los microbios que bloquee el sol. Puede llevar de quince a treinta minutos para que las hifas bacterianas o fúngicas se adhieran a una hoja (donde pueden conseguir algo de protección), un intervalo demasiado largo en el que estarán expuestas a los rayos del sol. También puedes optar por pulverizar con un diámetro de gota de por lo menos 1 mm; con esa cantidad de agua, las bacterias pueden desarrollar la suficiente babaza para establecerse antes de que el agua se evapore. Los rayos UVA también pueden afectar negativamente a la microbiología cuando se empapan los suelos, pero puedes tomártelo con más calma pues los microbios se hunden en el suelo y en la capa de hojarasca casi de inmediato.

Recuerda que aquí estás tratando con organismos vivos. Los microbios que cultivaste y alimentaste con cuidado en tu té están muy vivos y requieren un trato amable. La presión de los pulverizadores no debería exceder los 35 kg, y la velocidad debería ser lenta. O bien retírate un poco o bien apunta la boquilla del pulverizador hacia arriba para que las gotas de té «aterricen» en las superficies a cubrir; el té no debería «salpicar» con fuerza el suelo del terreno o césped, pues esto es lo que a veces mata a la planta y no la presión del tanque. Los pulverizadores electrostáticos, por cierto, pueden destruir los microbios al poner la carga equivocada en ellos; así que analiza el té de uno de estos pulverizadores antes de usarlo.

Es posible utilizar un pulverizador de mano si cueles el té, pero tienes que ir con cuidado de no eliminar los microbios durante el filtrado. La trama de un «calcetín de compost» debería ser de al menos 400 μm , que es lo suficientemente grande para permitir que fluyan a través los hongos y nematodos, pero mantendrá fuera las partículas de materia que obstruirían los pulverizadores tradicionales. También puedes decantar una solución de té dejándola reposar unos quince minutos una vez que haya finalizado la aireación. Esto consigue librarse de los restos; la mala noticia es que a menudo disminuye la cantidad de hongos en el té.

Te saldrá más a cuenta si inviertes en un pulverizador de mortero de cemento que es capaz de gestionar las partículas del compost que obstruirían un pulverizador normal de jardín. Los pulverizadores de mortero son iguales a los pulverizadores de bomba de jardín, salvo que tienen menos curvas, orificios más grandes y boquillas por las que

discurren partículas más grandes. Para consultar precios y disponibilidad, pregunta en alguna ferretería local, algún contratista que trabaje el cemento, una tienda de suministros o en alguna compañía de áridos. Un atomizador tipo mochila de gasolina también resulta apropiado, en particular, para un césped de grandes dimensiones. Una manera estupenda de tratar un césped es con un aspersor de base móvil con un dispensador de fertilizante que introduzca el té en el flujo de agua (ver el capítulo 18 para más detalles).

Ya sea pulverizando o vertiendo, los microbios en el té se asentarán, crecerán, se reproducirán, atraerán depredadores, comerán y serán comidos o entrarán en latencia. Estos crean barreras de protección alrededor de las raíces y liberan nutrientes cuando la planta muere. Además, crean y mejoran la estructura del suelo, establecen barreras de protección en las hojas y compiten con los malos también ahí arriba.

Los tés de compost comienzan a funcionar de inmediato, y por eso es importante que el té que se aplica sea bueno y esté repleto de organismos beneficiosos y no enfermedades o patógenos. No debe haber espacio o tolerancia para los tés mal elaborados. Si no te sientes con ánimo, puedes comprar TCAA a un número creciente de viveros comerciales y centros de jardinería; algunas empresas no solo los elaboran, sino que también los aplican por ti. En ambos casos, sigue siendo conveniente solicitar análisis para comprobar el rendimiento de los tés y, por supuesto, no dejes de pasar los tés elaborados comercialmente por la prueba de olerlos antes de comprarlos o aplicarlos. Puede que estuvieran bien en un principio, pero que se hayan vuelto anaeróbicos antes de venderse.

Puedes aplicar los TCAA todas las veces que quieras pero, con qué regularidad debes aplicarlos (en particular, si has pagado por ellos) depende, como puedes imaginar, de la situación de los organismos de la red de nutrientes del suelo en las áreas que te interesan. Los primerizos deberían obtener una lectura de base sobre la cantidad de microbiología y artrópodos antes de «embarcarse» en el uso de esta herramienta tan efectiva. A medida que tu red de nutrientes del suelo se vuelva más sana, no necesitarás aplicar el té tan a menudo. Así, si has aplicado a tu terreno fertilizantes químicos durante años, deberías echarle el té de compost cada dos semanas durante tres meses para establecer una saludable red de nutrientes del suelo. Luego ya podrás aplicar el té cada mes durante una temporada y, finalmente, tres veces al año.

¿Cuánto té de compost deberías aplicar en una sesión? Durante dos años uno de nosotros usó 230 litros a la semana en una parcela de unos mil metros cuadrados con resultados positivos (salvo por alguna queja de la pareja porque pensaba que estaba pasando demasiado tiempo cultivando con microbios). Sin embargo, la regla general es la de aplicar

unos 20 litros por cada media hectárea para empapar el suelo, y 40 litros si también vas a aplicarlos en las hojas. No hay problema en diluir el té; solo cerciórate de que había 20 litros cuando empezaste. Cuando adquieras experiencia, podrás igualar la cantidad de té que apliques con los análisis del suelo y de los té para conseguir una proporción en concreto de hongos a bacterias.

El momento idóneo

Hay ciertos momentos en los que tiene más sentido aplicar el té. Por ejemplo, es una buena idea aplicarlo inmediatamente después de que caigan las hojas en otoño. Si el suelo y la hojarasca no se congelan durante el invierno, la descomposición continuará a buen ritmo durante toda la estación. Incluso bajo una capa de nieve, la descomposición ocurrirá en el punto de contacto de la nieve con la superficie del suelo, donde estará lo suficientemente caliente para que la actividad microbiana continúe. Con la llegada de la primavera, justo antes de que las plantas comiencen un nuevo crecimiento, vuelve a echar té; nuestra sugerencia es de unos 40 litros que empapen un suelo de media hectárea. También aplica unos 20 litros en espray foliar a las yemas y a las hojas jóvenes. Si las plantas prosperan y están libres de enfermedades, solo tienes que aplicar el té en estas dos ocasiones; si vives en un entorno tropical, deberías aplicarlo cuatro veces al año.

Cuando se trata de dejar atrás organismos patógenos del suelo o de la filósfera, los té con una dominancia fúngica han sido utilizados para prevenir o suprimir el crecimiento del oídio (*Erysiphe graminis* en la hierba, *Phytophthora* spp. en los rododendros), el mildiu (*Sclerophthora* spp.), la pudrición radicular (*Gaeumannomyces* spp.), la podredumbre gris de las nieves (*Typhula* spp.), la fusariosis fría (*Microdochium* spp.), el hilo rojo en césped (*Laetisaria* spp.), la podredumbre en la base y en las raíces y caída de plántulas (*Pythium* spp.), la mancha parda (*Rhizoctonia solani*), el fusarium de verano (*Magnaporthe* spp.), la roya (*Puccinia* spp.) y los anillos de brujas (toda clase de hongos). Los té dominados por las bacterias han sido útiles para derrotar a patógenos en los casos menos graves de la *Sclerotinia homeocarpa* («mancha del dólar», aunque las plagas más graves requieren grandes cantidades de competidores fúngicos), la mancha anular necrótica (*Leptosphaeria* spp.), la mancha larga (*Rhizoctonia cerealis*), la mancha foliar (*Bipolaris* spp., *Curvularia* spp.), el hilo rojo (*Limonomyces* spp.) y el carboncillo (*Ustilago* spp.). Los insectos también sucumben ante los efectos de los té de compost, en concreto, los gorgojos, las larvas de escarabajo (*Ataenius* spp.), el gusano cortador y el gusano blanco; varios informes avalan su impacto negativo

en la mosca blanca, las hormigas coloradas y los insectos escamas.



Oídio creciendo en las hojas. Rociar el té de compost puede vencerlo, así como a otras enfermedades fúngicas. USDA Cooperative Extension Slide Series.



Ampliación microscópica del mildiu. Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

Ante los primeros signos de una enfermedad o plaga de insectos en cualquiera de tus plantas, aplica los tés y repite entre cinco y siete días después. Obviamente, una aplicación profiláctica es lo mejor: si estás familiarizado con la fenología (los ciclos estacionales) de tu terreno, deberías ser capaz de aplicar los tés adelantándote a los brotes.

Por último, ciertas malas hierbas se ven afectadas por los tés de compost. El trébol y la grama lo pasan mal cuando añades al suelo un montón de protozoos y nematodos beneficiosos; estos tés realizan e incrementan el ciclo del nitrógeno. Los llantenes, las pamplinas y las juncias desaparecen si reduces los nitratos del suelo: usa un té con dominio fúngico. La hiedra también responde a los tés con alto contenido fúngico.



La podredumbre radicular y el *damping-off* o caída de plántulas (que se muestra aquí en una *Agrostis* hospedadora) también pueden ser controlados con la aplicación de un té de compost aireado activamente. USDA Cooperative Extension Slide Series.

Los té de compost son verdaderamente una red líquida de nutrientes del suelo. En vez de acarrear carretillas de compost, plantéate optar por el té de compost, pues es un concentrado de la misma microbiología. Y cuando lo uses, realmente estarás cultivando con microbios.

Si aún te preocupa la *E. coli*

Nos cuesta creer que la *E. coli*, un organismo anaeróbico, pueda encontrarse en los té adecuadamente aireados. Como tampoco usamos estiércol en nuestros compost, ¿de dónde podrían provenir estos microbios? Con todo, hay gente a la que le sigue preocupando el crecimiento de la *E. coli* en sus té. Por supuesto que la manera de evitarlo consiste en excluir el estiércol, pero también los nutrientes —los ingredientes extra— que añades cuando haces té de compost: las melazas, el kelp y demás. Haz tu té estrictamente aireando un compost que sea fúngico, bacteriano o equilibrado. O evita usar los TCAA en los cultivos de plantas alimenticias.

19. Los hongos micorrícicos

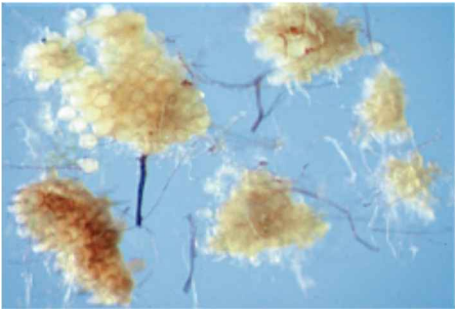
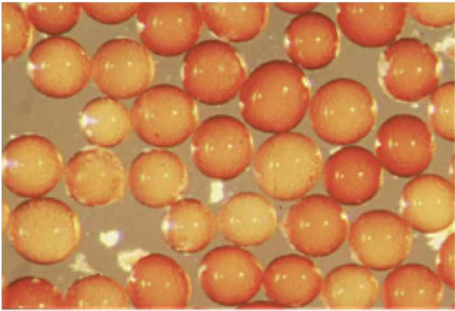
El compostaje, acolchados y tés de compost constituyen herramientas de la red de nutrientes del suelo que pueden ser utilizadas prácticamente en cualquier situación del jardín o el terreno. Solo se necesita añadir una cuarta herramienta —los hongos micorrícicos— cuando estos estén ausentes. En condiciones naturales, tus suelos deberían contener todos los hongos micorrícicos y esporas que necesitan. Pero hemos aprendido que los hongos son microorganismos frágiles y suelen ser los primeros en desaparecer cuando las cosas se complican en el suelo. El motocultor, la esterilización, la fumigación con fungicidas y la compactación de los suelos, todos ellos tienen un efecto negativo en los hongos micorrícicos del suelo. Colaborar con los microbios tras estas prácticas puede requerir una enmienda de la red de nutrientes del suelo: la adición de los hongos micorrícicos apropiados.

Un breve repaso

Para muchos, la introducción en el capítulo 5 fue la primera exposición a dos amplios grupos de hongos micorrícicos que conciernen a los jardineros: los hongos ectomicorrícicos (EM) y los endomicorrícicos (u hongos micorrícicos arbusculares, MA). Estos hongos extienden el alcance de las raíces en aproximadamente el 95 % de todas las plantas. La razón por la que los hongos micorrícicos infectan una raíz es para obtener un suministro continuo de carbono, que es lo que contienen los exudados de las raíces de las plantas, pues los hongos no pueden producir su propio carbono. Recuerda que, en nuestro mundo, el control lo tienen las plantas. A cambio del carbono de los exudados de las raíces, los hongos micorrícicos descomponen la materia orgánica, liberan y absorben los nutrientes necesarios del suelo, y luego transportan y entregan estos nutrientes a lugares de intercambio en el interior de las raíces. En los suelos agrícolas (y eso incluye tu terreno y jardines), los hongos MA (los que penetran y crecen en el interior de las raíces además de extenderse

al exterior) constituyen el mecanismo de almacenaje de carbono más importante, pues retienen casi un 30 % del carbono del suelo (en comparación con el ácido húmico, que solo retiene hasta un 12 %). En los hongos EM, la funda o cubierta que se forma alrededor de las raíces es porosa y en realidad retiene agua.

Sin estos hongos, las plantas no rinden como deberían, es decir, salvo que se introduzca una solución de un nutriente químico para que haga las veces de los microbios ausentes. Si cultivas orquídeas, puede que sepas que ni siquiera germinarán a menos que estén presentes unos hongos micorrícicos específicos de las orquídeas. Las plantas ericáceas — que incluyen a los rododendros, brezos, laurel de montaña, arándanos y plantas perennes similares— están infectados por los hongos micorrícicos. Ninguna de estos está disponible comercialmente, pero sí lo están los hongos EM y MA.



