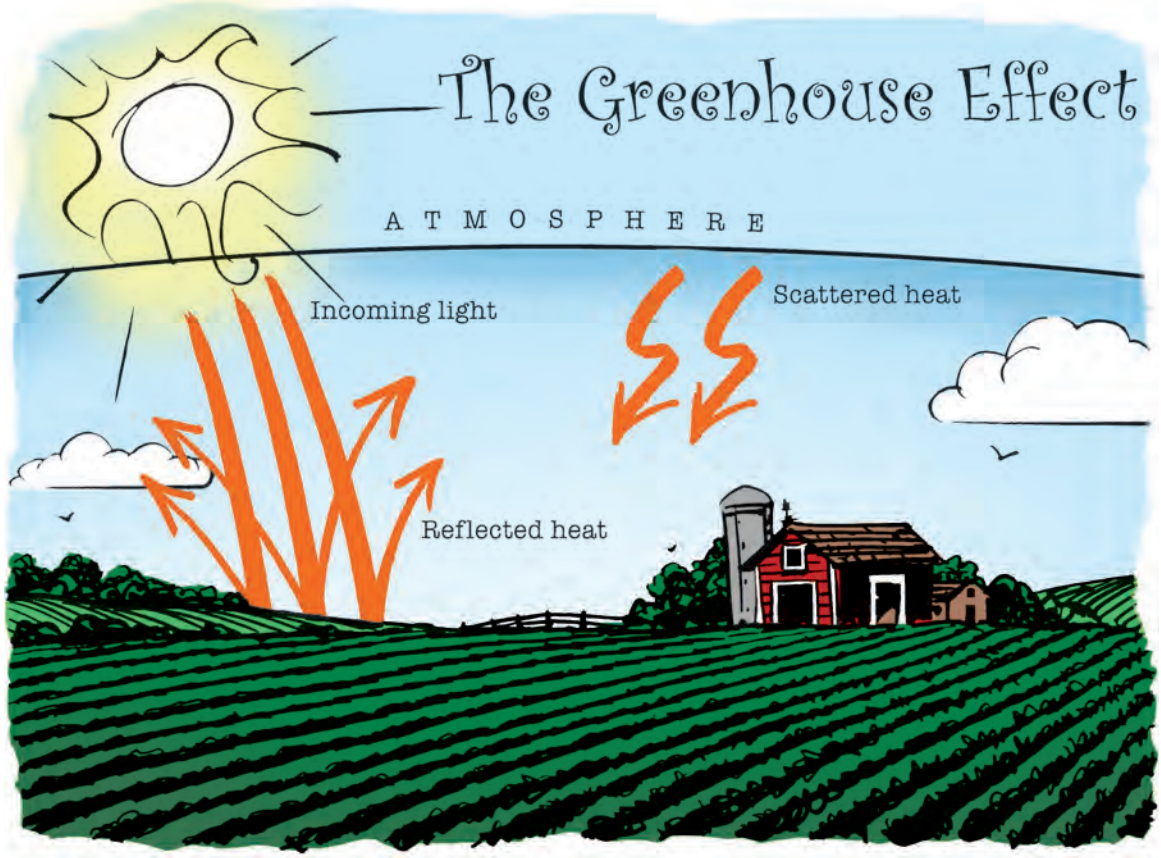
Restauración del Carbono en el Suelo: ¿Puede la Biología hacer el trabajo?

por Jack Kittredge,
Director político, NOFA/Mass
www.nofamass.org

Northeast Organic Farming Association/Massachusetts Chapter, Inc.
(Asociación de Cultivos Orgánicos del Noreste)/Capítulo
Massachusetts, Inc.
Agosto 14, 2015

NOFA MASS

Northeast Organic Farming Association



Introducción

Una gran parte de las discusiones en los círculos científicos y gubernamentales se ha enfocado recientemente en cómo lidiar con las emisiones de gases de efecto invernadero y los cambios climáticos extremos que han traído como resultado. La mayoría de los analistas cree que tenemos que dejar de quemar combustibles fósiles para prevenir el aumento de carbono en la atmósfera, y que debemos encontrar maneras de sacar el carbono ya existente en el aire si queremos reducir crisis climáticas y las tragedias humanas asociadas a las mismas, las fluctuaciones económicas y el conflicto social que esto trae consigo.

Pero ¿dónde podemos poner ese carbono una vez que se saque del aire? Sólo existe una metodología práctica—ponerlo de regreso en donde corresponde, en el suelo. Afortunadamente, esto no es un proceso caro. Pero sí requiere de grandes números de personas que estén de acuerdo en participar. Ya que poca gente va a cambiar lo que está haciendo sin una buena razón para hacerlo, hemos escrito este pequeño reporte. Esperamos que explique el problema del acumulamiento de dióxido de carbono y del cambio climático, cómo el carbono puede ser extraído de la atmósfera y restaurado en el suelo, y las ventajas que puede tener para productores y consumidores el cultivar en suelos ricos en carbono.

Cambio Climático

Las anomalías climáticas son notablemente difíciles de documentar. Para hacerlo se requiere de tener buenos datos sobre un tiempo prolongado y estándares claros sobre lo que constituye una anomalía. Recientemente, como más y más gente está interesada en el tema, el desarrollo de los datos y los estándares ha progresado. Los factores clave en climas extremos son calor, precipitación y humedad en el aire excesivos. Estudios recientes han encontrado que datos sobre la temperatura por mes, eventos de precipitación extrema, y el promedio de la humedad en el aire, todos han aumentado en los últimos 50 a 150 años. (Coumou)

La mayoría de los científicos cree que la causa de extremos tan impredecibles es el acumulamiento "antropogénico" (originado en actividades humanas) de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Modelos de estudio rigurosos y análisis de eventos de climas extremos han encontrado la actividad humana en los cambios climáticos como un factor contribuyente en varios de los casos extremos. (Peterson) De acuerdo a la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, "Basado en evidencias bien establecidas, un 97% de científicos del clima han concluido que el cambio climático por causa humana está sucediendo." (AAAS)

Cómo los Gases de Efecto Invernadero Causan Cambios Climáticos

Los gases invernadero, primordialmente bióxido de carbono pero también metano, ozono y óxido nitroso, han sido emitidos a la atmósfera por el suelo y el agua durante millones de años por procesos naturales como la respiración de animales, gases de pantanos y emisiones por bacterias fijadoras de nitrógeno. (EPA) Esos gases también se

descomponen en procesos naturales y regresan a sus fuentes en un ciclo continuo. Mientras la cantidad de gases invernadero emitidas y la cantidad regresadas a su fuente se mantenga en balance, no causarán cambios climáticos.

Necesitamos cierto nivel de gases invernadero en la atmósfera. Atrapan radiación solar para que la tierra refleje menos de regreso al espacio. Esto aumenta la cantidad de calor manejando las fuerzas planetarias que causan el clima. Si no tuviéramos algunos de esos gases, la tierra estaría congelada todo el año y sería demasiado fría para la vida humana. El nivel de un gas en la atmósfera se calcula en unidades llamadas "partes por millón" (ppm). Nitrógeno, Oxígeno y Argon, los gases primordiales en nuestra atmósfera, cuentan en conjunto con 999,000 ppm. A lo largo de la historia humana el nivel atmosférico de dióxido de carbono ha permanecido en un aproximado de 280 ppm, o menos de 0.03%.

Disturbios Humanos en el Ciclo de Carbono

Desde los albores de la agricultura unos 12,000 años atrás, deforestación causada por los humanos, campos desmontados y la labranza de cultivos han soltado excesos de dióxido de carbono. Usando un análisis y técnicas del núcleo de hielo profundo, científicos han detectado aumentos tempranos de dióxido de carbono y de metano en la atmósfera que corresponden a la expansión agrícola hace miles de años en Mesopotamia y China. (Amundsen)

Más recientemente, desde alrededor de 1750, con el rápido crecimiento en el uso de combustibles fósiles y la más reciente industrialización de la agricultura, la escala y número de fuentes de GEI causados por humanos ha incrementado dramáticamente. Con más saliendo del suelo ahora, y menos regresando a él, el nivel de dióxido de carbono en el aire está creciendo y ahora se encuentra en 400 ppm.

El Alcance del Problema

(¡Para los que les gustan los números!)

Nota: los cálculos en este campo todos involucran el uso del sistema métrico, en el cual una tonelada es una tonelada métrica que pesa 1000 kilogramos o 2204.6 libras. Una Gigatonelada (Gt) es un billón de toneladas métricas. Una hectárea es 10,000 metros cuadrados o 2.47 acres.

Científicos han estimado que tenemos que regresar a un nivel de dióxido de carbono en la atmósfera de alrededor de 350 ppm para evitar cambios climáticos catastróficos. (NASA) (Muchos científicos argumentan que una meta más segura es más cercana a los niveles pre- industriales estimados en 275-280 ppm, pero la mayoría del debate público se ha establecido en los 350 ppm.) Una ppm de dióxido de carbono en la atmósfera es equivalente a unos 7.8 Gt de lo mismo. Una molécula de dióxido de carbono es en su mayoría oxígeno y el carbono en esa molécula es solamente un poco más de una cuarta parte de ella (27.3 % para ser precisos).

Por lo tanto una ppm de dióxido de carbono atmosférico contiene 2.125 Gt de carbono (para propósitos de ilustración esto es alrededor del tamaño de un kilómetro cúbico de grafito sólido).

Así que necesitamos vivir con el dióxido de carbono a un nivel de 350 ppm o menos pero ya se encuentra a 400 ppm y está creciendo. ¿Qué podemos hacer?

