

XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



CoFRU
Consortio Forestal Río Uruguay



XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS

ACTA DE DISERTACIONES Y TRABAJOS VOLUNTARIOS

14 Y 15 DE OCTUBRE DE 2021

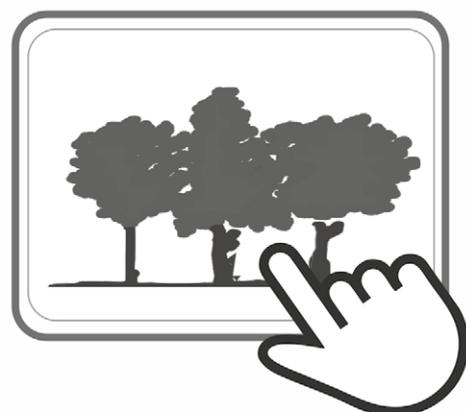
CONCORDIA, ENTRE RÍOS, ARGENTINA



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



CoFRU
Consortio Forestal Río Uruguay





COMISIÓN ORGANIZADORA

COORDINACIÓN GENERAL

María de los Ángeles García

Sergio Orlando Ramos

ORGANIZACIÓN GENERAL

EEA Concordia-INTA: Carlos de la Peña, Carla S. Salto, Ciro Mastrandrea, Gustavo López, Javier Oberschelp, Leonel Harrand, María de los Ángeles García, María Noël Comparetto, Matías S. Martínez, Sergio O. Ramos.

AIANER: Paola Velázquez

Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial: Mario Flores Palenzona

UTN Concordia: Natalia Tesón

AFOA Regional Río Uruguay: Alejandro Guidici

Consorcio Forestal Río Uruguay (COFRU): Sebastián Alberti y Roberto Delasoie

COMISIÓN EVALUADORA DE TRABAJOS VOLUNTARIOS

Ing. Ftal. Aldo E. Keller. INTA, EEA Montecarlo, Misiones.

Dra. Ing. Ftal. Nardia M. Bulfe. INTA, EEA Montecarlo, Misiones.

Dr. Ing. Ftal. Miguel Ángel Sarmiento. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Dra. Ing. Agr. Gabriela Ayala. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. Ing. Agr. Javier Oberschelp. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. Ing. Ftal. Javier Alejandro Alvarez. INTA, EEA Delta del Paraná, Buenos Aires.

Dra. Ing. Agr. Mónica B. Sagadin. Instituto de Fisiología y Recursos Genéticos Vegetales, CIAP-INTA, Córdoba.

Dra. Ing. Agr. Natalia Tesón, Facultad Regional Concordia, Universidad Tecnológica Nacional, Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. Sebastián Kees. INTA, Campo Anexo Estación Forestal Plaza de la EEA Sáenz Peña, Chaco.

Ing. Ftal. Ciro A. Mastrandrea. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) María de los Ángeles García. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Agr. (MSc.) Sergio O. Ramos. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Leonel Harrand. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carla S. Salto. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. (MSc.) Carlos de la Peña. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Dr. CPN. Luis María Vera. INTA, EEA Concordia, Entre Ríos.

Ing. Ftal. Mario Flores Palenzona. NEF Concordia, Entre Ríos, Dirección Nacional de Desarrollo Foresto Industrial (MAGyP).

Diseño y diagramación: Lic. Sebastián Sarubi.

Fotos de tapa: Argentina Forestal, Gabriel de Ciancio, María de los A. García, Mario Flores.

ORGANIZADORES



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Argentina



PATROCINADORES



CoPAER
COLEGIO DE PROFESIONALES
DE LA AGRONOMÍA DE ENTRE RÍOS



INTERAGROVIAL



JOHN DEERE





¿CUÁNTO AFECTA LA EDAD DE LA PLANTACION EN LA CANTIDAD DE CARBONO ALMACENADO EN EL SUELO?