Esporas de hongos micorrícicos. Mycorrhizal Applications.

No te alarmes porque empleemos la palabra «infectado» pues, de hecho, los hongos micorrícicos infectan las raíces de las plantas; pero esto mejora su salud. No solo eso, sino que además la infección de los hongos micorrícicos puede, en realidad, prevenir las infecciones de la planta hospedadora por parte de patógenos. Esto puede deberse a una reducción del espacio habitable (el espacio que halla será ocupado por los

hongos micorrícicos) o porque los hongos micorrícicos vencen a los patógenos en la lucha por los nutrientes. Si bien también está la posible producción de antibióticos bien por parte de los hongos asociados bien por parte de las bacterias que se alían con los hongos.

Cuando un nutriente en concreto desaparece del suelo, las raíces ya no pueden absorberlo a no ser que crezcan en áreas nuevas del suelo o un nuevo suministro del nutriente fluya hacia la zona de las raíces. Cuando una planta se alía con los hongos, los filamentos de las hifas se extienden más lejos por el suelo de lo que alcanzan las raíces, mucho más allá de las zonas empobrecidas de nutrientes que se forman alrededor de las raíces (ver «capacidad de intercambio catiónico» en el capítulo 2). Dado que los hongos micorrícicos son considerablemente más finos que la raíz, pueden viajar dentro y a través de poros que resultan inalcanzables para la gruesa raíz. Estos poros contienen nutrientes y agua sin aprovechar, lo que supone un tesoro oculto para la planta hospedadora. Las plantas alimentadas por hongos micorrícicos crecen más grandes y con más vigor y desarrollan raíces, tallos y hojas más sanos.



Los hongos micorrícicos ayudan a la planta de la izquierda a desarrollar raíces más sanas y profundas. Mycorrhizal Applications.

Las especies individuales de los cientos de tipos de hongos *EM* y *MA* que han sido descubiertos hasta la fecha suelen asociarse con más de una clase de planta. De hecho, los hongos micorrícicos forman redes extensas que pueden alimentar a muchas plantas distintas y, a menudo, a diferentes clases de plantas a la vez. Algunos hongos en concreto pueden formar simultáneamente endomicorrizas con una clase de planta y

ectomicorrizas con otra. Y eso sí que es un trastorno de personalidad... Por fortuna, las mezclas comerciales disponibles de hongos *EM* y *MA* contienen estas especies tan generalistas e infectarán a muchas clases de plantas.

Imanes de nutrientes

Los hongos micorrícicos producen quelatos, unos compuestos que rompen los fuertes enlaces químicos de los elementos químicos inorgánicos que suelen enlazar con la materia orgánica y la arcilla en el suelo para volverlos disponibles para las plantas. Absorben estos nutrientes inorgánicos —en particular, nitrógeno, fósforo y cobre, pero también potasio, calcio, magnesio, cinc y hierro— y se los entregan a las plantas. Las plantas, a su vez, producen exudados que atraen y sustentan al rebaño apropiado de hongos micorrícicos. Así que tienes que saber qué herramienta aplicar: la mayoría de las coníferas y árboles de hoja caduca (abedul, roble, haya, nogal americano) forman micorrizas con los hongos ectomicorrícicos (regla nº 16); la mayor parte de las hortalizas, anuales, gramíneas, árboles de madera blanda y perennes forman micorrizas con los hongos endomicorrícicos (regla nº 17).

Los estudios muestran que la absorción de nitrógeno nítrico y amoniacal se ve estimulada por la presencia de hongos micorrícicos. No solo el amonio es absorbido por los hongos *EM* volviéndolo disponible para la planta hospedadora, sino que también la fijación de nitrógeno se ve mejorada por su presencia. Algunos hongos micorrícicos incluso tienen las enzimas necesarias para elaborar nitrógeno a partir de proteínas de fuentes orgánicas. Un estudio en el Ártico (vivimos en Alaska, así que siempre nos parece apropiado mencionarlos) mostró que hasta un 17 % del carbono derivado fotosintéticamente se usaba para alimentar a una red fúngica que, a su vez, entregaba entre el 61 y el 86 % de las necesidades de nitrógeno de la planta; un buen intercambio para la planta que bien valía el gasto de energía.

El fósforo, en particular, es un elemento ligado químicamente y estrechamente unido al suelo. También es esencial para el crecimiento de la planta. El resultado es que se añaden cantidades ingentes al suelo, pero tan solo una pequeña parte acaba alimentando a la planta. Y el sobrante causa serios problemas medioambientales (¿a quién le apetece una crisis eutrófica?). Los hongos micorrícicos incrementan la absorción del fósforo. De hecho, los hongos *MA* (la clase que alimenta los cultivos en hileras) son los responsables de hasta un 80 % de la absorción de fósforo de la planta hospedadora. Dado que este elemento es el nutriente limitador del crecimiento de la planta después del nitrógeno, el

incremento en su disponibilidad es obviamente importante tan solo desde el punto de vista económico.

Los hongos micorrícicos producen y liberan fosfatasas, unas enzimas que liberan los grupos de fosfatos de las moléculas a las que están unidos; absorben el fosfato y lo suministran a la raíz. Resulta curioso que algunos estudios muestren que, si los niveles de fosfato del suelo son demasiado elevados, por encima de 50 a 80 ppm, muchas plantas no forman micorrizas. ¿Para qué gastar energía para producir exudados si no hay necesidad? En el momento en que caen los niveles de fosfato, se vuelve a restablecer la asociación. En un sistema natural, no hay polución de fosfato (para abundar en la relación especial entre los hongos M_A y las bacterias que solubilizan el fósforo, ver el capítulo 15).

Otros microorganismos, en particular las bacterias (¿y quién sabe? Quizás también las arqueas...), se asocian con los hongos micorrícicos y estimulan el crecimiento de los hongos y, por ende, el de la planta hospedadora. Y si todo esto no es suficiente, los hongos micorrícicos producen vitaminas, hormonas y citoquininas. Así que, si no están ahí, hay que hacer que vuelvan.

La micorrizosfera

Un principio básico de la red de nutrientes del suelo es que los exudados de las plantas, células descamadas de la planta, así como sus secreciones metabólicas atraen a una población de microbios. Lo mismo ocurre, si bien no está tan bien estudiado, en la micorrizosfera, el área contigua que rodea a los hongos micorrícicos. Las cantidades de bacterias que se encuentran en la micorrizosfera son mayores que en el suelo cercano. Esto sugiere la existencia de un atrayente, probablemente el carbono. La presencia de estas bacterias que promueven el desarrollo micorrícico (conocidas como M_{HBS} , por su designación en inglés «mycorrhiza helper bacteria») ayuda a los hongos micorrícicos de alguna manera, quizás incluso estimulando su formación.

Vivo o muerto, el carbón de los hongos E_M ofrece un sustrato para otros organismos de la red de nutrientes del suelo y promueve un grupo diverso que ayuda a alimentar y proteger a la planta hospedadora. Los científicos están estudiando lo que probablemente sea una relación simbiótica entre las M_{HBS} y los hongos ectomicorrícicos, pues algunas M_{HBS} crecen y viven justo en las paredes de los hongos E_M . Algunos han sugerido que las M_{HBS} ayudan a los hongos a convertirse en saprofitos si la raíz muere; otros creen que las bacterias ayudan a recoger fósforo, o que las M_{HBS} protegen a los hongos micorrícicos descomponiendo toxinas que en otro caso los matarían. En resumen, las micorrizas siempre fueron

consideradas una relación simbiótica a dos, pero las MHBS están alterando esta creencia: puede que se trate de una vía de tres carriles.

Los hongos ectomicorrícicos

La mayoría de las más de cuarenta mil especies conocidas de los hongos ectomicorrícicos son miembros de los filos Ascomycota (estos forman cuerpos fructíferos bajo tierra e incluyen las trufas) y Basidiomycota (que incluye los boletos, colmenillas, bejines, setas de tinta, y la hermosa pero venenosa *Amanita muscaria*). Los cuerpos fructíferos visibles son una de las grandes diferencias entre los hongos EM y MA: puedes ver los rizomorfos de los hongos ectomicorrícicos, una forma exquisita de referirse a los cuerpos fructíferos y micelios.

Las ectomicorrizas tienen varias cosas en común. En primer lugar, el desarrollo de una funda o cubierta alrededor del exterior de la propia raíz infectada. Esta cubierta incrementa el área superficial y retiene el agua; es posible también que estimule e incremente la ramificación de la raíz. En segundo lugar, las raíces infectadas tienden a ser más anchas y cortas que las que no están asociadas con los hongos. Por último, hay una red de hifas —la Red de Hartig— que crece entre las células epidérmicas del exterior y las células corticales del interior. Aquí es donde ocurre la transferencia de nutrientes. La Red de Hartig puede actuar como una barrera ante la invasión de la raíz por parte de nematodos y otros microorganismos de la red de nutrientes del suelo; es posible que las hifas produzcan sustancias químicas que ayudan a las raíces a resistir a los patógenos.

Los estudios muestran que las coníferas y árboles de hoja caduca infectados por los hongos EM (ver la regla nº 16) parecen tener una mayor resistencia patogénica que los que no lo están. Las estimaciones del porcentaje de plantas que se asocian con los hongos EM —la lenga o haya austral (*Nothofagus* spp.), el roble (*Quercus* spp.), el pino (*Pinus* spp.), el abeto (*Abies* spp.), el avellano (*Corylus* spp.), el nogal (*Juglans* spp.), por nombrar solo unos pocos— oscilan entre el 2 y el 10 %. Con independencia del número exacto, las coníferas y árboles de hoja caduca suponen un gran porcentaje de la superficie vegetal de la Tierra, compensando con la masa lo que carecen como miembros individuales.

A veces los hongos ectomicorrícicos pueden cambiar entre vivir con un compañero simbiótico y derivar la nutrición de la sapotrofia (es decir, obtener el carbono de la materia en descomposición). Cuando viven como simbiosis, los hongos ectomicorrícicos no muestran una preferencia acusada por un hospedador en particular. Un estudio sugiere que la píce de Noruega (*Picea abies*) puede asociarse con más de cien

especies distintas de hongos ^{EM}. Se sabe que la amanita muscaria puede asociarse con píceas, abedules (*Betula* spp.), el abeto de Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), e incluso los eucaliptos.

Los hongos endomicorrícicos

En realidad, los hongos endomicorrícicos invaden las paredes celulares de las raíces de las plantas (pero no la membrana celular) y solo son visibles con una ampliación (y aún así, requieren un tinte). Con una ampliación adecuada, los hongos ^{MA} se caracterizan por un patrón arbuscular de las ramas de sus hifas (del latín *arbor*, árbol). Una vez se produce la infección, la membrana de la célula radicular rodea y envuelve al arbusculo. Los arbusculos solo viven un tiempo breve: de un puñado de días a unas dos semanas. Cuando un arbusculo muere, las células radiculares vuelven a la normalidad. Estos grupos ramificados de diminutas hifas ofrecen una gran área superficial para la transferencia de nutrientes. Sin embargo, la transferencia ocurre sin que ningún protoplasma fúngico entre en contacto con el protoplasma de la planta. Se trata de un intercambio estrictamente químico en la frontera de la membrana celular.

Muchos hongos ^{MA} producen estructuras de almacenamiento conocidas como vesículas. De ahí que la denominación micorriza vesicular-arbuscular (^{MVA}) se empleara en un primer momento para todos los hongos endomicorrícicos. Cuando se descubrió que muchos hongos endomicorrícicos no formaban vesículas, el término genérico pasó a ser hongos micorrícicos arbusculares (^{MA}).

Alrededor de ciento cincuenta especies conocidas de hongos ^{MA} se asocian con más de doscientas mil plantas (ver la regla nº 17). Todos los hongos ^{MA} son miembros del orden glomales. Todos son simbioses a la fuerza: solo pueden sobrevivir en asociación con sus plantas hospedadoras. Si no hay exudados, no hay hongos ^{MA}.



Glomalina extraída de un suelo no alterado de Nebraska y luego liofilizada. Keith Weller, USDA-ARS.

La glomalina

Hasta 1996 se pensó que la glomalina —el superpegamento que retiene carbono y recubre las hifas de los hongos *MA*— era un contaminante sin identificar del humus, cuando Sara Wright, del Servicio de Investigación Agrícola del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, descubrió su origen y le dio el nombre según el orden fúngico al que pertenecen los hongos *MA*. La glomalina recubre y ayuda a sellar las hifas fúngicas, taponando los huecos y evitando que haya fugas de agua y soluciones de nutrientes mientras viajan de los hongos a las raíces de las plantas. Sin la glomalina, los hongos *MA* serían como mangueras con fugas que desperdiciarían nutrientes y energía, propios y de su raíz hospedadora.

Las glucoproteínas, una combinación de azúcar y proteína, son las que hacen que la glomalina sea pegajosa. Y porque es pegajosa, los hongos *MA* unen las partículas del suelo creando agregados del suelo más grandes. Esto mejora la estructura del suelo. Los poros que se crean permiten que los microorganismos más pequeños se escondan de los más grandes; también ofrecen un espacio de reserva para el agua y pasadizos para que el agua expulse el aire estancado y fluya con aire renovado. Las moléculas de glucoproteína almacenan carbono. Todo este carbono tiene

una consecuencia inmediata y extremadamente importante. A medida que las hifas más viejas van muriendo, el carbono del recubrimiento de glomalina se acumula en el suelo. Ya que la red de los hongos ^{MA} puede ser muy extensa (en algunos suelos, hasta casi cinco kilómetros por cucharadita de café), esto supone una gran cantidad de carbono.