¿Supongamos que Reducimos las Emisiones?

No cabe duda de que la humanidad en su totalidad necesita dejar de producir cantidades excesivas de gases invernadero. Está estimado que alrededor de dos terceras partes de esas emisiones son causadas por nuestro uso de combustibles fósiles. (Ontl) Tenemos que dar fin a nuestra dependencia en combustibles fósiles y desarrollar fuentes alternativas para producir energía. Esto es bien conocido por los gobiernos. Se han establecido grupos internacionales para dar seguimiento a esta meta. Parece ser uno de los cambios más difíciles de realizarse en la historia humana, pero necesitamos encontrar las políticas y los mecanismos para que suceda si queremos sobrevivir. Pero ese no es nuestro único problema.

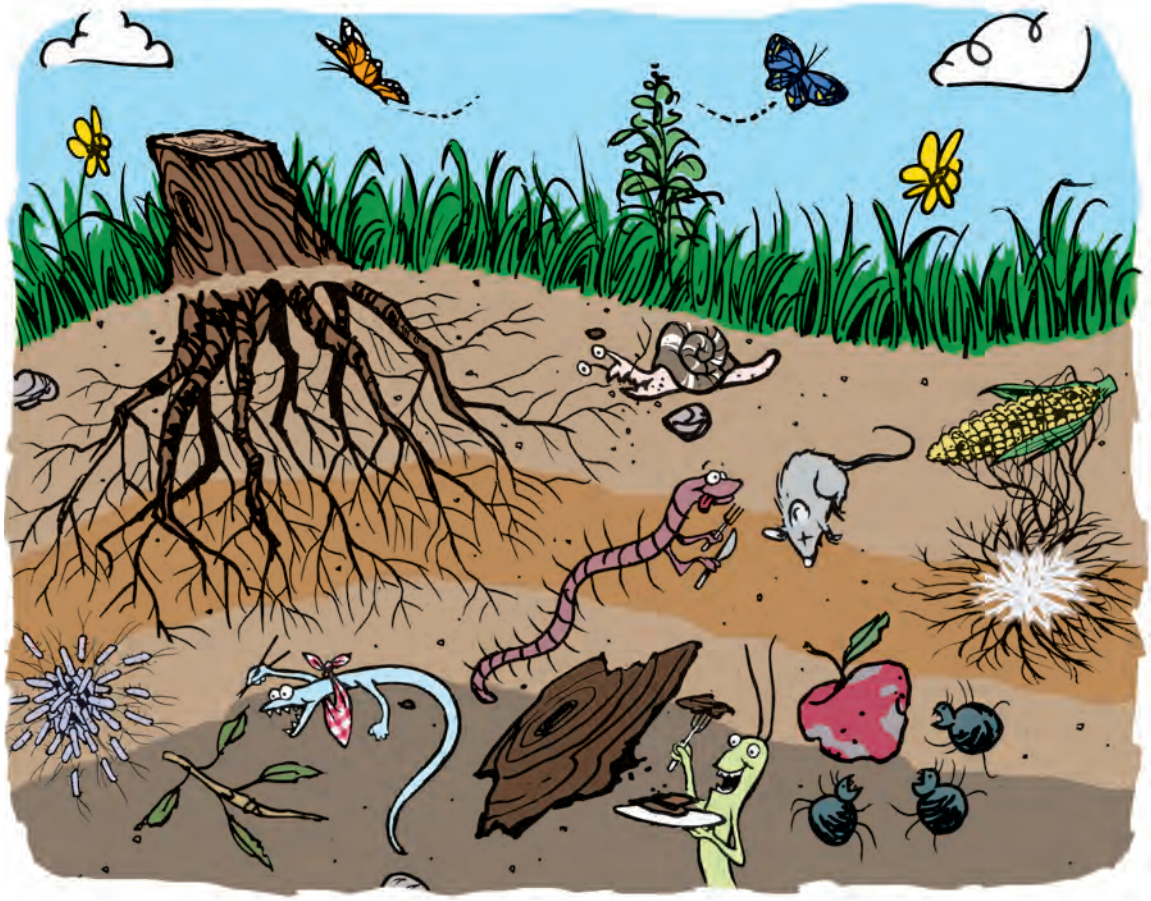
Supongamos que frenáramos todas las emisiones el día de mañana… el GEI que ya hemos soltado en la atmósfera seguirá calentando el planeta por decenas de años antes y tal vez centenares. Ese calentamiento derretirá los hielos y los suelos congelados, elevando los niveles del mar y soltando grandes cantidades de gases invernadero aún congelados.

Este es un problema potencial en el Ártico, por ejemplo. Ahí una abundancia de metano congelado, un potente GEI, se puede liberar en la atmósfera al derretirse. Una enorme cantidad de carbono también se encuentra en el permacongelamiento (la capa de hielo permanente en los niveles superficiales del suelo de las regiones muy frías o periglaciares). Un ambiente en calentamiento puede exponer esto a la digestión por microbios, en tal caso será exhalado como dióxido de carbono. Si esa digestión sucede en dónde no hay oxígeno, como en un pantano o humedal, el carbono será liberado por otros microbios como metano. (NSIDC)

Así que reducir las emisiones no es suficiente. Una vez que lo hagamos, también tenemos que frenar el aumento en la temperatura global. Si estamos a unos 400 ppm de dióxido de carbono ahora y queremos regresar a 350 ppm rápidamente, necesitamos sacar carbono de la atmósfera y enterrarlo en algún lugar. Tenemos que encontrar un hogar a largo plazo para 50 ppm de dióxido de carbono, lo que son 106.25 Gt de carbono. ¿Se puede hacer eso?

¿Dónde Podemos Poner Todo Ese Carbono?

No podemos guardar de forma segura el carbono atmosférico en el 70% del planeta que está cubierto por agua. El dióxido de carbono se disuelve en el agua y forma ácido carbónico. Por decenas de años ahora hemos visto los efectos de una cantidad gradualmente incrementada de ácido carbónico en nuestros océanos. El pH del océano ha decaído



y la acidificación ha estado matando muchas formas de vida marítima, incluyendo mariscos, corales y plancton. (NOAA)

Guardar el carbono en el suelo, es otra historia. Ahí es de donde viene el carbono, y en donde se necesita. Los científicos estiman que desde la revolución industrial el desmonte de tierras y los cultivos para la agricultura han soltado 136 Gt de carbono de los suelos de la tierra. (Lal 2004) Así que por nuestro desmonte de suelos y cultivo de campos, el suelo ha perdido más carbono del que tenemos que regresarle. ¿Cuánto carbono contiene el suelo todavía? Mucho más. Otra vez, científicos estiman que en los primeros 30 centímetros (como un pie) de los suelos globales se contienen alrededor de 700 Gt de carbono. Si contamos todo el primer metro de suelo (sobre tres pies) ese número pasa de duplicarse a más o menos 1500 Gt. (Powlson) Claramente el suelo, que alguna vez contuvo todo ese carbono, puede volver a contenerlo.

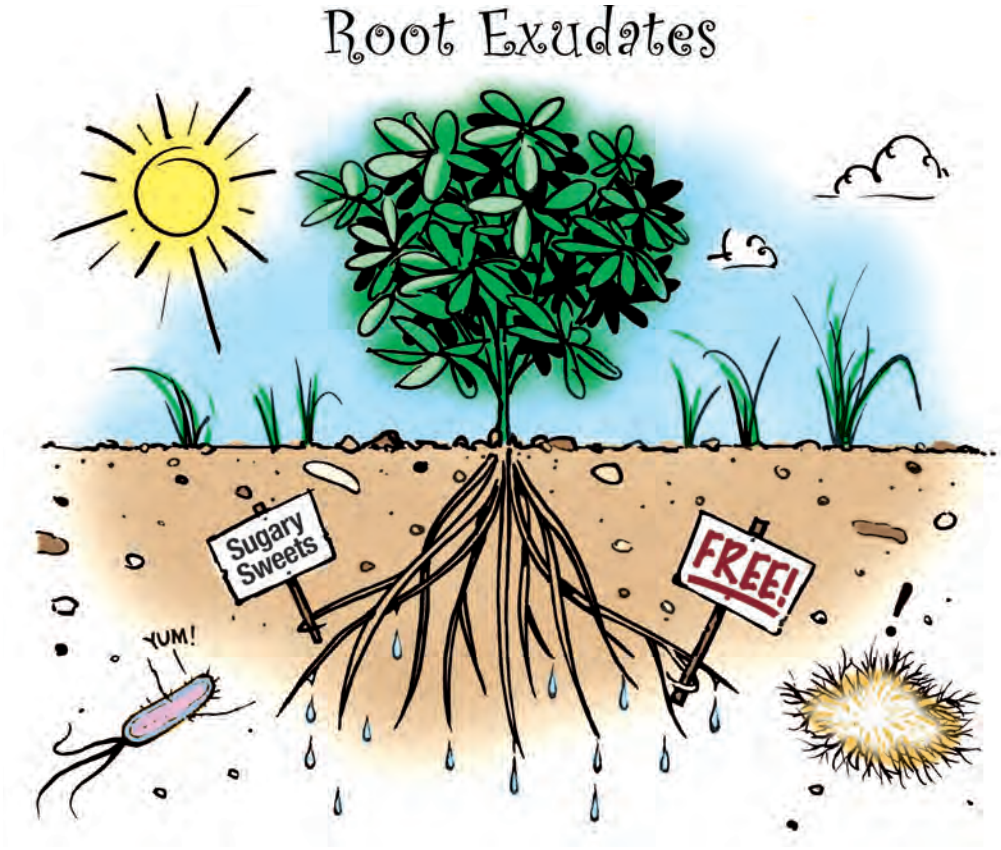
Pero antes de que intentemos responder a la pregunta sobre poner 106.25 Gt de carbono en el suelo, entendamos al suelo un poquito mejor.