Ana María LUPI¹ y Paula FERRERE²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue cuantificar las existencias de carbono orgánico en el suelo (COS), en rodales de *Pinus radiata* del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Se desarrolló en los partidos de Balcarce, Necochea, Tandil y Tres Arroyos en rodales de 9, 13, 15 y 21 años sobre suelos de textura fina en ambientes de Sierras de Tandil y un rodal de 19 años sobre ambientes de dunas marítimas, todos en primera rotación forestal. Se tomaron muestras de suelos en 4-6 parcelas forestales y se cuantificó la concentración de COS en las profundidades 0-10, 10-25 y 25-50 cm. También se determinó la densidad aparente de cada estrato. Se calculó el stock para cada capa y para el estrato 0-50 cm a masa equivalente ($COS_{meq0-50}$). Se encontró que la concentración y la cantidad de COS variaron con la edad, pero estas variables no se asocian en forma directa. Los stocks de $COS_{meq0-50}$ en la plantación de 9 años fue de $238,43 \pm 13,74 \text{ Mg C ha}^{-1}$, en la de 13 años fue de $182,97 \pm 11,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$, en la plantación de 15 años fue de $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la plantación de 19 años fue de $27,02 \pm 3,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$ en la de 21 años.

Palabras claves: *carbono orgánico del suelo, secuestro de C, Pinus radiata, cronosecuencia*

1. INTRODUCCION

Existe evidencia inequívoca de que las concentraciones del dióxido de carbono (CO_2) han aumentado en los últimos siglos (Meinshausen et al., 2017), alcanzando las 410 ppm en el año 2019 (WMO, 2021). Frente a este escenario se plantean dos estrategias para reducir su cantidad en la atmósfera: por un lado, reducir o evitar las emisiones y por otro aumentar el secuestro de carbono. Los bosques implantados tienen un gran potencial como sumideros de CO_2 por su absorción y transformación en biomasa aérea y subterránea, a la vez que liberan oxígeno a la atmósfera. Se ha demostrado que estos ecosistemas contribuyen notablemente a la mitigación del cambio climático ya que pueden secuestrar más C que otros ecosistemas terrestres (Dixon et al., 1994). Además de la biomasa, el suelo es un gran reservorio de C: almacena al menos el doble del C contenido en la atmósfera más la vegetación viva juntas (Schlesinger, 1984; Post y Kwon, 2000), y puede funcionar como fuente y sumidero de CO_2 atmosférico, generando un impacto importante en el balance global según su manejo (Ordóñez et al., 2001). En el suelo el carbono orgánico (COS) se encuentra en la materia orgánica. Existen varios factores que controlan los stocks de COS, como la textura (Dexter, 2004; Zhou et al., 2019) y la edad de la plantación forestal. En cuanto a este último, los estudios muestran resultados variables. En general, el COS disminuye en los primeros cinco años posteriores a la forestación, seguido de un período de recuperación para alcanzar un máximo cuando las rotaciones son de 20-50 años (Paul et al., 2002). Como las variaciones en los stocks de COS no se registran en el corto plazo, surge la necesidad de analizar cronosecuencias (Smal et al., 2019; Zhang et al., 2019; Zhao et al., 2014). El objetivo de este trabajo fue cuantificar las concentraciones y los stocks de COS en rodales de *Pinus radiata* del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina, en una secuencia de edad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en los partidos de Balcarce, Necochea, Tandil y Tres Arroyos, ubicados en la

¹ Instituto de Suelos, CIRN, INTA Castelar. Mail: lupi.ana@inta.gob.ar

² AER 9 de Julio, EEA Pergamino. Mail: ferrere.paula@inta.gob.ar



región SE de la provincia de Buenos Aires, Argentina, sobre plantaciones de *Pinus radiata*. Esta región está contenida en la provincia pampeana, ecorregión Pampa (Apoadaca et al., 2015), y presentan un clima clasificado como Cfb, templado según Köppen-Geiger. En el SE de Buenos Aires, la mayor parte de las plantaciones comerciales de *Pinus radiata* se localizan en la cadena de Sierras de Tandil donde los suelos se clasifican como Argiudoles, con altos niveles de COS, de textura superficial franco limosa, someros (30-60 cm de profundidad efectiva) y en menor medida conforman bosques de protección sobre las dunas de la costa atlántica. Para el estudio se identificaron rodales en un primer ciclo forestal (no se disponen sitios con más de una rotación en la región) con edades de 9, 13, 15, 19 y 21 años. A excepción del rodal de 19 años que se localiza sobre una duna costera y reemplazó la vegetación marítima, los restantes se localizan sobre suelos Argiudoles que reemplazaron pastizales naturales. En general, las plantaciones tienen alta densidad (1 111 plantas ha⁻¹ a 1 666 plantas ha⁻¹) y un manejo forestal deficiente: sin podas y sin raleos que propicien un mayor tamaño individual por árbol para la obtención de productos para aserrado.