Los hongos ectendomicorrícicos

Algunas plantas —en particular, el aliso (*Alnus* spp.), el abedul (*Betula* spp.), los sauces (*Salix* spp.), álamos (*Populus* spp.) y eucaliptos (*Eucalyptus* spp.)— pueden formar ecto y endomicorrizas a la vez. El objeto no es complicar el asunto, pero existen algunos hongos micorrícicos que forman estructuras ectomicorrícicas pero también invaden las paredes celulares de la misma forma que los hongos endomicorrícicos. La relación resultante se denomina ectendomicorriza. En caso de que te pique la curiosidad, los hongos ectendomicorrícicos tienen la apariencia de los hongos ectomicorrícicos. Estas asociaciones suelen ocurrir en los suelos de bosques que han ardido. Son particularmente comunes en las plántulas de pino en los viveros en los que el suelo ya había sido plantado, aunque también se dan en las raíces de las plántulas de pino de los bosques que están experimentando una regeneración natural. Por lo general y a medida que las plántulas maduran, la asociación se vuelve estrictamente ectomicorrícica. Las plantas hospedadoras de hongos ectendomicorrícicos incluyen la píceas (*Picea* spp.) y los alerces (*Larix* spp.).

Si bien la aplicación de este conocimiento a tu terreno o jardín es como mínimo limitada, sí que nos parece interesante que exista esta asociación híbrida. Aunque aún no haya ocurrido, algún día se comercializarán estos hongos.

Lo que no hay que hacer

Los hongos micorrícicos no son aptos para todas las situaciones pero, cuando están indicados, infectar a las plantas con ellos puede ser un paso útil para favorecer la salud y crecimiento de tus plantas. Quizás lo más fácil sea evitar crear las condiciones que dañen a los hongos micorrícicos. Somos los primeros en reconocer que la posibilidad de jugar con el suelo es una razón importante por la que nos gusta la jardinería. Desafortunadamente, los jardineros suelen excederse con los juegos. Los hongos micorrícicos y las micorrizas que se establecen son frágiles. Pueden verse dañados por muchas de las prácticas de la horticultura.

Empecemos con la esterilización del suelo, una práctica común cuando se pretende usar el suelo para germinar o para cultivar plantas en interior. Muchas labores agrícolas de exterior también dependen de la esterilización para librarse de los patógenos y plagas como los nematodos que se alimentan de raíces. Por definición, la esterilización significa la muerte de los hongos micorrícicos. Sería prudente añadir nuevos hongos cuando se va a plantar en un suelo así.

A continuación viene el principio de no excavar. La absorción de fósforo disminuye a medida que aumenta la alteración de los hongos MA, y es evidente que labrar con el motocultor entraña una alteración extrema para los hongos que son importantes para cultivar anuales y hortalizas (más sobre esto en el capítulo 22). Puede que permanezcan las esporas y puede que se creen propágulos, pero no estarán en buena forma y puede incluso que estén tan desplazados que se encuentren fuera de la zona de la raíz y sus exudados, que es donde tienen que estar para germinar. Como mínimo, tendrán que empezar de cero otra vez y esto lleva tiempo. Para ser claros, las redes de hongos micorrícicos crecen más rápido en los suelos que no han sido alterados. Así que, si labrabas la tierra con el motocultor, deja de hacerlo. Y para las próximas veces compra y aplica hongos micorrícicos a las plantas y semillas cuando sea hora de sembrar.

Los suelos compactados pueden constreñir o dañar las redes de micorrizas. Si esto sucede, parte de la respuesta consiste en airear retirando los tapones de suelo compactado. La compactación ocurre por muchas razones, desde las inundaciones a los vehículos aparcados, desde un exceso de tráfico humano a las acumulaciones de nieve o hielo. La compactación también ocurre cuando se emplea maquinaria pesada (cuando se construye una casa, siempre habrá suelo compactado). Incluso los neumáticos de un tractor pueden compactar el suelo.

La aireación mejora el drenaje, abre la zona al aire y mejora las condiciones para el crecimiento fúngico. Añadir hongos micorrícicos después de airear debería acelerar su recuperación y asegurar la presencia abundante de hongos. No te olvides de airear alrededor y bajo los árboles, donde la compactación también puede dañar a las micorrizas. Aplica los hongos EM mediante el riego radicular o exponiendo las raíces a una mezcla fúngica.

Cuándo echar una mano

Incluso si mantienes prácticas orgánicas beneficiosas para la red de nutrientes del suelo (y estamos convencidos de que lo serán tras leer este libro), hay algunas situaciones en las que nos parece que tiene sentido

usar hongos micorrícicos. La primera es cuando germinas plántulas en un contenedor, tanto dentro como en exterior. La mayor parte de la tierra para macetas, e incluso el compost, carece de las esporas y los propágulos de los hongos micorrícicos y puede que incluso esté esterilizada. Añadir los hongos adecuados en ese momento ayudará a establecer las micorrizas pronto. Reboza la semilla con la mezcla de los hongos y espolvorea un poco en el substrato de germinación, y en las raíces visibles en el momento de trasplantar. En el cultivo en interior con compost también se necesita una infección temprana de las raíces de la planta para que esta crezca lo mejor que pueda. Si bien el compost posee bacterias y otros hongos y sus recicladores —nematodos y protozoos—, suele contener pocas esporas micorrícicas.

Cuanto más aprendemos, menos nos sorprende oír que incluso algunos pesticidas son dañinos para los hongos micorrícicos. Pero, por supuesto, ni los hongos EM ni los MA casan bien con los fungicidas. Si has adquirido un terreno donde se aplicaban fungicidas, infectarlo con hongos micorrícicos tiene todo el sentido. De igual manera, si te enfrentas a suelos expuestos a altas concentraciones de fertilizantes químicos, plantéate inocular las semillas, brotes y trasplantes durante una o dos estaciones, si quieres un rendimiento más rápido de un sistema orgánico. Se ha demostrado que la colonización de hongos MA incrementa cuando uno pasa de un cultivo convencional químico y basado en el arado a las prácticas sostenibles basadas en la red de nutrientes del suelo.

Otra situación en la que resulta recomendable la aplicación de los hongos micorrícicos: cuando los hongos micorrícicos que son necesarios están naturalmente ausentes del suelo. «Necesarios» significa que la planta no crecerá sin los hongos, lo que simplemente quiere decir que no han colonizado el suelo en cuestión. Los suelos de Puerto Rico son un ejemplo famoso. En la década de 1950, los intentos de plantar pinos fracasaron. Las plantas renqueaban durante un año más o menos, pero al cabo morían. La enmienda con fertilizantes no ayudaba. En 1955, se utilizó tierra extraída de Carolina del Norte para inocular las raíces de las plántulas de pino de Puerto Rico. Los pinos que no habían sido inoculados se debatían, al igual que los anteriores, y morían. Sin embargo, los inoculados prosperaron. La enmienda con los hongos micorrícicos funcionó.

¿Se trató de un caso aislado? En absoluto. Aquí en Anchorage, intentar que un arce de cualquier variedad prosperara era una causa perdida. Sin embargo, en torno a una docena de árboles que vendió Sears a principios de la década de 1970 sobrevivieron y prosperaron. Quiso la suerte que estos retoños se enviarán a Alaska en tierra, cosa rara porque la carga aérea es cara y la mayor parte del material vegetal se envía a raíz

desnuda. Esos árboles sobrevivieron al igual que sus retoños. Ahora que disponemos de mezclas comercializadas de micorrizas, incluso los arces que se envían a raíz desnuda sobreviven.

Cuando estés diseñando un jardín, en particular si los suelos no son los más deseables, reboza las raíces de las plántulas con los hongos micorrícicos o propágulos para infectarlas. Esto también se aplica a la hora de sembrar un césped, ya sea nuevo o ya existente (en la primavera de 2009, las semillas usadas para renovar el césped de la Casa Blanca fueron inoculadas por primera vez con hongos micorrícicos). De esto hablaremos en el siguiente capítulo.

La clave en todos los casos es asegurarse de que bien las esporas bien partes de las hifas micorrícicas que sean viables se colocan en la zona de la raíz. Comprueba la fecha de caducidad; las esporas duran más que los propágulos. Cuando se mezclan en el suelo de forma correcta, las raíces crecen a través de los hongos micorrícicos y así se infectan. Dado que los exudados de las raíces provocan que las esporas de los hongos micorrícicos crezcan, resulta obvio que lo mejor es infectar las plantas lo más pronto posible. Así de importantes son de los beneficios de las micorrizas, y claramente forman parte del equipo que tiene que estar presente cuando se cultiva.

20. El césped

Antaño, cuando no estabas contento con el aspecto de tu césped, le echabas estiércol o una capa de compost. Si tenías malas hierbas, tú o tus hijos las arrancabais a mano. Todo esto cambió en 1928, cuando a una compañía que comercializaba semillas de césped se le ocurrió la manera de fabricar fertilizantes sintéticos nitrogenados a bajo coste. El resto forma parte de la historia: mediante una publicidad agresiva y, seamos sinceros, excelentes resultados, los productos químicos para el mantenimiento del césped se han convertido en una industria de miles de millones de euros.

Un ciclo vicioso

Los fertilizantes químicos para el césped funcionan, y funcionan bien. Sus concentraciones de nitratos son tan elevadas que son efectivas de inmediato: los fertilizantes son productos químicos que alimentan directamente a la raíz, obviando la biología del suelo. Sin embargo, las aplicaciones sucesivas de fertilizantes sintéticos matan la mayor parte, si no toda, de la red de nutrientes de microbios del suelo (regla nº 13). Estos fertilizantes son, de hecho, sales, y cuando entran en contacto con los microbios del suelo, provocan un shock osmótico, es decir, el agua en las células de estos organismos fluye hacia estas concentraciones más altas de sal que carecen de ella, causando, literalmente, que exploten las paredes celulares matando así a los microbios que retienen (bacterias y hongos) y reciclan (nematodos y protozoos) los nutrientes.

La velocidad a la cual se ven afectados los organismos de la red de nutrientes del suelo por los fertilizantes químicos depende de los propios organismos, de su concentración y de su resistencia, y de la cantidad de fertilizante que se administre. Sin embargo, una regla de buen cubero nos dice que 50 kg de fertilizante de césped por media hectárea aniquilará toda la red de nutrientes del suelo sana. Cantidades menores matan a menos miembros la red de nutrientes del suelo, aunque la

dañarán de todas formas. Lo que no maten cinco sacos de 10 kg será expulsado del suelo por la ausencia de fuentes alimentarias o por el olor de los propios fertilizantes químicos. Como es bien sabido, en ausencia de la microbiología hay que aplicar una y otra vez las enmiendas necesarias para mantener el césped verde.

Cuando se pierde la función de amortiguador de las bacterias y los hongos, el pH del suelo se desestabiliza por completo; el pH baja cada vez más a medida que se aplican más sales de nitratos y, al final, se necesita reajustar. Y las cosas empeoran por la práctica común de retirar los recortes de hierba durante o inmediatamente después de cortar el césped. El jardinero «químico» suele «limpiar» después cortar el césped, e incluso demasiadas veces el jardinero orgánico siente la necesidad irrefrenable de rastrillar el césped recién cortado. Cuando se retiran los recortes de hierba y la hojarasca, el jardinero siembra sin saberlo la destrucción de la vida en el suelo del césped. Dicho esto, si no dispones de una red de nutrientes del suelo para romper y descomponer la hojarasca y los recortes, no te queda otra que recogerlos para que no bloqueen la luz que necesita el césped.

Por lo tanto, el empleo de fertilizantes químicos desencadena un círculo vicioso: cuanto más fertilizante uses, más red de nutrientes del suelo destruyes, y más fertilizante vas a necesitar para colmar el vacío de nutrientes que has creado. Es una espiral destructiva. El resultado será o bien un césped en un estado deplorable o bien un jardinero desbordado de trabajo. Retirar los recortes de hierba para aplicar las sales al césped deja al jardinero solo con toda la tarea que antes realizaban miles de millones de microbios que estaban ahí. Los gusanos de tierra abandonan la zona cuando se administran sales; las sales son irritantes, y los microbios que se encuentran en los intestinos de los gusanos y se ocupan de la digestión mueren si ingieren los fertilizantes. También desaparecen los hongos que forman los agregados de suelo, así como las bacterias que producen la babaza que une las partículas de suelo individuales para formar agregados. El suelo del césped pierde su estructura. Paulatinamente, pierde su habilidad para retener el aire y el agua. Rápidamente todo se vuelve un sálvese quien pueda y surgen más enfermedades y problemas.

Sin una red de nutrientes del suelo bien poblada, las defensas naturales se evaporan. Está claro que los céspedes infectados anualmente por el mildiu, las manchas negras, la podredumbre, el moho gris y otras enfermedades causadas por microbios oportunistas carecen de los organismos benéficos que por lo general mantendrían a raya estas situaciones. Colaborando con los microbios puedes tener un césped sano y atractivo, y con mucho menos trabajo por tu parte.



La *Sclerotinia homeocarpa* («mancha del dólar») es una de las enfermedades más graves de los greens de golf. Su presencia suele deberse a un exceso de nitratos en los fertilizantes químicos. Kevin Mathias, USDA-ARS.

