

## Carbono: el elemento que determina la sustentabilidad del agro

El suelo constituye un reservorio terrestre de carbono, variando su magnitud a lo largo del territorio. Se estima que al 2040 la pérdida de carbono orgánico puede llegar a 1700 kg por hectárea. Secuestrar carbono con buenas prácticas de manejo que incrementen los niveles de materia orgánica del suelo implica entrar en un círculo virtuoso para la sustentabilidad del sistema productivo.

POR VALERIA GUERRA

El carbono (C) es uno de los pocos elementos conocidos desde la antigüedad y es el pilar básico de la química orgánica. Está presente en la Tierra en estado de cuerpo simple (carbón), de compuestos inorgánicos como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) y de compuestos orgánicos (biomasa, petróleo y gas natural). La química del carbono es tan variada que es capaz de formar más compuestos que el resto de los elementos de la tabla periódica juntos.

El suelo es el principal almacén o sumidero de C en ecosistemas terrestres. La demanda mundial por alimentos ge-

nera una importante presión sobre los recursos naturales utilizados en su producción. El suelo es un sistema complejo donde se desarrollan los cultivos, además de ser un reservorio de nutrientes y sumidero de C. Dentro de la materia orgánica (MO) del suelo es finalmente donde se secuestra el C y la mayor cantidad de nutrientes unidas a su ciclo, como es el caso del nitrógeno (N), azufre (S), y parte del fósforo (P).

La MO es un factor clave que afecta la fertilidad física del suelo, ya que mejora propiedades como infiltración, estabilidad estructural, porosidad, y la aireación.

También mejora la fertilidad química ya que constituye el principal reservorio de nutrientes para cultivos (N, P, y S).

“El carbono representa un 46 % de la materia orgánica de los suelos”, afirmó Miguel Taboada, director del Instituto

“El carbono representa un 46 % de la materia orgánica de los suelos”  
(M. Taboada).

## A lo largo del siglo XX y parte del siglo XXI los suelos han perdido carbono.

de Suelos del INTA. En suelos de clima templado varía entre 0,5 a 5 o 6 % en MO, aunque hay suelos más ricos.

De acuerdo con Taboada, "la función que cumple el carbono de la materia orgánica no es algo homogéneo", destacó y agregó: "Es un continuo de distintas sustancias que van desde formas de carbono que tienen bajo peso molecular, que se crean y descomponen rápidamente y están presentes alrededor de las raíces de las plantas, y otras formas de carbono de elevado peso molecular, que no sufren el ataque de microorganismos porque se encuentran protegidos tanto químicamente como físicamente".

La protección del C orgánico del suelo es la base para que se forme la estructura de los suelos, como la organización de los agregados que tienen poros donde viven los microorganismos y están las raíces. "Si no tuviéramos el carbono del suelo no habría vida en los suelos. A su vez, el carbono forma parte del sustrato del cual se alimentan los microorganismos, formando parte de la cadena trófica", explicó Taboada.

El origen del secuestro de carbono en los suelos como carbono orgánico – base principal de la MO del suelo – es la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) atmosférico por la fotosíntesis realizada por las plantas superiores. Este CO<sub>2</sub> es transformado en formas de C orgánico en tejidos vegetales, las cuales terminan entrando al suelo como residuos aéreos (rastrojos) y subterráneos (raíces y exudados). Allí ese carbono es transformado por la acción de microorganismos y estabilizado en forma física y química, en lo que se conoce como humus del suelo.

"Ese ciclo interviene en el equilibrio climático del planeta, por eso hoy en día los suelos son considerados sumideros de carbono que pueden contribuir a que no haya tanto CO<sub>2</sub> en la atmósfera", subrayó el director del Instituto de Suelos.