Se establecieron entre 4-6 parcela forestales y en ellas se tomaron muestras para conformar una compuesta en cada una de las profundidades: 0-10 cm, 10-25 cm y 25-50 cm. Se determinó la concentración de COS mediante el método de combustión seca. Para cada profundidad se determinó la densidad aparente (método del cilindro con un volumen de 100 cm³). Con los valores de concentración de COS y densidad aparente se calculó la masa de COS (Mg ha⁻¹) por estrato y el stock de carbono (SCO) hasta los 50 cm de profundidad corrigiendo a masa equivalente de suelo con la siguiente ecuación (1) (Sisti et al., 2004).

$$\text{COS}_{\text{meq}} = \sum_{i=1}^{n-1} \text{COT}_i + [\text{MT}_n - (\sum_{i=1}^n \text{MT}_i - \sum_{i=1}^n \text{MS}_i)] \text{COT}_n \quad (1)$$

Donde el COS_{meq} es el stock de carbono orgánico (Mg ha⁻¹) a la profundidad donde la masa de suelo es la misma del perfil de referencia; \sum de COT_i (de i hasta $n-1$) es la suma de carbono orgánico (Mg ha⁻¹) del primer estrato de suelo hasta el penúltimo estrato $n-1$ del perfil, MT_n es la masa de suelo total del perfil de un tratamiento, MT_i es la suma de la masa de suelo del estrato 1 (superficial) al “ n ” (estrato más profundo) en el perfil del suelo de un determinado tratamiento, MS_i es la suma de la masa de suelo desde el estrato superficial al “ n ” (estrato más profundo) en el perfil de referencia, COT_n es la concentración de carbono (Mg C Mg⁻¹ suelo) del último estrato de suelo del perfil del tratamiento.

La concentración y la cantidad de COS se analizaron a través de ANOVA y test de Tukey ($p < 0,05$). Se establecieron relaciones entre la cantidad y la concentración de COS.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución vertical de la concentración de COS decrece con la profundidad del perfil (Cuadro 1). Este patrón es el comúnmente reportado en otras investigaciones (Zhang et al 2019; Zhao et al., 2014) y responde al hecho de que los aportes orgánicos ocurren principalmente en la superficie por la acumulación de mantillo de las plantaciones (Liu et al., 2016; Jobbágy y Jackson, 2003). Los valores de concentración de COS hallados en nuestro estudio en los rodales de 9, 13, 15 y 21 años, establecidos en Argiudoles son comparables a los informados por Rodríguez et al. (2015) en la misma región con pastizales naturales y plantaciones de acacia. Estas altas concentraciones se transforman en altas reservas de COS (Grimm et al., 2008). En términos generales, las concentraciones de COS variaron significativamente entre rodales ($P < 0,05$). Para todas las profundidades la concentración más baja se encontró en el rodal de 19 años, en tanto que las más altas en los rodales de 9, 13 y 21 años.

El comportamiento del stock de COS fue similar al observado en la concentración. La cantidad de COS en los primeros 50 cm de suelo la profundidad fue mayor en los rodales de 9 y 21 años, el rodal de 13 años acumuló más cantidad de COS que el rodal de 15 años en tanto que el rodal de 19 años presentó la menor cantidad de COS. Los menores valores en las concentraciones y en la cantidad de COS en el rodal de 15 años con respecto al de 13 puede explicarse por el retiro sistemático de mantillo que realizaron los propietarios para otros usos (vivero o compostaje). En la plantación de 19