El Hambre de Carbono en el Suelo

El suelo está literalmente vivo. Se encuentra lleno de bacterias, hongos, algas, protozoos, nematodos y muchas más criaturas. En una cuchara de té de suelo sano, de hecho, hay más microbios de lo que hay gente en el planeta. (Hoorman) Claro, como formas de vida basadas en el carbono, esta comunidad en equipo, requiere constantemente de materia orgánica para sobrevivir. Esa materia orgánica (de la cual un 58% es carbono) viene en la forma de organismos vivientes, sus secreciones, que a menudo son simples azúcares, y sus residuos, que se encuentran generalmente en forma de carbohidratos como la celulosa. Estos componentes son ricos en energía, listos y accesibles para organismos, y rápidamente asimilados por los microbios del suelo. La vida promedio de azúcares simples en los suelos superficiales, por ejemplo,puede ser consumida en menos de 1 hora. (Dungait)

Este tremendo apetito de los organismos del suelo por carbono significa que en suelos sanos rápidamente consumen materia orgánica disponible. Se absorbe en sus cuerpos, o se quema como energía y se secreta como dióxido de carbono. Los microbios en un acre de maíz de Iowa exhalan más dióxido de carbono que 25 hombres sanos haciendo trabajo. (Albrecht) Una vez que esos microbios mueren, el carbono en sus cuerpos se vuelve disponible para que otros organismos puedan descomponerlos y exhalarlo.

La actividad de los organismos del suelo sigue ciclos diarios así como temporales. No todos los organismos están activos al mismo tiempo. De hecho la mayoría se encuentra apenas activa o hasta durmiente. La disponibilidad de comida es un factor importante que influye en la población y el nivel de actividad de los organismos del suelo. (FAO)



Fotosíntesis

Pero si el carbono se consume tan rápidamente en el suelo, entonces, ¿por qué no desaparece también rápidamente?

La respuesta es que las plantas están constantemente renovando sus fuentes. Desde su evolución, 3.5 billones de años atrás, las plantas se han desarrollado usando su asombroso poder de sacar carbono del aire y convertirlo en materia viviente. El proceso, claramente, se llama fotosíntesis, que se le enseña a los niños en las escuelas.

Funciona así: la molécula de clorofila en las hojas de las plantas les permite absorber la energía de la luz y usarla para separar moléculas de agua (H2O) en átomos de hidrógeno y oxígeno. La planta entonces libera esos átomos de oxígeno como oxígeno molecular (dos átomos de oxígeno unidos el uno al otro _O2) de regreso a la atmósfera y guarda temporalmente los átomos de hidrógeno. En la segunda fase de la fotosíntesis los átomos de hidrógeno se unen con moléculas de dióxido de carbono (CO2) para crear carbohidratos simples como la glucosa de azúcar (C6H12O6).

Este proceso, como todas las reacciones químicas, está sujeto a la disponibilidad de todos los componentes necesarios. Ya que el dióxido de carbono está presente en la atmósfera en una concentración tan baja (ahora 0.04%) frecuentemente es el factor limitante en el proceso. (RSC) En concentraciones más altas del gas, más energía será sacada de la luz disponible y más agua será absorbida por la planta para incrementar la producción de carbohidratos. (Ontl) En otras situaciones, como en la noche o en sequía, luz o agua pueden ser los factores limitantes.

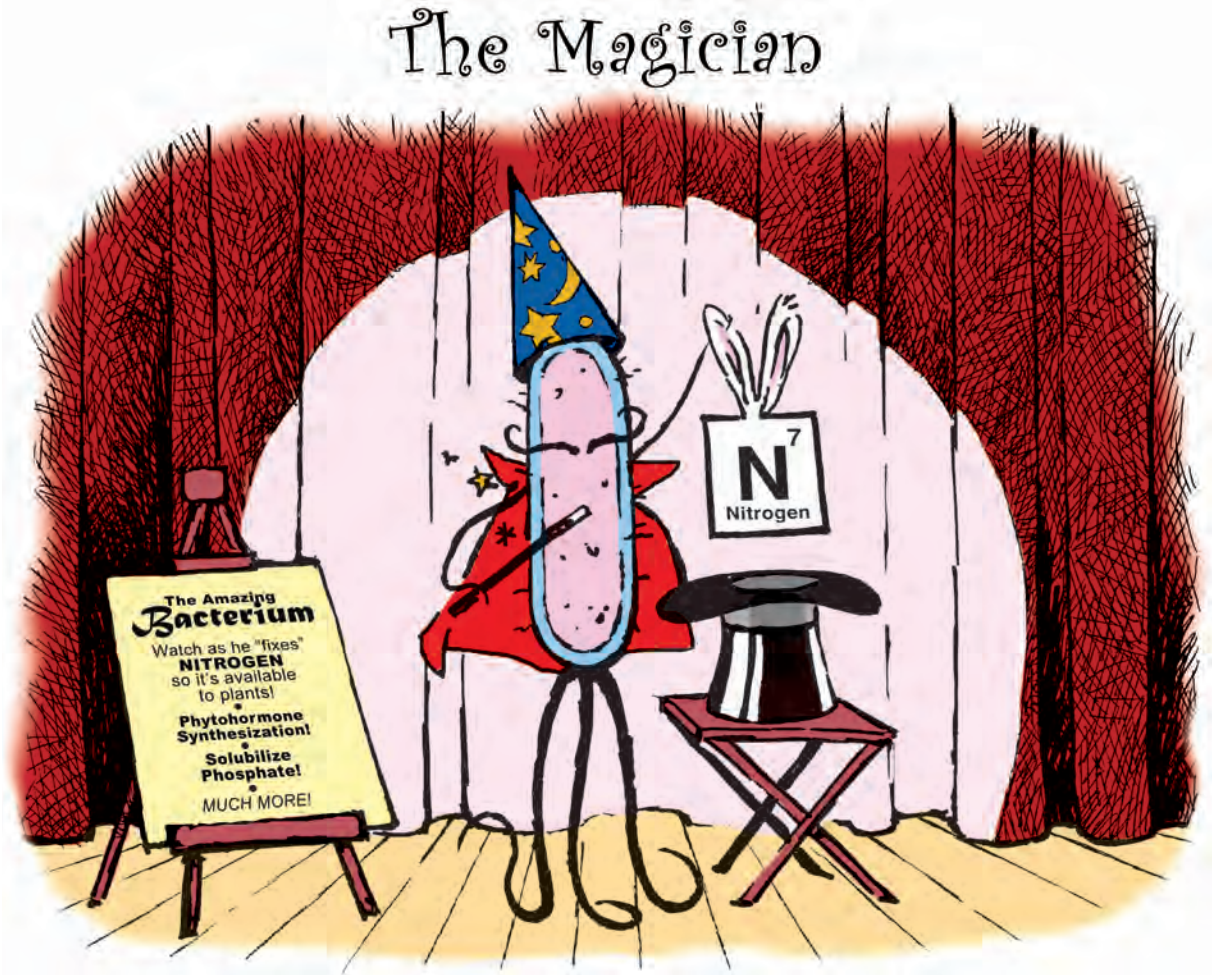
La pura escala de este proceso es impresionante. Un acre de trigo en un año puede absorber 8,900 libras de carbono en la forma de dióxido de carbono, combinarlo con agua, y convertirlo en azúcar. El azúcar resultante pesará 22,000 libras. Este proceso es tan activo que un estimado del 15% de todo el dióxido de carbono en la atmósfera planetaria se mueve por organismos de fotosíntesis cada año. (SAPS)

Secreciones de Raíz

La Fotosíntesis le da a las plantas y a otros organismos fotosintéticos (como las algas azul-verdosas) un rol especial en la vida. Todas las cosas vivientes están basadas en el carbono, y necesitan consumir carbono para sobrevivir. Si puedes obtener carbono de la nada, como lo hacen las plantas, tienes una ventaja imponente. Pero aún si no puedes hacer componentes de carbono, los necesitas tener.

¿De qué otra manera pueden obtener los microbios del suelo el carbono? ¡Se lo pueden "ganar"!

Una de las cosas más destacables que los científicos del suelo están aprendiendo sobre plantas y organismos de suelo es que parece que han co- evolucionado en una relación mutuamente benéfica.



Cuando las plantas hacen fotosíntesis y crean carbohidratos en sus cloroplastas, usan algunos de esos componentes para sus células y su estructura, y otra la queman para su energía vital. Pero derraman o secretan una cantidad significante de estos componentes como "carbono líquido" en el suelo. (Jones SOS) Las estimaciones varían pero entre 20 y 40 por ciento del carbono que la planta ha fijado por fotosíntesis es transferida a la rizosfera (el área de suelo directamente alrededor de la raíz). (Walker)

¿Por qué soltaría una planta jugo dulce en la tierra?

Como carnada.

Bacterias hambrientas, hongos, y otros organismos del suelo aparecerán rápidamente para devorar las sabrosas secreciones de la raíz que contienen carbono. Pero pronto quieren más - y la mejor manera de conseguirlo es ayudando a la planta a producir más. Si una planta está saludable y fuerte, puede dedicar más recursos a la fotosíntesis y secretar más carbono. Así que los microbios ayudan a la planta de varias maneras distintas para ayudarla a desarrollarse y producir más carbono líquido.