Inventariar

Como en cualquier otra parte de tu terreno, es importante determinar primero la situación de la red de nutrientes del suelo de tu césped. Los tests biológicos del suelo realizados por un laboratorio competente son la única manera precisa de averiguar lo que debe corregirse y saber exactamente el trabajo de restauración que tienes que hacer. Sin embargo, hay otras cosas que pueden darte una idea bastante razonable de la situación. Los gusanos de tierra, por ejemplo, no estarán presentes si no hay bacterias, hongos y protozoos para comer. Su presencia, por tanto, es un indicador excelente de una red de nutrientes del suelo sana. Si dispones de una buena población de gusanos, tu césped ya dispone de un montón de organismos beneficiosos estructurando el suelo, reciclando nutrientes a las raíces, mejorando la capacidad de retención del agua y el aire así como del drenaje, y luchando contra los patógenos. Así que, si ves pájaros a la caza de gusanos de tierra, un montón de gusanos tras un buen chubasco, o turrículos depositados sobre el césped por la noche, probablemente solo tengas que mantener la red de nutrientes del suelo y no haya necesidad de añadir microorganismos para crear una nueva.



Un césped mantenido por la red de nutrientes del suelo. Obsérvese la zona amarillenta al fondo que no fue tratada. Soil Foodweb, Inc.

Del mismo modo, el suelo de tu césped debería contar con un montón de microartrópodos, esos pequeños artrópodos que requieren una lupa, un MacroScope o un microscopio para poder verlos. Estos ayudan al reciclaje de los nutrientes, abren los recortes de hierba y ayudan a airear el suelo. Utiliza un embudo de Berlese; si descubres que tu suelo carece de estos miembros, puedes restaurar la microbiología introduciendo hongos, bacterias y nematodos beneficiosos, la base que atraerá a los artrópodos, gusanos y otros participantes ausentes de la red de nutrientes del suelo.

El cuidado y alimentación de los microbios

Al comienzo o fin de la estación de crecimiento, esparce un fertilizante orgánico (en realidad, comida para microbios) por tu césped. De esta forma te asegurarás de que hay suficiente materia orgánica para alimentar a los microorganismos que se encuentren en el suelo. ¿Comida para microbios? Se trata de un gran pero necesario cambio en la terminología de la jardinería. Cuando cultivas con microbios, tú les das de comer y ellos dan de comer a las raíces.

La regla nº 14 estipula que, si quieres trabajar con la red de nutrientes del suelo, tienes que evitar los aditivos con altas concentraciones de NPK. La mayoría de los jardineros sabe que estas letras representan los

porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio en el fertilizante y esta trilogía NPK aparece en todos los envases de fertilizantes. No añadas nada a tu césped con números de NPK superiores a 10-10-10; los fertilizantes orgánicos tradicionales suelen satisfacer estos criterios. Cabe destacar que una alta concentración (cualquier cosa por encima de 10) de fósforo no solo previene el crecimiento de hongos micorrícicos sino que mata a los existentes. El resultado es que la hierba pierde su habilidad para absorber los nutrientes con facilidad y, con independencia de todo el fósforo que añadas, este quedará bloqueado rápidamente y no estará disponible para las gramíneas que carecen de micorrizas.



Los hongos micorrícicos (¡Nos referimos a la maceta de la derecha!) ayudan a que crezca el césped.

Nuestra comida de microbios favorita para el césped es un plato de harina de soja con un NPK de 6-1-1. La administramos a razón de entre 1,3 a 1,8 kg por 10 m². Otras comidas orgánicas útiles incluyen la harina de alfalfa, la harina de sangre, la torta de semilla de algodón, la harina de plumas (que se aplican para comenzar a razón de 1,8 kg por 10 m² y luego se ajustan según el gusto) y la harina de espinas de pescado (1,3 kg por 10 m² pero, estáis avisados, habrá un fuerte olor a pescado durante varios días). Todas estas comidas alimentarán la biología del suelo; no serán absorbidas por las raíces de las plantas, así que se trata de comida para microbios, y no fertilizante.

También ayuda fomentar un entorno adecuado para los microbios del césped. Sabemos según la regla nº 2 que el césped prefiere un suelo ligeramente dominado por las bacterias. Solo por esta razón, es una buena idea dejar los recortes de hierba en el césped toda la temporada para crear un acolchado que favorezca a las bacterias. Los azúcares de la

hierba atraerán a una población sana de bacterias. La hierba cortada también favorecerá las poblaciones de protozoos que asegurarán el reciclaje de los nutrientes. Y tendrás que cortar el césped menos a menudo ahora que las raíces de las plantas no chupan las altas concentraciones de nitratos.

Cuando las hojas caen al final de la estación o cuando las ramitas y ramas pequeñas caen tras una tormenta, no las rastrilles. En vez de eso, redúcelas a un mantillo pasando la cortadora de césped una o dos veces. Esto las abrirá y las hará disponibles para los componentes fúngicos del césped, que también son importantes; los hongos ayudan a la elaboración de la estructura y drenaje, así como a la descomposición de los tallos de hierba más difíciles de digerir que, de otra forma, pueden crear una capa de paja. Por eso deberías alegrarte cuando ves setas en tu césped. Suelen ser una señal de que las cosas están sanas bajo la hierba.

Los céspedes que no han tenido los beneficios de una red de nutrientes del suelo sana (algo que puede deberse tanto a un mal drenaje como a los fertilizantes químicos y los herbicidas) deberían ser aireados. Se trata de un procedimiento que consiste en extraer bocados de terreno de 5 cm de largo creando así agujeros por doquier. Estos agujeros abren el césped y permiten que el agua, el aire y el alimento orgánico accedan a la zona de las raíces. Hay que dejar los bocados en el césped para que se descompongan.

La aireación mediante la extracción de bocados a principios de la primavera cada tres o cuatro años ayudará a la red de nutrientes del suelo al suprimir la compactación del suelo que causa el peso de la nieve y el hielo, o el trájín de los animales de compañía, niños y vehículos. La aireación es particularmente útil en el mantenimiento de una población fúngica sana: dado que son los más frágiles, los hongos son los primeros organismos que desaparecen cuando se compacta el césped, algo que es inevitable. Tras esta aireación primaveral, añade un alimento para microbios orgánico. Este caerá por los agujeros y alimentará a las raíces.



Un puñado de bocados arrancados de un césped durante la aireación. Judith Hoersting.

A continuación, inocula el césped con microbios beneficiosos para que regrese la microbiología al suelo o para mantener la existente. Si el césped es pequeño, esto se consigue con facilidad mediante la aplicación de una capa delgada (hasta 1,5 cm) de compost con una dominancia bacteriana con una abonadora para fertilizante. Si el césped es extenso, aplica un té de compost con una ligera dominancia bacteriana (véase «Aplicar el té de compost en el césped» más adelante en este capítulo).

¿Qué ocurre con el cloro en el agua que usas para regar tu césped? No debería afectar a los microbios si usas un aspersor. El fino chorro y el trayecto desde el aire al suelo elimina la mayor parte del cloro del agua. Pero por supuesto que puedes comprar un filtro de cloro barato e instalarlo en la canilla. Por lo general, un filtro dura una estación completa, pero es recomendable verificar el agua de vez en cuando para cerciorarse.

Desherbar según la red de nutrientes del suelo

Las malas hierbas del césped pueden verse influenciadas por la red de nutrientes del suelo. Los dientes de león, por ejemplo, aparecen en la superficie de los suelos pobres en calcio. Sus largas raíces primarias buscan el calcio del que carecen, y el calcio se deposita en el suelo cuando el diente de león muere. Con el tiempo —aunque, por desgracia, a veces eso significa mucho tiempo— la biología de la red de nutrientes del suelo devuelve este calcio a la capa superior del suelo, donde estaba ausente. Básicamente, los dientes de león realizan una labor de minería que les lleva a extinguirse. Para librarse de los dientes de león más

pronto, incrementa la actividad fúngica del suelo; los hongos fijan el calcio mucho más que las bacterias. También puedes emplear una comida para microbios, el gluten de maíz (un subproducto de la producción del almidón de maíz), como agente preemergente orgánico. Aplícalo a céspedes con dientes de león y otras malas hierbas justo cuando resiembren, y eso evitará que las nuevas semillas desarrollen raíces secundarias. Mientras tanto, su fórmula 10-10-10 alimenta la red de nutrientes del suelo.

Si abunda el trébol y la grama en el césped, eso indica que la red de nutrientes del suelo no recicla suficiente nitrógeno. La adición de nematodos y protozoos mediante compost, té de compost o una sopa de protozoos puede incrementar el ciclo del nitrógeno. La pamplina, una mala hierba frecuente en los céspedes, prospera cuando hay demasiados nitratos, que es lo que obtienes cuando echas un fertilizante de césped comercial. Deja de administrar fertilizantes químicos y, en vez de eso, emplea las herramientas de la red de nutrientes del suelo para incrementar la biomasa fúngica (y, en consecuencia, el amonio disponible) en tu césped. El musgo, por otro lado, indica la dominancia fúngica del suelo de tu césped en vez de una dominancia ligeramente bacteriana, que es lo que la hierba del césped prefiere. Al musgo le gustan las condiciones ácidas. Aplica té muy bacterianos y una fina capa de abono de un compost con dominancia bacteriana a los céspedes infestados de moho, y el pH cambiará gradualmente a «aceptable» para la hierba y no tan «aceptable» para el moho. Esto atenuará y a la larga prevendrá la aparición del moho. Deberías retirar el moho existente con un escarificador manual y puede que tengas que añadir hierro para matarlo primero.

En cuanto «adepito» a la red de nutrientes del suelo, ya sabes que debes alegrarte si ves hongos en tu césped. Aunque no deben abundar, por supuesto, porque eso significaría que vas a necesitar aplicar un poco más del té bacteriano. Si te preocupan los anillos de brujas, por ejemplo, simplemente incrementa la diversidad de hongos del suelo de tu césped asegurándote de que la diversidad se encuentra en tus té y compost. Eso hará que los hongos de tu anillo de brujas se vean superados. Además, ten en cuenta que los micro y macroartrópodos, así como los ratones y las musarañas, comen estos y otros hongos y los mantienen así a raya.



Los anillos de brujas y otras monoculturas de hongos del césped pueden combatirse incrementando la diversidad con el compost o el té de compost.
Clemson University.

Cambios sencillos y buenos comienzos

Cuando se trata de cambiar el pH, puedes usar la red de nutrientes del suelo a tu favor. Normalmente, para un césped de un tamaño respetable tendrías que usar varios cientos de kilos de cal, yeso o azufre para alterar el pH del suelo unos pocos puntos. La cal, en particular, actúa lentamente y requiere toda una estación para modificar el pH en un punto. Sin embargo, puedes emplear una cantidad considerablemente menor (en torno a una cuarta parte) y dedicar menos tiempo si aplicas la ciencia de la red de nutrientes del suelo. En vez de echarla directamente al césped, añade la cal cuando elaboras el compost. Se unirá a los microbios del compost y se liberará durante el ciclo de nutrición normal. Puedes echarlo directamente al césped o hacer té de compost.

Obviamente, si estás en el proceso de crear un césped, tendrás la oportunidad de establecer una red de nutrientes del suelo sana desde el principio, ahorrándole la indignidad de una adicción química. Antes de sembrar las semillas de hierba, mézclalas con el tipo de esporas fúngicas endomicorrizas asociadas con las gramíneas, las micorrizas arbusculares vesiculares (MAV). Un césped saludable debería tener una buena porción de raíces colonizada por las MAV para que todo en su conjunto obtenga los beneficios la relación micorrícica. La colonización por parte de las MAV ayuda al césped a competir contra las malas hierbas por los nutrientes y a bloquear a los nematodos que se alimentan de raíces. Y los hongos

micorrícicos llevan de vuelta a las raíces tanto agua como nutrientes. Los laboratorios de análisis biológicos pueden decirte la cantidad de MAV que hay en tu césped.

Veinticuatro horas antes de sembrar un césped, reboza las semillas de césped en las MAV y guárdalas en un lugar oscuro y fresco. Las MAV ayudarán a conseguir un césped sano que no necesitará ser regado o alimentado con tanta frecuencia como los que carecen de ellas.

¿Y si necesitas una mano?

Ciertos céspedes parecen condenados y, si bien la gestión de la red de nutrientes del suelo acaba prevaleciendo a la larga, a veces resulta deseable una intervención rápida. En primer lugar, valora el uso del calor, el vinagre o el trabajo manual para librarte de las malas hierbas del césped; si la cosa está tan mal que necesitar recurrir a un herbicida, o si hay que reverdecerlo con nitratos de forma instantánea (por ejemplo, por una urgencia como una boda programada en el patio), entonces deberías emprender una acción reparadora para restaurar la red de nutrientes del suelo.

Practica siempre la regla nº 15: tras una fumigación o riego con productos químicos, aplica un té de compost. Deja que el producto surta efecto durante unos días y luego aplica el té. Los microbios del té comenzarán de inmediato desintoxicar el suelo descomponiendo los productos químicos que perduren y repoblándolo. Repite el procedimiento una semana después y comprueba la situación de la red de nutrientes del suelo.

Tanto las bacterias como los hongos pueden degradar los pesticidas, pero son principalmente los hongos los que atacan y descomponen estos complicados anillos de carbono clorado. Así que debes inocular en el suelo contaminado una gran cantidad de recursos nutricionales orgánicos dotados de proteínas complejas (el género que gusta a los hongos) como el kelp, el hidrolizado de pescado y los ácidos húmicos.

