CONAMA 2026

Gestión selvícola y retorno de carbono en pinares mediterráneos

Evaluación experimental en diferentes condiciones forestales

Edita: Fundación Conama

Año: 2026

Este documento está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

Personas autoras de la presente comunicación técnica

Autor Principal de la comunicación: Eric Valero Alfara. Técnico Forestal. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Otros Autores: Ana Martínez-Fortún Sánchez-Vizcaino. Jefa Estudios y Proyectos. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Laura Hita Esquer. Técnico Forestal. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Jose Luis Durán. Jefe de Servicios e Innovación. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Víctor Fabregat Tena. Responsable de Innovación. ORTHEM Servicios y Actuaciones Ambientales, S.A.U.

Índice

1. Introducción 4

1.1. LIFE TOKEN CO2 5

2. Objetivos 7

3. Materiales y métodos 8

3.1. Ámbito de estudio y diseño experimental 8

3.2. Tratamientos selvícolas y cuantificación de sus efectos iniciales 8

3.3. Seguimientos de las masas y evaluación de los intercambios de carbono 9

3.4. Evaluación del balance de carbono y determinación del periodo de retorno 10

4. Conclusiones y discusión 12

4.1. Implicaciones para la gestión forestal mediterránea 12

4.2. Conclusiones 13

5. Bibliografía 15

1. Introducción

Los ecosistemas forestales mediterráneos desempeñan un papel clave en la regulación del ciclo del carbono, al actuar como reservorios de carbono en la biomasa vegetal y en los suelos, además de intervenir en los intercambios de dióxido de carbono (CO_2) con la atmósfera. No obstante, **su capacidad de almacenamiento y absorción está condicionada por factores climáticos, edáficos y estructurales** que determinan la productividad de las masas y su respuesta frente a las perturbaciones. En el contexto actual de cambio climático, caracterizado por el incremento de las temperaturas, la irregularidad de las precipitaciones y la intensificación de los periodos de sequía, resulta especialmente necesario comprender cómo las actuaciones de gestión forestal pueden modificar estos procesos y contribuir a mantener la funcionalidad de los ecosistemas (Ruiz-Peinado et al., 2017).

Las masas mediterráneas de pino carrasco (*Pinus halepensis*) presentan un interés especial por su adaptación a condiciones de disponibilidad hídrica limitada y su presencia en territorios sometidos a episodios recurrentes de estrés climático. En rodales con densidades elevadas, la competencia entre individuos puede limitar el crecimiento y aumentar la vulnerabilidad frente a la sequía. Las claras forestales constituyen una herramienta para modificar esta situación mediante la reducción selectiva de la densidad, favoreciendo una mayor disponibilidad de recursos para los árboles remanentes. En este sentido, Manrique-Alba et al. (2020) observaron que los tratamientos de clara aplicados en dos repoblaciones españolas de *Pinus halepensis* mejoraron el crecimiento y redujeron la sensibilidad del arbolado a la sequía, con efectos que persistieron durante periodos prolongados.

Sin embargo, **una respuesta favorable del crecimiento no implica necesariamente un incremento de la capacidad de absorción neta de carbono del conjunto de la masa forestal**. La retirada de arbolado reduce inicialmente las existencias de carbono almacenadas en el rodal, mientras que las operaciones forestales generan emisiones asociadas al funcionamiento de la maquinaria y al transporte. Los posibles beneficios posteriores dependerán de la evolución del crecimiento, de los intercambios de carbono con la atmósfera y del destino de la biomasa extraída. Por tanto, la valoración climática de una intervención no puede limitarse a comprobar si los árboles remanentes crecen más, sino que debe considerar el balance de carbono durante un periodo suficientemente representativo.

La relación entre intensidad de los tratamientos y almacenamiento de carbono ha sido abordada en diferentes investigaciones. Simon y Ameztegui (2023) analizaron mediante modelización diversos regímenes de claras en pinares mediterráneos de montaña de *Pinus sylvestris* y *Pinus nigra*, observando que las intervenciones más intensas y frecuentes podían favorecer determinados servicios ecosistémicos, pero reducir el almacenamiento de carbono respecto a otras alternativas de gestión. Estos resultados reflejan la necesidad de ajustar las actuaciones a los objetivos perseguidos y considerar sus consecuencias a largo plazo.

