



# Secuestro de carbono en el suelo: cuantificación del potencial de captura en el suelo de un bosque patagónico

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
ESCUELA DE INGENIERÍA

**Pablo Busch**<sup>1</sup>, alumno de tercer año

**Athena Carkovic**<sup>1</sup>, alumna de magíster

**Virginia González**<sup>1</sup>, asistente de investigación

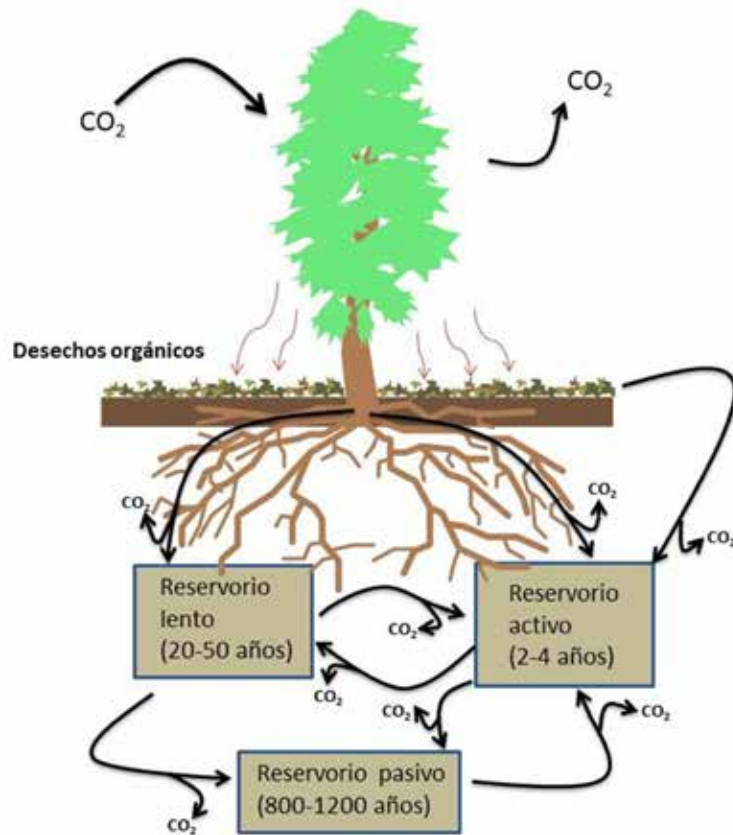
**Carlos Bonilla**<sup>1</sup>, profesor asociado

<sup>1</sup>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL

## INTRODUCCIÓN

Mediante el proceso de **fotosíntesis** los bosques capturan dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) desde la atmósfera y generan materia orgánica a partir del carbono removido del aire. Una parte de esta **materia orgánica** pasa al suelo a través de la descomposición de la biomasa de la madera y de los desechos que genera el árbol, como son ramas, hojas o frutos (Figura 1). Durante el proceso, producto de la respiración de los microorganismos del suelo, se libera nuevamente  $\text{CO}_2$  al aire. De esta forma, y dependiendo de las condiciones locales, el suelo puede actuar como un sumidero o como una fuente de carbono. Así, el secuestro del

carbono consiste en remover el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera a través de las plantas, estabilizarlo y luego fijarlo dentro de los distintos materiales que componen la superficie, lo que reduce su degradación [1]. Este proceso ocurre naturalmente y es típico de los bosques en crecimiento.