La aplicación de tés de compost a los céspedes

Una de las mejores maneras de establecer la biología correcta en los céspedes consiste en emplear un té de compost aireado ligeramente bacteriano en razón de 20 litros por media hectárea. Somos los primeros en reconocer que la aplicación de un té de compost a un gran césped puede ser problemática si no dispones de equipo adecuado. Contratar un servicio comercial de pulverización del té es la manera más fácil, pero puede resultar difícil de organizar y mucho más oneroso que si lo haces

tú mismo.

Los pulverizadores de mortero (ver el capítulo 18) funcionan bien para un área pequeña. Para zonas más grandes, deberías tener en cuenta un aspersor de base móvil (uno que avanza el largo de una manguera depositada en el césped) con un dispensador de fertilizante en el flujo de agua. En vez de fertilizante, se puede rellenar el dispensador con té de compost aireado activamente que suministrará al aspersor a medida que se desliza por el césped.



La visita de un servicio comercial de fumigación del té. Judith Hoersting.

Si tienes intención de aplicar el té a un césped realmente grande, puedes plantearte el alquiler o compra de un pulverizador de motor (para utilizarlo en el ajuste más bajo).

Puedes rociar una media hectárea entre cinco y diez minutos y tratar árboles de casi diez metros. Alquilar es la mejor opción, pues solo necesitarás aplicarlo en la primavera y el otoño cuando se haya establecido la red de nutrientes del suelo. En todo caso, asegúrate de que el tanque está limpio de residuos de herbicidas, pesticidas u otros productos químicos dañinos.



Un aspersor de base móvil y un dispensador de fertilizante hacen que la aplicación del té al césped sea fácil. Judith Hoersting.

Una vez que tu césped tenga una red de nutrientes del suelo próspera, será más fácil de cuidar. Ya no tendrás que acolchar o rastrillar los recortes de hierba o las hojas. Necesitarás regar menos, cortar menos a menudo la hierba y, lo mejor de todo, tendrás la satisfacción de poder estar y trabajar en tu césped sin tener que preocuparte por los peligrosos productos químicos.

21. El mantenimiento de los árboles, arbustos y perennes

Los árboles, arbustos y perennes son los elementos fundamentales del paisajismo de un jardín. Y, sin embargo, rara vez reciben una atención especializada y son tratados como el césped. El fertilizante que recibe la hierba suele ser el que reciben los árboles y arbustos, así como muchas perennes. Las raíces de los árboles y arbustos y de algunas perennes discurren bajo el césped y se ven afectadas por la circulación por encima y por el uso de herbicidas no selectivos que, además de matar las malas hierbas del césped, incluso matan a los organismos beneficiosos que protegen a la planta. Con una red de nutrientes del suelo menguante, te toca convertirte en su valedor y tendrás que alimentar constantemente a los árboles, arbustos y perennes.

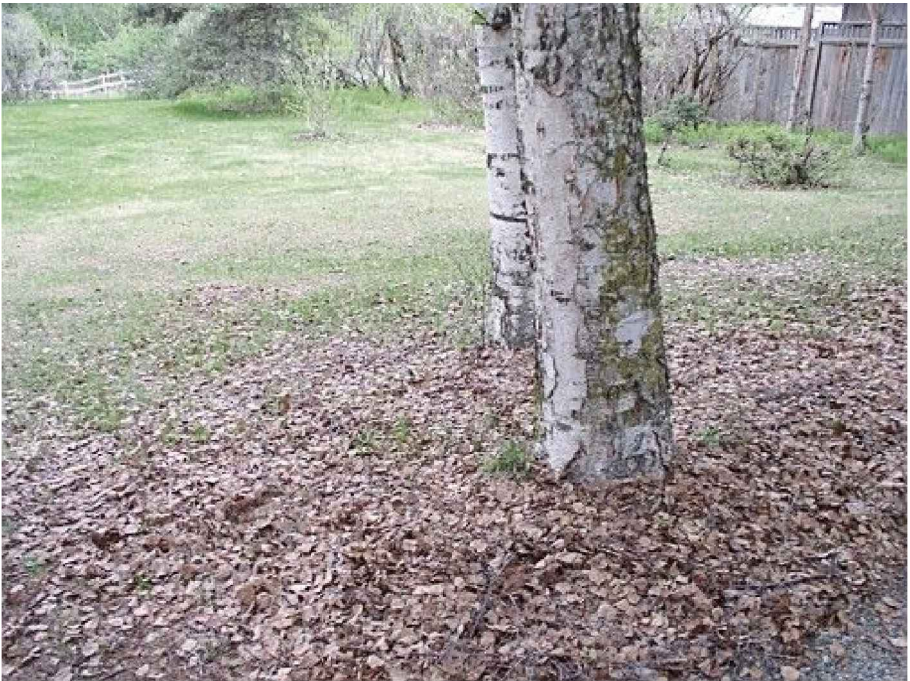
Los árboles, arbustos y perennes prefieren suelos con una dominancia fúngica

¿Alguna vez te has preguntado por qué nunca florecen las lilas? ¿O por qué esa píceas no sobrevivió después de que la plantaras en medio de tu precioso césped verde fertilizado con nitrato? Recuerda que la regla nº 3 señala que los árboles, arbustos y perennes prefieren el nitrógeno amoniacal y no nítrico; esto significa suelos fúngicos. Los céspedes, por otra parte, rinden mejor con amonio nítrico o una dominancia ligeramente bacteriana, y ahí está el problema. Si el suelo es altamente bacteriano, a muchos árboles les resulta dificultoso establecerse.

Puede que estar rodeado de céspedes no sea una buena cosa para los árboles, arbustos y perennes —o para el jardinero— a menos que algunas prácticas de gestión de la red de nutrientes del suelo ofrezcan unas condiciones específicas allí donde crecen. Sabemos que, en particular, los árboles y arbustos suelen funcionar para fijar la mirada en el paisaje y que, por ejemplo, una conífera a la que le encanta el nitrógeno amoniacal

puede estar situada en medio de un césped que prefiere los nitratos. El truco entonces consiste en intentar crear una isla alrededor de cada árbol o arbusto con una red de nutrientes del suelo con dominancia fúngica.

Las pocas excepciones a la regla nº 3 son los árboles y arbustos normalmente considerados como transicionales en el desarrollo de los ecosistemas que van del desierto a los bosques primarios. Los más conocidos de entre ellos son los álamos, abedules y los chopos. Estos prosperan en suelos con dominancia bacteriana cuando son jóvenes porque en ese estado de desarrollo pueden utilizar los nitratos con facilidad. Sin embargo, cuando se hacen adultos, incluso estos prefieren el nitrógeno amoniacal.



Los árboles que crecen en un entorno equilibrado o dominado por las bacterias se beneficiarán de un acolchado que atraiga a los hongos. Judith Hoersting.

A los árboles, arbustos y perennes no les gustan los suelos Compactados

Los árboles, arbustos y perennes son a menudo las víctimas de los suelos compactados, en particular cuando se plantan en céspedes (como suele ocurrir con los árboles y los arbustos) o en jardines con caminos (como ocurre con las perennes). Se deberían tomar todas las precauciones para

evitar esta situación (y todos los pasos para corregirla), pues las raíces (y, en consecuencia y obviamente, las plantas) prosperan en suelos con una buena estructura, y la estructura de un buen suelo requiere, como bien sabes, una red de nutrientes del suelo activa.

Los organismos más grandes no pueden sobrevivir en un suelo compactado, pues no pueden moverse a la busca de comida porque los caminos para desplazarse han sido destruidos. Si la compactación es realmente grave, puede que sea imposible abrir nuevos caminos o que no valga la pena hacerlo. Cuando los nematodos y gran parte de los protozoos han desaparecido, los nutrientes se acumulan en la biomasa bacteriana y fúngica en vez de liberarse y estar disponible para las plantas. Al mismo tiempo, los frágiles hongos micorrícicos asociados con las raíces de los árboles, arbustos y perennes se ven literalmente aplastados o anegados (por ejemplo, desaparecen los hongos micorrícicos que compiten con el *Pythium* y el *Rhizoctonia*, dos hongos que provocan la podredumbre del tallo y las raíces). Al cabo de un tiempo, los únicos organismos que quedan de la red de nutrientes del suelo son las bacterias y los hongos y protozoos oportunistas que tienen un tamaño tan pequeño que son capaces de moverse incluso en un suelo compactado. La red de nutrientes no está en buena forma y sin duda no posee la cantidad de hongos que preferirían los árboles y arbustos.

Las raíces de las plantas también tienen problemas a la hora de moverse a través de los suelos compactados. Y, dado que ya no pueden depender de los hongos micorrícicos para que les traigan los nutrientes, las plantas se enfrentan a un problema doble: no solo dejan de obtener la clase de nitrógeno que prefieren sino que, además, su acceso al agua y al fósforo y otros nutrientes se vuelve limitado. Así que se estresan aún más.

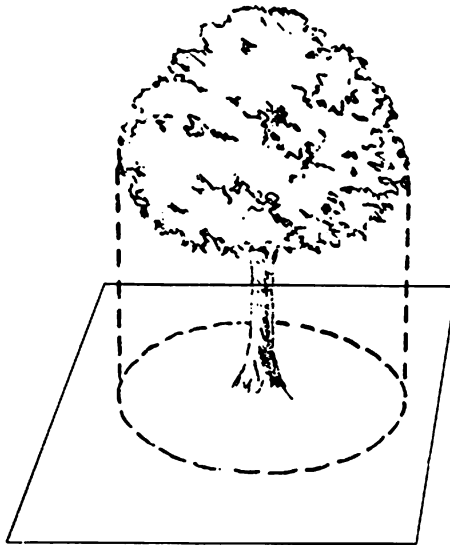
Pero las cosas empeoran: la compactación reduce los niveles de oxígeno, y las bacterias anaeróbicas toman el control. Las bacterias anaeróbicas liberan productos metabólicos que matan las raíces. Desaparecen los túneles y madrigueras a través de los cuales circula el agua empujando y expulsando el aire. Ya no hay hongos benéficos, sino una plétora de elementos dañinos; no se trata de una situación sana.

La aireación mediante la extracción de bocados de la zona afectada es solo un primer paso hacia la corrección de los suelos compactados. Si no dispones de los organismos adecuados de la red de nutrientes del suelo para mejorar un suelo compactado, los beneficios de la aireación serán efímeros. La solución estriba en aplicar las prácticas de la gestión de la red de nutrientes del suelo y devolver los organismos necesarios para construir y mantener la estructura del suelo. Los acolchados, compost y tés de compost son todos muy efectivos cuando se trata de afrontar un

suelo compactado alrededor de los árboles, arbustos y perennes.

Las tres herramientas de la red de nutrientes del suelo funcionan

Los acolchados marrones, el compost fúngico y el té de compost funcionan muy bien cuando se trata del cuidado de árboles, arbustos y perennes. Comienza con el compost y échalo bajo todos los árboles y arbustos y alrededor de las perennes con un espesor de entre 2,5 y 5 cm. Espárcelo por lo menos hasta el aplomo del ramaje del árbol o arbusto, pero asegúrate de que no entre en contacto con el tallo o tronco (para que, de nuevo, los microbios del compost no ataquen la corteza). Obviamente, deberías renunciar a que crezca hierba bajo los árboles.



Coloca el compost y el acolchado bajo los árboles, por lo menos hasta el aplomo del ramaje. Georgia Forestry Commission.

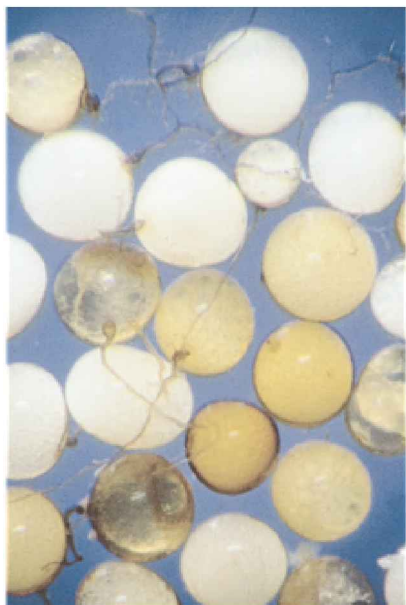
La gravedad no es la única razón por la que las hojas de los árboles y arbustos caen donde caen. El nitrógeno y carbono de estas hojas se recicla de forma natural, y una parte regresa a la planta. La naturaleza coloca acolchado sobre las raíces; y tú también deberías —de nuevo, por lo menos hasta el aplomo del ramaje— empleando acolchados marrones. Coloca el acolchado aunque no tengas compost para añadir. Si puedes, empieza con las propias hojas de la planta (ábrelas a las bacterias y hongos pasándolas por la cortadora de césped); no las retires. Añade al acolchado de la naturaleza cualquier acolchado marrón, pero evita un

exceso de espesor; bastan unos pocos centímetros para sustentar una población sana de hongos. El acolchado tiene el beneficio añadido de mantener a raya a las malas hierbas y gramíneas, pues bloquea la luz.

Por último, plantéate aplicar té de compost alrededor de los árboles, arbustos y perennes, una vez al comienzo de la estación crecimiento (dos semanas antes de que salgan las hojas de los árboles y arbustos) y otra a su fin, justo cuando dejan de caer las hojas y se encuentran bajo las plantas. Los microbios del té acelerarán de verdad la descomposición durante los meses de invierno y mantendrán una comunidad de nutrientes del suelo dominada por los hongos. Puedes simplemente empapar el suelo sin necesidad de recurrir a los pulverizadores, salvo por las perennes a las que, además de empaparlas dos veces, deberías rociar por lo menos una vez cuando las hojas aparezcan para añadir microbiología a la filoesfera.