años la textura del suelo es el factor que determina la menor concentración y stock de C. La capacidad de reserva o almacenamiento de COS del suelo también depende de factores como la composición mineralógica y la textura (Wang y Liu, 2013; Jandl et al., 2007); teniendo los suelos de textura arenosa una menor capacidad para proteger y estabilizar compuestos orgánicos en su superficie mineral, lo cual afecta la magnitud y tasa de secuestro de COS (Feng et al., 2103). Por el contrario, en suelos como los Argiudoles, donde aumenta la proporción de la fracción arcilla o la fracción limo más arcilla aumenta la acumulación de COS por la protección que ejercen estas partículas sobre la fracción orgánica por procesos de adsorción, oclusión y agregación (Anderson y Paul 1984). Esto hace que diferentes tipos de suelo muestren capacidades diferenciales para el secuestro de COS debido al potencial inherente del suelo para retenerlo. El stock de COS en los primeros 10 cm de suelo representa el 23,6 %, 28,3 %, 32,1 %, 34,0 % y 28,6 % del COS hallado en la profundidad 0-50 cm, para las edades 9, 13, 15, 19 y 21 años respectivamente.

Cuadro 1. Concentración y stock de carbono orgánico del suelo en las profundidades 0-10, 10-25 y 25-50 cm, en rodales de *P. radiata* de 9, 13, 15, 19 y 21 años

	Edad				
	9	13	15	19	21
Concentración de COS (g kg⁻¹)					
0-10 cm	63,5±2,5 c	60,5±3,7 c	37,0±2,1 b	8,1±0,1 a	64,8±4,8 c
10-25 cm	49,5±3,0 c	41,1±2,7c	24,3±0,9 b	4,5±0,7 a	47,2±3,0 c
25-50 cm	35,9±3,7c	23,0±2,5 b	10,9±1,1 a	2,9±0,6 a	26,3±2,8 bc
Cantidad de COS (Mg ha⁻¹)					
0-10 cm	64,30±3,40 c	53,56±4,69 bc	39,25±2,41 b	12,2±1,59 a	63,58±6,08 c
10-25 cm	87,14±4,31 c	66,09±6,79 bc	47,61±1,38 b	11,33±1,6 a	80,88±5,63 c
25-50 cm	120,68±12,09 d	69,36±7,21 cb	35,52±3,91 a	12,37±2,48 a	78,03±9,29 c
0-50 cm	272,1±16,91 d	189,00±13,76 c	122,00±5,88 b	35,90±5,45 a	222,50±15,08 cd

Letras distintas reflejan diferencias estadísticamente significativas a $p < 0,05$ para una misma profundidad. El valor seguido de \pm es el error estándar.

Cuando los datos se expresan en masa equivalente, la cantidad de COS_{meq} en la profundidad 0-50 cm no se correlacionó con la edad ($r: -0,45; p>0,05$), pero varió significativamente entre los rodales ($p<0,05$). Fue más alto en la plantación de 9 años (238,43±13,74 Mg C ha⁻¹), 13 (182,97±11,78 Mg C ha⁻¹) y 21 años (210,57±12,16 Mg C ha⁻¹), intermedio en la plantación de 15 años (210,57±12,16 Mg C ha⁻¹) y menor en el rodal de 19 años (27,02±3,65 Mg C ha⁻¹). La cantidad de COS_{meq} almacenado en el sitio de 19 años en la duna marítima fue 6,8 veces menor al promedio de COS en los suelos Argiudoles

Nuestros resultados no coinciden con lo reportado por Smal et al. (2019), Lei et al. (2019) y Ecclesia et al. (2012), para plantaciones de *Pinus taeda*, *Pinus elliottii*, *Pinus sylvestris* y *Acacia Mangium*, donde muestran un aumento significativo en el contenido de COS con la edad del rodal. Por el contrario, concuerdan con lo reportado por Peichl y Arain (2006). Si bien el rango de edad de las plantaciones de *Pinus strobus* en que trabajaron los autores (2 a 65 años) fue mayor al de nuestro estudio, encontramos que el COS no se correlaciona con la edad del rodal.