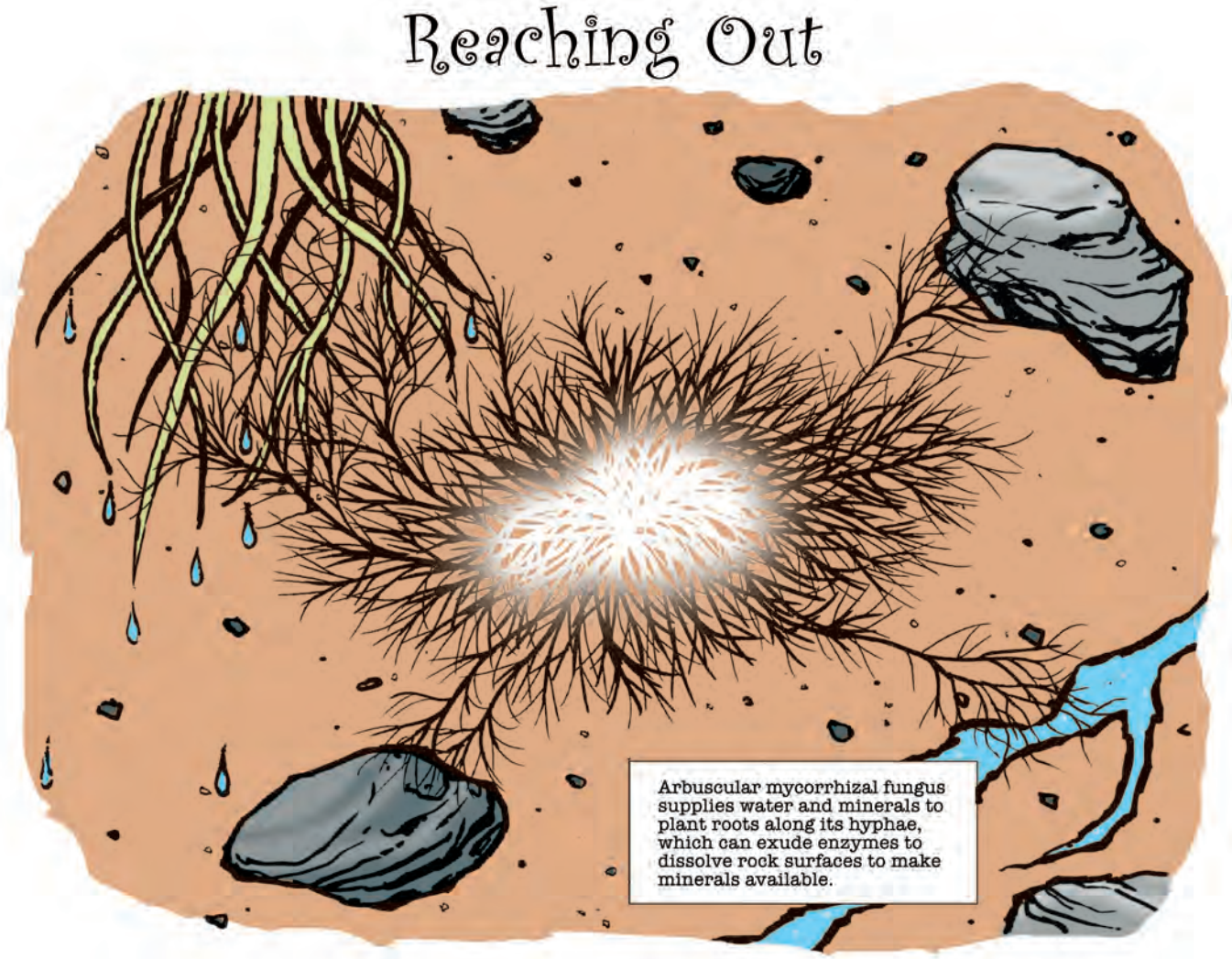
Como hemos aprendido más sobre la bioquímica del suelo hemos descubierto que, por las secreciones de las raíces, las plantas tienen la capacidad de controlar mucho de su medio ambiente local- regulando la comunidad de microbios del suelo local, lidiar con depredación de herbívoros, "conseguir" envíos de nutrientes lejanos, alterar las propiedades químicas y físicas del suelo cercano, e inhibir el crecimiento de plantas competitivas.

Simbiosis de Microbios

Se debe afirmar que mucho de lo que sigue aún se encuentra bajo estudio. El suelo es una frontera de la cuál todavía hay mucho que aprender. La comunidad de microbios es extremadamente diversa - entre 90 y 99% de las especies ni siquiera pueden ser reproducidas en laboratorios con las tecnologías actuales. (Jastrow)

La comunidad de microbios del suelo es más de 90% bacteria y hongos, por masa. La medida exacta entre estos dos tipos de organismos varía. Suelos vírgenes como los pastizales y bosques beneficiarán a los hongos cuyas hifas como hilos se mantienen sin molestar. Los cultivos o el uso de fertilizantes sintéticos de nitrógeno reducen la población de hongos.

Un factor importantísimo en el éxito de los microbios es si su ambiente físico directo los protege o no.



La protección puede ser por medio de barros, que los científicos creen puede mantener un pH óptimo, absorber metabolismos dañinos y/o prevenir desecación. Pequeños poros (para "esconderse") en el substrato local también se cree que ayudan a prevenir depredación de los organismos más pequeños por los más grandes como los protozoos. (Six) Se ha reportado que los organismos protegidos mueren a una velocidad de menos de 1% al día, mientras que un 70% de organismos desprotegidos pueden morir diariamente.

Bacterias

Las bacterias poseen una química asombrosa. Un grupo de ellas, llamadas promotoras del crecimiento de plantas rizobacterias (PGPR), trabajan mágicamente ayudando a las plantas en un número de procesos bioquímicos. Algunas pueden "fijar" nitrógeno de la atmósfera, convirtiéndola en alguna sustancia que es accesible para la planta. Otras pueden sintetizar fitohormonas que mejoran las fases del crecimiento de la planta. Aún otras pueden disolver fosfato, un nutriente esencial relativamente insoluble, y hacerlo accesible para el crecimiento de la planta, o producir un funguicida natural para ayudar a la planta a resistir enfermedades por hongos. (Velivelli) Un PGPR ha sido aislado de muchas plantas comunes incluyendo el trigo, trébol blanco y ajo. Esta bacteria de hecho produce diferentes antibióticos, substancias que combaten patógenos y ayudan a las plantas a resistir enfermedades. (Timmusk)

Hongos

Otro ejemplo de simbiosis entre microbios el la de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). En esta simbiosis el hongo coloniza dos ambientes distintos, la raíz de la planta anfitriona y el suelo a su alrededor, conectando a los dos con sus largas hifas. Esto permite que la planta anfitriona tener una absorción mejorada de nutrientes de agua y minerales conducidas por las hifas. Esta relación ha sido documentada en conexión con varios minerales, incluyendo el fósforo, nitrógeno, zinc y cobre. (Jansa) En algunos estimados sobre un 90% de las plantas terrestres disfrutan de esta asociación con hongos micorrízicos arbusculares. (Cairney)

Algunos científicos estiman que 85 a 90 por ciento de los nutrientes que requieren las plantas se adquieren por un intercambio de carbono donde las secreciones de las raíces proveen energía para los microbios para recibir minerales o encontrar elementos de otra forma inaccesibles para la planta. (Jones SOS)

Estas relaciones benefician a ambos partidos, sin costo. La única energía extra que se necesita se provee por la luz solar, que permite que la planta ahora más fuerte pueda producir mas componentes para darle energía y apoyar a los microbios.

Agregados del Suelo

Un aspecto importante de esta historia es la estructura del suelo llamada un "agregado". Si exprimimos un manojo de suelo sano y lo soltamos, debiera verse como un montón de chícharos. Esos son los agregados. Si el suelo se queda en pedazos duros, entonces no está bien agregado. Los agregados son lo suficientemente estables para resistir la erosión de viento y agua, pero suficientemente porosos para permitir que el aire, el agua y las raíces se muevan a través de ellos.

Los agregados son la unidad fundamental del funcionamiento del suelo y juegan un rol similar al de los nódulos de raíces en los vegetales, creando un espacio protegido. (Jones SOS) El agregado se ayuda a formar por las hifas de hongos micorrízicos que crean una "bolsa de hilos pegajosos" que envuelve y entrelaza partículas del suelo. (Jastow) Las secreciones de carbono líquido de las raíces de las plantas y de hongos permiten la producción de pegamentos y gomas para formar las paredes del agregado. (Jones SOS)

Dentro de esas paredes hay mucha actividad biológica, nuevamente alimentada por las secreciones de carbono. La mayoría de los agregados están conectados a raíces de plantas, con frecuencia raíces finas en alimentación, o a tejidos de hongos micorrízicos demasiado pequeños para ser vistos. El contenido húmedo dentro de un agregado es más alto que afuera, y hay menos presión de oxígeno adentro. Estas son propiedades importantes permitiendo la fijación de nitrógeno y otras actividades bioquímicas. (Jones SOS)

Uno de los pegamentos importantes que sostiene a los agregados es una glicoproteína llamada "glomalina". La glomalina y la estabilidad del agregado de suelo parecen estar cercanamente asociados. (Nichols) Apenas descubierto en 1996, la glomalina ahora se cree, por algunos científicos, que cuenta con un 27 por ciento del carbono en el suelo y que dura por más de 40 años, dependiendo de las condiciones. La glomalina parece ser producida por hongos micorrízicos arbusculares usando líquido de carbono secretada por plantas. Puede ayudar a las hifas de los hongos a atarse a las raíces y a las partículas del suelo, y de ser puentes para espacios de aire. (Comis)

Ahora que sabemos más sobre el suelo, y de cómo el carbono es introducido a él por medio de las plantas para estimular relaciones simbióticas con los microbios, podemos volver a hacer la pregunta:

¿Qué Tan Rápido Podemos Restaurar Suficiente Carbono al Suelo para Mitigar Extremos Climáticos?