Las relaciones micorrícicas

Antes de plantar árboles, arbustos y perennes, inocúlalas con hongos micorrícicos. Estos pueden adquirirse en los viveros. Recuerda que hay dos tipos básicos de micorrizas —las asociaciones en las que las raíces son invadidas y las que no—, así que es importante comprar las adecuadas. La respuesta a qué micorrizas usar se encuentra en las reglas nº 16 y 17: La mayoría de las coníferas y árboles de hoja caduca (abedul, roble, haya, nogal americano) forman micorrizas con los hongos ectomicorrícicos; la mayor parte de las hortalizas, anuales, gramíneas, árboles de madera blanda y perennes forman micorrizas con los hongos endomicorrícicos. Estas reglas se basan en las investigaciones de científicos especializados en el suelo, que ahora disponen de las herramientas para valorar qué tipos de hongos se asocian naturalmente con plantas en concreto y han codificado estas asociaciones. Hay excepciones a estas reglas. Por ejemplo, las plantas de la familia de los brezos, que incluye a los rododendros, azaleas y arándanos, requieren micorrizas ericáceas que aún no están disponibles comercialmente. No obstante, si sigues estas reglas, te mantendrás en suelo firme (aunque esperamos que no esté compactado).



Esporas de hongos micorrícicos.
Mycorrhizal Applications.



El pino de la izquierda fue tratado con esporas de hongos micorrícicos cuando se plantó; obsérvese el gran tamaño de la plántula y su cepellón. Mycorrhizal Applications.

Para que puedan crecer, las esporas de los hongos micorrícicos tienen que entrar en contacto directo con las raíces durante las veinticuatro horas posteriores a ser expuestas a la humedad. Los preparados comerciales que contienen hongos micorrícicos se presentan siempre en polvos o en granos (mezclados con diversos materiales para ayudar a su aplicación), para que puedan ser fácilmente aplicados cuando se van a poner las plantas en la tierra. Simplemente espolvorea las raíces o húndelas directamente en las esporas antes de plantar, y luego riega la planta como siempre.

Los árboles y arbustos que ya están presentes son un poco más difíciles de colonizar. Esperemos que tu suelo no esté tan degradado hasta el extremo de que haya afectado a los hongos micorrícicos. Busca las señales de micorrizas bajo la forma de una clase en particular de hongo que crece cercana al mismo árbol. Los abedules, por ejemplo, suelen formar una asociación con la matamoscas, *Amanita muscaria*. Si los árboles presentes tienen hongos bajo el aplomo del ramaje, lo más

probable es que te encuentres ante una asociación micorrícica y no tienes que añadir nada para crearla.

Si tienes un terreno con suelos realmente compactados, no ves hongos alrededor de tus árboles y arbustos, o reparas en que no están en buena forma, plantéate usar un riego radicular o una jeringa larga (del tipo que se emplea para aplicar la cola) para inocular a las raíces de las plantas existentes con los hongos micorrícicos adecuados. En el caso de la mayoría de las perennes, puedes excavar con cuidado hasta la zona de las raíces con una pala de punta o plana y aplicar esporas endomicorrícicas cuando te encuentres con raíces.



Los abedules suelen formar micorrizas con la *Amanita muscaria*. Judith Hoersting.

Las plantas permanecen más sanas si no se estresan

Los árboles estresados emiten una señal que reconocen los pulgones y otros insectos; saben que el árbol es débil y lo atacan. Los árboles que no están estresados no emiten ese mensaje y son capaces de producir resina y savia extra para atrapar a los coleópteros invasores. Sus exudados atraen a los microorganismos benéficos y sus hojas están recubiertas de

bacterias y hongos que luchan contra las enfermedades. Sus raíces han formado micorrizas que incrementan su alcance y les permiten cenar fósforo y absorberlo con el agua suficiente.

En fin, esto es lo que hay que tener en cuenta cuando se trata del cuidado de árboles, arbustos y perennes: procura plantarlos en suelos que ya tienen una dominancia fúngica. Si no es el caso, aplica compost, acolchados o téis de dominancia fúngica en y alrededor de la planta. Deja que las hojas permanezcan bajo las plantas de las que cayeron. Y, obviamente, emplea las tres herramientas de la red de nutrientes del suelo —en particular, los téis de compost—, ante las primeras indicaciones de cualquier enfermedad.

22. Cultivar anuales y hortalizas

Existe toda una industria que se ha desarrollado en torno a la fertilización de las plantas anuales y hortalizas. Puede que el césped sea el principal vertedero para los fertilizantes químicos, pero el cultivo doméstico de tomates y margaritas no se queda a la zaga. Las mismas concentraciones elevadas de nitratos solubles que funcionan en el césped, obtienen buenos resultados cuando se trata de alimentar a las flores y hortalizas variando los porcentajes un pelín; y el círculo vicioso que se desarrolla en los céspedes tratados con fertilizantes químicos también se dará en las camas de flores y hortalizas. El ciclo natural de los nutrientes cesa. Entonces se hace necesario alimentar las plantas que cultivas con cantidades crecientes de fertilizantes químicos porque ya no hay microbios que aporten los nutrientes y, en su ausencia, el suelo se deteriora. Sin una red de nutrientes del suelo sana, aparecen los patógenos y animales oportunistas que obligan igualmente a mantenerlos a raya o a controlarlos mediante otros productos químicos.

Las anuales y las hortalizas prefieren los suelos con dominancia bacteriana

¿Qué aspecto tienen tus camas de flores y hortalizas? Busca gusanos de tierra; sobreviven comiendo protozoos y bacterias y, al igual que con los céspedes, si tienes un montón de gusanos de tierra y turrículos en tu suelo, probablemente sea un suelo dominado por las bacterias con abundantes nitratos, que es lo que prefiere la mayor parte de las hortalizas y anuales (recuerda la regla nº 2). Instala un embudo de Berlese y descubre qué clase de microartrópodos campan en tu suelo. Quieres poder ver un montón de ácaros comedores de bacterias y una buena diversidad de animales. Mide el pH de tu suelo en la rizosfera. Si es claramente alcalino, tienes una dominancia bacteriana. Igualmente, una lectura del pH ácida significa que tienes hongos y probablemente una dominancia fúngica. Por último, lleva a analizar la microbiología de tu

suelo, pues es la mejor manera de saber sus carencias, si ese fuera el caso. Sin duda un test de NPK no será en balde, pero es la biología de tu suelo lo que te interesa conocer.

El fin del motocultor

Si eres un cultivador orgánico, probablemente ya emplees una o dos herramientas de la red de nutrientes del suelo. Pero hay una práctica orgánica tradicional que te pedimos que abandones. Salvo una excepción, te recomendamos que no excaves: deja de pasar el motocultor. Esto es un shock para aquellos que pasan el motocultor con regularidad o remueven sus suelos de una manera u otra. Remover el suelo está tan asentado en la mente del cultivador doméstico que la regla nº 18 ha sido creada en particular a este efecto: pasar el motocultor y un exceso de alteración del suelo destruye o daña gravemente la red de nutrientes del suelo. Son prácticas anticuadas que deberían ser descartadas a la hora de preparar las camas de cultivo. Esto suena a herejía en la mayoría de círculos de jardinería. Muchos jardineros orgánicos propugnan pasar el motocultor y el desfonde como una manera de mezclar de nuevo los elementos orgánicos en el suelo; de hecho, los fabricantes de motocultores gastan mucho dinero en inserciones de publicidad en las revistas que promueven el cultivo orgánico.

La práctica ancestral de labrar la tierra se ve impulsada cuando el abogado Jethro Tull (1674-1741) heredó una granja en el sur de Inglaterra e inventó una sembradora que colocaba mecánicamente la semilla a una profundidad determinada en un agujero practicado previamente, sustituyendo así a la siembra a voleo. Además, Tull animaba a los agricultores a mullir el suelo antes de plantar los cultivos. Se había dado cuenta de que las verduras crecían mejor en suelos mullidos y a partir de ahí concluyó que las raíces de las plantas tenían pequeñas bocas que comían las partículas del suelo (¿cómo, si no, podía la planta ingerir los nutrientes?). Como creía que un suelo mullido se componía de partículas más pequeñas que se ajustaban con más facilidad a las bocas de las raíces, desarrolló una azada tirada por un caballo para llevar su teoría a la práctica. Sus escritos terminarían llamando la atención de hacendados como George Washington y Thomas Jefferson, quienes animaron a sus compatriotas norteamericanos a mullir el suelo. El resultado ha sido que la mayoría de los cultivadores domésticos continúa mullendo y removiendo sus terrenos por lo menos una vez al año, a pesar de que sabemos que las raíces de las plantas no comen suelo.

Por razones que ignoraban Tull y sus contemporáneos, las hortalizas sí que se desarrollaban mejor en los suelos mullidos previamente y

estercolados. Pero no tiene nada que ver con las pequeñas partículas del suelo; se trata de que mullir el suelo hace referencia a lo que dice la regla nº 2. En realidad, mullir un suelo forestal para plantar un jardín hace mucho más que crear un campo sin árboles: revierte los resultados de años y años de sucesión natural y destruye la red fúngica del suelo. Con menos hongos el suelo adquiere una dominancia bacteriana, lo que supone un regalo para las hortalizas y cultivos amantes de los nitratos. La enmienda con estiércol por parte de estos primeros agricultores norteamericanos también hacía que aumentara la población bacteriana, pues constituye un buen alimento para ellas.

Así que, a corto plazo, la labranza de los suelos forestales vírgenes enmendados con estiércol los volvía adecuados para la agricultura. Sin embargo, la labranza o cualquier otra alteración del suelo también destruye su estructura y desplaza la biota trastornando la red de nutrientes del suelo; trocea por completo los kilómetros de hifas fúngicas que existen incluso en los suelos dominados por las bacterias y hace volar por los aires las galerías de los gusanos de tierra y los poros entre las partículas de suelo. Por supuesto que el suelo se queda esponjoso tras la labranza, pero ese es un adjetivo más adecuado para un bizcocho que para un suelo. La primera vez que un suelo alterado entra en contacto con el agua, comienza a compactarse, una situación que se irá agravando cada vez que llueva o se riegue la cama.

Todos los suelos dominados por bacterias necesitan tener algunos hongos para mantener su estructura y diversidad microbiana. La jardinería basada en la red de nutrientes del suelo requiere alterar el suelo lo menos posible en lo que se refiere al cultivo de anuales y hortalizas, salvo que pretendas cultivarlas en un suelo dominado por los hongos. Usa una pala, clavija o plantador para hacer agujeros discretos para las plantas o semillas. También puedes cavar ligeramente con la azada o con el canto de un listón el largo de una hilera y plantar en el surco de tierra alterada, y luego rellenarlo con un buen compost de dominancia bacteriana. Con este método tendrás menos malas hierbas porque no estás abriendo el suelo, exponiendo así las semillas a la luz que requieren para germinar.

Los obreros de la red de nutrientes del suelo son unos formidables agricultores

¿Cómo puedes estimular la dominancia bacteriana que necesitan tus anuales, hortalizas y cultivos en hileras si no puedes pasar el motocultor? Como todo lo que tiene que ver con la red de nutrientes del suelo, si los alimentas, vendrán. Los acolchados verdes promueven las bacterias. En

este caso, los acolchados verdes no solo ofrecen nutrientes para los organismos adecuados y necesarios de la red de nutrientes del suelo, sino que además previenen que germinen las malas hierbas y retienen la humedad impidiendo la evaporación. Por otra parte, a las bacterias les gustan las cosas que son fáciles de digerir, así que, cuanto más fino sea el acolchado, mayor será el crecimiento bacteriano. Dado que a las bacterias del suelo también les gusta la humedad, los acolchados más húmedos —hasta cierto punto— también favorecerán el desarrollo bacteriano. Sin embargo, hay una línea muy fina entre un acolchado húmedo y aeróbico y un acolchado empapado que favorece las condiciones anaeróbicas; así que hay que ser cuidadoso. Usa tu nariz para guiarte. Si notas un mal olor, eso significa que añadiste demasiada agua y necesitarás airear el acolchado y añadir menos agua la próxima vez.

Además del acolchado que favorece las bacterias, tus suelos deberían tener una gran cantidad de elementos orgánicos que alimenten a los microbios que alimentan a tus plantas. Usa cualquier alimento orgánico para microbios —con todos los números del NPK por debajo de 10— para asegurarte de que los frágiles hongos no mueren. Puedes aplicarlo a la zona de las raíces cuando plantes o alrededor de la planta antes de colocar el acolchado y luego ir añadiendo según la necesidad. Aplica té de dominancia bacteriana tanto en solución en el suelo como como spray foliar para prevenir o controlar las enfermedades y para mantener las poblaciones microbianas en números elevados.

Los recortes de césped son un estupendo acolchado verde para utilizar en tus flores anuales y hortalizas durante la estación de crecimiento. A pesar de que pierden su color y se vuelven «marrones», se les sigue considerando acolchados verdes porque, cuando fueron cortados, contenían azúcares que permanecen incluso cuando se desvanece la clorofila. Lo mismo ocurre con la paja. Y también es una buena idea añadir elementos orgánicos a los jardines en el otoño para que tengan la oportunidad de descomponerse antes de las plantaciones de la primavera. Prueba con la harina de alfalfa, la paja o los recortes de hierba; los tres son un buen alimento para las bacterias. Las bacterias se activan en el otoño: durante esta estación, pueden combinar todo el nitrógeno que necesitan con el carbono disponible sin interferir con ninguna de las necesidades de la planta. La fijación del nitrógeno en la interfaz entre el suelo y el acolchado, si es que ocurre, terminará en la primavera.

