ODEPA
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

Funcionamiento y sostenibilidad del suelo

Noviembre de 2014

OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS
www.ODEPA.gob.cl

Autor: Gabriel Cartes Sánchez
Sistema Suelo- Sustentabilidad- SIRSD-S

1. Introducción

La elevada degradación de los recursos naturales ha hecho surgir un interés mundial sobre este tema. Así, al inicio del siglo pasado existía la concepción de que los recursos naturales estaban a disposición de manera ilimitada y se utilizaron sin preocupación por el futuro. En función de este inadecuado uso, tuvo lugar una acelerada degradación ambiental. El suelo, como uno de los principales recursos naturales, está severamente comprometido.

El uso intensivo por parte de la agricultura, con prácticas de manejo que incluyen inversión de suelo por maquinarias cada vez más pesadas, uso excesivo de fertilizantes y quema de residuos agrícolas, ha provocado grandes pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica y eólica, alteraciones en la estructura y en la capacidad de retención de agua, y disminución vertiginosa del contenido de materia orgánica. En estas condiciones, el suelo pierde las propiedades de regular los ciclos de agua y de elementos como carbono, nitrógeno, azufre, fósforo y potasio, de los cuales una parte ocurren en él, lo que le confiere un papel importante en el ambiente terrestre. Además, se reduce su capacidad como fuente de nutrientes para las plantas, que a su vez sirven de sustento a los animales.

Actualmente el desafío es realizar una agricultura sostenible, además de subir los niveles de calidad de los recursos productivos, en especial el suelo. Cuando existe un adecuado funcionamiento de este último es posible producir alimentos y al mismo tiempo incrementar su calidad.

Cabe señalar que la relación de manejo del suelo y sostenibilidad de la agricultura ha hecho que el Estado busque sistemas de manejo innovadores, capaces de balancear los cultivos con los requerimientos del suelo, para optimizar el uso del recurso y sustentar la productividad futura.

2. Funcionamiento del suelo

El sistema suelo es el resultado de interacciones complejas. Por lo tanto, se entiende como estados de orden en el suelo una secuencia de fenómenos provocados por la interacción de los subsistemas mineral, plantas y microorganismos, de lo que resulta la formación de estructuras de diferentes tamaños, que van desde nanómetros (microagregados) hasta milímetros (macroagregados).

Las plantas, por el proceso de fotosíntesis, transforman energía luminosa en energía química y producen además materia vegetal, rica en energía y carbono. En la parte aérea, raíces y exudados, ocurre la entrada de energía y materia dentro del

"Se autoriza la reproducción total o parcial de la información citando la fuente (Odepa)".
YO CUIDO EL AGUA
Cuidemos nuestro planeta

sistema del suelo. Esta entrada se da durante el ciclo vegetativo de las plantas, a través del sistema radicular, por el proceso de exudación de los compuestos orgánicos y por el desprendimiento de células de las raíces y, al final del ciclo vegetativo, cuando la parte aérea de las plantas cumple su ciclo.

Los microorganismos utilizan el tejido de la parte aérea, las raíces y los exudados de las plantas para extraer energía y carbono que necesitan para sus actividades y su desarrollo, generando así compuestos orgánicos como subproducto de este proceso.

Los componentes presentes en el sistema suelo: minerales, iones, materia orgánica, se autoorganizan en estados de orden. Esta organización es representada por el proceso de agregación de suelo, donde se forma una jerarquía de estructuras. De manera resumida, la secuencia de eventos que lo caracterizan se inicia con la interacción de partículas minerales, formando agregados pequeños a nivel de nanómetros. Los compuestos orgánicos, que entran en el sistema como producto de la interacción de los subsistemas planta y microorganismos, interactúan con los agregados minerales, resultando una formación de agregados mayores y de estructuras más complejas. A medida que los compuestos orgánicos entran en el sistema, estas estructuras van aumentando de tamaño, en torno a 0,25 mm, tomando el nombre de microagregados. A partir de aquí, las estructuras mayores son más complejas y diversificadas, debido principalmente al entrelazamiento de microagregados, y alcanzan tamaños superiores a 0,25 mm, definidos como macroagregados.

