

LOS SECRETOS DEL SUELO VIVO

Robyn Francis.

INTRODUCCIÓN

Durante muchos años, las razones que destacaban los beneficios de la jardinería y la agricultura sin laboreo permanecieron básicamente al área de la "ciencia popular", y fueron vistas con escepticismo por los "verdaderos" científicos. Entonces, casi por casualidad, un investigador del suelo, el Dr. Alan Smith, del Departamento de Agricultura de Nueva Gales del Sur descubrió una perspectiva revolucionaria de cómo funcionan los suelos en su dinámica natural.

Smith estaba investigando la devastadora enfermedad causada por el hongo *Phytophthora*, que estaba colapsando la industria del aguacate al norte de Nueva Gales del Sur a mediados de los años setenta. La intención del estudio era la de encontrar alguna medida de control, pero en su búsqueda por comprender el alcance de los daños en diferentes condiciones de suelo, hizo algunos hallazgos que volvieron del revés muchos de los paradigmas convencionales de la edafología.

Lo que Smith descubrió fue un intrincado modelo de relaciones entre las plantas, los micro—organismos del suelo y los nutrientes. En suelos naturales, que no han sido perturbados, esos procesos funcionan de una forma saludable, al controlar la actividad microbiana, incluidas las poblaciones fitopatógenas como *Phytophthora*, y al regular la liberación de los nutrientes esenciales, que generalmente se hallan presentes en el suelo en formas no utilizables directamente por la planta. En suelos que han sido alterados por el arado y el cultivo, y en suelos fertilizados con nitratos esos procesos no tienen y no pueden tener lugar.

Su investigación explica el porqué sistemas como la agricultura sin laboreo de Fukuoka tienen tanto éxito. También sirve como una llamada de atención ante el abuso de los fertilizantes "naturales" ricos en amoníaco, como el estiércol de gallina, o la plantación desproporcionada de leguminosas (fijadoras de nitrógeno), que puede desencadenar fácilmente en la nitrificación del exceso de amonio beneficioso por los organismos del suelo en forma de nitratos solubles que alterarán y destruirán estos procesos esenciales de un suelo vivo y saludable.

Últimamente otros edafólogos han hecho, de forma independiente, descubrimientos similares en África y en Europa, en particular sobre los procesos que se describen en la sección titulada "Movilización de los nutrientes esenciales para las plantas".

A pesar de la importancia que tienen, estas investigaciones han permanecido casi olvidadas en los archivos y aún no han logrado abrirse camino hacia los

libros de texto o hacia las instituciones educacionales de horticultura y agricultura. Esta es una lectura esencial para todos los horticultores, granjeros y estudiantes de ciencias de la vida; léalo atentamente varias veces hasta que comprenda en profundidad este proceso y sus implicaciones, vale la pena.

EL CRECIMIENTO SALUDABLE DE LAS PLANTAS Y LAS INTERACCIONES MICROBIANAS DEL SUELO.

Las interacciones microbianas en el suelo juegan un importante papel en el control biológico de las enfermedades de las plantas, en el movimiento de la materia orgánica y en el reciclado de nutrientes esenciales para las plantas. El entendimiento de los mecanismos envueltos en estos procesos puede guiarnos hacia métodos más eficaces, independientemente de que se trate de cultivos agrícolas u ornamentales.