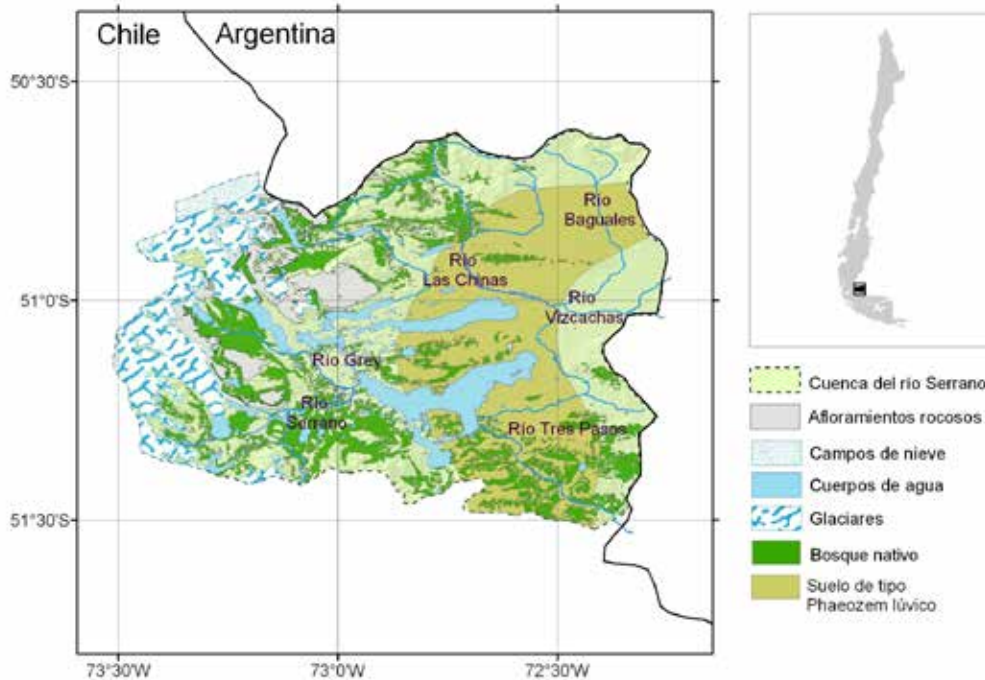
**Figura 1.** Representación del ciclo de carbono en un bosque acorde al modelo Century (adaptado de [3]). El carbono pasa de una condición a otra con distintas tasas dependientes de la temperatura, humedad y características del suelo. Como referencia, entre paréntesis, se indican los tiempos típicos de permanencia del carbono en cada reservorio.

El secuestro de carbono ha concitado gran interés a nivel mundial, principalmente debido a que la mayoría de los suelos se encuentran por debajo de su capacidad máxima de almacenamiento de carbono [2]. Al comparar el **reservorio** global edáfico, que se estima de 2.500 Gt (1 Gt=10<sup>15</sup> gramos) de carbono, con el contenido de 760 Gt de la atmósfera y de 38.000 Gt del océano [1], es evidente la gran importancia del suelo en el balance global del carbono. La pérdida de este último en una pequeña fracción del suelo podría generar cambios climáticos globales y graves consecuencias en la atmósfera. Recuperar el potencial de carbono en los suelos surge como alternativa para tratar el problema atmosférico mundial. Para analizar esta posibilidad es necesario cuantificar la capacidad y rapidez del suelo para secuestrar carbono.

El objetivo de este estudio es cuantificar el potencial de secuestro de carbono en el suelo de un bosque de la Patagonia chilena. Para ello se utilizó el modelo Century [3] con el cual se estimó la acumulación de carbono en el suelo para un período de 100 años. Century es un modelo especialmente desarrollado para simular los ciclos del Carbono, Nitrógeno, Fósforo y Azufre y de la materia orgánica en ecosistemas terrestres, y ha sido validado en bosques en diversos estudios [4,5]. El modelo Century divide el suelo en tres reservorios: uno activo, uno lento y uno pasivo (Figura 1). El reservorio activo corresponde al material **lábil** del suelo, formado por los primeros productos de la actividad de los microorganismos. Un ejemplo de este material es el **humus**, el cual tiene una alta tasa de degradación. El reservorio lento corresponde a la materia orgánica más estable y con una tasa de descomposición intermedia. Finalmente, el reservorio pasivo corresponde al material químicamente resistente y físicamente protegido, de casi nula descomposición. Los flujos de materia entre cada reservorio se determinan en función de la composición del suelo, la temperatura y la humedad [3].

## METODOLOGÍA

Este estudio fue realizado en la cuenca del río Serrano, ubicada en la provincia de Última Esperanza, Región de Magallanes y Antártica Chilena. Esta cuenca tiene una superficie de 6.673 km<sup>2</sup>, y se sitúa entre los paralelos 50° 33' y 51° 32' S y entre los meridianos 72° 10' y 73° 34' O (Figura 2). La mitad del área de la cuenca forma parte de los parques nacionales Torres del Paine y Bernardo O'Higgins. En la cuenca, destaca la presencia de bosque nativo, donde el tipo de árbol dominante es la **lenga** (*Nothofagus pumilio*) [6], mientras que en suelos predomina el tipo **Phaeozem lúvico** [7]. La zona presenta climas de estepa fría y tundra [8], con precipitaciones que varían entre 200 mm en el sector este, hasta más de 6.000 mm en el sector oeste [9]. Las temperaturas medias mínimas y máximas promedio son 3°C y 11°C, respectivamente.