Hemos visto arriba que una parte por millón de dióxido de carbono en la atmósfera contiene 2.125 Gigatoneladas de carbono. Si ese es el caso, y nos encontramos a 400 ppm y tenemos que regresar a 350 ppm, necesitamos restaurar 50 ppm, o 106.25 Gt de carbono, al suelo.

Sabemos que todo ese carbono cabrá en el suelo porque de ahí salió. Hemos sacado 136 Gt de carbono del suelo por desmonte de tierras y agricultura desde el comienzo de la era industrial.

¿Pero qué tan rápido podemos volver a poner ese carbono de regreso en el suelo? En los últimos 20 años, desde que la gente ha empezado a pensar en restaurar carbono al suelo, muchos estudios se han hecho para calcular la velocidad a la cual la fotosíntesis en la agricultura puede acumular carbono. Hemos visto varios de esos estudios , conducidos a lo largo de la última década, en cinco continentes y cubriendo varios tipos de suelos y distintos tipos de agricultura. Los estudios utilizan diferentes metodologías y claro que reportan resultados bastante divergentes. Sin embargo, al leer esos estudios, algunas cosas son evidentes.

- Los sistemas de cultivos perennes pueden restaurar más carbono que la mayoría de los otros métodos de agricultura. Todas las pruebas basadas en pastoreo reportaron cantidades excepcionales de carbono restaurado, de 1.9 a 3.2 toneladas métricas de carbono por acre anualmente, con un promedio de 2.6 toneladas. (Machmuller, Rodales, IFOAM) Hemos encontrado pocos estudios de sistemas de cultivo perennes acumulando grandes cantidades de carbono de suelo, pero hay algunas evidencias de que los cultivos boscosos lo pueden hacer. Un estudio encontró que suelos de minas degradados sumaron 2.8 toneladas métricas de carbono por acre por año con plantaciones de árboles negros de algarrobo y manejados como un bosquecillo de biomasa en un sistema de rotación corto. (Quinkenstein) Se necesitan hacer más estudios antes de que podamos evaluar completamente las contribuciones de cultivos de bosques o plantas herbáceas perennes para restaurar carbono del suelo.

- El uso de fertilizantes químicos sintéticos, especialmente nitrógeno y fósforo, reducirá seriamente o en varios casos hasta eliminará cualquier acumulación de carbono de suelo. El uso apropiado de abono y composta, en cambio, no parece impedir los aumentos de carbono de suelo.(Jones SOS, Rodale)

- Estudios sobre cultivos de filas, aunque sean cultivados sin químicos sintéticos, reportaron alzas de carbono más pequeñas que los estudios de pastoreo, variando entre 0.23 a 1.66 toneladas por acre, con un promedio de 0.55 toneladas. (Khorramdel, IFOAM)

- La calidad de las prácticas de agricultura estudiadas fue variable, especialmente para las pruebas de cultivo en fila. Virtualmente todos los estudios de cultivo en fila reportando alzas significativas eran aquellos que utilizaban abono o composta en lugar de fertilizantes químicos.

Pero la medida en la cual otros principios de almacenamiento de carbono - tales como mantener el suelo cubierto con plantas todo el tiempo, usando una amplia mezcla de cultivos, y minimizando la labranza - fueron usados no es claro. Es de importancia notar, de todas formas, que en el caso de la más alta alza de carbono en cultivos de fila, restaurando 1.66 toneladas por acre de maíz, la prueba usó prácticas orgánicas sin labranza. (Khorramdel)

Dados estos promedios de las pruebas, hagamos un cálculo sobre el potencial de la agricultura para restaurar 106.25 Gt de carbono al suelo.

La FAO dice que hay 8.3 billones de acres de pastorales sobre el planeta y 3.8 billones de acres de tierras de cultivo. Si todos estuvieran dispuestos a usar prácticas productoras de carbono en esos acres anualmente los pastorales, con un promedio de 2.6 toneladas por acre , podría restaurar 21.6 Gt, y las tierras de cultivo, con un promedio de 0.55 toneladas por acre, podrían restaurar 2.1 Gt. Esto nos da un total de 23.7 gigatoneladas por año. Ya que estamos interesado en restaurar 106.25 Gt, ¡eso significa que podríamos hacerlo en menos de 5 años!

Carbono Estable

Naturalmente si queremos restaurar una gran cantidad de carbono al suelo tiene que hacerse de forma que los microbios no lo puedan consumir. De otra manera ellos simplemente la volverán a quemar y nuevamente la soltarán como dióxido de carbono a la atmósfera. Muchos estudios han analizado tratamientos para materia orgánica en el suelo para ver si pueden ayudar a preservarla. Un estudio de 10 años comparó el incorporar residuos de materia orgánica en un lote y el quitarlo en otro lote similar. Otro estudio duró 31 años y comparó diferentes rotaciones y aplicaciones de fertilizantes en diferentes lotes, variando hasta en un 50% la cantidad de carbono que se regresa al suelo. Un tercero comparó un lote donde los residuos de la cosecha fueron quemados durante varios años con otro en el cual los residuos eran incorporados en el suelo. Al final de cada uno de estos estos estudios, investigadores calculando la materia orgánica del suelo no encontraron diferencias significativas entre los lotes a pesar del diferente manejo. (Kirkby)

Si los microbios simplemente se multiplican y consumen el carbono presente, nunca podremos producir altas cantidades en el suelo. Pero sin duda, históricamente, los niveles de materia orgánica en el suelo de 6 a 10% eran comunes, y en algunos lugares hasta un 20% ha sido calculado. (LaSalle) ¿Qué ha hecho que los organismos del suelo no descompusieran la materia orgánica en el pasado?

Una forma de carbono que parece mantenerse estable durante años, hasta siglos, es el humus. Está compuesto por moléculas complejas que contienen carbono, pero no es fácilmente descompuesta por la vida en el suelo. Los científicos no están completamente de acuerdo en cómo se forma el humus, o cómo resiste a la descomposición.

Algunos creen que el humus es una forma altamente recalcitrante de carbono formado por la descomposición de raíces y productos de la raíz por microbios. (Ontl)

Otros creen que los mecanismos que permiten la conservación física del carbono del suelo involucran ya sea su habilidad para resistir ataques de enzimas de microbios por medio de la "ad-sorción" a minerales , o protección dentro de los agregados del suelo. El primero sugiere la adhesión a partículas de barro o coloides del suelo suficientemente fuerte para resistir ataques de enzimas amenazantes. El segundo puede proteger las moléculas de un ataque de enzimas manteniendo oxígeno u otros elementos en descomposición fuera del agregado de suelo. Todavía otra teoría involucra la inaccesibilidad del carbono de suelo al ataque de microbios por su profundidad en el suelo. (Dungait)

Sin embargo se está formando un punto de vista entre algunos científicos, de que el carbono estable es producido no a partir de los residuos de materia orgánica del suelo sino del líquido de carbono mismo. Este punto de vista ve al humus como una creación acumulada por organismos del suelo, en lugar de un producto de descomposición de materia orgánica. (Meléndrez, Jones letter)

Estudios que apoyan este punto de vista sugieren que el humus es un complejo órgano-mineral compuesto de un 60% de carbono, entre 6% y 8% de nitrógeno, y vinculado químicamente a minerales de suelo incluyendo fósforo, azufre, hierro y aluminio. Hasta existe alguna evidencia de que la composición del humus está basado en raciones específicas entre sus componentes principales, no solo entre carbono y nitrógeno pero también entre carbono y azufre. (Kirkby) Un investigador sostiene que el humus solo se puede formar en micrositios especializados del suelo, como agregados, en donde el nitrógeno esta siendo fijado de manera activa y fósforo y azufre están siendo solubilizados. (Jones letter)

¿Cómo Podermos Restaurar y Estabilizar Carbono de Suelo?

A medida que los científicos del suelo aprendan más sobre los componentes y procesos de microbios que forman el humus, tendremos un mejor entendimiento de cómo asistir en su creación. Pero existen evidencias que sugieren que crear materia orgánica en el suelo no sólo consiste en añadir materia orgánica al suelo. Eso creará una comunidad de microbios proliferante y puede hacer que los cultivos florezcan. Pero para construir carbono a largo plazo, se necesita más.

Lo que necesitamos saber es: ¿Qué prácticas necesitamos usar para construir y conservar carbono de suelo en nuestro suelo?

Mantener el Suelo Sembrado

Probablemente la lección más importante es que el suelo descubierto oxida carbono, mientras que las plantas lo

protegen. Las plantas verdes forman una barrera entre el aire y el suelo, alentando el proceso de emisión de carbono por microbios. La erosión por viento y agua también es un enemigo fundamental del carbono de suelo, y sembrar plantas es la mejor protección contra la erosión. Finalmente, las plantas no solo protegen el carbono de suelo sino que también le añaden carbono por su poder de fotosíntesis. Puesto de manera simple, cada pie cuadrado de suelo que se deja expuesto - ya sea entre filas de cultivos, porque estás labrando la tierra, o acabas de cosechar y dejas la tierra baldía - reduce la cuenta de banco de carbono.