Antes de entrar a comentar estas interacciones resulta esencial reafirmar la posición única que las plantas ocupan en el ecosistema. Son los únicos organismos vivos capaces de utilizar directamente la energía del sol y, durante el proceso, transforman esa energía en compuestos útiles por los otros seres vivos. La clorofila, ese pigmento verde que se encuentra mayoritariamente en sus hojas, atrapa la energía de la luz y en las reacciones que siguen, utilizando el anhídrido carbónico de la atmósfera (CO₂) producen compuestos que pueden ser utilizados como recursos energéticos por otros seres vivos cuando consumen plantas o restos de plantas, incluyendo al hombre, otros animales, insectos y microorganismos. Aunque las plantas poseen esa única habilidad para transformar la energía del sol en toda la energía química que necesitan para crecer, metabolizar y reproducirse, también requieren otros materiales que no son capaces de producir por sí mismas. Por ejemplo, necesitan diversos elementos tales como nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, potasio y algunos elementos traza. El suelo es la reserva natural de todos esos elementos, pero para obtener las cantidades adecuadas de éstos las plantas han de alterar el entorno de sus raíces para movilizarlos. Una importante vía por la cual la planta hace acopio de ellos es mediante la estimulación de la actividad de los microorganismos que viven en el entorno de sus raíces, pues éstos aceleran la movilización de los nutrientes. Las plantas logran esta estimulación mediante la emisión de exudados radiculares y de los desechos que contienen compuestos energéticos. Así pues existe una íntima relación entre los microbios del suelo y las plantas. Desafortunadamente, en la mayoría de los métodos convencionales utilizados por la agricultura esta relación resulta dañada, generando problemas en la absorción de nutrientes e incrementando la incidencia de enfermedades en las plantas.

Las últimas investigaciones indican que durante su vida, una planta pierde más del 25 % de la energía química que ha sintetizado en sus hojas en forma de compuestos de carbono vertiéndolos directamente en el suelo adyacente a sus raíces. Este material perdido se compone tanto de exudados radiculares como de células vegetales muertas que se

desprenden. A primera vista, este parece un mecanismo altamente derrochador y poco eficiente. La planta hace un esfuerzo considerable para atrapar la energía del sol y convertirla en energía química metabolizable, y entonces se permite el lujo de perder más de una cuarta parte de su energía en el suelo.

Una explicación puede ser la de que en la naturaleza nada es perfecto, y que la existencia de raíces "defectuosas" es inevitable. Desde luego yo no suscribo esta explicación. Creo firmemente que si un ser vivo está aparentemente gastando la cuarta parte de la energía que se ha tomado tanto trabajo en sintetizar es porque, finalmente, esta pérdida beneficiará directamente al organismo en cuestión. Si éste no fuera el caso, entonces la evolución debería haber resultado en la selección de plantas que perdieran menos energía.

¿Cómo puede esta pérdida de compuestos en el suelo beneficiar a la planta? En su mayoría, esos compuestos son recursos energéticos que serán utilizados por los micro-organismos del suelo, que proliferarán en la rizosfera de las plantas. Estos micro-organismos se multiplican tan rápidamente que agotan el oxígeno del suelo en numerosas micro-cavidades de la rizosfera. De esta manera se forman en el los micro poros anaeróbicos, sin oxígeno disponible. La formación de esos micro poro juego un importante papel al asegurar le salud y el vigor de las plantas.

PRODUCCIÓN DE ETILENO EN EL SUELO

Nuestra investigación demuestra que el etileno, un compuesto gaseoso simple, se forma precisamente en esos micros poros anaeróbicos. Además, el mismo etileno es un regulador crítico de la actividad de los microorganismos del suelo, y por lo tanto, afecta a la tasa de conversión de la materia orgánica, al reciclado de los nutrientes esenciales para la planta, y a la incidencia de las enfermedades del suelo. Las concentraciones de etileno en el suelo raramente exceden de 1 o 2 partes por millón. No actúa matando a los microorganismos del suelo, sino simplemente inactivándolos temporalmente cuando las concentraciones; de etileno del suelo descienden la actividad microbiana recomienza. El etileno del suelo se produce en lo que llamamos el CICLO DEL OXIGENO-ETILENO. Inicialmente los micro-organismos del suelo proliferan, gracias a los exudados de las raíces de las plantas, y agotan las reservas de oxígeno del suelo en esas micro cavidades. Entonces en esos micro poros el etileno se produce y se difunde, inactivando a los micro-organismos del suelo, sin llegar a matarlos. Al ocurrir esto, la demanda de oxígeno disminuye y el oxígeno se difunde de nuevo en las micro cavidades. Este hecho para o -reduce grandemente la producción de etileno, lo cual rehabilita de nuevo a los micro-organismos del suelo para recomenzar su actividad. De nuevo vuelven a crearse condiciones favorables para la producción de etileno, y de esta forma el ciclo se repite continuamente.