**Figura 2.** Ubicación de la cuenca del río Serrano. Se destacan los sectores con suelos del tipo Phaeozem lúvico y con bosque nativo.

Para la cuantificación del potencial de captura de carbono, en Century se representaron los sectores de la cuenca con suelo Phaeozem lúvico y bosques de lenga sin perturbar. En el sitio de estudio, estos sectores cubren una superficie de 290 km<sup>2</sup> aproximadamente. Se eligió la condición de bosques sin perturbar, pues estos son los más eficientes en la captura de carbono [10]. Adicionalmente se realizó una representación similar, pero utilizando pradera en vez de bosque, con el fin de comparar el secuestro de carbono en el suelo del bosque con el que ocurriría con el tipo de vegetación predominante en la zona (pradera). Ambas simulaciones se hicieron para un período de 100 años.

A partir de muestras de suelo recolectadas previamente en el área, se obtuvieron los principales parámetros de entrada para el modelo, los cuales son: textura del suelo, porcentaje de carbono orgánico y contenido de nitrógeno en los primeros 20 cm de profundidad. Los parámetros climáticos de temperatura y precipitación se obtuvieron a partir de 30 años de registros provenientes de la estación Torres del Paine, perteneciente a la Dirección General de Aguas (DGA). Otros parámetros de entrada fueron estimados a partir de la literatura, tales como el aporte de nitrógeno atmosférico [11], la temperatura óptima para el crecimiento de la lenga [12] y contenidos de biomasa del bosque tipo lenga [13]. Los demás parámetros de entrada se obtuvieron de otros estudios similares [4,5] o de valores propuestos en el modelo Century.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando los tres reservorios, el contenido de carbono en el suelo con presencia de lenga aumentó a una tasa promedio de  $18,41 \text{ g C/m}^2$  al año, es decir, el suelo actúa como un sumidero de carbono en esta zona. Si se analiza la evolución en cada reservorio por separado (Figura 3a), se observa que el reservorio activo no sufrió cambios significativos y que el reservorio pasivo perdió carbono a una tasa de  $0,9 \text{ g C/m}^2$  al año. Sin embargo, el suelo acumuló carbono a través del reservorio lento a una tasa anual de  $17,82 \text{ g C/m}^2$ , lo que genera un balance total positivo en el suelo. La pérdida de carbono en el reservorio pasivo puede ser explicada por el bajo contenido de arcilla (21%), debido a que las partículas de arcilla protegen al carbono, disminuyendo su tasa de descomposición [3]. También se comprobó que el contenido de carbono aumenta rápidamente en los primeros años, pero luego tiende a estabilizarse. Esto se debe a que los suelos pueden alcanzar su potencial de contenido de carbono en un período de 25 a 50 años [1], lo que significa que la capacidad edáfica para secuestrar carbono es finita, por lo tanto, esto solo podría servir como una solución a corto plazo al problema atmosférico.

Por otro lado, el contenido de carbono en presencia de pradera disminuyó a una tasa anual de  $34 \text{ g C/m}^2$  (Figura 3b). Esto demuestra que el potencial de secuestro de carbono en los bosques de lenga es mayor que en el principal tipo de cubierta vegetal de la zona. Esto implica que la deforestación llevaría a la degradación y pérdida de carbono del suelo a largo plazo, y por otro lado, reforestar las zonas dañadas o sin presencia de bosque generaría beneficios en la mitigación del cambio climático.

