



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

Variación temporal de la temperatura del suelo en función de la cercanía a nogales pecán (*Carya illinoensis*), en un sistema silvopastoril joven del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires

Temporal variation of soil temperature according to relative location in a young silvopastoral system pecan (*Carya illinoensis*)-based, at the Southeast of the Buenos Aires province, Argentina

G. Cambareri¹; M. Beltrán²; V.R.N. Cosentino²; L. Colcombet³

¹Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce, ²Instituto de Suelos, INTA Castelar,

³Estación Experimental Agropecuaria INTA Montecarlo

✉ Corresponding author: cambareri.gustavo@inta.gob.ar

Abstract

Silvopastoral systems (SSP) are a sustainable way of agroforestry, where pastures and trees are managed holistically, achieving in some cases a net C gain. These systems often underrate the importance of soil temperature as ecological driver, what is important when SSPs are based on deciduous trees such as pecan. Our study then aims to preliminary characterize the temporal variation of soil temperature according to relative location in a young silvopastoral system pecan-based, at the Southeast of the Buenos Aires province, Argentina. The study was conducted at the Balcarce Research station (INTA) (37°45'48,96''S; 58°17'26,49''W), from mid-January to end of May, in a 10-yr pecan orchard planted at a 9 m X 9 M frame. This resulted in a mean trunk diameter at breast height of 11.4 cm, a basal area of 1.25 m² and a canopy area of 786 m². To measure soil temperature (ST), two sensors were placed at 10 cm-depth near (0.3 m) and far (4.5m) from the tree, respectively. Additionally, air temperature, solar radiation and daily precipitations were measured. Data were registered at daily and hourly timescale. On average, the daily TDS near trees was slightly cooler than that in open grass (18.34 ± 3.25 vs. 18.7 ± 4.4 C), but other non-parametric analysis shows a possible interaction between date and location over the hourly temperature ($p < 2.2 \cdot 10^{-16}$). Our results provide preliminary evidence of the buffering effect of deciduous trees such as pecans on TDS, with the TDS at 0.3m from the pecan being cooler than the TDS at 4.5m during the summer months, and warmer during the fall months.

Keywords: *Silvopastoral system, Pecan, soil temperature, relative location.*



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

Resumen

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una forma sostenible de agrosilvicultura, donde los pastizales y los árboles se gestionan de forma integral, logrando producir, en muchos casos, una ganancia neta de carbono (C). Estos sistemas a menudo subestiman la importancia de la temperatura del suelo como driver ecológico y su variabilidad espacio-temporal, lo que es importante cuando los SSP se basan en árboles de hoja caduca como la nuez. El presente estudio tiene como objetivo caracterizar la variación temporal de la temperatura del suelo según la cercanía al nogal en un sistema silvopastoril joven a cultivo de pecán, en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. El estudio se realizó en la Estación Experimental Balcarce (INTA) ($37^{\circ}45'48,96''S$; $58^{\circ}17'26,49''W$), desde mediados de enero hasta fines de mayo, en una plantación de nogales de 10 años, sembrada en un marco de 9 m x 9 m. Esto resultó en un diámetro medio del tronco a la altura del pecho de 11,4 cm, un área basal de 1,25 m² y un área de dosel de 786 m². Para medir la temperatura del suelo (TDS), se colocaron dos sensores a 10 cm de profundidad, uno a 0.3 y otro a 4.5 m del árbol. Además, se midió la temperatura del aire, la radiación solar y las precipitaciones diarias. Los datos se registraron en escala de tiempo diaria y horaria. En promedio, la TDS diaria cerca de los árboles fue ligeramente más fría que la del pasto abierto ($18,34 \pm 3,25$ vs. $18,7 \pm 4,4$ C), pero otro análisis no paramétrico muestra una posible interacción entre fecha y ubicación sobre la temperatura horaria ($p < 2.2 \cdot 10^{-16}$). Nuestros resultados arrojan indicios del efecto amortiguador de los árboles de hoja caduca como pecán sobre la TDS, siendo la TDS a 0.3 m del pecan más fría que la TDS a 4.5m durante los meses de verano, y más cálida durante los meses de otoño.