En suelos vírgenes, como los que podemos encontrar en un bosque o en una pradera, siempre podemos detectar etileno en la atmósfera del suelo, lo que nos indica que el ciclo oxígeno-etileno está operando eficientemente. Por el contrario, en la mayoría de

los suelos agrícolas las concentraciones de etileno son extremadamente bajas o no existen. Lo cual es de esperar si conocemos el importante papel que el etileno juega en la regulación de la vida microbiana del suelo. Allí donde está bien establecido este ciclo, en ecosistemas que no han sido perturbados, existe una lenta y equilibrada tasa de conversión de la materia orgánica, un reciclado eficiente de los nutrientes y las enfermedades del suelo son poco importantes.

Cuando estos ecosistemas se perturban por el uso agrícola o forestal, la situación cambia dramáticamente. Existe una alarmante pérdida en el contenido de materia orgánica del suelo, se manifiestan deficiencias en la nutrición de la planta, y la incidencia de las enfermedades se incrementa notablemente. Entonces tenderemos a solucionar estos problemas adicionando fertilizantes inorgánicos y utilizando pesticidas, lo cual hará que se incrementen considerablemente nuestros costes de producción. Es un hecho generalmente reconocido que cuanto más tiempo se cultiva una tierra, necesitaremos más y más cantidades de esos "correctores" para mantener los rendimientos de nuestros cu 11 i vos.

Los que nosotros argüimos es que podemos darle la vuelta a esa tendencia, al menos parcialmente, si podemos recrear las condiciones que se dan en los suelos vírgenes para la producción del etileno. Ahora sabemos que una de las mayores razones por las que los suelos cultivados no producen etileno es porque nuestras técnicas causan un cambio en la forma del nitrógeno presente en el suelo. En suelos vírgenes, de bosques o de praderas, virtualmente todo el nitrógeno presente está en forma amoniacal (NH_4^+), y solamente existen trazas de nitrógeno en forma de nitratos (NO_3^-). Cuando estos ecosistemas se perturban por el uso agrícola, prácticamente todo el nitrógeno del suelo se encuentra como nitrato. Esta variación en la forma del nitrógeno presente ocurre porque los cambios asociados a las operaciones agrícolas estimulan la actividad de un grupo específico de bacterias (mineralizadoras), que convierten la forma amoniacal en nitratos. Tanto las plantas como los micro-organismos pueden asimilar indistintamente el nitrógeno en una u otra forma, pero lo que nuestro estudio concluye definitivamente es que desde el momento en que los nitratos dejan de tener una presencia muy limitada, el ciclo de producción de etileno en el suelo queda inhabilitado. Sin embargo el nitrógeno amoniacal no tiene efectos inhibitorios sobre la producción de etileno.

Los nitratos paran la producción de etileno porque interfieren en la formación de las micro cavidades anaeróbicas. Cuando todo el oxígeno se consume en un micro poro, ocurren toda una serie de complejas reacciones químicas. Uno de los cambios más importantes que se suceden es que el hierro que se encuentra en forma oxidada (férrica) se reduce, pasando a su forma ferrosa. El hierro es uno de los componentes mayoritarios de los suelos, en los que puede representar desde un 2 a un 12% de su peso. En suelos mullidos, que están adecuadamente aireados, la práctica totalidad del hierro existente se halla en forma de diminutos cristales de óxidos férricos, que es una forma inmóvil, no disponible. Si el oxígeno se consume totalmente en algunas micro cavidades del suelo, entonces se generan unas condiciones ideales para la reducción, de forma que los diminutos cristales se rompen, y el hierro pasa a una forma altamente móvil, los compuestos ferrosos. De nuevo

nuestro estudio demuestra que la producción de etileno tiene lugar solamente cuando el hierro se halla presente en el suelo en su forma ferrosa o reducida. En otras palabras, el hierro reducido es, un desencadenante específico de la producción de etileno. Si no existe oxígeno en las micro cavidades, pero hay nitratos presentes, entonces la reducción del hierro se inhibe. Esta es la razón por la que los nitratos inhiben la formación del etileno en el suelo.

