

# ¿Cuánto carbono almacenan las plantaciones *Pinus radiata* en el Sudeste de Buenos Aires?

El cálculo del Carbono (C) almacenado en la biomasa encima del suelo abarca toda la biomasa incluyendo fustes, ramas, cortezas, hojas, mantillo y sotobosque, en tanto que el C almacenado por debajo del suelo abarca la biomasa de las raíces y la materia orgánica del suelo. Las investigadoras **Ana María Lupi** (Instituto de suelo, CIRN, INTA Castelar) y **Paula Ferrere** (AER 9 de julio, INTA Pergamino) comparten resultados de un estudio en plantaciones de la especie *pinus radiata* al Sudeste de Buenos Aires y reflexionan sobre la posibilidad de que exista “un mayor potencial de secuestro de C en proyectos forestales establecidos en tierras bajo uso agrícola, en áreas con menor pendiente y suelos más profundos”.



Paula Ferrere y Ana María Lupi

BUENOS AIRES /1/8/2023).- A través del proceso más elemental que realizan todos los vegetales, la fotosíntesis, los árboles capturan el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) existente en la atmósfera y lo almacenan en su biomasa a lo largo de su vida. De esta forma, los sistemas forestales son considerados como los ecosistemas terrestres responsables de la mayor parte de los flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera. Y funcionan como uno de los reservorios más importantes para contribuir a reducir el calentamiento global. Te contamos que encontramos en las plantaciones de Pino radiata en la pampa interserrana.

El secuestro de CO<sub>2</sub> en las masas forestales es una realidad cuantificable, lo que resulta de enorme interés, ya que permite una valoración económica de este servicio ambiental de los bosques. La capacidad de una plantación para almacenar carbono (el que se representa científicamente como C) está determinada por las condiciones de manejo, estado sanitario, edad; además del suelo y clima donde

están establecidas. A partir de esto es que se vuelve necesario cuantificar los distintos compartimentos que intervienen en el sistema forestal según el ambiente donde se encuentra.

El cálculo del Carbono (C) almacenado en la biomasa encima del suelo abarca toda la biomasa incluyendo fustes, ramas, cortezas, hojas, mantillo y sotobosque, en tanto que el C almacenado por debajo del suelo abarca la biomasa de las raíces y la materia orgánica del suelo. Si bien diferentes estudios muestran la variabilidad del contenido de C en la biomasa según especie y tejido del árbol; el Panel Intergubernamental del Cambio Climático, conocido por el acrónimo en inglés IPCC señala también que el rango más citado para el contenido de C en la biomasa es 43 a 58%. Por esto en general, se acepta que el contenido de C corresponde al 50% de la biomasa.

En la región pampeana los pastizales son la vegetación natural, los cuales son utilizados para la ganadería, reemplazados por pasturas o por cultivos agrícolas. En la zona serrana de Tandilia, en algunas áreas con suelos someros, los pastizales fueron reemplazados por plantaciones de pinos, que son especies introducidas.



## **Carbono almacenado en las plantaciones de *Pinus radiata***

Nosotras nos propusimos cuantificar el C almacenado en las plantaciones de *Pinus radiata* establecidas en estos ambientes, donde los suelos son poco profundos y no tienen uso agrícola.

Estas plantaciones se realizaron entre mediados de la década del 80 y 90 en el marco de la Ley de promoción a la forestación (Ley 25.080), en establecimientos cuya principal actividad es la agricultura y la ganadería. Estas plantaciones se conformaron bosques de reparo en áreas de pendiente.

Actualmente existe una superficie de 2500-3000 ha aproximadamente implantadas con esta especie.

El presente estudio fue financiado por el proyecto INTA 2215: Desarrollo de modelos de producción y crecimiento forestal que permita cuantificar la producción maderera y otros bienes y servicios. Módulo de carbono. Para realizar nuestro estudio identificamos plantaciones establecidas en los partidos de Balcarce, Necochea, Tandil y Tres Arroyos, con el apoyo de empresas de servicios forestales locales. Organizamos el trabajo en una cronosecuencia de rodales de 9, 13, 19 y 21 años; todos en primer ciclo forestal..



Para estimar la biomasa en los árboles primeramente se ajustaron modelos a nivel de árbol y luego de rodal. Para ello se realizó un muestreo destructivo de 42 árboles que tenían un diámetro a la altura del pecho (DAP) entre 10,25 cm y 48,25

cm, y un rango de altura (h) que varió de 6,8 a 19,2 m(distribuidos en el rango de edades),a partir de los cuales se cuantificó la biomasa aérea.

Por otro lado, para la estimación de la biomasa en raíces (gruesas) se cortaron 22 árboles. Para ajustar los modelos de estimación de biomasa a partir de variables del rodal relevamos parámetros (DAP y h) que caracterizan las plantaciones muestreadas. También se cuantificó la biomasa en el mantillo y sotobosque en las parcelas forestales establecidas para medir crecimiento, y allí también se realizó un muestro de suelo para determinar la cantidad de carbono orgánico (COS) hasta los 50 cm de profundidad.