La variabilidad ambiental constituye otro factor determinante. En Israel, los estudios desarrollados en el bosque semiárido de Yatir, dominado por *Pinus halepensis*, han permitido caracterizar los intercambios de carbono mediante sistemas *Eddy Covariance*. Rotenberg et al. (2021) analizaron los registros correspondientes al periodo 2000-2019 y observaron un comportamiento estacional

contrastado, con absorción neta de carbono durante la estación húmeda y emisiones netas durante los meses más secos. De forma complementaria, Markos et al. (2024) estudiaron masas de *Pinus halepensis* bajo condiciones climáticas diferentes en Grecia e Israel, identificando variaciones en los patrones de intercambio de carbono y agua. Ambos trabajos evidencian que **la capacidad de absorción de una masa forestal está estrechamente relacionada con las condiciones ambientales de cada emplazamiento**, lo que dificulta extrapolar directamente los resultados obtenidos en un único territorio.

Estos antecedentes ponen de manifiesto que **la contribución climática de la gestión forestal no puede determinarse únicamente a partir de la biomasa presente después de una intervención o de las tasas de crecimiento del arbolado remanente**. Es necesario adoptar una perspectiva temporal, considerar el conjunto de los flujos y reservorios de carbono afectados y establecer comparaciones con escenarios de ausencia de intervención.

En este contexto surge una de las principales cuestiones que aborda LIFE TOKEN CO2: determinar en qué condiciones los tratamientos selvícolas pueden generar un beneficio climático neto y cuánto tiempo sería necesario para compensar las pérdidas iniciales de carbono asociadas a su ejecución.

1.1. LIFE TOKEN CO2

El proyecto europeo LIFE TOKEN CO2 tiene como finalidad **contribuir a la mitigación del cambio climático mediante el desarrollo y validación de herramientas para cuantificar la absorción de carbono asociada a diferentes alternativas de gestión forestal**. Para ello, combina información obtenida mediante mediciones experimentales, inventarios forestales y observación de la Tierra, con el objetivo de mejorar la precisión de las estimaciones y facilitar su aplicación a otras masas y territorios (LIFE TOKEN CO2, s. f.).

Uno de los aspectos centrales del proyecto es la relación entre las actuaciones selvícolas y la evolución posterior del balance de carbono. Los inventarios tradicionales permiten estimar las existencias de biomasa en un momento determinado, pero la evaluación climática de los tratamientos requiere incorporar también la evolución temporal de los intercambios de CO_2 y las condiciones ambientales que los determinan. Por este motivo, LIFE TOKEN CO2 plantea un sistema de evaluación que integra diferentes fuentes de información y escalas de observación.

En este contexto, **ORTHEM ha desarrollado tratamientos selvícolas experimentales en seis rodales de *Pinus halepensis***, distribuidos entre Castilla-La Mancha, la Comunitat Valenciana y la Región de Murcia, con una superficie conjunta de 180 hectáreas. Los emplazamientos presentan diferencias de densidad, estructura forestal y condiciones ambientales, lo que permite estudiar la respuesta de las masas a la reducción de competencia en escenarios representativos de distintos contextos forestales mediterráneos.

Las actuaciones se han orientado a modificar la estructura de los rodales mediante claras selectivas, manteniendo el arbolado elegido para favorecer su desarrollo posterior. La intervención se adapta a las características de cada masa y a los requisitos del diseño experimental, de forma que puedan

relacionarse las modificaciones estructurales introducidas con los resultados obtenidos durante el seguimiento.

La aportación de estas actuaciones al proyecto reside en disponer de superficies forestales intervenidas bajo condiciones experimentales conocidas y comparables con escenarios sin gestión. La caracterización de las condiciones iniciales, el registro de los tratamientos realizados y la evaluación posterior permiten establecer una relación entre la intensidad de las intervenciones y la respuesta de los ecosistemas.