¿De qué forma estimula la presencia de los compuestos ferrosos la síntesis del etileno? Hemos constatado que las formas ferrosas reaccionan primeramente con un precursor del etileno que ya está presente en el suelo, y de esa reacción resulta la síntesis del etileno. Nuestro trabajo ha establecido que este precursor se origina en las propias plantas, y lo que es más importante, que solamente se acumula en cantidades apreciables en las hojas viejas, senescentes de las plantas. Cuando estas hojas viejas caen al suelo y se descomponen, liberan sus concentraciones de este precursor, que se acumulará en el suelo. Así, cuando las condiciones se vuelvan favorables para la movilización del hierro, se producirá el etileno.

Hemos encontrado que la cantidad de precursor del etileno que las plantas acumulan en sus hojas puede variar considerablemente de unas especies a otras. Puede ser importante tener en cuenta este hecho a la hora de elegir una planta como recubrimiento para incrementar la producción de etileno de suelos agrícolas. Unas pocas plantas que produzcan altos contenidos de este precursor son el arroz, el género *Phalaris*, los crisantemos, el aguacate, las aneas o espadabas (*Bull-rush*) y el *Pinus radiata*. Algunas de las menos productivas pueden ser las del género *Dolichos*, *Paspalum*, las alfalfas y los helechos (*Braken-fern*).

Volviendo al tema, no debe extrañarnos que las cantidades apreciables de precursor del etileno se hallen solamente en las hojas viejas y muertas. Después de todo, en las comunidades naturales de plantas las hojas viejas son las que representan el mayor volumen de la cobertura (lecho) que se deposita sobre el suelo. También resulta igualmente obvio que en circunstancias agrícolas, la gran mayoría de las hojas viejas de las plantas son retiradas, bien en el momento de la recolección o a través del pastoreo o de la quema de rastrojos. Por tanto resulta lógico que los suelos agrícolas sean deficientes en las concentraciones de precursor del etileno.

Llegados a este punto ya nos es posible enumerar las condiciones necesarias para que exista producción de etileno en un suelo:

- 1.- Debe existir inicialmente una intensa vida microbiana, al menos en la rizosfera, que garantice la formación de micro cavidades anaeróbicas.
2. — Las condiciones en esas micro cavidades deben llegar a ser lo suficientemente reductoras como para movilizar los óxidos férricos a ferrosos, de forma que puedan desencadenar la formación del etileno.
3. — Las concentraciones de nitratos del suelo deben mantenerse bajas, pues de lo

contrario el hierro no pasará a su forma móvil.

4. — Deben existir reservas adecuadas de precursor del etileno en el suelo.

DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES ESENCIALES PARA LA PLANTA

La mayor limitación para el desarrollo de las plantas en la mayoría de los suelos agrícolas es la inadecuada disponibilidad de los nutrientes esenciales. Esto ocurre aun cuando existan cantidades adecuadas de nutrientes en el suelo, porque se encuentran en formas insolubles, no disponibles para la planta. Este alto grado de insolubilidad evita que se pierdan en los suelos por lixiviación, pero como únicamente pueden ser utilizadas por la planta en formas solubles, existen los mismos problemas de suministro de estos nutrientes para las plantas. La formación de las cavidades anaerobias en la rizosfera, que es de vital importancia para la producción del etileno en el suelo, juega también un importante papel en la movilización del suministro de nutrientes esenciales para las plantas.