El proceso de organización conduce el sistema suelo a estados de orden, que son resultantes de la magnitud del flujo de energía y materia que pasa por el mismo. La magnitud depende de la materia vegetal de las plantas: cuando el flujo es alto, el suelo sólo tiene condiciones de autoorganizar estados de orden en niveles sucesivamente más elevados. Las estructuras formadas son constituidas por argilominerales, óxidos, cuarzos, tejidos vegetales, microorganismos y compuestos orgánicos, provenientes de la descomposición de los residuos vegetales y animales y de los exudados de las plantas y microorganismos.

Durante la secuencia de ordenamiento de los componentes del suelo actúan diferentes agentes asociadores de las estructuras: agentes físicoquímicos que promueven el ordenamiento a través de las interacciones órganominerales; compuestos orgánicos asociados a los cationes polivalentes presentes en el suelo, y agentes biológicos, por acción mecánica de las raíces y de las hifas de hongos.

En resumen, el proceso de organización del sistema suelo es dinámico, como también la biota edáfica y la materia adicionada por las plantas. Así, un alto nivel de ordenamiento caracterizado por estructuras más complejas, representadas por los macroagregados, mayor cantidad de energía y materia retenida en la forma de compuestos orgánicos, proporciona al suelo propiedades como:

- Mejor estructura del sistema, que confiere resistencia del suelo a la erosión hídrica y eólica.
- Flujos de agua y aire adecuados en el sistema suelo, en función de la presencia de los microporos, responsables por la retención de agua en el suelo, y de los macroporos, responsables por el drenaje del agua y la aireación.
- *Stock* de carbono dentro del sistema, retirando CO_2 de la atmosfera y disminuyendo los gases de efecto invernadero.
- Capacidad de intercambio catiónico (CIC), principalmente debido a las superficies reactivas de los compuestos orgánicos. En estos sitios de intercambio ocurre la retención de nutrientes que son esenciales para el desarrollo de las plantas. En estos mismos sitios, los compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden ser perjudiciales al ambiente quedan adsorbidos y de esta forma pueden tener sus efectos tóxicos atenuados o inactivados.
- Complejización de compuestos perjudiciales al ambiente por los compuestos orgánicos en función de la reactividad y conformación de moléculas orgánicas.
- Aumento de nutrientes para las plantas provenientes de compuestos orgánicos, que en su composición contienen elementos esenciales para ellas.
- Favorecimiento del desarrollo de la microbiota y la mesofauna, por la mayor cantidad de energía y carbono originados en los compuestos orgánicos.
- Aumento de la diversidad microbiana y del suelo, en función de mayor cantidad de carbono, dando condiciones para soportar estrés y servir como filtro y tampón ambiental.

Todo lo anterior resulta en el incremento de la habilidad del suelo para producir cantidades crecientes de energía y materia, vía subsistema planta, favoreciendo la retroalimentación de la energía generadora de orden. En esta condición el sistema suelo es capaz de cumplir sus funciones, que son servir como medio para el crecimiento de las plantas, regular y compartimentar los flujos del agua en el ambiente, almacenar y promover el ciclaje de elementos de la biosfera y servir como regulador ambiental.

3. Efectos de malas prácticas en el suelo

El uso indiscriminado del recurso suelo, mediante acciones tales como labranza tradicional excesiva o quema de residuos agrícolas, entre otras, genera en él un estado de orden de nivel bajo, representado por microagregados, menor cantidad de energía y materia retenida en la forma de compuestos orgánicos. Se produce así:

- Liberación de CO_2 a la atmosfera, por la falta de descomposición de compuestos orgánicos, contribuyendo así a la incorporación de gases efecto invernadero a la atmosfera.
- Pérdida de nutrientes y compuestos orgánicos por lixiviación, contaminando napas de agua subterráneas.
- Escurrimiento superficial del agua con arrastre de partículas minerales, agregados y compuestos orgánicos e inorgánicos, provocando erosión de suelo.
- Disminución de desarrollo de las plantas por problemas de aireación, humedad y deficiencia de nutrientes.
- Reducción de la población microbiótica y de la mesofauna, por falta de fuentes de energía y carbono.
- Disminución de la diversidad del suelo, reduciendo las condiciones del mismo para soportar condiciones de estrés.

