



AGROALNEXT ARAGÓN

Informes técnicos sobre la caracterización de los parámetros productivos de cultivos de plantas aromáticas bajo cultivo mixto con almendros/olivos.

Promovido y financiado por
Iniciativa impulsada por:



Creado dentro del Plan Complementario de Agroalimentación AGROALNEXT en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

URL: <https://hdl.handle.net/10532/7988>

Año 2025

Autores: J. Navarro, I. Martín, I. Pérez, L. Benito, D. Gimeno; MJ Rubio, JM Miras.

Departamento de Ciencia Vegetal (CV).

Promovido y financiado por

Iniciativa impulsada por:



Creado dentro del Plan Complementario de Agroalimentación AGROALNEXT en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU



Contenido

Introducción4

Objetivos.....6

Metodología.....7

Resultados.....11

Conclusiones.....¡Error! Marcador no definido.9

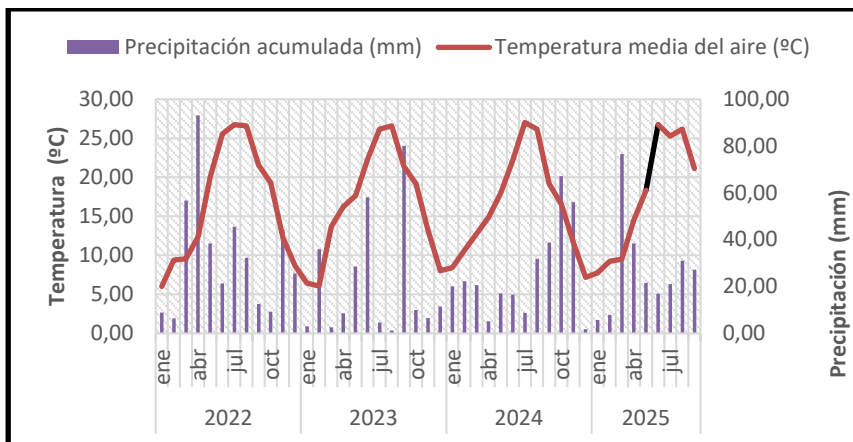
Introducción

La intersembra de plantas aromáticas con almendros en zonas mediterráneas se reconoce como una práctica agronómica eficaz para mejorar la calidad del suelo y optimizar la productividad del sistema. Diversos estudios han demostrado que la introducción de especies aromáticas perennes contribuye a mitigar procesos de degradación edáfica y a reforzar la sostenibilidad de los agroecosistemas mediterráneos (Zuazo et al., 2008; Almagro et al., 2023). En particular, la intersembra puede reducir la erosión del suelo hasta en un 95%, mejorar el ciclado del nitrógeno y aumentar el contenido de materia orgánica (Chen et al., 2014; Zhang et al., 2021).

Entre los beneficios más relevantes destacan:

- Reducciones del 77–95% en las pérdidas de suelo;
- Incremento significativo del nitrógeno orgánico y de la disponibilidad de nutrientes;
- Mayor diversidad y actividad microbiana;
- Mejora de la estructura edáfica y estabilización de agregados.

La temperatura media anual es de 15 °C en la estación de Calanda, la más cercana (SIAR). En cuanto a la precipitación, 375,4 mm. De acuerdo con los índices bioclimáticos, la localidad presenta un clima subcontinental, árido o semiárido (dependiendo del índice bioclimático considerado). La amplitud térmica anual de estos observatorios se sitúa alrededor de los 19 °C. En cuanto al déficit hídrico ambiental (suma de las diferencias entre evapotranspiraciones potenciales y precipitaciones mensuales), la localidad presenta un valor elevado, de 966,56 mm, respectivamente. Se trata de déficits hídricos muy importantes y que muestran condiciones recurrentes de sequía. La precipitación acumulada (mm) y la temperatura media del aire (°C) entre los años de 2022 y 2025 están representadas en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Precipitación acumulada (mm) y la temperatura media del aire ($T^{\circ}\text{C}$) entre los años de 2022 y 2025 en la estación de Calanda (SIAR).