A lo largo del siglo XX y parte del siglo XXI los suelos han perdido carbono por prácticas de manejo poco sustentable como las labranzas agresivas. Hubo

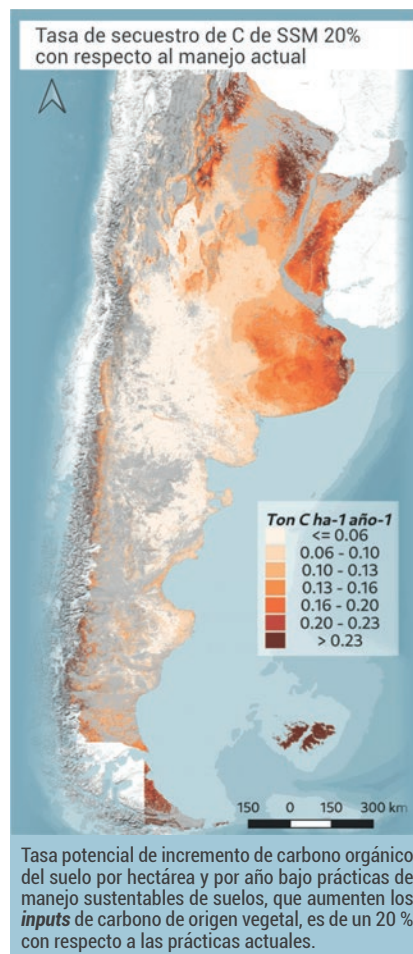
más salidas que entradas, lo que implicó la pérdida de entre el 30 y el 60 % según la zona.

Al respecto, Taboada aseguró: "Hay que ir a recuperar carbono o, como se dice actualmente, recarbonizar los suelos; los balances tienen que ser positivos y eso se ve en las formas de manejo".

En ese punto, para este investigador "el beneficio más directo es que mejora el sistema de producción y se entra a un círculo virtuoso. Detrás de mejorar el carbono hay un sistema más saludable y más amigable con el planeta".

### MAPA DEL SECUESTRO POTENCIAL DE CARBONO

Es posible incrementar el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) mediante la rehabilitación de los suelos degradados y la amplia adopción de prácticas de manejo sostenibles del suelo (MSS). Pero la capacidad tanto de perder como de aumentar el contenido de COS, varía a lo largo del país y también en función del nivel de carbono actual del suelo.



El año pasado, en el marco de la Alianza Mundial por el Suelo, Guillermo Peralta y Luciano Di Paolo, dos argentinos trabajando para la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, según siglas en inglés), propusieron una metodología para generar mapas del potencial de C que es posible secuestrar en diferentes ambientes, el cual depende en gran medida del tipo de suelo (textura, porcentaje y tipo de arcillas) y su contenido actual de C, de las condiciones climáticas del lugar y, fundamentalmente, de las prácticas de manejo.

Esta metodología utiliza un modelo basado en procesos llamado RothC y datos de suelos georreferenciados. Guillermo Peralta afirmó que "con esta metodología estamos ayudando a que cada país pueda generar sus mapas nacionales de secuestro potencial de C y así poder elaborar un mapa global que permitirá ver dónde es más factible aumentar el COS a través de manejos de suelos sustentables".

En ese contexto, el INTA desarrolló el Mapa Nacional de Secuestro Potencial de Carbono de la Argentina<sup>1</sup>. "El mapa nos da mejores herramientas para la toma de decisiones en lo que respecta al cambio climático y a la capacidad de los suelos de capturar carbono", afirmó Franco Frolla de INTA Bordenave.

La metodología implicó el desarrollo de un modelo de simulación de secuestro de C, el cual consideraba el contenido inicial de C presente en el suelo bajo distintas prácticas de manejo. Para ello se utilizó el Mapa Nacional de Carbono del Suelo elaborado por el INTA en 2018 y un mapa de contenido de arcilla de escala nacional que está pronto a ver la luz.

**"El mapa nos da mejores herramientas para la toma de decisiones en lo que respecta al cambio climático"**  
(F. Frolla).