Palabras clave: *Sistema silvopastoril, Pecan, temperatura del suelo, ubicación.*

Introducción

Los sistemas silvopastoriles (SSP) son una forma sustentable de agroforestería donde las pasturas y los árboles son manejados de manera integral (Clason y Sharrow, 2000). En Argentina existen experiencias de SSP con especies puramente forestales (Gandara *et. al.*, 2021, Peri *et. al.*, 2017), o monte nativo integrado con pasturas subtropicales (Viruel *et. al.*, 2020). Sin embargo, no existen experiencias en especies frutales de hoja caduca como los pecanes (*Carya illinoensis*), las cuales pueden admitir un SSP, produciendo cambios en el microambiente en función a la cercanía a la copa del nogal (Mokari *et. al.*, 2022), y consecuentes beneficios en el balance de



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

carbono (C) (Cambareri *et. al.*, 2023). Dentro de estos cambios, además de la baja en la temperatura del aire cercano al árbol originada por la sombra de las copas (Mokari *et. al.*, 2022), está la variación en la temperatura del suelo (Lembrechts *et. al.*, 2022). La temperatura del suelo teniendo pecán como base del SSP cobra mayor importancia debido al efecto que dicha temperatura tiene en los microorganismos descomponedores del suelo (Feng *et. al.*, 2022) y a la conocida asociación de las raíces de pecán con micorrizas (Lee and Jose, 2003). Así, la temperatura del suelo modula el balance competitivo entre descomponedores y micorrizas, dando lugar a microambientes edáficos más o menos abundantes en C y más o menos productivos desde el punto de vista de la cobertura vegetal que rodea a los pecanes. Por ello, conocer la variación espacial y temporal de la temperatura del suelo (TDS) es importante para para generar modelos de procesos más confiables tanto del balance de C, como de la productividad del cultivo de cobertura en los SSP. Nuestro trabajo se enfoca entonces en caracterizar esa variación de temperatura a través de la estadística descriptiva y tests no paramétricos.

En Argentina, existen cerca de 8.000 ha de pecán consolidadas, reportadas como huertos (Cambareri *et. al.*, 2023), y se estima que dicha superficie se duplicará en los próximos años, con posibilidades de ampliar el espectro de los SSP. Esta tendencia es un aspecto para considerar respecto de los cambios térmicos que este microambiente puede originar para el balance de C, como se mencionó más arriba. Las variaciones en la TDS se registran a una escala espacial, pero también en la escala temporal. En un estudio reciente, Lembrechts *et. al.*, (2022) estudiaron y mapearon la variación global de la temperatura del suelo a 5 cm y encontraron que los bosques templados con especies de hoja caduca tienen un efecto de buffer sobre la temperatura media global anual del suelo (TMAGS) en comparación con un pastizal templado, la media global disminuye (7.37 vs. 11.58 °C, respectivamente para TMAGS de bosques con especie de hojas caducas y pastizal) y tiene una menor dispersión estadística (4.67 vs. 5.13 °C, respectivamente). Además, la TDS es un driver importante que puede dar lugar a feedbacks positivos o negativos, dependiendo de su interacción con el macroclima y otros drivers (De Frenne *et. al.*, 2021).

Si bien existen algunos estudios del efecto del árbol sobre la TDS en SSP (Jose *et. al.*, 2019, Karki and Goodman 2015), no encontramos estudios que involucren un SSP basado en pecán. El objetivo de este trabajo es entonces comenzar a caracterizar la variación temporal de la temperatura del suelo, en función de la cercanía a nogales pecán, en un SSP con pocos años del Sudeste de la Provincia de Buenos Aires, como línea de partida para elaborar modelos



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

locales que permitan comprender el balance y la dinámica del C en estos sistemas.