Prácticas como vegetación de invierno para cubrir el suelo y sub- sembradíos con legumbres son importantes para que después de que la cosecha exista una cobertura productiva para incrementar el carbono del suelo, proteger contra la erosión, alimentar organismos del suelo e incrementar las agregaciones. (Azeez)

Minimizar la Labranza

Una de las prácticas de restauración de carbono más difíciles para los productores orgánicos es reducir la labranza. Como los productores orgánicos no utilizan herbicidas, la labranza del suelo es su herramienta principal contra las hierbas. Pero la labranza tiene varios efectos perjudiciales. Primero, revuelve el suelo y lo expone al aire, oxidando el carbono en el suelo expuesto. Segundo, la labranza despedaza y destruye las hifas de los hongos micorrízicos, los microbios responsables de mucha de la simbiosis que es tan importante para el vigor de la planta y la secreción aumentada de líquido de carbono. Sus hifas son la interconexión delicada de hilos que permean el suelo y acarrean agua y nutrientes a las raíces de las plantas. Estudios reportan aumentos en biomasa de hongos en todos los sitios en donde la labranza se reduce. (Six) Tercero, los agregados de suelo complejos que han sido formados por secreciones de microbios para proteger transformaciones químicas importantes tales como la fijación de nitrógeno y la estabilización de carbono serán arruinados por la labranza. Cuarto, la labranza tiende a destruir los espacios porosos en el suelo que son vitales para sostener agua y aire, que permiten la vitalidad de microbios. Finalmente, la labranza misma involucra con frecuencia equipos que se manejan con combustibles fósiles, emitiendo gases invernadero en su operación.

Estudios reportan que los sistemas de cultivo orgánicos con los niveles más altos en restauración de carbono son aquellos que practican la no labranza y que añaden bastante materia orgánica - como abono de vaca - en el suelo. (Khorramdel) Críticos de la labranza reportan que hasta una operación de labranza después de varios años puede resultar en la pérdida de la mayoría del carbono construido durante todo ese tiempo. (Lal 2007)

Hay algunos estudios que reportan que las ganancias de carbono de suelo de la no labranza no están distribuidos profundamente a lo largo del perfil del suelo, pero que ocurren en su mayoría en la superficie. Esto es un problema, sugieren, porque la probabilidad para la formación de humus y estabilización de carbono a largo plazo parece suceder más profundo en el suelo, más cerca de barros y minerales a los que el carbono se puede adherir para resistir la oxidación. También argumentan que el tipo de suelo de materia orgánica producida bajo el manejo de no labranza solo se incorpora en la fracción de arena/tierra del suelo cerca a la superficie y se oxida fácilmente con disturbios eventuales. (Azeez)

Algunos estudios que apuntan a la superficialidad de la acumulación de materia orgánica bajo la no labranza, también reportan un lento proceso de la materia orgánica a llegar a niveles profundos después de 10 a 15 años bajo el sistema de labranza, probablemente a causa de una descomposición reducida de materia orgánica y por la mezcla de suelos a largo plazo por organismos de suelo más grandes. (Powlson)

Hay varios sistemas y evidencias que están siendo diseñadas actualmente para que productores orgánicos reduzcan la labranza. Hay quienes abren el suelo sólo lo suficiente para que la semilla o plántula sea depositada, y que lo cierran enseguida de nuevo. Para la labranza o cosecha de conservación se han diseñado máquenas que ruedan y recogen las cosechas antes de su florecimiento perturbando el suelo al mínimo. El cultivo de mercado entonces se planta en el rastrojo de la cubierta. Sin duda muchas otras buenas ideas para permitir a los productores orgánicos a combatir hierbas sin molestar al suelo serán desarrolladas. Ciertamente hay necesidad de progreso en este frente.

Un método alternativo para controlar hierbas es el uso de mantillo para prevenir que la luz les llegue. Los mantillos más simples para aplicar son sábanas de plástico. Su producción, desafortunadamente, usualmente requiere de combustibles fósiles y quitarlo puede ser difícil y toma tiempo. Hacer mantillo con materiales orgánicos como paja o residuos de cosecha molidos añade descomposición de materia orgánica al suelo y construye carbono, pero en suelos biológicamente activos requiere de un continuo añadido de material que puede ser costoso y tomar mucho tiempo. La dificultad principal del mantillo, es que no absorbe carbono de la atmósfera para fijarlo en el suelo por medio de la fotosíntesis, como lo hacen las plantas vivas.

Cultivos de Cobertura

Los cultivos de cobertura son esenciales en cualquier estrategia orgánica para reducir o eliminar la labranza, controlar hierbas y construir carbono de suelo. Los candidatos ideales para cultivos de cobertura pueden ser sacrificados (por heladas, podados o triturados) antes de la floración, para que no produzcan semillas y se conviertan en hierbas malas. Su fotosíntesis es una fuente importante de carbono de suelo mientras viven, y su biomasa se vuelve disponible después de que mueren. Las legumbres son importantes en la mezcla de los cultivos de cobertura, como son las plantas de raíces profundas como el raigrás (gramínea del género Lolium) o el cereal de centeno que lleva nutrientes de suelo más profundo y añaden nitrógeno y carbono a esos niveles más profundos.

Aparte de incrementar el carbono del suelo, los cultivos de cobertura reducen la filtración de nitrógeno y ayudan a evitar la erosión por viento y agua. Mejoran la estructura del suelo, aumentan la infiltración de agua y reducen la evaporación. También proveen niveles más altos de lignina que la mayoría de los cultivos, por lo que apoyan el crecimiento de hongos micorrízicos y productos de hongos como la glomalina que promueven el enlace entre partículas de suelo. (Rodale, Azeez)

Diversidad y Rotación de Cultivos

Una de las claves para apoyar la vida de microbios en el suelo es estimular la diversidad. Un principio de la naturaleza parece ser que entre más diversidad haya en un sistema, más saludable y resistente es. Esto también es cierto para producir carbono de suelo. (Lal 2004) Debajo de la tierra, la biodiversidad permite que cada microbio sea un eslabón en la red alimenticia - hongos, algas, bacterias, lombrices, termitas, hormigas, nematodos, escarabajos peloteros, etc. Sobre la tierra, los monocultivos estimulan pestes y enfermedades en donde la diversidad de cultivos previene las infestaciones de crecer y esparcirse. Esto aplica tanto para cultivos como para cultivos de cobertura, que debieran contener muchas plantas de diferentes tipos - de hojas anchas y pastos, legumbres y no- legumbres, de clima fresco y cálido, húmedo y seco. No importan las condiciones, algunos debieran desarrollarse y hacer fotosíntesis. “Un coctel de cultivos de cobertura” son mezclas de muchas variedades de semillas de cultivos de cobertura que hoy en día ya están a la venta para garantizar biodiversidad.

La rotación de cultivos también beneficia la biodiversidad. Las rotaciones con cultivos de cobertura continuo eliminan la necesidad de temporadas de barbecho para refrescar la tierra e incrementar la actividad de las enzimas del suelo. La biomasa de microbios es más grande cuando se incluyen legumbres en la rotación. (Six)

Rumiantes que pastorean también son una manera común de las granjas orgánicas para mejorar los niveles de materia orgánica en el suelo. El pastoreo mismo promueve el crecimiento, luego el desprendimiento , de las raíces del pasto - lo que provee al carbono de alimentar a microbios del suelo hambrientos. Pastorales y sistemas perennes, si se manejan adecuadamente, pueden mostrar rápidos aumentos en materia orgánica. El abono de animales es uno de los productos más valiosos de la pequeña granja, rico como es tanto en carbono y en microbios vivientes que inoculan al suelo con diversidad biológica.

No Químicos

El uso de químicos sintéticos para la agricultura es destructivo para el el carbono de suelo. Toxinas como los pesticidas son mortales para los organismos del suelo, que juegan un rol crucial en la vitalidad de las plantas y la fotosíntesis. Los fertilizantes también han demostrado destruir materia orgánica del suelo. En las Pruebas de Utilización de composta del Instituto Rodale, el uso de abono compostado con rotación de cultivos durante 10 años resultó en alzas de carbono de hasta un 1.0 toneladas por acre por año. El uso de fertilizantes químicos sin rotación, en cambio, resultaron en pérdidas de carbono de 0.5 toneladas por acre por año. (LaSalle)

Morrow Plots, las tierras experimentales en la Universidad de Illinois fueron el sitio para una de las pruebas más largas que se han hecho en la historia de la agricultura controlada. Investigadores analizaron datos de 50 años en los cuales se les había añadido unas 90 a 124 toneladas de residuo de carbono por acre a los campos, pero que también utilizó fertilizantes químicos de nitrógeno. Esos campos perdieron casi 5 toneladas de materia orgánica del suelo por acre dentro del periodo de prueba. (Khan)