De esta manera, el suelo disminuye la capacidad de producir energía y materia vía subsistema plantas y, por lo tanto, la capacidad de retroalimentar el sistema para entregar energía necesaria para su organización. En esta condición el suelo no tiene habilidad de cumplir sus funciones y no cumple con las condiciones de calidad requeridas.

4. El Programa SIRSD-S del Ministerio de Agricultura

El mundo ha llegado a un momento en que se hace indispensable enmendar la actitud que ha prevalecido en el último tiempo respecto a los recursos naturales. Una de estas correcciones tiende a tratar de restablecer las condiciones productivas de muchos suelos que fueron maltratados en su cultivo. La explotación agrícola, pecuaria y forestal debe ser sostenible, lo que significa que el suelo, necesario en la actualidad para alimentar a varios miles de millones de seres humanos, pueda ser utilizado en lo sucesivo en forma indefinida, manteniendo o aun mejorando sus características productivas.

La ciencia hoy conoce qué se ha estado haciendo mal y cómo puede corregirse. Es hacia esto que apunta el Programa de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S) del Ministerio de Agricultura, que impulsa distintas actividades y prácticas de manejo del suelo, algunas de las cuales se mencionan en la tabla 1.

Tabla 1. Prácticas bonificadas por el SIRSD-S para la conservación de suelos		
Práctica	Indicador	Otros beneficios
Manejo de fertilizantes	Ganancia de un 20% más de eficiencia. Un 20% más de biomasa.	Menor lixiviación y contaminación difusa (gastos evitados). Menor emisión de No_x. Captura de CO_2. Menor consumo de fertilizante. Menor gasto de energía.
Cero labranza	Menor gasto de energía fósil. Menor masa vegetal quemada.	Menor erosión. Mayor almacenamiento de humedad. Mayor biodiversidad edáfica.
Rotación de cultivos	Menor gasto de fertilizante nitrogenado. Mayor eficiencia en la fertilización.	Ahorro en fertilización. Menor gasto energético en producción, transporte y aplicación. Al tercer año se establece pradera permanente.
Uso de arado cincel	Incremento de la producción de biomasa. Mayor producción 10 qqm.	Reduce gasto de energía fósil, aumenta almacenamiento de agua, reduce emisión de No_x. Incrementa biomasa.
Uso de subsolador	Incremento de la producción de biomasa. 10 qqm de mayor producción en cereales o de 0,4 a 3 t de materia seca/ha/año en praderas.	Mayor biomasa. Mayor cantidad de residuos. Menor gasto de energía fósil.
Enmiendas para corrección y neutralización	Incremento en la producción de biomasa. Menor uso de enmiendas.	Dependiendo de la fuente, puede subir el pH o bajarlo. Las aplicaciones de cal se pueden distanciar cada 3 a 4 años.
Fertilización fosfatada de corrección	Menor gasto en elaboración de fertilizantes.	De 300 kg de P_20_5 durante 2 a 3 años se baja a dosis de 50 a 90 kg/ha/año.
Enmiendas orgánicas	Aportan nutrientes para los cultivos. Menor gasto de energía fósil por la elaboración de fertilizantes y mayor facilidad de laboreo de la tierra.	Mejora fertilidad de los suelos. Mejora condiciones físicas y biológicas de los suelos. Reduce susceptibilidad a la erosión. Contribuye al almacenamiento de humedad en los suelos.
Siembra de leguminosas	En promedio un aporte de 100 kg de N/ha. Mayor eficiencia en la extracción de nutrientes desde el suelo.	Reduce gasto en fertilizante nitrogenado. Mayor biomasa-Captura CO_2. Mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. Menor gasto de energía en la elaboración de fertilizantes.

Idealmente estas actividades deben aplicarse de forma completa, en la medida que sean necesarias de acuerdo a cada suelo, con el propósito de tener éxito en su protección. Muchas de ellas tienen incluso una respuesta económica inmediata. Sin embargo, si no se pueden aplicar todas en un primer momento, de todos modos es indispensable tener siempre en mente hacia dónde están encaminadas, de manera que los métodos productivos que se usen no sigan agudizando los problemas, dando tiempo para ir aplicándolas cuando sea posible. Así se podrá evitar pérdidas adicionales de suelos productivos y conseguir un desarrollo sostenible, con beneficios para el agricultor y para la sociedad.