Cuando se trata de cultivar plantas que requieren nitratos, una buena población de protozoos y nematodos también forma parte de la ecuación, pues pone en marcha el reciclado. Aplica una sopa de protozoos en solución en el suelo para ayudar a incrementar el reciclado de nutrientes

en tus jardines y huertos. Puede que pase una semana antes de que los protozoos encuentren a las bacterias en la rizosfera, así que acompaña las aplicaciones de comida bacteriana con una dosis inmediata de sopa de protozoos. Hoy en día disponemos de productos con nematodos que se comercializan, pero suelen ser para luchar contra plagas como las babosas. Tu mejor apuesta para incrementar la población de nematodos que reciclan nutrientes —y sin duda la más barata— sigue siendo un buen compost y un té de compost.



Un huerto con acolchados de paja sobre las camas. National Garden Bureau.

Evidentemente, tendrás los beneficios de los hongos micorrícicos trabajando en el jardín si aplicas las prácticas de la red de nutrientes del suelo. Las micorrizas incluso ayudan a que las plantas crezcan en contenedores. Cuanto más larga sea su estación, mayor será su protagonismo. Esto se debe a que lleva tiempo para que estos hongos se asienten y crezcan. La regla nº 19 señala que los jardineros que trabajan con la red de nutrientes del suelo siempre mezclan los hongos micorrícicos con las semillas de las anuales y hortalizas en el momento de plantar o las aplican a las raíces cuando tienen que trasplantar.



Las margaritas en maceta de la derecha muestran los beneficios de los hongos micorrícicos. Mycorrhizal Applications.



Los cepellones son considerablemente más grandes cuando las drácenas (familia de las Agavaceae) son tratadas con hongos endomicorrícicos. Mycorrhizal Applications.

De entre las plantas que no forman micorrizas, muchas son hortalizas. En particular, la familia de las brasicáceas (que incluye la col, la mostaza y el brécol) y las Chenopodioideae (espinacas, remolacha, cenizas) no forman asociaciones micorrícicas; emplear productos micorrícicos con estas plantas es perder el tiempo.

Cuando dejes de aplicar productos químicos, empezarás a encontrar gusanos de tierra en tus huertos y jardines. Una capa de compost de

dominancia bacteriana de unos pocos centímetros a principios del otoño ayudará a atraer y mantener a los gusanos, al igual que si aplicas una solución de té. Si no lo consigues, eso indica que tienes que incrementar la población de bacterias y protozoos. Haz eso y luego añade algunos gusanos a tus huertos y jardines. Puedes tratar el suelo de tus plantas de una vez por semana a una vez al mes en función del rendimiento.

Las malas hierbas

Con demasiada frecuencia, la reacción de un jardinero ante las malas hierbas en un jardín o huerto consiste en rociar con cualquier herbicida que le hayan aconsejado y a menudo se echa un poco más de lo indicado por si acaso. Resulta obvio que esto no es una práctica compatible con la red de nutrientes del suelo. La aplicación de potentes herbicidas de espectro amplio daña a la comunidad de nutrientes de la misma manera que los fertilizantes químicos matando a los micro y macroartrópodos, así como a los microbios. En vez de esto, es mejor binar las malas hierbas con cuidado o emplear el vinagre, calor, agua hirviendo, gluten de maíz u otros métodos de control que tienen menos consecuencias y son más temporales para la microbiología del suelo. Si necesitaras recurrir en algún momento a un herbicida (y sinceramente esperamos que no se dé el caso), necesitas aplicar una enmienda lo más pronto que sea posible (de nuevo, la regla nº 15). Deja que el veneno haga su tarea y luego toma medidas empleando las tres herramientas de la red de nutrientes del suelo para restaurar la biología al estado en la que debería estar.

Cuando se trata de prevenir las malas hierbas desde el principio, no hay nada como los acolchados. El nitrógeno, fósforo y azufre que necesitan para germinar y crecer queda fijado por la biología en la interfaz entre el acolchado y el suelo. Esto hace que sea doblemente difícil que prosperen las malas hierbas pues, además de carecer de luz y tener una barrera física a su crecimiento, obtienen un suministro escaso de nutrientes. En efecto, cuando uno lo piensa, ¿por qué molestarse con las otras dos herramientas, el compost y el té de compost? Coloca un acolchado favorable a las bacterias de 5 a 7,5 cm antes de que aparezcan las malas hierbas, vigilando que quede un poco de suelo exento alrededor de tus plantas.

Aparte del trabajo que requiere colocar el acolchado, los jardineros de la red de nutrientes del suelo no tendrán que volver a preocuparse por las malas hierbas. De hecho, nuestra experiencia nos ha convencido de que devolver la microbiología adecuada a tu suelo puede que sea el único paso que tengas que dar para controlar muchas de tus malas hierbas anuales, esas que prosperan con las altas concentraciones de nitratos que

se encuentran en los fertilizantes químicos. Muchas de las plagas que teníamos en el jardín desaparecieron cuando comenzamos a trabajar con la red de nutrientes del suelo. La pamplina, nuestra bestia negra, se desvaneció por completo cuando las plantas dejaron de recibir el subidón de nitratos concentrados y empezó a experimentar problemas para germinar, pues tenía las semillas hundidas en el acolchado y no estaba expuesta a la luz porque no pasábamos el motocultor.

Los fertilizantes con nitrógeno concentrado favorecen la aparición de malas hierbas anuales. En el momento en que hay un amplio suministro de nitratos, una planta indeseada se ve de repente con el poder alimenticio para imponerse. Para empeorar las cosas, los hongos micorrícicos que emplean tus hortalizas para que les ayuden a obtener agua y nutrientes, en particular el fosfato, mueren. La planta hospedadora también se resiente; las malas hierbas que aprecian los nitratos y se alimentan en la superficie crecen más rápido y dominan el jardín, aprovechándose de la luz en detrimento de los cultivos principales.

Cuando tengas la red de nutrientes del suelo de nuevo en marcha, los nitratos que requieran las plantas provendrán del cauce natural del ciclo natural. En vez de ser vertido en una forma química concentrada que mata la red de nutrientes del suelo, los únicos nitratos empleados serán los producidos por la propia red de nutrientes del suelo. Entonces —en ausencia de productos químicos y un poco de inoculación— los hongos micorrícicos regresarán.

Las «plagas»

Desafortunadamente, el mundo ideal no existe, pero la mayoría de los insectos (y empleamos aquí el término en sentido amplio para incluir a las arañas y otros que no son en rigor insectos) que nos encontramos en nuestros huertos y jardines son beneficiosos de muchas maneras. ¿Es necesario recordar que los insectos polinizan a las flores? Sus larvas excavan túneles y airean el suelo, y los insectos se comen los unos a otros y participan en el reciclaje de los nutrientes de las plantas. En la mayoría de los casos, los insectos se descontrolan en tu jardín porque algo no funciona en la red de nutrientes del suelo que normalmente mantiene un equilibrio entre plagas y depredadores. Pero no tendrás un jardín totalmente libre de plagas incluso con la red de nutrientes del suelo funcionando. Acéptalo como parte del orden de las cosas. Si tu red de nutrientes del suelo está sana, esta comunidad ayudará a las plantas a vencer a cualquier plaga de insectos. Si hay unos pocos tipos malos, necesitas darte cuenta de que estos mantienen la población de tipos

buenos.



Un *Podisus maculiventris* almuerza larvas de mariquita mexicana. USDA-ARS.

Cualquier jardinero tiene a su disposición las entidades locales para recibir asistencia a la hora de distinguir los organismos beneficiosos de las plagas: aprender a sobre los organismos beneficiosos de tu zona es parte del aprendizaje de la jardinería según la red de nutrientes del suelo. Las mariquitas y sus larvas se alimentan de pulgones, cochinillas y arañas rojas. Los carábidos comen gusanos grises, moscas de las flores, babosas y caracoles. Los estafilínidos comen las larvas y huevos de las moscas, pulgones, ácaros, caracoles y nematodos. Los redúvidos son expertos en capturar moscas, mosquitos y orugas. Los crisópidos verdes y sus larvas engullen pulgones, arañas rojas, moscas blancas y orugas. El avispón mata a las moscas. El jardinero que colabora con la red de nutrientes del suelo observa y aprende las relaciones existentes y favorece las beneficiosas.





Una larva de mariquita se alimenta de pulgones. Clemson University.



La chinche parda degusta una oruga. Robert L. Anderson, USDA Forest Service.



Larvas de bracónido parasitan un gusano del tabaco. R. J. Reynolds Tobacco Company.

No nos gusta el uso de pesticidas en los huertos y jardines de la misma manera que no nos gusta el uso de herbicidas. Las sustancias poco selectivas tienen un impacto negativo flagrante para la red de nutrientes del suelo (de nuevo, la regla nº 15 te ayudará a rejuvenecer el universo microbiano en el suelo y a descomponer los residuos de tu acción, si has tenido que emplear un pesticida). No obstante, no te olvides de lo que suponen males menores —jabones insecticidas, insecticidas botánicos,

Bacillus thuringiensis (Bt)— que tienen distintos impactos en la red de nutrientes del suelo pero, por lo general, no tan dañino como los insecticidas químicos.



Aplicación de compost a las camas de flores y hortalizas. Judith Hoersting.

Planificar la restauración y mantenimiento

Si solías usar fertilizantes químicos en tus camas de flores y hortalizas, necesitarás las tres herramientas de la red de nutrientes del suelo. Antes de plantar las anuales y hortalizas, aplica de 2,5 a 5 cm de compost con dominancia bacteriana. Rocía las semillas con té de compost con dominancia bacteriana y trátalas a ellas y a cualquier plántula con micorrizas antes de ponerlas en tierra. Después de plantar, esparce el acolchado verde. Inicia una aplicación semanal de té de compost con dominancia bacteriana. Estas medidas restaurarán o mantendrán los organismos de la red de nutrientes del suelo en tus camas de hortalizas.

Rocía tus hortalizas con un té de compost con dominancia bacteriana tan pronto como aparezcan las primeras hojas y por lo menos una vez más unas semanas antes de la cosecha. Realiza una tercera aplicación sobre los restos que queden tras la temporada de cultivo.

Evita la compactación; intenta no entrar en las camas, trazando y limitando los accesos. Echa compost sobre las plantas y alrededor cuando sea posible, y también en las camas de flores antes del invierno. Siempre que tenga dominancia bacteriana, nunca será suficiente.

Por último, es importante acolchar las camas en otoño para que las bacterias, hongos protozoos y nematodos puedan trabajar durante el invierno reciclando los nutrientes.

Restaura y mantén la red de nutrientes del suelo en tus huertos y jardines. Si no nos equivocamos, el gran tamaño y gusto de los productos cultivados orgánicamente igualarán al esplendor de las flores anuales cultivadas con la colaboración de la red de nutrientes del suelo.

23. Un calendario de jardinería de la red de nutrientes del suelo

No hay una sola manera de cultivar con la red de nutrientes del suelo. Cada jardín es distinto y también lo son las redes de nutrientes del suelo que hay en ellos. El clima también juega un papel muy importante en cuándo e incluso cómo aplicar la ciencia de la red de nutrientes del suelo. Si hace mucho frío, sin lugar a dudas los té de compost no funcionarán, y con temperaturas más frías el compost y los acolchados se congelarán. Las épocas de sequía no son el mejor momento para aplicar el té de compost, y colocar un acolchado en el momento equivocado en una situación de sequía puede impedir que el suelo que está debajo absorba agua.

Con todo, y con independencia de dónde cultives, por lo menos deberías prestar atención a los microbios y otros animales en tus redes de nutrientes del suelo a medida que se suceden las estaciones. El cuidado de terrenos y jardines ya no solo tiene que ver con las plantas. Tienes que prestar atención a los microbios si quieres trabajar en equipo con ellos.

Primavera

La primavera es cuando verificas el estado de las cosas y das a tus suelos un impulso microbiano. La pila de compost debería estar activada para así poder disponer de todo el que necesitas durante la temporada de cultivo. Voltea la pila del otoño pasado y, si tienes espacio, comienza una nueva destinada a tener una dominancia fúngica. Usa los restos orgánicos que se acumularon durante el invierno y parte de la hojarasca del último otoño. Usa también los recortes de hierba para conseguir un buen compost bacteriano.

En caso de necesidad, se debería retirar el acolchado para dejar que el suelo se caliente, para luego volverlo a colocar y reponerlo. Utiliza el té

de compost para las plántulas aplicándolo directamente en el suelo y como pulverizador foliar. También inocula con la clase correcta de hongos micorrícicos a todas las semillas y en todos los repicados.

Tres semanas antes de que aparezcan las hojas, solicita un análisis microbiológico de tus suelos y tus tés. No tienes que hacerlo cada año, pero ciertamente lo deberías hacer el primer año o dos de cultivo con la red de nutrientes del suelo. En adelante, serán las propias plantas las que te dirán si lo estás haciendo bien o no. Puede que también quieras que analicen tus pilas de compost. También es el momento en el que puedes analizar las cosas tú mismo usando un embudo de Berlese y tus propios ojos. La idea es colmar los vacíos de tu red de nutrientes del suelo antes de plantar.

Dos semanas antes de que salgan las hojas, airea tu césped. De nuevo, no es necesario hacerlo cada año, pero vale la pena hacerlo el primer año de haber abandonado los fertilizantes químicos. En adelante, solo necesitarás airear al principio de la primavera cada tres o cuatro años, en función de la cantidad de tráfico que soporte tu terreno; la cantidad de hielo que se acumule cada año, si es tu caso; y el estado de la red de nutrientes del suelo que evidenciará la actividad de gusanos, ácaros y hongos.