En nuestro estudio, en los rodales de 9, 13 y 15 años, establecidos sobre suelos Argiudoles, se observa que las reservas de COS disminuyen con el aumento de la edad. El efecto de la edad de la plantación sobre la acumulación de COS es un aspecto ampliamente discutido por los resultados divergentes que se reportan. Algunos estudios indican que no se observan incrementos significativos en el COS con la edad del rodal (Peichl y Arain 2006; Paul et al., 2002), otros refieren aumentos en la



primera década después de la forestación (Pregitzer y Euskirchen, 2004; Hooker y Compton, 2003). Finalmente, estudios como los de Smal et al. (2019); Perez-Cruzado (2011) y Tang et al. (2009), reportan incrementos a partir de los 10-15 años. Esta discrepancia puede ser atribuida a diferencias en el clima, textura, especies y manejo aplicado, usos previos e inclusive en la edad más avanzada de los rodales en que se desarrollaron los estudios (Jandl et al., 2007). Se encontró una fuerte relación entre la concentración de COS en el estrato 0-10 cm y el stock de $COS_{meq0-50}$ lo que permitiría contar con una herramienta simple y práctica para estimar las reservas de carbono orgánico del suelo hasta los 50 cm.

$$COS_{meq0-50} = 33,037 * (\text{concentración de } COS_{meq0-10}) + 0,5815; R^2 = 0,91]$$

4. CONCLUSIONES

En el presente trabajo la concentración y la cantidad de COS variaron con la edad de la plantación. Para los sitios con forestaciones de *Pinus radiata* y el rango de edades estudiadas, la edad de la plantación no fue un factor que influyó en la concentración ni en las cantidades de COS almacenado. La cantidad de $COS_{meq0-50}$ en la plantación de 9, 13, 15, 19 y 21 fue de $238,43 \pm 13,74 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $182,97 \pm 11,78 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$; $27,02 \pm 3,65 \text{ Mg C ha}^{-1}$ y $210,57 \pm 12,16 \text{ Mg C ha}^{-1}$, respectivamente.

5. AGRADECIMIENTOS

A Vicente Nakama, Adelqui Alfieri, Luis Gomez, Pablo Cuenca, Norberto Fernandez por el apoyo en las actividades de campo. A Ingrid Kaufman por la colaboración brindada. El proyecto ha sido parcialmente financiado por el Proyecto Forestal de Desarrollo y el Proyecto nacional INTA PNFOR2215.

6. BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON, D.W.; PAUL, E.A. 1984. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. Soil Science Society of America Journal, 48(2), 298-301.
- APODACA, M.J.; CRISCI, J.V.; KATINAS, L. 2015 Las provincias fitogeográficas de la República Argentina: definición y sus principales áreas protegidas. In: El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina, vol 1. Editorial Dunken, Argentina, pp 79–101
- DIXON, R.K.; SOLOMON, A.M.; BROWN, S.; HOUGHTON, R.A.; TREXIER, M.C.; WISNIEWSKI, J. 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. Science, 263(5144), 185-190.
- ECLESIA, R.P.; JOBBAGY, E.G.; JACKSON, R.B.; BIGANZOLI, F.; PIÑEIRO, G. 2012. Shifts in soil organic carbon for plantation and pasture establishment in native forests and grasslands of South America. Global Change Biology, 18(10), 3237-3251.
- FENG, W.T.; PLANTE, A.F.; SIX, J. 2013. Improving estimates of maximal organic carbon stabilization by fine soil particles. Biogeochemistry 112, 81–93.
- GRIMM, R.; BEHRENS, T.; MARKERA, M.; ELSENBEEER, H. 2008. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island — Digital soil mapping using Random Forests analysis. Geoderma, 146(1-2), 102-113.
- HOOKEER, T.D.; COMPTON, J.E. 2003. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment. Ecol Appl 13:299–313.
- JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D.W.; MINKKINEN, K.; BYRNE, K.A. 2007. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration?, Geoderma, Volume 137, Issues 3–4, 253-268, ISSN 0016-7061, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.09.003>.
- JOBBÁGY, E.G.; JACKSON, R.B. 2003. Patterns and mechanisms of soil acidification in the conversion of grasslands to forests. Biogeochemistry 64:205-229.
- LEI, Z.; YU, D.; ZHOU, F.; ZHANG, Y.; YU, D.; ZHOU, Y.; HAN, Y. 2019. Changes in soil organic carbon and its influencing factors in the growth of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantation in Horqin Sandy Land, Northeast