<sup>1</sup> Argentina: Soil Organic Carbon Sequestration Potential National Map. Recuperado de: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/GSP/GSOCseq/Argentina\\_SOC\\_SequestrationPotentialNationalMap.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSOCseq/Argentina_SOC_SequestrationPotentialNationalMap.pdf)

En este sentido, Frolla aseguró: "Este mapa permite redireccionar políticas y empezar a hablar de la capacidad de nuestro suelo de ser sumidero de carbono. Pone en valor el recurso".

El investigador destacó que para obtener tasas positivas de acá al 2040 "habría que tener aumentos del 20 % en el secuestro de carbono orgánico, es decir, de 200 a 500 kg de carbono por hectárea por año". Vale destacar que aumentos de esta magnitud es posible lograrlos con prácticas sustentables de manejo de suelos, como la siembra directa acompañada por rotaciones con alta participación de gramíneas y de cultivos de cobertura, y con pastoreo racional en suelos con ganadería.

Para la confección del mapa se estimó el contenido de C para el año 2040 bajo el escenario actual de uso y tres escenarios de manejos sustentables: un primer escenario con incremento del 5 % del aporte de C; un segundo escenario con 10 % de aumento de aporte de C al suelo y un tercero con 20 % de aumento de aporte de C.

"Bajo el uso actual en tierras agrícolas y de pastoreo se pronosticó para el 2040

una pérdida media de 1700 kg de carbono por hectárea", explicó Frolla. En ese sentido, "la implementación de prácticas sustentables como las mencionadas al 2040 disminuiría la pérdida de carbono a producirse en estos 20 años". De los tres escenarios, el que arribaría a la neutralidad de C es en el que se estima un incremento del 20 % de aporte de C.

Por su parte, Marcos Angelini, investigador del Instituto de Suelos del INTA, indicó que, el mapa de *stock* de carbono del suelo de la Argentina fue el primer paso para poder comenzar a mostrar lo importante que es contar con información del suelo, bien sistematizada y accesible para la investigación. Aquel impulso nos permitió generar el mapa de potencial de secuestro, el cual es solo una primera versión de lo que podemos generar.

También explicó que se calculan 680 mil millones de toneladas de C en los suelos del mundo y en solamente 10 países se tiene el 60 % de ese *stock*, considerando los 30 primeros cm de suelo. En el ranking está conformado por Rusia, Canadá, EE. UU., China, Brasil, Indonesia, Australia, Argentina, Kazajistán y Repú-

blica del Congo. Nuestro país tiene el 1,9 % del C total del mundo.

Conocer el *stock* de C no es una tarea sencilla. Para la realización del Mapa de Carbono Orgánico de la Argentina y el Mapa de Secuestro Potencial se utilizaron datos de observaciones a campo recolectados a partir de perfiles de suelo e investigaciones de distintos proyectos de INTA, así como también datos compartidos por investigadores de otras instituciones, que se encuentran disponibles en el sistema de información de suelos del INTA (SISINTA<sup>2</sup>).

"Utilizamos variables espaciales, capas de índices de vegetación, de atributos del relieve, las precipitaciones, el clima, imágenes satelitales, entre otros", comentó Angelini, al tiempo que indicó que con toda esa información "se buscaron las relaciones de esas capas y la distribución espacial del carbono orgánico".

Es sabido que los suelos no acumulan C de igual manera en todos lados, porque depende del tipo de suelo, de las condiciones climáticas (precipitaciones y temperatura) y la producción de biomasa vegetal. "Es importante empezar a tener datos continuos de monitoreo y hacer



Los mapas del INTA son un primer paso para alcanzar los objetivos de sostenibilidad que el país necesita.

<sup>2</sup>Sistema de Información de Suelos del INTA (SISINTA). <http://sisinta.inta.gob.ar/>

cálculos cada vez más precisos para las zonas con mayor capacidad de secuestro que nos lleve a una neutralidad del balance de carbono”, subrayó Angelini.