De este modo, LIFE TOKEN CO2 aborda el efecto climático de la gestión forestal desde una perspectiva que combina la ejecución de tratamientos reales con su evaluación científica. El interés no se limita a determinar si las claras mejoran el crecimiento del arbolado, sino a establecer si esa respuesta puede compensar el efecto inicial de las intervenciones y traducirse, a largo plazo, en una mejora del balance de carbono respecto a las masas no gestionadas.

2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es **evaluar la influencia de los tratamientos selvícolas sobre el balance de carbono de masas mediterráneas de *Pinus halepensis***, con especial atención a la determinación del periodo necesario para compensar las pérdidas iniciales de carbono asociadas a las intervenciones.

- **Caracterizar las modificaciones estructurales producidas por los tratamientos**, cuantificando la reducción de densidad, las variaciones de biomasa y las condiciones iniciales de los diferentes rodales experimentales.

- **Evaluar la evolución del carbono en las superficies intervenidas y de control**, integrando inventarios forestales, tecnología LiDAR, teledetección y mediciones de intercambio de CO_2, con el fin de relacionar la respuesta de las masas con las características de cada emplazamiento.

- **Establecer un procedimiento para determinar el periodo de retorno del carbono**, considerando las consecuencias iniciales de las intervenciones, las emisiones asociadas a su ejecución y la evolución posterior de los escenarios gestionados y no gestionados.

3. Materiales y métodos

3.1. Ámbito de estudio y diseño experimental

El estudio se desarrolla en **seis rodales de *Pinus halepensis* distribuidos entre Castilla-La Mancha, la Comunitat Valenciana y la Región de Murcia, con una superficie conjunta de 180 hectáreas**. Los emplazamientos presentan **diferentes condiciones estructurales y ambientales**, lo que permite analizar la respuesta a los tratamientos bajo distintos niveles de competencia y disponibilidad de recursos.

El diseño experimental contempla la comparación entre **superficies sometidas a tratamientos selvícolas y superficies de control sin intervención**. Esta diferenciación permite disponer de una referencia para interpretar la evolución posterior de las masas, considerando que tanto las superficies gestionadas como las no gestionadas están sometidas a variaciones climáticas y procesos naturales de crecimiento, mortalidad y regeneración.

La caracterización inicial de los rodales se apoya en variables dendrométricas y estructurales, entre las que destacan la densidad de pies, la distribución diamétrica, el área basimétrica, la altura del arbolado y la estructura de las copas. Estas variables permiten describir las condiciones de partida, identificar las diferencias entre emplazamientos y cuantificar posteriormente los cambios generados por las intervenciones.

La comparación entre tratamientos requiere considerar las características iniciales de cada superficie, evitando atribuir exclusivamente a la gestión aquellas diferencias que puedan estar relacionadas con la calidad de estación, la disponibilidad hídrica o la estructura previa de las masas.

3.2. Tratamientos selvícolas y cuantificación de sus efectos iniciales

Las intervenciones realizadas por **ORTHEM** consisten en claras selectivas orientadas a reducir la competencia entre individuos, favoreciendo el desarrollo de los árboles remanentes. La selección de los pies objeto de corta se adapta a las condiciones de cada rodal, teniendo en cuenta su estructura inicial y los requisitos del diseño experimental.

La aplicación de los tratamientos modifica directamente la densidad, el área basimétrica y las existencias de biomasa del arbolado. Para caracterizar estas modificaciones resulta necesario disponer de información anterior y posterior a las actuaciones, de manera que pueda determinarse

la intensidad real de cada intervención y establecer comparaciones entre los distintos escenarios experimentales.

Desde el punto de vista del carbono, **la biomasa retirada constituye una variable fundamental para evaluar el efecto inicial del tratamiento**. Su cuantificación permite estimar la reducción de las existencias de carbono en la biomasa viva, aunque esta disminución no debe interpretarse automáticamente como una emisión inmediata a la atmósfera. El destino de los materiales extraídos condiciona la permanencia del carbono en otros reservorios y su posible liberación posterior.