En total se contó con 11 sitios sobre suelos Argiudoles, que son negros, muy fértiles, representativos de la región, pero debido a la posición que ocupan en el paisaje (laderas de sierras) tienen escasa profundidad efectiva.





**¿Que encontramos?**

Al analizar el componente arbóreo en toda la secuencia de edad pudimos observar que el patrón de asignación de la biomasa sigue el orden que habitualmente se reporta en la bibliografía, donde la cantidad de biomasa aumenta en el siguiente orden: hojas<ramas<raíz<fuste.

En la cronosecuencia estudiada la biomasa (y el C en consecuencia) de todos los componentes aumenta con la edad del rodal (Tabla 1), siendo la edad el factor más importante que afecta la magnitud y distribución de la biomasa en el sistema.

La proporción de la biomasa de cada componente en relación a la biomasa total del árbol varió con las edades. La proporción de biomasa en hojas, raíz y ramas disminuyó con la edad. Entre los 9 y 21 años la proporción de biomasa en hojas descendió de 7.1% a 4.1%; mientras que en ramas descendió desde el 16.5% al 13.2%. Lo contrario sucedió en el fuste donde la proporción aumentó desde el 49.0% al 65.1% en los rodales de 9 y 21 años respectivamente.

Esto en definitiva nos muestra como a nivel de individuo, a medida que pasa el tiempo, el C se almacena en el fuste y pasa a ser un reservorio importante. Otro aspecto importante es el aporte de las raíces. En general, dado su laboriosidad y costo en el muestreo, no se cuantifica o se toman factores de conversión.

Resulta interesante rescatar que las raíces pueden aportar entre un 17.5% y 25,2% del C total del árbol. La relación biomasa raíz/biomasa fuste descendió 10 puntos con la edad del rodal, siendo del 33,5%, 27.8%, 22.4% y 20,9% a los 9, 13, 19 y 21 años respectivamente. Estos datos pueden ser tomados como referencia en adelante para estimar la biomasa de raíz sin la necesidad de recurrir a factores de conversión generales.

**Tabla 1.** Biomasa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de los componentes de la plantación forestal.

Componente	Edad del rodal (años)			
	9	13	19	21
Biomasa aérea ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	36.6 a	112.5 b	171.1 bc	187.2 c
<i>Hojas</i>	3.5 a	9.0 b	9.6 b	9.3 b
<i>Ramas</i>	8.2 a	22.3 b	29.9 b	29.9 b
<i>Fuste</i>	24.8 a	81.2 b	136.5 bc	147.9 d
Biomasa de raíz ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	12.9 a	31.4 b	39.8 b	39.6 b
Total ( $\text{Mg ha}^{-1}$ )	49.5 a	143.9 b	215.9 bc	226.8 c

$\text{Mg ha}^{-1} = \text{tnha}^{-1}$ . Letras distintas indican diferencias estadísticas a  $p < 0,05$  entre edades, para cada componente.

Asumiendo que la cantidad de C en la biomasa es el 50%, la tasa de acumulación de C a cada edad es de 2,7; 5,5; 5,6 y 5,4  $\text{Mg C} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ , para las plantaciones de 9, 13, 19 y 21 años respectivamente.

Desde el punto de vista del crecimiento forestal se debería recomendar el corte al momento en que se estabiliza la tasa de incremento; es decir, a los 13 años. Sin embargo, un turno de corta a esta edad significa producir madera para la industria papelera con un retorno más rápido de C a la atmósfera.

Definir un turno de 21 años y que la producción de madera se destine al aserrado, determinará la permanencia del C por un tiempo más prolongado que en el caso de un aprovechamiento temprano.



### **¿Qué sucede a nivel de sistema?**

Las plantaciones de 9 y 21 años almacenaron la mayor cantidad de COS en el estrato 0-50 cm, y la menor en la de 19 años. El stock promedio de COS para las 4 edades es de 196.4 Mg. ha<sup>-1</sup> en el estrato 0-50 cm. Al comparar este valor con el stock promedio de COS para 5 sitios con pastizales naturales aledaños (181.2 ±11,2 Mg. ha<sup>-1</sup>), se tiene una diferencia de 15 Mg. ha<sup>-1</sup>C a favor de las plantaciones.

En el mantillo y sotobosque, la cantidad de C prácticamente no varió, oscilando entre 8.0 Mg ha<sup>-1</sup> y 8.3 Mg ha<sup>-1</sup> desde los 9 a 21 años. El C en el componente arbóreo aumentó 4 veces, siendo de 26.7 Mg ha<sup>-1</sup>, 72,2 Mg ha<sup>-1</sup>, 107.9 Mg ha<sup>-1</sup> y 105.2 Mg ha<sup>-1</sup> para las edades de 9, 13, 19 y 21 años respectivamente.