Este mecanismo gira alrededor de la importancia del hierro en el suelo. Como ya se ha dicho, en condiciones normales de suelo, la mayoría del hierro presente lo está en forma de diminutos cristales de óxidos férricos. Estos cristales ofrecen una gran superficie, y están altamente ionizados (cargados). Como resultado de esto, nutrientes como los fosfatos, sulfatos y numerosos oligoelementos (elementos traza) están fuertemente ligados a estos cristales. En esta forma esos nutrientes no son aprovechables por las plantas. Sin embargo, si el desarrollo de las micro cavidades anaeróbicas tiene lugar, estos cristales se romperán, y todos los nutrientes que mantenía bloqueados serán liberados y pasarán a disposición de la planta. Al mismo tiempo, altas concentraciones de la forma móvil y reducida del hierro pasarán a formar parte de la solución del suelo en esas micro cavidades. Los otros nutrientes esenciales, como, incluyendo el Calcio, Potasio y amoníaco permanecen unidos a la superficie de las arcillas y de la materia orgánica (complejo húmico-arcilloso). Cuando las concentraciones de ferroso aumentan considerablemente, esos nutrientes son desplazados hacia la solución del suelo por el hierro reducido, en donde se harán también disponibles para que la planta pueda absorberlos. Desde el momento en que las micro cavidades se forman precisamente en la rizosfera preferentemente, los nutrientes que la planta necesita se habrán movilizado exactamente allí donde son requeridos. Como consecuencia favorable de este mecanismo, todas aquellas cantidades de nutrientes que no son utilizados por las raíces de las plantas no podrán lixiviarse. Tan pronto como estos compuestos emigran hacia los bordes de las micro cavidades, la reoxidación del hierro provoca la recristalización del mismo, de forma que vuelven a captar los nutrientes, previniendo así su pérdida por lavado.

Las condiciones del suelo que se necesitan para que este mecanismo opere eficazmente son idénticas a las que se requieren para la producción del etileno, con la que está íntimamente ligada. Así pues, en suelos agrícolas, en los cuales la producción de etileno no tiene lugar o está bloqueada, este mecanismo de movilización de nutrientes también se ve restringido. De nuevo ocurre que, bajo esas condiciones, las elevadas

concentraciones de nitratos en los suelos agrícolas se convierten en el mayor inhibidor de la movilización eficiente de los nutrientes.

Una gestión exitosa del suelo, que incremente la posibilidad de formación de las micro cavidades anaeróbicas, que ayudarán a asegurar el ciclo estable entre oxígeno y etileno y posibilitarán la movilización de nutrientes, nos exige la alteración de alguna de las prácticas convencionalmente establecidas en la agricultura. Por ejemplo, las técnicas que provocan la aireación y los estados oxidados del suelo, que tendrán como consecuencia incrementos a corto plazo del crecimiento de la planta, pero que rápidamente van a crear problemas a largo plazo con la disponibilidad de nutrientes y la incidencia de las enfermedades, necesitan ser modificadas. Los tratamientos que estimulan las tasas de nitrificación (transformación del amonio en nitratos), tales como el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, el sobreuso de cultivos dominantes de leguminosas, o la excesiva eliminación de plantas por el sobre pastoreo o las operaciones forestales, han de ser revisados.

Algunas líneas básicas a seguir para gestionar con éxito los suelos incluyen los siguientes aspectos:

- 1.- Es esencial que los residuos orgánicos retornen continuamente a la tierra. Estos residuos contienen nutrientes esenciales que serán reciclados, estimulan la actividad de los micro-organismos del suelo, suministran el precursor del etileno, y restringen la tasa de nitrificación de los suelos. Es mejor utilizar plantas maduras como fuente de materia orgánica, y es mejor retornar estos residuos a la superficie en lugar de incorporarlos en el suelo.
2. — Las técnicas de mínimo laboreo deben emplearse siempre que sea posible. Esto asegurará que las plantas crezcan en un suelo virtualmente continuamente, que haya una perturbación mínima del suelo y que se incremente la cantidad de materia orgánica que regresa al suelo. De nuevo los procesos de mineralización se ven frenados cuando utilizamos estas técnicas.
- 3.— Siempre que el suelo sea complementado con fertilizantes nitrogenados es preferible que el nitrógeno se encuentre en forma amoniacal, y aplicado en varios aportes pequeños en lugar de en una o dos grandes. De nuevo esta práctica minimiza las oportunidades de mineralización.
- 4.- En algunos casos puede estar justificada la utilización de inhibidores químicos de la nitrificación (N-serve o Terrazole) en suelos a los que se han añadido aportes nitrogenados, para asegurar que la nitrificación quede restringida.