Asimismo, la evaluación contempla las emisiones asociadas a la ejecución de los trabajos, principalmente las derivadas del consumo de combustible, el funcionamiento de maquinaria y las operaciones de transporte. Estos componentes permiten incorporar al análisis el coste de carbono directamente relacionado con la actuación forestal.

La información obtenida constituye el punto de partida para evaluar la evolución posterior del balance de carbono, al permitir diferenciar los efectos inmediatos de la intervención de los cambios que puedan producirse durante el seguimiento.

3.3. Seguimientos de las masas y evaluación de los intercambios de carbono

El seguimiento de los rodales combina diferentes tecnologías que proporcionan información complementaria sobre la estructura forestal, la productividad y los intercambios de carbono con la atmósfera.

Los **inventarios forestales** permiten caracterizar la evolución del arbolado mediante variables dendrométricas y estimar las existencias de biomasa a partir de relaciones alométricas adecuadas para la especie y las condiciones de estudio. Su repetición a lo largo del tiempo proporciona información sobre el crecimiento y los cambios en las existencias de carbono.

La **tecnología LiDAR** complementa estas observaciones mediante la caracterización tridimensional de las masas forestales. La información obtenida facilita el análisis de la altura y estructura del dosel, así como de su variación espacial, permitiendo relacionar las características de la vegetación con los datos procedentes de los inventarios terrestres.

Por su parte, las **imágenes de teledetección** permiten analizar la evolución temporal de la cobertura forestal y de indicadores relacionados con la actividad de la vegetación. Su integración con las observaciones de campo contribuye a estudiar la variabilidad espacial de la respuesta y constituye una base para desarrollar modelos que puedan aplicarse a superficies más amplias.

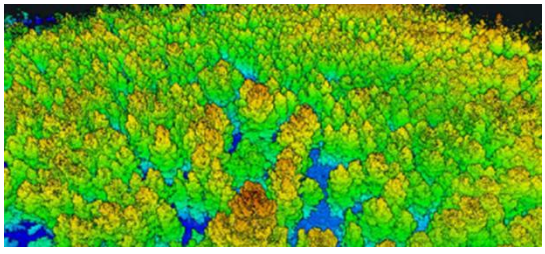


Ilustración 1. Tecnología LiDAR en la parcela de La Hunde (Ayora)

La medición de los intercambios de carbono se aborda mediante sistemas ***Eddy Covariance***, basados en el análisis de las fluctuaciones turbulentas del aire y de la concentración de CO_2 para cuantificar el intercambio neto entre el ecosistema y la atmósfera. Esta técnica proporciona información continua sobre los flujos de carbono y su relación con las condiciones meteorológicas, aunque su interpretación requiere procedimientos específicos de procesamiento y control de calidad (Baldocchi, 2003).

Uno de los aspectos metodológicos relevantes es la representatividad espacial de estas mediciones. Los flujos registrados por una estación proceden de una superficie de influencia variable, denominada *footprint*, que depende de las condiciones atmosféricas y de las características del emplazamiento. Por ello, la relación entre los registros de *Eddy Covariance* y las superficies experimentales debe considerar qué áreas contribuyen efectivamente a las mediciones en cada periodo (Kljun et al., 2015).

La combinación de inventarios, LiDAR, teledetección y mediciones de intercambio de carbono permite relacionar los cambios estructurales con la respuesta funcional del ecosistema. Sin embargo, **las variaciones de biomasa y los flujos netos de CO_2 representan componentes distintos del balance de carbono**, por lo que deben interpretarse conjuntamente y evitando contabilizaciones duplicadas.

3.4. Evaluación del balance de carbono y determinación del periodo de retorno

La evaluación del retorno de carbono se plantea a partir de la comparación temporal entre los escenarios intervenidos y los correspondientes escenarios de referencia sin gestión. Su finalidad es establecer cuándo la evolución del sistema gestionado consigue compensar el efecto inicial de la actuación y si llega a presentar un balance de carbono más favorable que el escenario no intervenido.