Los mapas de potencial de secuestro de carbono realizado por el INTA son un primer paso para alcanzar los objetivos de sostenibilidad que el país necesita, así como también para alinearse con las políticas internacionales de producción de alimentos. A fin de poder mejorar esta información y acercarla a la realidad de cada predio, será necesario invertir en toma de muestras y análisis de laboratorio de suelos de forma regular, incrementar la red de estaciones meteorológicas, llevar un registro de las prácticas de manejo e integrar la información a escala regional.

Por esta razón, es necesario que tanto el sector público de ciencia y técnica como el sector de producción privado aúnen esfuerzos en la conformación de sistemas de monitoreo regional.

### CÓMO SECUESTRAR CARBONO DE LA ATMÓSFERA

De acuerdo con Marcelo Beltrán, investigador del Instituto de Suelos, “con prácticas que incrementen los niveles de materia orgánica del suelo se puede, por un lado, secuestrar carbono atmosférico y, por el otro, mejorar la fertilidad química, física y microbiológica de los suelos generando una situación de ganar-ganar”.

Se pueden utilizar varias prácticas agrícolas para restaurar o disminuir la pérdida de carbono orgánico del suelo, reducir la erosión del suelo, secuestrar CO<sub>2</sub> atmosférico y mejorar la calidad del suelo. Entre estas prácticas, la inclusión de cultivos de cobertura durante el invierno se ha postulado como una de las actividades más prometedoras. “La inclusión de cultivos de cobertura mos-

“Es el momento del almacenamiento de carbono en el suelo como motor para el desarrollo sostenible y productivo” (P. Mercuri).



### Motor para el desarrollo

El director del Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRN) del INTA, Pablo Mercuri, indicó que “es el momento del almacenamiento de carbono en el suelo como motor para el desarrollo sostenible y productivo”. En ese sentido, afirmó que “están dadas las condiciones científicas y políticas en las negociaciones internacionales de cambio climático y es oportuno el momento agronómico”. Es desde ya un objetivo muy amplio que involucra dimensiones agronómicas y ambientales, pero también sociales, económicas y éticas.

“Hay que consolidar una estrategia en el sector agropecuario apoyada en el secuestro de carbono en nuestros suelos para promover la sustentabilidad ambiental y productiva”, aseguró Mercuri.

Asimismo, subrayó que “históricamente hemos trabajado por la conservación de los suelos y el agua, innumerables esfuerzos se hacen para neutralizar la erosión y hoy, sin desmedro de estas iniciativas de conservación, nos focalizamos en uno de los elementos constituyentes del suelo: el carbono, en forma de materia orgánica como un elemento clave para la sostenibilidad”.

De acuerdo con el director del CIRN, “al carbono ya no se lo considera solo como un elemento de la actividad biológica de los suelos, sino que está vinculado a la productividad del suelo con los niveles de materia orgánica. Es clave aumentar los **stocks** de materia orgánica en el suelo para minimizar impactos a gran escala, como los que genera el efecto invernadero”.

Desde su perspectiva es un momento bisagra ya que “pasamos de promulgar el peligro del agotamiento de las existencias de materia orgánica en el suelo, debido a sucesivos años de agricultura, a la oportunidad de promover políticas proactivas. Políticas apoyadas en recomendaciones técnicas para incrementar su stock en el suelo y generar impactos benéficos a gran escala en ecosistemas completos, así como en todo el planeta y la sostenibilidad de la vida en él”, consideró Mercuri.

El carbono convertido en el elemento clave para la agricultura requiere transformar y ajustar prácticas de manejo locales o específicas en cada territorio y sistema de producción, más que simplemente diseminar opciones técnicas generales o genéricas para impulsar el secuestro de carbono.