Se ha sugerido que una causa de impacto negativo de fertilizantes sintéticos sobre el carbono de suelo es el hecho de que tiende a reducir el tamaño y la profundidad de las raíces de las plantas ya que se concentra en la superficie en lugar de distribuirse en el suelo como lo hacen los nutrientes de legumbres, minerales u otras fuentes naturales. (Azeez) Otra razón puede ser el impacto sobre la planta de absorber iones de amonio lo que le hace soltar iones de hidrógeno, que acidifican el suelo. (Hepperly) Una tercera posibilidad es que la disponibilidad del nitrógeno libre hace que la planta secrete menos líquido de carbono para obtener nitrógeno de los microbios. Si has estado usando fertilizantes sintéticos de nitrógeno, y quieres parar de hacerlo será inteligente ir reduciendo gradualmente durante unos tres o cuatro años porque eso dará tiempo para que las bacterias fijadoras de nitrógeno se vuelvan a reproducir en el suelo. Parar de una sola vez puede resultar en cosechas muy decepcionantes el primer año. (Jones SOS)

Pastorales

Hemos notado anteriormente que las pasturas apropiadas son un método altamente efectivo en la agricultura para restaurar carbono de suelo. Un estudio reciente de tierras convertidas de cultivos en fila a un manejo intensivo de pasturas mostraron una acumulación de carbono destacable, de 3.24 toneladas por acre por año. Esto es en un rango de pastos de raíces profundas Africanas plantados en sabanas en Sudáfrica que alcanzaron números de 2.87 toneladas de carbono por acre por año. (Machmuller)

Parte de la eficiencia de las pasturas como fijadores de carbono está probablemente relacionado al hecho de que algunos pastos usan la vía fotosintética C4, que evolucionó separada de la más usual vía C3. Adaptada particularmente a situaciones de poca agua, mucha luz y mucha temperatura, la fotosíntesis C4 es responsable de un 25 a 30% de toda la fijación de carbono en la tierra, aunque se use tan sólo por un 3% de las plantas. (Muller)

Algunas personas se preocupan por elevar el número de animales rumiantes porque en su proceso de digestión utilizan bacterias al rumiar que sueltan metano, un gas invernadero que el animal exhala. En un contexto ecológico esto no es un problema ya que las bacterias, metano- tróficas, que viven en una gran variedad de hábitats y que sólo se alimentan de metano, rápidamente lo metabolizan. De hecho, después del derrame de petróleo de Deepwater Horizon en el Golfo de México, unas 220, 000 toneladas de metano burbujearon a la superficie pero fueron rápidamente consumidas por una población explosiva de bacterias metanotróficas. Las emisiones de metano de los rumiantes pueden ser preocupantes solo cuando no hay rumiantes en suelos biológicos activos o en agua, así como en los lotes de engorda o en suelos en los cuáles químicos sintéticos han sido aplicados. (Jones SOS)

Bosques

Convertir suelos degradados en bosques ha sido propuesto como una vía para aumentar el carbono de suelo. Como con otras plantas, la velocidad de la restauración de carbono en el suelo en los bosques depende del clima, el tipo de suelo, las especies y el manejo de nutrientes. Los estudios que hemos encontrado sobre el carbono de suelo en bosques generalmente muestran ganancias modestas en carbono de suelo, o en ciertos casos, una pérdida neta. (Lal 2004) Existen algunos, en todo caso, que sugieren un manejo apropiado de plantas de madera que pueden dar un resultado de alza de carbono en el suelo de buena proporción. (Quinkenstain) También las selvas pueden servir de otra manera en la moderación del clima y en la restauración de los ciclos del agua.

Biocarbón

El potencial para el uso de residuos carbonizados para elevar la fertilidad del suelo al mismo tiempo de restaurar carbono en el suelo ha generado mucha atención últimamente. Apuntando a la Terra Preta del suelo de las Amazonas, tierras oscuras antropogénicas, enriquecidas con carbón hace más de 800 años, los que lo proponen citan la alta fertilidad que esos suelos tienen hasta el día de hoy. Otros suelos conteniendo carbón son los Mollisuelos , suelos derivados de pastizales extensivos en Norte América, Ucrania, Russia, Argentina y Uruguay que producen una porción significativa de los granos cosechados a nivel global. El carbón en estos suelos ha sido atribuido a incendios de pastizales ocurridos hace muchos años atrás. La química actual de estos residuos de carbón ha sido investigada solo recientemente. Su estabilidad y fertilidad se puede relacionar con los hábitats protegidos que ofrecen sus espacios interiores para los microbios, o a la estructura molecular del carbón, que crea una gran capacidad de intercambio catiónico (la habilidad de sostener inoes de minerales que se necesitan para la nutrición de plantas). (Mao)

Aunque el biocarbón no ha sido estudiado extensivamente, investigadores sugieren que la biomasa de carbono convertida a biocarbón puede secuestrar alrededor del 50% de su carbono inicial en el suelo por periodos largos, ligado a un carbono en el suelo más estable y duradero que lo que sería el caso de la aplicación sobre la tierra de carbono no carbonizado. (Dungait)

Claro que cualquier conversión de carbono a biocarbón debe involucrar una asesoría de ciclo de vida concerniente a la fuente del carbón, sus implicaciones de uso de suelo, y la energía usada en su procesamiento y aplicación. Existen indicaciones de que el biocarbón es una buena manera de conferir estabilidad adicional a materia orgánica del suelo que se desintegra fácilmente. (Powlson)

Beneficios de Restaurar Carbono al Suelo

Las ventajas de producir materia orgánica en tu suelo no se limitan a quitar dióxido de carbono de la atmósfera.

Agua

Incrementar el carbono del suelo produce agregados, que en su turno actúan como esponjas para permitir que el suelo retenga agua, así proveyendo de reservas a las raíces de las plantas en los tiempos donde la precipitación es baja y como un almacén para absorber los excesos de agua en tiempos de alta precipitación. Esta capacidad de retener agua también reduce el riesgo de erosión y puede resultar en una calidad mejorada y una mejor cosecha. Algunos productores piensan que plantas compañeras o un cultivo de cobertura usará todo el agua disponible o los nutrientes. Al contrario, Apoyar a los microbios del suelo con una diversidad de plantas de hecho mejora la adquisición de nutrientes de la planta y su retención de agua. (Jones SOS)

Interesantemente, desde 1930 los niveles máximos y mínimos del Río Mississippi se han vuelto más extremos - los niveles de inundaciones son más altos y los niveles de río bajo son mayores. Esto sucede porque el agua no puede infiltrarse en la tierra de la manera que debería. Con buena infiltración algo de agua provee para la producción de plantas y otra fluye lentamente por el suelo para alimentar manantiales y riachuelos que traen un flujo duradero como base por el suelo a los sistemas de ríos. Pero si el agua del subsuelo es poca, los agregados de suelo disminuyen y el agua no puede infiltrarse de manera adecuada. Así en inundaciones el agua corre a lo largo de la superficie y erosiona los suelos, y en sequía no hay reservas guardadas en el suelo para las plantas o para mantener flujo hacia manantiales o riachuelos. (Jones SOS)

Dominio de los Hongos

Científicos están encontrando que un alto nivel de bacterias de hongos en el suelo es muy importante para la producción de plantas. Uno se puede dar cuenta si tiene un buen nivel por el aroma de un manojo de tierra - si huele a hongos, no agrio. Son los hongos que buscan y llevan agua y nutrientes a las raíces de las plantas según necesitan. Desafortunadamente, la mayoría de nuestros suelos agrícolas son dominantes en bacterias, en lugar de dominantes en hongos. Pero las prácticas que evitan suelos vacíos, que no practican labranza, que usan cultivos de cobertura de varias especies, y promueven la alta densidad pero corta duración de pastoreo con espacios de descanso significativos están creando más suelos con dominación de hongos.

Mejores Cultivos

Las Plantas, al igual que los animales, han desarrollado defensas complejas contra sus enemigos. Sus mecanismos son varios, e inteligentes. Algunos evitan ser detectados adoptando defensas visuales tales como el mimetizarse con otras plantas o el camuflarse. Otras hacen el ataque difícil poniéndose armaduras como son las paredes de células gruesas, cutículas enceradas, o cortezas duras. Algunas impiden los ataques usando espinas o agujas, o con secreciones pegajosas. Muchas sintetizan metabólicos secundarios para prevenir ataques químicamente (venenos, repelentes, irritantes, o hasta compuestos orgánicos volátiles que atacan a los enemigos depredadores de plantas). (Ciño) Las plantas también se involucran en relaciones simbióticas con bacterias que son capaces de inhibir patógenos locales y así defienden a las plantas contra ataques.

Tales habilidades, así como es el caso con sistemas inmunológicos en animales, son más fuertes cuando la planta está saludable. Esa salud es óptima cuando las necesidades de la planta de luz solar, nutrición, agua, oxígeno dióxido de carbono son completamente satisfechas. Y claro que eso sucede en suelos saludables con un contenido alto en carbono y una población grande y diversa de microbios. Esas condiciones pueden resultar en cultivos con densidad nutrimental, resistencia a pestes y enfermedades, más antioxidantes y una vida útil más larga. (Gosling, Wink, Reganold)

Las plantas que no son detenidas por enfermedad o depredación y tienen sus necesidades en nutrientes satisfechas van a florecer y dar cosechas abundantes. También, las plantas saludables biosintetizan más de las moléculas volátiles y los metabólicos más altos que producen los sabores y aromas de los alimentos cosechados. Así que restaurar carbono al suelo es una forma de beneficiar a todos: agricultores con rendimientos más altos, cosechas con alimentos más sabrosos, y consumidores con comida más saludable.

Conclusión

Usar la biología para restaurar materia orgánica al suelo y estabilizarla no solo es benéfico para aquellos que manejan tierras y cultivos, sino que también es vital para nuestra sociedad. Hemos tomado demasiado carbono del suelo, lo hemos quemado y soltado en la atmósfera como dióxido de carbono. Aunque paráramos de quemar combustibles fósiles mañana, los gases invernadero ya sueltos continuarán elevando las temperaturas globales liberando otros gases dañinos varios años hacia el futuro.