Materiales y métodos

Las mediciones de TDS se llevaron a cabo en un lote de pecán de la Estación Experimental INTA Balcarce (37°45'48,96''S; 58°17'26,49''O), Argentina, desde mediados de enero hasta el 31 de mayo de 2023. Este lote tiene nogales de 10 años desde el momento de la implantación. Al momento de la plantación (agosto de 2013), el suelo tenía los siguientes indicadores: 32,3 g C kg suelo⁻¹, 2,5 g N kg suelo⁻¹, pH = 6,8 y 351 g arcilla kg suelo⁻¹. Los nogales fueron originalmente plantados en un marco de 9 X 9 m y a una densidad (d) de 123 plantas ha⁻¹. Además, en la zona interfilar se sembró una pastura cuya mezcla base era festuca (*Festuca arundinacea*) + trébol blanco (*Trifolium repens*), pero actualmente se encuentra degradada, con el trébol totalmente desaparecido y los espacios intermata de festuca cubiertos por *Paspalum sp.*, *Poa sp.* y especies compuestas como *Carduus sp.* La estructura arbórea de los nogales presenta un fuste alto logrado con podas en los primeros años, apuntando a un sistema silvopastoril. Los nogales se caracterizaron por un diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio de 11.4 cm, un área basal ($g = (DAP / 100)^2 * \pi / 4 * d$) de 1.25 m² y un área con copas de 786 m² (15.2 % de cobertura total). El pastoreo es eventual con categorías de bajo peso (terneros), dado que se trata de un lote pequeño (< 1 ha).

En una zona representativa del lote (Fig. 1), se seleccionó 1 nogal como referencia para colocar dos sensores de temperatura (termocuplas). Uno de los sensores se colocó a 0.3 m del árbol (zona de influencia de la copa) y el otro a 4.5 m (pastura, espacio entre copas). Estos sensores se enterraron a una profundidad de 10 cm en el suelo y los datos fueron colectados cada media hora en un datalogger y transmitidos vía antena a un sitio web desde donde se descargaron los datos. Además, se colocaron un sensor de temperatura y otro de radiación en las afueras del lote para mediar temperatura del aire y radiación solar. Dichos sensores registraron datos cada 20 minutos.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

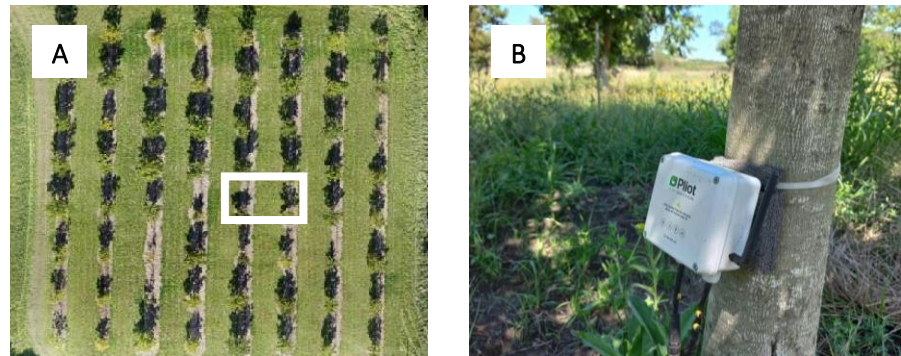


Figura 1. A: Imagen ortomosaico donde se indica la zona seleccionada para la colocación de los sensores.

B: Datalogger colector y emisor de la información sensada.

El análisis de datos es descriptivo y no paramétrico tomando como variable respuestas las medias diarias ($n=276$ para cada caso) y horarias ($n=225$ para cada caso) para temperaturas del suelo. Las diferencias en las temperaturas diarias se analizaron con el test de Wilcoxon, mientras que para analizar las horarias, se tomaron 5 días (1 por cada mes del estudio), y las horas a modo de bloques y se evaluaron las diferencias entre grupos (día X ubicación) por medio del test de Friedman, utilizando el entorno estadístico R-Studio. Además, se sumaron como variables explicativas la temperatura del aire, las precipitaciones y la radiación solar.

Resultados y discusión

Análisis de la TDS a nivel diario

El test de Wilcoxon resultó en diferencias significativas ($V=3488$, $p=0.0054$) entre los valores medios de temperatura del suelo (TDS) cercanos al nogal y los lejanos al mismo, siendo la TDS a 0.3 m del nogal de 18.34 ± 3.25 °C, y la TDS a 4.5 m, 18.7 ± 4.4 °C. Este resultado representa un primer indicio de que la TDS está de alguna manera influenciada por la ubicación en relación a los nogales. Esta diferencia se observa en el patrón temporal, donde tanto la TDS a 0.3 m como la TDS a 4.5 m del nogal acompañaron el patrón de descenso general de la temperatura del aire a partir del 10 de marzo (Fig. 2). El patrón de fluctuaciones en la temperatura de aire, del suelo a 0.3 m (bajo copa) y del suelo a 4.5m (espacio entre copas) fue similar, con disminución de las temperaturas máximas, mínimas y medias con el avance de los días otoñales. Las amplitudes y diferencias se magnificaron luego de días con precipitaciones, especialmente en los períodos que van del 2 al 17 de marzo y del 22 al 29 de mayo de 2023. Entre el 13 de enero y el 29 de marzo, el sensor ubicado a 4.5 m del nogal (espacio entre copas), registró valores de TDS mayores que el sensor ubicado a 0.3 m del nogal, mientras que después del 29 de marzo este patrón se invirtió, estando la zona cercana al nogal