El aumento del C en el componente arbóreo, entre los 19 y 21 años, no es significativo; contrario a lo que se observa en el COS de suelo. Si calculamos a

nivel de sistema podemos ver en la Tabla 2 que la cantidad de C acumulado fue de 273.1 Mg C ha<sup>-1</sup>, 263.7 Mg C ha<sup>-1</sup>, 269.7 Mg C ha<sup>-1</sup> y 324.1 Mg C ha<sup>-1</sup> para los 9, 13, 19 y 21 años respectivamente. De acuerdo a esto, adelantar la cosecha a los 19 años no impacta en la producción de biomasa del árbol ni del mantillo, pero podría significar evitar recuperar los niveles de COS que se observan similares entre 9 y 21 años.

La cantidad de C acumulado en el sistema no mostró relación con la edad de la plantación, sin embargo, la cantidad de C en cada uno de los componentes del sistema se comportó de manera diferente. Para el rango de edades estudiadas no varió significativamente el stock de COS<sub>meq</sub> en la profundidad 0-50 cm y similar comportamiento se observó en la cantidad de C en el mantillo más sotobosque. Sólo el C en el componente arbóreo se asoció en forma directa y positiva con la edad de la plantación.

**Tabla 2. Cantidad de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>) en el árbol, en el mantillo y sotobosque y en el suelo hasta los 50 cm de profundidad.**

	Edad del rodal (años)			
	9	13	19	21
C-árbol	26.7 a	72.2 b	107.9 c	105.2 c
C -Mantillo y sotobosque	8.0 a	8.4 a	8.1a	8.3 a
COS 0-50 cm	238.4 c	182.9 ab	153.7 a	210.6 bc
C-Total	273.1 ab	263.7 a	269.7 ab	324.1 b

Mg ha<sup>-1</sup> = tnha<sup>-1</sup>. Letras distintas indican diferencias estadísticas a  $p < 0,05$  entre edades, para cada componente.

### ¿En qué componente se almacena más carbono?

En relación al total del sistema, el C en el componente arbóreo varió de 10% a 32% desde los 9 a los 21 años. La proporción de C en el mantillo más el

sotobosque varió de 2.6% a 3.1% y en el suelo de 87% a 65%. Estos datos muestran que el suelo es el principal reservorio de C a nivel de sistema, comportándose como un reservorio estable en el ciclo forestal estudiado (21 años).

Sería importante estudiar plantaciones con edades más avanzadas para constatar si se mantiene este comportamiento o se verifica un aumento del COS como lo mencionan otros trabajos que se realizaron en la región pampeana.

Estas investigaciones reportan que plantaciones forestales con más de 30 años de edad alcanzan niveles de COS mayores a los encontrados en suelos prístinos. Los autores de estas investigaciones sugieren que, probablemente, bajo sistemas forestales el suelo no ha llegado a la saturación de C y por lo tanto hay aun un potencial de secuestro bajo este uso.

La fijación de C en el fuste aumenta con la edad, del mismo modo que en el resto del árbol. Para proyectos ambientales que consideren el secuestro de C sería recomendable lograr turnos de corta de al menos de 21 años que posibiliten el destino de la madera para la industria del aserrado (muebles, madera para la construcción, pallets), lo que garantizaría la mayor permanencia del C en su forma orgánica, en sumideros estables.

Como síntesis podemos decir que para el rango de edades estudiadas la biomasa de las plantaciones de *P. radiata* es el principal contribuyente a la absorción de C, mientras que el suelo es un importante reservorio de C sin variaciones en el rango de edad estudiado. Te invitamos a conocer más detalles de este trabajo ingresando al siguiente enlace <https://doi.org/10.5424/fs/2023321-19703>.

El proceso más elemental de los árboles, la fotosíntesis, es el principal responsable de la captura del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y su transformación en C de la biomasa a lo largo de un ciclo forestal. Si tomamos el valor de C almacenado en la plantación a los 21 años (105,2 Mg ha<sup>-1</sup>), para transformarlo en CO<sub>2</sub> se multiplica el primero por 3,66. Este valor representa la proporción de C en la molécula de CO<sub>2</sub> (peso atómico de CO<sub>2</sub>= 44; peso atómico de C = 12). Esto significa que el potencial de remoción de CO<sub>2</sub> para una plantación de 21 años es de 385 Mg ha<sup>-1</sup>.

Pensamos que existe un mayor potencial de secuestro de C en proyectos forestales establecidos en tierras bajo uso agrícola, en áreas con menor pendiente y suelos más profundos. Estas tierras han pasado por 100 años de agricultura con un proceso de intensificación en los últimos 20 años, lo que ha provocado procesos de degradación (pérdida de COS, exportación de nutrientes y erosión). En estas situaciones el suelo podría generar una ganancia adicional en el secuestro de C.

- **Autoras:**

**Ana María Lupi**, del Instituto de suelo, CIRN, INTA Castelar

**Paula Ferrere** , de AER 9 de julio, INTA Pergamino)

*Este artículo forma parte del espacio mensual de la REDFOR.ar, en ArgentinaForestal.com, que busca divulgar y generar debate sobre la problemática forestal del país. Las opiniones pertenecen a los autores.*