Tras la aireación (o dos semanas antes de que salgan las hojas de los árboles y arbustos, si no aireaste), aplica una comida microbiana adecuada, como la harina de soja, al césped. Si el año anterior aparecieron demasiados hongos (o bien hongos de una sola especie), entonces aplica harina de alfalfa, pues alimentará más a las bacterias que a los hongos.

También es el momento de pulverizar los céspedes con un té de compost equilibrado o ligeramente bacteriano a razón de 20 litros por cada media hectárea. Los caminos que se hayan abierto por la circulación en invierno deben cerrarse y ser rociados con un té de compost con dominancia fúngica para restaurar la estructura. Cuando termines de hacer los tés, echa el sobrante de compost y los residuos sobre estos caminos. Tras unas pocas aplicaciones, el suelo se volverá completamente esponjoso. Incluso sin té, asegúrate de que en estas zonas la comida orgánica para los microbios es suficiente para mantener a las poblaciones existentes. Es imposible que quemes el césped aplicando estos productos orgánicos, así que no te preocupes.

Organiza y sanea la capa de acolchado bajo los árboles y arbustos y alrededor de las perennes y refréscala si es necesario. Eso explica por qué debes guardar las hojas muertas en otoño; puede resultar difícil encontrarlas en primavera. Si no dispones de hojas, puedes recurrir a un mantillo de corteza. Puedes también echar compost y cubrirlo con

acolchado para controlar las malas hierbas Aplica una comida fúngica (ácido húmico y fúlvico, kelp de aguas frías, harina de roca fosfórica) a tus plantas, y luego tu compost más fúngico en el suelo de cada árbol, perenne, y arbusto. Cuando aparezcan las hojas, pulveriza un té fúngico en las perennes por lo menos una vez.

Trata primero con los hongos micorrízicos adecuados cualquier semilla o planta trasplantada. Si es posible, empapa las plantas en un té aireado de compost antes del repicado. Rocía las semillas con el té de compost antes de plantarlas y aplícalo al suelo una vez hayan germinado.

No se debe labrar el huerto ni remover el suelo de las anuales. Aplica 2 kg de harina de soja por 10 m² lo antes posible tras el deshielo y pulveriza con un té de dominancia bacteriana. Cuando vayas a plantar, practica agujeros para las semillas o altera tan solo la hilera donde las vayas a plantar. Utiliza el acolchado verde con generosidad una vez que el suelo se haya calentado.

Verano

Durante los meses estivales, necesitas continuar pulverizando y regando en el suelo según el programa que comenzaste en la primavera, en particular el primer año desde que dejaste de usar productos químicos.

La actividad microbiana debería estar ocupándose de los recortes de hierba. Si se acumulan de forma desmedida o el césped no reverdece lo suficiente y el problema no es el agua, pulveriza o rocía con una sopa de protozoos. Una segunda aplicación de harina de soja u otra comida microbiana sería aconsejable. También es útil testear de nuevo con el embudo de Berlese para averiguar qué sucede. Anota los resultados para cotejarlos más adelante.

Una aplicación generosa de compost con dominancia bacteriana y el reaprovisionamiento frecuente del acolchado verde mantendrá las malas hierbas a raya en los huertos y jardines. En caso de necesidad, aplica la comida microbiana cada dos semanas.

El compost y el acolchado fúngicos deberían aplicarse con generosidad alrededor de los árboles, arbustos y perennes. Mézclalo con las ramitas y palos que caigan de las plantas. Puedes pasarlos por tu cortacésped, tan solo para abrirlos un poco y darles un aspecto más limpio.

Cualquier planta que muestre signos de enfermedad o estrés debería ser pulverizada de inmediato con té de compost junto con una aplicación en el suelo.

Otoño

Justo antes de que empiecen a caer las hojas, recoge una buena cantidad de recortes de hierba para preparar un compost en el otoño, que debería empezar cuando la hierba aún está fresca y verde. También puedes colocar este acolchado verde en las anuales y las camas de hortalizas, incluso si la temporada se está acabando. Aplica los hongos micorrícicos a las raíces en cualquier repicado otoñal.

Convierte las hojas que caen en el césped en un fino acolchado con tu cortacésped (puede que tengas que pasarlo más de una vez). Y déjalas donde estaban. Esto aportará un equilibrio fúngico a los tés de dominancia bacteriana que has estado aplicando al césped. Recoge el resto de las hojas, tantas como puedas. Las hojas marrones nunca son suficientes cuando se trata de elaborar compost en primavera y verano. Llena tu pila de compost y guarda el resto.

Coloca el acolchado en las camas de hortalizas y flores. Cuando las hojas hayan caído, asegúrate de que todos los arbustos, árboles y perennes también están acolchados adecuadamente y, de ser posible, usa primero un compost de dominancia fúngica.

Durante el primer año que trabajes con la red de nutrientes del suelo, pulveriza 75 litros de té de compost por media hectárea, asegurándote de que inoculas los acolchados y hojas. La acción microbiana debería hacer que se descomponga la mitad de la masa de hojas en un mes aproximadamente si hace calor (e incluso al final de la primavera, si hace demasiado frío).

Aplica una buena comida microbiana orgánica del tipo adecuado. Deja que los microbios se vayan a dormir con el estómago lleno, que madruguen y empiecen a reciclar nutrientes.

Tras la cosecha, haz que vuelvan analizar tu suelo y usa el embudo de Berlese si no hace mucho frío; coteja los resultados con los que obtuviste en la primavera y el verano. Esto te permitirá gestionar tus suelos durante los meses de invierno para que estén listos en la siguiente primavera.

Invierno

Pasa el invierno leyendo sobre la red de nutrientes del suelo, consultando en internet y las bibliotecas con esa idea en mente. Se trata de una ciencia nueva y sus aplicaciones para el jardinero doméstico no dejan de aumentar. Nuevos productos, como las bacterias depredadoras especializadas y los nematodos que acaban con las plagas y patógenos, no dejan de aparecer. También irrumpen nuevos utensilios para hacer tés de compost, pulverizadores e ingredientes para los nutrientes. Hay un montón de cosas que te ayudarán a colaborar con los microbios, y

necesitas estar al día sobre las últimas innovaciones.

Por supuesto que, por mucho que sea invierno, no deberías dejar de usar los térs de compost. Puedes tener un minisistema de red de nutrientes del suelo para tus plantas de interior; asegúrate de que los suelos de las macetas contienen una cantidad suficiente de comidas orgánicas para sustentar la vida microbiana que añades.

Por último, y dependiendo de dónde vivas, puede que tu pila de compost siga funcionando en invierno. Voltéala algunas veces.

24. Nadie fertilizó nunca un bosque primario

¿De verdad que la red de nutrientes del suelo sostiene a las plantas? ¿Funcionará en tu terreno y jardines? Para darte confianza y animarte a usar lo que has aprendido, te invitamos a que visites el bosque más cercano. O simplemente cierra los ojos y visualiza cualquier zona arbolada que recuerdes haber visitado. Casi puedes oír un arroyo cercano, el viento discurriendo entre las hojas. Es hermosos, majestuoso, y nadie nunca fertilizó las plantas que allí se encuentran. Ni una sola vez. ¿Cómo es posible? Pero sabes la respuesta: las hermosas plantas en estas hermosas zonas están completamente controladas por las redes de nutrientes del suelo donde viven.

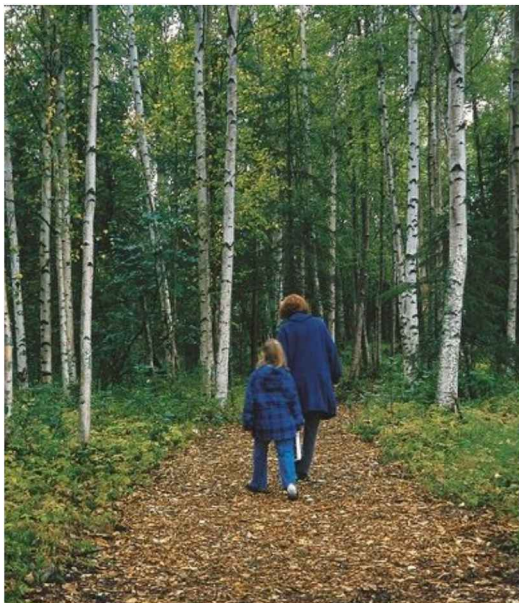
Suele ser una sorpresa para los jardineros que reflexionan sobre esto. Y solo entonces caen en la evidencia: cada una de las plantas que ves produce exudados que atraen a la microbiología a su rizosfera. Esta comunidad, a su vez, atrae micro y macroartrópodos, gusanos, moluscos y el resto de una red de nutrientes del suelo completa. Se trata de un sistema natural que funciona a la perfección sin la interferencia de los fertilizantes, herbicidas y pesticidas concebidos por el hombre. El árbol más altanero, débil tallo fue primero, y no necesitó polvos azules para alimentarse ni tampoco espráis malolientes para que le protegieran. Y sin embargo las plantas se alimentan gracias a las bacterias, hongos, protozoos, nematodos y el resto de la pandilla de la red de nutrientes del suelo.

Sabemos que es posible hacer que las mismas redes de nutrientes del suelo se instalen en tu jardín. Mucho antes de las construcciones, el tráfico rodado, los motocultores y la aplicación de fertilizantes y otros productos químicos, ahí existía una red de nutrientes del suelo sana. Puedes hacer que regrese, e incluso mejorarla. Desde que comiences a trabajar con los microbios en la base de la red de nutrientes del suelo, restablecerás esa red. Lo sabemos porque nosotros y miles de vecinos y amigos nuestros lo han hecho.

Ahora posees un conocimiento de base de la red de nutrientes del

suelo. Sabes cómo funciona el sistema, y has visto su acción beneficiosa. Cuando la microbiología regresa a tu jardín, la estructura del suelo mejora. Los hongos micorrícicos ayudarán a que tu terreno, árboles, arbustos, perennes, anuales y hortalizas consigan los nutrientes que necesitan. Los patógenos se enfrentarán a una competición feroz. Las plantas obtendrán la clase de nitrógeno que prefieren. Mejorará el drenaje y la conservación del agua y las sustancias contaminantes se descompondrán. Las flores tendrán mejor aspecto y los árboles estarán menos estresados. Y no tendrás que trabajar tan duro, pues tendrás un montón de ayudantes. Y lo mejor de todo es que no tendrás que preocuparte por los efectos de los productos químicos en ti, tu familia y tus mascotas.

Recuerda que nadie nunca fertilizó un bosque primario. No hubo necesidad. Ahora conoces las reglas de la jardinería usando la red de nutrientes del suelo. No son muchas. ¿A qué esperas? Empieza a colaborar con los microbios y devuelve la biología a tus suelos para que trabaje para ti. La jardinería con la red de nutrientes del suelo es la manera natural de cultivar.



Nadie nunca fertilizó este bosque. Judith Hoersting.

Apéndice Reglas para la jardinería y el cultivo con la red de nutrientes del suelo

1. Algunas plantas prefieren los suelos dominados por los hongos; otras prefieren los suelos dominados por las bacterias.
2. La mayoría de las hortalizas, anuales y gramíneas prefieren el nitrógeno nítrico y rinden mejor en suelos dominados por las bacterias.
3. La mayoría de árboles, arbustos y perennes prefieren el nitrógeno amoniacal y rinden mejor en suelos dominados por los hongos.
4. El compost se puede utilizar para inocular microbios beneficiosos y vida en los suelos de tu terreno e introducir, mantener y alterar la red de nutrientes del suelo en una zona concreta.
5. Añadir compost y su red de nutrientes del suelo en la superficie del suelo lo inoculará con la misma red de nutrientes del suelo.
6. El material orgánico marrón curado sustenta a los hongos; el material orgánico verde y fresco a las bacterias.
7. El acolchado colocado sobre la superficie tiende a sustentar hongos; el acolchado trabajado en el suelo sustenta bacterias.
8. Si humedeces y trituras el acolchado por completo, se acelera la colonización bacteriana.
9. Los acolchados gruesos y secos sustentan la actividad fúngica.
10. Los azúcares ayudan a que las bacterias se multipliquen y crezcan; el kelp, los ácidos húmico y fúlvico, y la harina de roca fosfórica ayudarán a que los hongos crezcan.
11. Eligiendo el compost con el que empiezas y los nutrientes que le añades, puedes elaborar tés que son claramente fúngicos, dominados por bacterias o equilibrados.
12. Los tés de compost son muy sensibles al cloro y a los conservantes en el agua y en los ingredientes con que se elaboran.

13. La utilización de fertilizantes sintéticos mata en todo o en parte a los microbios de la red de nutrientes del suelo.
14. Evita los aditivos con altas concentraciones de NPK.
15. Tras una fumigación o riego con productos químicos, aplica un té de compost.
16. La mayoría de las coníferas y árboles de hoja caduca (abedul, roble, haya, nogal americano) forman micorrizas con los hongos ectomicorrícicos.
17. La mayor parte de las hortalizas, anuales, gramíneas, árboles de madera blanda y perennes forman micorrizas con los hongos endomicorrícicos.
18. Pasar el motocultor y un exceso de alteración del suelo destruye o daña gravemente la red de nutrientes del suelo.
19. Mezcla siempre los hongos micorrícicos con las semillas de las anuales y hortalizas en el momento de plantar o aplícalos a las raíces a la hora de trasplantar.