- INICIO
- CRÉDITOS
- COMITÉS
- CONTENIDO
- SESIÓN I
- SESIÓN II
- SESIÓN III
- SESIÓN IV
- ANEXOS

menos fría que la pastura. Los momentos de alta precipitación resultaron en días subsiguientes con marcado descenso de la TDS.

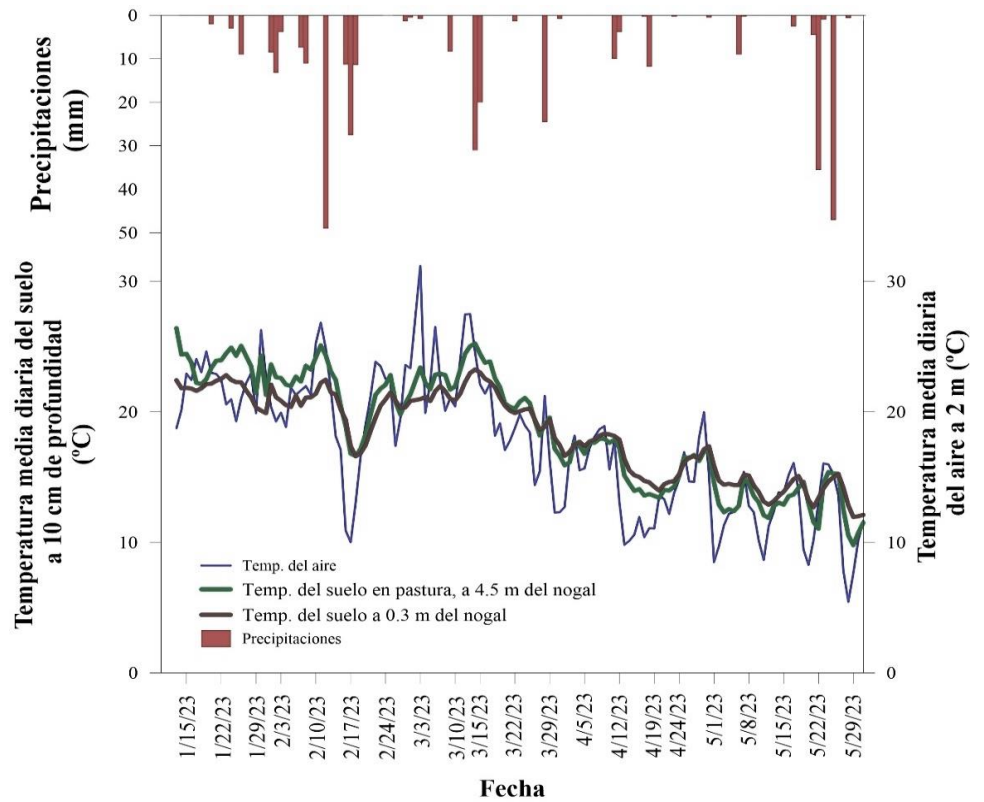


Figura 2. Temperaturas diarias del aire, del suelo y precipitaciones según fecha durante la estación estivo-otoñal.

Análisis de la TDS a nivel horario

El test de Friedman resultó en diferencias significativas entre los grupos (chi-squared = 381.25, p-value < 2.2*10⁻¹⁶) para los valores horarios de TDS, sugiriendo que la TDS está también afectada por una interacción entre el momento del año y la ubicación (Tabla 1), con mayores TDS a 4.5 que a 0.3 m del nogal durante los días de verano y menores TDS a 4.5 que a 0.3 m del nogal durante los días de otoño.

Tabla 1. Temperatura media del suelo según día y ubicación.