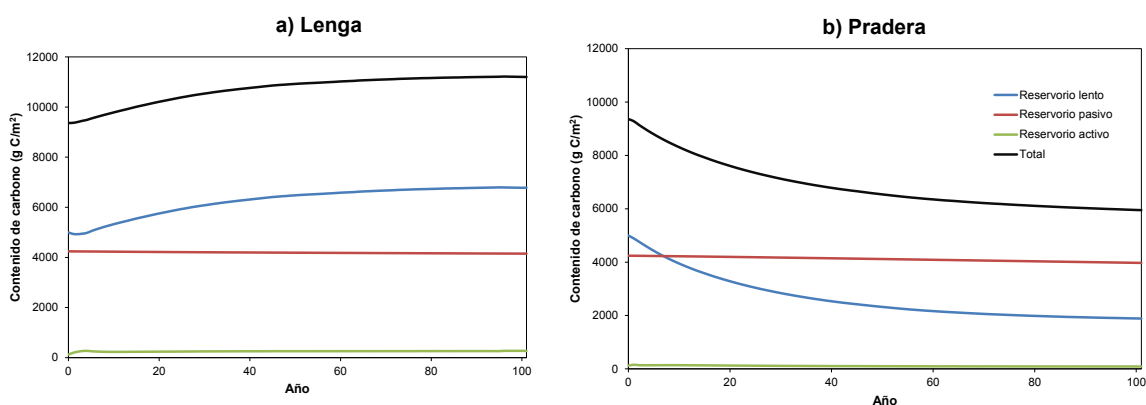


Figura 3. Evolución del contenido total de carbono en el suelo y en sus distintos reservorios. Se comparan dos condiciones, un suelo cubierto con bosque nativo (lenga) y otro con pasto.

El secuestro de carbono no solo implica ganancias ambientales para la zona, sino que también puede generar beneficios económicos. Por ejemplo, los bosques de Costa Rica capturan en promedio  $60 \text{ g C/m}^2$  por año, un poco más que el triple que los bosques de lenga, y en base a este secuestro han logrado vender bonos de carbono y al mismo tiempo proteger sus bosques [14]. En el caso de la cuenca del río Serrano, si bien sus tasas de secuestro no son tan altas, su gran extensión permitiría acumular cantidades significativas de carbono. Solo sobre la base del territorio estudiado, de  $290 \text{ km}^2$ , y a la tasa calculada para los 100 años, se podrían secuestrar hasta 5.337 toneladas de carbono al año, las cuales podrían venderse en un mercado de bonos de carbono. Cabe destacar también que en el modelo Century solo se simulan los primeros 20 cm del suelo, ya que estos son los más activos en el ciclo del carbono. Por lo tanto, y dado que el resto del suelo también acumula carbono, la tasa de captura total de carbono es aún mayor.

## CONCLUSIONES

Los resultados del estudio indican que existe una estrecha relación entre la presencia de bosque y el secuestro de carbono en el suelo. El potencial de carbono almacenado en un suelo no depende solo de sus propiedades físicas y químicas, sino que también está condicionado por el tipo de vegetación. Para las condiciones evaluadas, se observó un aumento en el contenido de carbono para los suelos con bosque, y una disminución en aquellos con pradera. En ambos casos se alcanzó un equilibrio alrededor de los 50 años, de aproximadamente  $11.000 \text{ g C/m}^2$  para los bosques y de  $6.000 \text{ g C/m}^2$  para la pradera. Si bien el secuestro de carbono en los suelos tiene un límite, es una opción factible de aplicar en el corto plazo para mitigar el cambio climático.

Además de los beneficios descritos en este estudio, la presencia de carbono en el suelo podría

incrementar la capacidad de retención de nutrientes, reducir la erosión, aumentar el crecimiento del bosque y promover el desarrollo de la biodiversidad. Cuantificar estos beneficios ayudaría a promover aún más la preservación y protección de estas zonas. En futuras investigaciones también se deberían estudiar los impactos, tanto inmediatos como de largo plazo, que tienen sobre el suelo y el ciclo del carbono los incendios, la actividad del hombre y el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

## PRINCIPIO CIENTÍFICO UTILIZADO

El principio fundamental de este trabajo son las ecuaciones de balance de masa. Para calcular la tasa con la que el contenido de carbono cambia en el suelo se usó la siguiente ecuación:

$$\frac{dC}{dt} = A - k \cdot C$$

Esta ecuación plantea que el cambio de carbono en el suelo  $C$  queda determinado por la tasa neta de entrada de carbono al suelo  $A$ , menos la descomposición producida por los microorganismos a una tasa de primer orden  $k$ . Para el flujo entre distintos reservorios del suelo tenemos la siguiente relación:

$$\frac{dm_i}{dt} = k_i \cdot f_w \cdot f_t \cdot m_i$$

donde  $m_i$  representa la masa de carbono en el reservorio  $i$ ,  $k_i$  es una constante de descomposición para el reservorio,  $f_w$  es un factor que depende del contenido de agua y  $f_t$  es un factor relacionado con la temperatura.

## GLOSARIO

**Fotosíntesis:** Proceso metabólico de las plantas que convierte materia inorgánica a orgánica con la ayuda de la energía solar. Su importancia radica en el hecho de que remueve carbono del aire y lo fija como materia orgánica.