Para ello, **el análisis debe integrar tres componentes**: las existencias de carbono y sus modificaciones como consecuencia del tratamiento, las emisiones asociadas a la ejecución y el destino de la biomasa extraída, y la evolución posterior de las masas forestales.

La cuantificación inicial permite establecer las diferencias generadas por las claras. Posteriormente, los registros de crecimiento y de intercambio de carbono permiten evaluar cómo evolucionan las superficies intervenidas en comparación con los controles. Esta comparación resulta esencial, puesto que **la acumulación de carbono posterior a una intervención no representa necesariamente una mejora atribuible a la gestión si las superficies no intervenidas también continúan acumulándolo**.

En este sentido, es necesario distinguir dos conceptos. El primero es el **periodo de recuperación del carbono retirado**, entendido como el tiempo necesario para recuperar unas existencias de

carbono equivalentes a las inicialmente reducidas por el tratamiento. El segundo es el **periodo de retorno respecto al escenario sin intervención**, que exige compensar la diferencia acumulada entre la alternativa gestionada y la no gestionada, incorporando los componentes del balance definidos para el estudio.

Este segundo indicador constituye el principal objeto de evaluación de la comunicación, ya que permite determinar si la intervención genera un beneficio climático adicional respecto a la evolución que habría experimentado la masa en ausencia de tratamiento.

Su cálculo requiere considerar las condiciones iniciales de los rodales y establecer una comparación coherente de sus cambios a lo largo del tiempo. Asimismo, deben evitarse dobles contabilizaciones entre la reducción de carbono en biomasa, su transferencia a otros reservorios y las emisiones asociadas a su posterior transformación o descomposición.

La determinación del periodo de retorno dependerá de la duración y representatividad de las series de seguimiento. Cuando los registros experimentales no permitan observar directamente la compensación del efecto inicial, podrán utilizarse proyecciones sustentadas en los datos disponibles, diferenciando expresamente los resultados medidos de las estimaciones modelizadas.

Finalmente, el análisis comparativo entre emplazamientos permitirá estudiar la relación entre la intensidad de las intervenciones, las condiciones forestales iniciales y la evolución del balance de carbono. Su finalidad será identificar si existen respuestas comunes entre los rodales o si los periodos de retorno dependen principalmente de las características particulares de cada masa.

4. Conclusiones y discusión

4.1. Implicaciones para la gestión forestal mediterránea

La incorporación del retorno de carbono como indicador de evaluación permite ampliar los criterios utilizados tradicionalmente para valorar los tratamientos selvícolas. Las claras se aplican habitualmente con objetivos relacionados con la reducción de competencia, la mejora del crecimiento o la adaptación a condiciones ambientales desfavorables. Sin embargo, **cuando se pretende justificar su contribución a la mitigación del cambio climático, estos beneficios deben analizarse conjuntamente con sus consecuencias sobre el balance de carbono**.

Esta distinción resulta especialmente importante en los pinares mediterráneos, donde el incremento del crecimiento individual después de una clara puede coexistir con una reducción del carbono total almacenado en el rodal. La respuesta final dependerá de la intensidad del tratamiento, de las características de la masa y de las condiciones ambientales posteriores. Por tanto, no existe una relación necesariamente directa entre la mejora selvícola y la obtención de un beneficio climático neto.

La importancia de considerar distintas escalas temporales queda reflejada en investigaciones desarrolladas fuera del ámbito mediterráneo. Aslan et al. (2024) observaron que un tratamiento de clara convirtió temporalmente una masa forestal boreal en una fuente neta de carbono, poniendo de manifiesto que la respuesta inmediata a una intervención puede diferir de su evolución posterior. Aunque las características de estos bosques no son directamente comparables con las de los pinares mediterráneos, el estudio constituye un antecedente relevante sobre la necesidad de evaluar los intercambios de carbono después de los tratamientos.