Fecha	Ubicación	
	0.3 m del nogal	4.5 m del nogal
20 de enero	22.16 ± 0.05	23.35 ± 0.32
15 de febrero	20.16 ± 0.07	20.45 ± 0.16
15 de marzo	23.01 ± 0.04	24.44 ± 0.08
15 de abril	15.14 ± 0.03	13.92 ± 0.11
15 de mayo	13.84 ± 0.05	12.88 ± 0.12



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

Este resultado, aunque limitado en cuanto a alcance temporal y preliminar, permite contextualizar un poco más la función buffer del SSP basado en pecán. Cada día seleccionado para este análisis tiene una dinámica de temperatura y radiación diferente según la estación del año (Fig. 3). Por ejemplo, tanto el 20 de enero como el 15 de febrero (días de verano), la TDS a 4.5 m del nogal mostró una amplitud mayor a lo largo del día mientras que no hay prácticamente variación el 15 de marzo, 15 de abril y 15 de mayo, como resultado de diferencias estacionales en la acumulación de radiación (Fig. 3). En cuanto a la TDS a 0.3 m del nogal durante el 20 de enero y el 15 de febrero, puede observarse que prácticamente no respondió a los pulsos de radiación, presumiblemente por el efecto de la copa mientras está presente; no obstante, la TDS a 0.3 m durante el 15 de abril y el 15 de mayo (días de otoño) tuvo mayor temperatura que la TDS a 4.5 m, posiblemente debido a la ausencia de copa y que el suelo con baja cobertura bajo la copa queda expuesto a la acumulación de radiación, a diferencia del suelo a 4.5 m del nogal que queda cubierto por la pastura.



XII CONGRESO INTERNACIONAL
Sistemas Silvopastoriles
URUGUAY 2023

INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

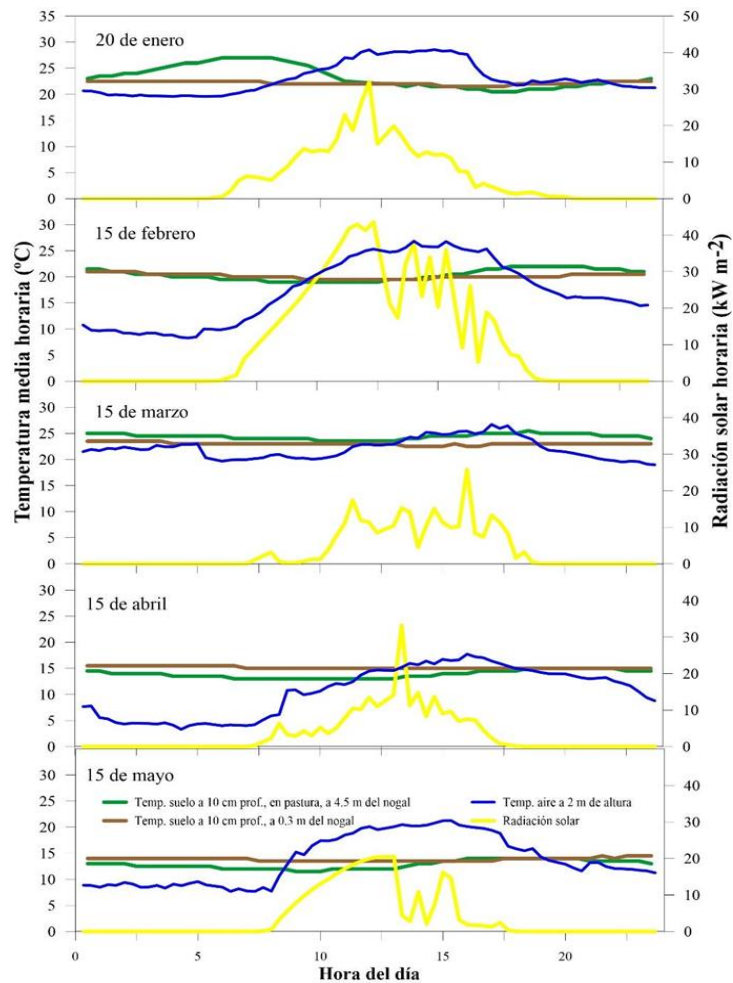


Figura 3. Fluctuación horaria de la Temperatura del suelo, aire, y radiación solar en función de la hora del día.