Si realmente queremos sobrevivir no tenemos alternativa más que restaurar el carbono al suelo. Que esto se puede hacer por medio de la biología, utilizando un método que ha funcionado durante millones de años, es emocionante. Granjeros, jardineros, hogares, paisajistas - cualquiera que tenga o maneje tierras - puede seguir estos simples principios y no solo restaurar carbono al suelo sino también ayudar a reconstruir el maravilloso sistema que la naturaleza ha creado para renovar nuestra atmósfera brindando también alimentos, belleza y salud para toda la creación.

Fuentes:

AAAS, American Association for the Advancement of Science, (2014) What We Know: The Reality, Risks, and Response to Climate Change

Albrecht WA, (1938) Loss of Soil Organic Matter and Its Restoration, Yearbook of Agriculture, USDA

Amundson R, Berhe AA, Hopmans JW, Olson C, Sztein AE, Sparks DL, (2015) Soil and human security in the 21st century, Science, 348, 1261071

Azeez G, (2009) Soil Carbon and Organic Farming, UK Soil Association, http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=SSnOCMoqrXs%3D&tabid=387

Cairney JWG, (2000) Evolution of mycorrhiza systems, Naturwissenschaften 87:467-475

Comis D, (2002) Glomalin: Hiding Place for a Third of the World's Stored Soil Carbon, Agricultural Research, http://agresearchmag.ars.usda.gov/2002/sep/soil

Coumou D, Rahmstorf S, (2012) A decade of weather extremes, Nature Climate Change, Vol. 2, July 2012, pages 491-496

Dungait JAJ, Hopkins DW, Gregory AS, Whitmore AP, (2012) Soil Organic Matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance, Global Change Biology, **18**, 1781-1796

EPA Office of Atmospheric Programs, April 2010, Methane and Nitrous Oxide Emissions From Natural Sources

FAO, Organic matter decomposition and the soil food web, http://www.fao.org/docrep/009/a0100e/a0100e05.htm

Gosling P, Hodge A, Goodlass G, Bending GD, (2006) Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming, Agriculture, Ecosystems and Environment 113 (2006) 17-35

Hepperly PR, (2015) Sentinels of the Soil, Acres USA, June, 2015

Hoorman JJ, Islam R, (2010) Understanding soil Microbes and Nutrient Recycling, Ohio State University Fact Sheet, SAG-16-10

IFOAM (2012) Submission from IFOAM to the HLPE on Climate Change and Food Security, 10/4/2012

Jansa J, Bukovská P, Gryndler M, (May, 2013) Mycorrhizal hyphae as ecological niche for highly specialized hypersymbionts – or just soil free-riders? Frontiers in Plant Science, Volume 4 Article 134

Jastrow JD, Amonette JE, Bailey VL, (2006) Mechanisms controlling soil carbon turnover and their potential application for enhancing carbon sequestration, Climatic Change 80:5-23

Jones C, SOS (2015) Save Our Soils, Acres USA, Vol. 45, No. 3

Jones C, (2015) unpublished letter to an Ohio grazer, June 2015 and to author, July 2015

Khan SA, Mulvaney RL, Ellsworth TR, Boast CW, (2007) The myth of nitrogen fertilization for soil carbon sequestration, Journal of Environmental Quality; Nov/Dec 2007; Vol 36

Khorramdel S, Koocheki A, Mahallate MN, Khorasani R, (2013) Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems, Soil and Tillage Research 133 25-31

Kirkby CA, Kirkegaard JA, Richardson AE, Wade LJ, Blanchard C, Batten G, (2011) Stable soil organic matter: A comparison of C:N:O:S ratios in Australian and other world soils, Geoderma 163 197-208

Lal R, (2004) Soil carbon sequestration to mitigate climate change, Geoderma 123 (2004) 1-22

Lal R, Follett RF, Stewart BA, Kimble JM, (2007) Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security, Soil Science 0038-075X/07/17212-943-956

LaSalle TJ, Hepperly P, (2008) Regenerative Organic Farming: A Solution to Global Warming, Rodale Institute, https://grist.files.wordpress.com/2009/06/rodale_research_paper-07_30_08.pdf

Machmuller M, Kramer MG, Cyle TK, Hill N, Hancock D, Thompson A, (2015) Emerging land use practices rapidly increase soil organic matter, Nature Communications 6, Article number 6995

Mao JD, Johnson RL, Lehmann J, Olk DC, Neves EG, Thompson ML, Schmidt-Rohr K, (2012) Abundant and stable char residues in soils: Implications for Soil Fertility and Carbon Sequestration, Environmental Science and Technology, 46, 9581-9576

Meléndrez M, (2014) The Journey to Better Soil Health, unpublished paper presented to the First International Humus Expert's Meeting, Kaindorf, Austria, January 22 and 23, 2014

Muller A, Gattinger A, (2013) Conceptual and Practical Aspects of Climate Change Mitigation Through Agriculture: Reducing Greenhouse Gas Emissions and Increasing Soul Carbon Sequestration, Research Institute of Organic Agriculture, Switzerland

NASA, (2008) Target Atmospheric CO_2: Where Should Humanity Aim? Science Briefs, Goddard Institute for Space Studies

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), What is Ocean Acidification? http://www.pmel.noaa.gov/

Nichols K, Millar J, (2013) Glomalin and Soil Aggregation under Six Management Systems in the Northern Great Plains, USA, Open Journal of Soil Science, Vol 3, No. 8, pp. 374-378,

NSIDC, (2015) Methane and Frozen Ground, National Snow and Ice Data Center, https://nsidc.org/cryosphere/frozenground/methane.html

Ontl TA, Schulte LA (2012) Soil Carbon Storage, Nature Education Knowledge, 3(10):35

Peterson TC, Stott PA, Herring SC, Hoerling MP, (2013) Explaining Extreme Events of 2012 from a Climate Perspective, Special Supplement to the Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 9, No. 9

Powlson DS, Whitmore AP, Goulding WT, (2011) Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false, European Journal of Soil Science, **62**, 42-55

Quinkenstein A, Böhm C, da Silva Matos E, Freese D, Hüttl RF, (2011) Assessing the carbon sequestration in short rotation coppices of *Robinia pseudoacacia L.* on marginal sites in northeast Germany, in Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges, 201, Kumar BM and Nair PKR (editors) Advances in Agroforestry 8

Reganold JP, Andrews PK, Reeve JR, Carpenter-Boggs L, Schadt CW, Alldredge JR, Ross CF, Davies NM, Zhou J, (2010) Fruit and soil quality of organic and conventional strawberry agroecosystems, PLos One 5(10): 10-1371, Oct 6, 2010

Rodale (2014) Regenerative Organic Agriculture and Climate Change: A Down-to-Earth Solution to Global Warming, www.rodaleinstitute.org

RSC (Royal Society of Chemistry), Rate of Photosynthesis: limiting factors, http://www.rsc.org/learn-chemistry/content/filerepository/CMP/00/001/068/Rate%20of%20photosynthesis%20limiting%20factors.pdf

SAPS (Science and Plants for Schools), Measuring the rate of photosynthesis, (2015) http://www.saps.org.uk/secondary/teaching-resources/157-measuring-the-rate-of-photosynthesis

Six J, Frey SD, Thiet RK, Batten KM, (2006) Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems, Soil Science Society of America Journal 70:555–569

Timmusk S, Grantcharova N, Wagner EGH, (2005) Applied and Environmental Microbiology, Nov. 2005, P. 7292-7300

Velivelli SLS, (2011) How can bacteria benefit plants? Doctoral research at University College Cork, Ireland, published in *The Boolean*

Walker TS, Bais HP, Grotewold E, Vivanco JM, **(2003)** Root Exudation and Rhizosphere Biology, Plant Physiology vol. 132, no. 1, 44-51

Wink M (1988) Plant breeding: importance of plant secondary metabolites for protection against pathogens and herbivores, Theor. Appl. Genet. (1988) 75:225-233

Para más información:

www.nofamass.org/carbon

¡Cómo la agricultura orgánica puede salvar al mundo!

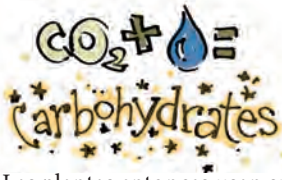
Nuestra pobre Tierra

Día tras día, gases de dióxido de carbono son bombeadas al aire, calentando nuestro planeta y poniendo en peligro nuestro medio ambiente.

Afortunadamente para nosotros, hay una solución – y está directamente bajo nuestros pies.

La agricultura orgánica está aquí para salvarnos! TA-DAH!

El buen manejo de los suelos ayuda a promover el crecimiento de plantas sanas que absorben la luz del sol.



Las plantas entonces usan su propia clorofila junto con dióxido de carbono y agua para producir – carbohidratos!

Algunos de los azúcares en estos carbohidratos 'líquidos' son 'derramados' o secretados por las raíces y, como magia, atraen microbios al suelo—como bacterias y hongos.

Juntos, plantas verdes y organismos en el suelo promueven y protegen su salud mutuamente.

Lo mejor de todo, es que este proceso encierra al carbono en la materia orgánica, crea humus en el suelo (aprende cómo en el artículo) y…

… eso mantiene a nuestro planeta saludable!

nofa NORTHEAST ORGANIC FARMING ASSOCIATION

ilustraciones por John Sherfus