Por otra parte, Chiavetta y Cantiani (2025) analizaron diferentes intensidades de clara en masas forestales mixtas de los Apeninos italianos, incorporando proyecciones de crecimiento para estimar los periodos de recuperación. Los autores obtuvieron un periodo estimado de nueve años para recuperar el volumen extraído, mientras que los periodos necesarios para superar las existencias correspondientes al escenario sin intervención fueron de 17 y 24 años, según el tratamiento. Estos resultados ilustran **la diferencia entre recuperar la biomasa retirada y alcanzar una situación más favorable que la ausencia de gestión**, así como la influencia de la intensidad selvícola sobre los tiempos de recuperación. Los valores obtenidos corresponden a las condiciones del estudio italiano y no son extrapolables directamente a LIFE TOKEN CO2.

En los rodales del proyecto, la existencia de diferentes condiciones de densidad y estructura forestal permitirá analizar hasta qué punto estas variables influyen en la respuesta posterior a las intervenciones. En principio, las masas con mayor competencia podrían presentar un mayor potencial de respuesta del arbolado remanente, pero esta mejora deberá evaluarse conjuntamente con la biomasa retirada y la evolución de las superficies de control. Por otra parte, la disponibilidad

hídrica y las condiciones climáticas pueden modificar de forma importante los patrones de crecimiento y de intercambio de carbono.

La interpretación de los resultados presenta, no obstante, determinadas limitaciones. El número de rodales, las diferencias ambientales entre emplazamientos, la representatividad espacial de las mediciones y la duración del seguimiento condicionan el alcance de las comparaciones. Además, el periodo necesario para recuperar las pérdidas iniciales puede superar la duración de la observación experimental, lo que obligaría a recurrir a proyecciones con incertidumbres asociadas.

Por ello, **los resultados deberán diferenciar claramente los cambios estructurales ya cuantificados, las variaciones de carbono efectivamente observadas y las estimaciones de evolución futura**. Esta separación es esencial para evitar que una mejora del crecimiento o una previsión favorable se interpreten como una compensación climática ya demostrada.

Desde el punto de vista de la aplicación práctica, el principal interés del estudio consiste en relacionar las decisiones selvícolas con indicadores que permitan valorar sus consecuencias climáticas. La información obtenida podría contribuir a definir criterios para ajustar la intensidad de las claras a las condiciones iniciales de las masas, considerando tanto sus necesidades de mejora estructural como su capacidad potencial de recuperación del carbono.

Asimismo, la integración de mediciones experimentales y herramientas de observación territorial ofrece una base para avanzar hacia sistemas de evaluación aplicables a otros escenarios forestales. Esta posibilidad requerirá validar los modelos utilizados y comprobar su comportamiento en condiciones diferentes a las contempladas inicialmente en el proyecto.

En consecuencia, la aportación de LIFE TOKEN CO2 no reside únicamente en estudiar la evolución del carbono después de una clara, sino en **establecer una relación cuantificable entre las características de la masa, la intervención aplicada y sus consecuencias climáticas a lo largo del tiempo**. Esta aproximación puede contribuir a que los objetivos de mitigación se incorporen a la planificación forestal mediante criterios contrastables, complementando los objetivos tradicionales de conservación, productividad y adaptación.

4.2. Conclusiones

La evaluación del retorno de carbono constituye un elemento clave para comprender la contribución potencial de los tratamientos selvícolas a la mitigación del cambio climático en los ecosistemas forestales mediterráneos.

La aplicación de claras selectivas modifica de forma inmediata la estructura forestal y las existencias de carbono almacenadas en la biomasa, mientras que sus **posibles efectos sobre la productividad y la absorción neta de CO_2 se manifiestan a lo largo del tiempo.** En consecuencia, la valoración climática de estas actuaciones requiere considerar tanto sus consecuencias iniciales como la evolución posterior de las masas.

El proyecto LIFE TOKEN CO2 proporciona un marco experimental para abordar esta cuestión mediante la aplicación de tratamientos selvícolas en seis rodales de *Pinus halepensis*, distribuidos en diferentes condiciones forestales del ámbito mediterráneo y con una superficie conjunta de 180 hectáreas.