Nuestros resultados, aunque obtenidos a una escala temporal acotada y a una mayor profundidad, están en sintonía con los trabajos de Lembrechts *et. al.*, (2022) y, Karki y Goodman (2015), donde se comprueba el efecto buffer estabilizador tanto de bosques templados como de los SSP sobre la temperatura del suelo, respectivamente. Finalmente, si bien se trata de un único set de sensores, los mismos están ubicados en una zona lo suficientemente representativa del lote, descartando eventuales interferencias en la tendencia y variabilidad de los datos.

Conclusión

Los resultados del trabajo sugieren que la temperatura del suelo en SSP basados en especies arbóreas de hoja caduca como pecán, tiene una variación espacial que responde a la proximidad a los nogales. En términos



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

generales, durante la estación estivo-otoñal, el suelo cercano al nogal está levemente más frío que los micrositios alejados del nogal, pero esto puede variar según el momento del año. Durante el verano, la TDS de micrositios cercanos al nogal es menor que la TDS de micrositios lejanos al pecán, pero durante el otoño esto comenzaría a invertirse, producto de la ausencia de copa y a diferencias de cobertura vegetal. Son necesarios más estudios para ampliar el alcance de estos resultados preliminares.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo financiero del proyecto SENSE, en el marco del Joint Call del Cofund ERA-Nets SusCrop (Grant N° 771134), FACCE ERA-GAS (Grant N° 696356), ICT-AGRI-FOOD (Grant N° 862665) y SusAn (Grant N° 696231).

Bibliografía

- Cambareri, G., Frusso, E. A., Herrera-Aguirre, E., Zoppolo, R., Leite, F. F. G. D., Beltrán, M., ... & Mendoza, C. (2023). Contribution of pecan (*Carya illinoensis* [Wangenh. | K. Koch] to Sustainable Development Goal 2 under the dual perspective of carbon storage and human nutrition. *Frontiers in Soil Science*, 3, 1092003.
- Clason, T. R., & Sharrow, S. H. (2000). Silvopastoral practices. *North American agroforestry: An integrated science and practice*, 119-147.
- De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B. R., Zellweger, F., Aalto, J., ... & Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279-2297.
- Feng, Y., Zhang, J., Berdugo, M., Guirado, E., Guerra, C. A., Egidi, E., ... & Delgado-Baquerizo, M. (2022). Temperature thresholds drive the global distribution of soil fungal decomposers. *Global Change Biology*, 28(8), 2779-2789.
- Gandara, L., Faverin, C., Cambareri, G., Tieri, M., Cosentino, V., Recavarren, P., Beltran, M., Yogi, D., Perrens, G., Colcombet, L., Peri, P. (2021). ¿Podrán los sistemas silvopastoriles mejorar los balances de carbono en Argentina? *Actas XI Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles y I Congreso de la Red Global de Sistemas Silvopastoriles, México del 3 a 5 de noviembre de 2021*, p. 505-521.
- Karki U, Goodman MS (2015) Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. *Agrofor Syst* 89:319–325
- Lembrechts, J. J., van den Hoogen, J., Aalto, J., Ashcroft, M. B., De Frenne, P., Kemppinen, J., ... & Hik, D. S. (2022). Global maps of soil temperature. *Global Change Biology*, 28(9), 3110-3144.
- Lemes, A. P., Garcia, A. R., Pezzopane, J. R. M., Brandão, F. Z., Watanabe, Y. F., Cooke, R. F., ... & Gimenes, L. U. (2021). Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in meat production systems. *Scientific Reports*, 11(1), 14092.
- Peri, P. L., Banegas, N., Gasparri, I., Carranza, C. H., Rossner, B., Pastur, G. M., ... & Piñeiro, G. (2017). Carbon sequestration in temperate silvopastoral systems, Argentina. *Integrating landscapes: agroforestry for biodiversity conservation and food sovereignty*, 453-478.



INICIO

CRÉDITOS

COMITÉS

CONTENIDO

SESIÓN I

SESIÓN II

SESIÓN III

SESIÓN IV

ANEXOS

Viruel, E., Fontana, C. A., Bassi, D., Puglisi, E., Radrizzani, A., Martinez Calsina, L., ... & Cocconcelli, P. S. (2021). Silvopastoral systems in dry Chaco, Argentina: Impact on soil chemical parameters and bacterial communities. *Soil use and management*, 37(4), 866-878.