**Materia orgánica:** Materia formada por la descomposición de residuos orgánicos de origen animal o vegetal. Su presencia en los terrenos ayuda a la retención de agua y nutrientes.

**Reservorio:** Depósito donde se puede almacenar gran cantidad de determinado material. En este artículo se usa el concepto del suelo como reservorio, debido a su capacidad de almacenar carbono.

**Lábil:** Materia poco estable y de rápida degradación.

**Humus:** Material formado producto de la degradación de la materia orgánica de los árboles, tiende a formar el primer horizonte del suelo.

**Lenga:** Árbol de la familia de las Nothofagaceae y representativo del bosque andino patagónico. Comúnmente se encuentra en el sur de Argentina y Chile. Puede alcanzar alturas de hasta 30 m y diámetros de 1 m.

**Phaeozems:** Según la clasificación de la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo, los Phaeozems son suelos intensamente lixiviados, con alta saturación de bases y ricos en materia orgánica. Son comunes en tierras planas a onduladas, cubiertas por estepa de pastos altos y/o bosque. Su material parental está conformado por sustancias no consolidadas, predominantemente básicas. Su equivalente según la taxonomía de suelos de Estados Unidos son los Mollisols.

**Lúvico:** Es un clasificador de suelos de la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo que indica que los terrenos poseen un horizonte árgico con una capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 24 cmol kg<sup>-1</sup> o más en todo su espesor, o hasta una profundidad de 50 cm debajo de su límite superior, lo que esté a menor profundidad.

## AGRADECIMIENTOS

Los datos de terreno utilizados en esta investigación se generaron a partir del estudio "Evaluación cuantitativa del efecto de la intervención del bosque nativo en la pérdida de suelos en la cuenca del río Serrano, Proyecto #050/2011, Fondo de Investigación del Bosque Nativo de CONAF". La información climática fue facilitada por la Dirección General de Aguas, dependiente del Ministerio de Obras Públicas.

## REFERENCIAS

- [1] Lal, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change, *Geoderma* 123, (1-2): 1–22, 2004.
- [2] Lal, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security, *Science* 304 (5677): 1623–7, 2004. .
- [3] Parton, W., Stewart, J., Cole, C., Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model, *Biogeochemistry* 5 (1): 109-131, 1988.
- [4] Peng, C., Apps, M., Price, D., Nalder, I., Halliwell, D. Simulating carbon dynamics along the Boreal Forest Transect Case Study (BFTCS) in central Canada: 1. Model testing. *Global Biogeochemical Cycles* 12 (2); 381-392, 1998.
- [5] Cerri, C., Paustian, K., Bernoux, M., Victoria, R., Melillos, J., Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model, *Global Change Biology* 10 (5): 815–832, 2004,.
- [6] Comisión Nacional del Medio Ambiente, Corporación Nacional Forestal. Catastro y evaluación de recursos vegetacionales nativos de Chile. Informe nacional con variables ambientales, 1999.
- [7] IUSG Grupo de trabajo WRB. Base de referencia mundial del recurso suelo. Reporte 103, 2007.
- [8] Dirección General de Aguas, MOP. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del río Serrano, 2004.
- [9] Dirección General de Aguas, MOP. Balance hídrico de Chile, 1987.
- [10] Thornley, J., Cannell, M., Managing forests for wood yield and carbon storage: a theoretical study, *Tree Physiology* 20 (7); 477-484, 2000.
- [11] Godoy, R., Paulino, L., Oyarzún, C., Boeckx, P., Deposition atmosférica de nitrógeno en el centro y sur de Chile. Un resumen, *Gayana Botanica* 60 (1); 47-53, 2003.
- [12] Uriarte, C., Grosse, H., Los bosques de lenga (*Nothofagus pumilio*). Una orientación para su uso y manejo; recopilación bibliográfica. Informe Técnico 126. CORFO-INFOR, 1991.
- [13] Caldentey, J. Acumulación de biomasa en rodales naturales de *Nothofagus pumilio* en Tierra del Fuego, Chile, *Forest Systems* 4 (2); 1995.
- [14] Oelbermann, M., Voroney, R., Gordon, A., Carbon sequestration in tropical and temperate agroforestry systems: a review with examples from Costa Rica and southern Canada, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 104 (3), 359-377, 2004.

## EQUIPO DE INVESTIGADORES

- 1 Pablo Busch
- 2 Athena Carkovic
- 3 Virginia González
- 4 Profesor Carlos Bonilla