La comparación entre superficies intervenidas y controles, junto con la integración de inventarios forestales, tecnología LiDAR, teledetección y mediciones *Eddy Covariance*, permitirá avanzar en la evaluación de la respuesta de los ecosistemas y en la estimación del periodo necesario para compensar las pérdidas iniciales de carbono.

No obstante, la ejecución de los tratamientos no permite concluir por sí sola que se haya producido un incremento neto de la absorción de CO_2. **La determinación de este posible beneficio requiere disponer de resultados de seguimiento suficientemente representativos y establecer comparaciones rigurosas con las superficies no intervenidas.**

La principal contribución esperada del trabajo es identificar las condiciones estructurales y ambientales que influyen en la respuesta de los pinares mediterráneos a la gestión selvícola, aportando criterios para adaptar las intervenciones a las características de cada masa.

De este modo, **LIFE TOKEN CO2** contribuye a avanzar hacia una **gestión forestal basada en evidencias**, en la que los objetivos tradicionales de mejora selvícola puedan complementarse con una evaluación cuantitativa de sus efectos sobre el balance de carbono y su contribución potencial a la mitigación del cambio climático.

5. Bibliografía

[1] Aslan, T., Launiainen, S., Kolari, P., Peltola, O., Aalto, J., Bäck, J., Vesala, T., & Mammarella, I. (2024). Thinning turned boreal forest to a temporary carbon source – Short term effects of partial harvest on carbon dioxide and water vapor fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology, 353*, Article 110061. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110061

[2] Baldocchi, D. D. (2003). Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present and future. *Global Change Biology, 9*(4), 479–492. https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00629.x

[3] Chiavetta, U., & Cantiani, P. (2025). How different thinning can improve carbon sequestration, carbon stock and mechanical stability in peri-urban mixed forest stands: A study case in Mediterranean environment. *Journal of Forestry Research, 36*, Article 111. https://doi.org/10.1007/s11676-025-01905-z

[4] Kljun, N., Calanca, P., Rotach, M. W., & Schmid, H. P. (2015). A simple two-dimensional parameterisation for Flux Footprint Prediction (FFP). *Geoscientific Model Development, 8*, 3695–3713. https://doi.org/10.5194/gmd-8-3695-2015

[5] LIFE TOKEN CO2. (s. f.). *LIFE TOKEN CO2*. https://lifetoken-co2.eu/

[6] Manrique-Alba, À., Beguería, S., Molina, A. J., González-Sanchis, M., Tomàs-Burguera, M., del Campo, A. D., Colangelo, M., & Camarero, J. J. (2020). Long-term thinning effects on tree growth, drought response and water use efficiency at two Aleppo pine plantations in Spain. *Science of the Total Environment, 728*, Article 138536. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138536

[7] Markos, N., Preisler, Y., Radoglou, K., Rotenberg, E., & Yakir, D. (2024). Physiological and phenological adjustments in water and carbon fluxes of Aleppo pine forests under contrasting climates in the Eastern Mediterranean. *Tree Physiology, 44*(1), tpad125. https://doi.org/10.1093/treephys/tpad125

[8] Rotenberg, E., Qubaja, R., Preisler, Y., Yakir, D., & Tatarinov, F. (2021). Carbon and energy balance of dry Mediterranean pine forests: A case study. En G. Ne'eman & Y. Osem (Eds.), *Pines and their mixed forest ecosystems in the Mediterranean basin* (pp. 279–301). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63625-8_14

[9] Ruiz-Peinado, R., Bravo-Oviedo, A., López-Senespleda, E., Bravo, F., & del Río, M. (2017). Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest Systems, 26*(2), eR04S. https://doi.org/10.5424/fs/2017262-11205

[10] Simon, D.-C., & Ameztegui, A. (2023). Modelling the influence of thinning intensity and frequency on the future provision of ecosystem services in Mediterranean mountain pine forests. *European Journal of Forest Research, 142*, 521–535. https://doi.org/10.1007/s10342-023-01539-y

CONAMA 2026