Al respecto, Mercuri consideró que es necesario “instalar en las instituciones científicas y académicas las líneas de investigación, desarrollo e innovación estratégicas para realizar nuevos estudios que permitan refinar y mejorar la comprensión de las condiciones biológicas, barreras biofísicas y de manejo agropecuario a nivel y escala de cada agroecosistema, que fomenten el secuestro de carbono del suelo y su estabilidad en él, en diferentes áreas húmedas, semiáridas y áridas”.

tró promedio tasas de secuestro de C en suelo de hasta  $0,45 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$  en Argentina", indicó Beltrán.

Los cultivos de cobertura son cultivos que no tienen un destino comercial y se usan generalmente durante el invierno para cubrir los suelos disminuyendo procesos de erosión. Antes del cultivo comercial se secan y sus residuos se mantienen en el suelo favoreciendo la fijación de C y el reciclado de nutrientes. Además, tienen otros beneficios como el control de malezas resistentes a herbicidas, la eliminación de excesos de agua, la mejora de la estructura de los suelos y, a su vez, en caso de ser leguminosas como vicia, generan un aporte neto de nitrógeno al sistema por lo que en la actualidad han empezado a ser nombrados como cultivos de servicio en vez de cobertura.

Por su parte, "el aumento del uso de fertilizantes mostró un incremento del C alrededor de  $0,18 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , y la inclusión de ciclos con pastos perennes en las rotaciones de cultivos mostró tasas promedio de secuestro de C en el suelo de  $0,76 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ , exhibiendo el mayor potencial de aumento", aseguró Beltrán.

"El potencial de secuestro de carbono dependerá del tipo de suelo –principalmente el contenido de arcilla y de carbono–, el clima –temperatura y precipitaciones– y el tipo de cultivo de cobertura –producción de materia seca y relación C/N–", explicó el especialista. En ese sentido, "la combinación de estos factores determinará la fijación de carbono, el índice de descomposición de los cultivos de cobertura y el secuestro de carbono por parte del suelo", puntualizó.

Prácticas de manejo sostenible del suelo como las mencionadas anteriormente han demostrado potencial para aumentar las existencias de COS en diferentes sistemas agrícolas en Argentina y así secuestrar  $\text{CO}_2$  atmosférico para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Sin embargo, estas prácticas muestran tasas de secuestro muy variables, dependiendo de condiciones edafoclimáticas, uso y manejo del suelo, entre otros factores.

Por tanto, "es relevante identificar qué regiones, suelos, climas y sistemas tienen un mayor potencial para aumentar las existencias de carbono orgánico del suelo, con el fin de establecer priorida-

des para la investigación e implementación de políticas públicas y privadas", concluyó Beltrán.

La generación de mapas de potencial de secuestro de C es una herramienta fundamental para poder comparar tasas de secuestro de C relativas de distintos manejos y evaluar por zonas y ambientes las mejores formas de incrementar el COS. En tal sentido, el uso de modelos que simulen el secuestro de C ha demostrado en otros países y regiones ser una herramienta poderosa para identificar estas condiciones.

Si bien estas prácticas pueden llegar a generar algún costo extra –análisis de suelos, semillas, fertilizantes, entre otros–, los beneficios son importantes y a veces difíciles de valorar en cuanto a, por ejemplo, algunas mejoras físicas del suelo –infiltración, estructura, descompactación–, químicas y microbiológicas.

#### Más información:

Miguel Taboada [taboada.miguel@inta.gov.ar](mailto:taboada.miguel@inta.gov.ar);  
Marcos Angelini [angelini.marcos@inta.gov.ar](mailto:angelini.marcos@inta.gov.ar);  
Franco Frolla [frolla.franco@inta.gov.ar](mailto:frolla.franco@inta.gov.ar);  
Marcelo Beltrán [beltran.marcelo@inta.gov.ar](mailto:beltran.marcelo@inta.gov.ar);  
Pablo Mercuri [mercuri.pablo@inta.gov.ar](mailto:mercuri.pablo@inta.gov.ar)



"Es relevante identificar qué regiones, suelos, climas y sistemas tienen un mayor potencial para aumentar las existencias de carbono" (M. Beltrán).