- China. Scientific reports, 9(1), 1-12.
- LIU, L.; HU, Y.; WANG, Q.; WANG, H.; ZHANG, J.; WANG, C.; ZHAO, Z. 2016. Structure characters of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* natural forest on sandy land. *Forest Research*, Beijing, 29(5), 623-629.
- MEINSHAUSEN, M.; VOGEL, E.; NAUELS, A.; LORBACHER, K.; MEINSHAUSEN, N.; ETHERIDGE, D.M.; FRASER, P.J.; MONTZKA, S.A.; RAYNER, P.J.; TRUDINGER, C.M.; ET AL. 2017. Historical greenhouse gas concentrations for climate modelling (CMIP6). *Geosci. Model Dev.* 2017, 10, 2057–2116.
- ORDÓÑEZ, B.; DE JONG, H.J.; MASERA, O.. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrabus*, Michoacán. *Madera y Bosques* 7(2):27-47
- POST, W.M.; KWON, K.C. 2000. Soil Carbon Sequestration and Land-Use Change: Processes and Potential. *Global Change Biology* 6, 317–328.
- PAUL, K.I.; POLGLASE, P. J.; NYAKUENGAMA, J. G.; KHANNA, P.K. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest ecology and management*, 168(1-3), 241-257.
- PEICHL, M.; ARAIN, M.A. 2006. Above- and belowground ecosystem biomass and carbon pools in an age-sequence of temperate pine plantation forests. *Agric. For. Meteorol.* 140, 51–63.
- PREGITZER, K.S.; EUSKIRCHEN, E.S. 2004. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Glob Chang Biol* 10:2052–2077
- RODRIGUEZ, S.; VIDELA, C.; ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; POSE, N.N.; MACEIRA, N.O. 2015. Cambios en propiedades químicas de un suelo Molisol de la Región Pampeana argentina con diferente historia de manejo. *Chil. J. Agric. Anim. Sci*, 31, 137-148.
- SCHLESINGERT, W.H. 1984. The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: Measurement by Remote Sensing. Edited by GM Woodwell 1984 SCOPE. Published by John Wiley & Sons Ltd. CHAPTER 4 Soil Organic Matter: a Source of Atmospheric CO₂. 111-127.
- SMAL, H.; LIGEZA, S.; PRANAGAL, J.; URBAN, D.; PIETRUCZYK-POPŁAWSKA, D. 2019 Changes in the stocks of soil organic carbon, total nitrogen and phosphorus following afforestation of post-arable soils: A chronosequence study. *Forest Ecology and Management*. 451(1), 117536. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117536>
- SISTI, C.P.; DOS SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. 2004. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. *Soil and tillage research*, 76(1), 39-58.
- TANG, J.W.; BOLSTAD, P.V.; MARTIN, J.G. 2009. Soil carbon fluxes and stocks in a Great Lakes forest—chronosequence. *Glob Chang Biol* 15:145–155
- WANG, Y.; LIU, Z. 2013. Vertical distribution and influencing factors of soil water content within 21-m profile on the Chinese Loess Plateau. *Geoderma*, 193, 300-310.
- WMO, 2021. State of the Global Climate 2020. WMO- No. 1264. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618
- ZHANG X.; XUELI Z. H.; HUI, H.; ZHONGJIE, S; XIAOHUI, Y. 2019. Biomass Accumulation and Carbon Sequestration in an Age-Sequence of Mongolian Pine Plantations in Horqin Sandy Land, China. *Forests* 2019, 10, 197; doi:10.3390/f10020197
- ZHAO, J.; KANG, F.; WANG, L.; YU, X.; ZHAO, W.; SONG X, ET AL. 2014. Patterns of Biomass and Carbon Distribution across a Chronosequence of Chinese Pine (*Pinus tabulaeformis*) Forests. *PLoS ONE* 9(4): e94966. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094966>
- ZHOU, W.; HAN, G.; LIU, M.; LI, X. 2019. Effects of soil pH and texture on soil carbon and nitrogen in soil profiles under different land uses in Mun River Basin, Northeast Thailand. *PeerJ* 7:e7880 DOI 10.771