Estudios recientes confirman que la diversificación de cultivos mediante la intersembra no compromete de manera significativa la productividad del almendro; por el contrario, en algunos casos mejora la productividad total del sistema gracias a un uso más eficiente del suelo y del agua (Almagro et al., 2023).

Además de estos efectos, la incorporación de especies aromáticas mediterráneas como *Artemisia absinthium*, *Santolina chamaecyparissus* y *Thymus vulgaris* ofrece beneficios adicionales. Estas especies presentan sistemas radicales profundos y altamente ramificados que favorecen la porosidad, la aireación y la infiltración del agua, reduciendo la escorrentía superficial (Lloret-Pérez, 2015). Su presencia también regula el microclima edáfico al actuar como cubierta vegetal viva, disminuyendo la temperatura del suelo y limitando las pérdidas de humedad por evaporación, un aspecto crítico en entornos mediterráneos caracterizados por estrés hídrico estival (Zuazo, et al., 2008).

Desde el punto de vista biológico, estas plantas aromáticas estimulan la actividad microbiana y aumentan la biomasa del suelo, así como la actividad enzimática (por ejemplo, fosfatasa y ureasa), indicadores directos

de un suelo funcionalmente sano. En paralelo, su capacidad para producir metabolitos secundarios (terpenos, compuestos fenólicos) contribuye a la supresión natural de malezas mediante efectos alelopáticos y favorece la presencia de polinizadores y enemigos naturales de plagas, reforzando la estabilidad ecológica del sistema agrícola (Chen, et al., 2013).

Asimismo, la inclusión de plantas aromáticas puede aportar beneficios económicos adicionales al permitir la obtención de productos de alto valor añadido, como aceites esenciales y extractos bioactivos utilizados en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria. Esta diversificación productiva puede aumentar la rentabilidad global del cultivo del almendro, especialmente en zonas donde las limitaciones edafoclimáticas reducen la productividad agrícola.

No obstante, la implementación exitosa de estos sistemas diversificados requiere una selección cuidadosa de las especies aromáticas y un análisis detallado de la competencia hídrica, especialmente durante las primeras fases de establecimiento del cultivo leñoso. La densidad de siembra, el manejo del riego y las características del suelo son factores fundamentales para maximizar los beneficios agronómicos y evitar posibles interacciones negativas entre especies.

Objetivos

Evaluar los efectos de la intersiembra de plantas aromáticas (PAM) perennes entre almendros y/o olivos en ecosistemas mediterráneos, sobre la salud del suelo y la rentabilidad del sistema agrícola, cuantificando la producción obtenida por los cultivos de PAM y caracterizando la calidad de los aceites esenciales.



Metodología

Plantación especies aromáticas:

Semillas de *Santolina chamaecyparissus* L. (Santolina), *Thymus vulgaris* (Tomillo) y *Artemisia absinthium* var. Candial (Ajenjo), procedentes del banco de germoplasma del CITA, se sembraron con el objetivo de obtener un número suficiente de plántulas hasta alcanzar aproximadamente 250 individuos por especie.

Las plantas se establecieron en una finca de almendros y olivos situada en Valdealgorfa, España (41°02'14.1"N, 0°00'49.8"E), donde se cultivaron desde marzo de 2023 hasta octubre de 2024. El número final de plantas establecido en campo varió en función del éxito de la germinación y del crecimiento en bandejas durante la fase de vivero.

La disposición espacial de las plantas aromáticas se muestra en la Figura 1. Se implantó una única fila de plantas aromáticas en el centro de la calle entre almendros y olivos, con una anchura total de 5 m. La superficie cultivada correspondiente a cada especie ha sido limitada por la disposición de los árboles y se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1. Superficie cultivada por especie (*Artemisia absinthium*, *Santolina chamaecyparissus*, *Thymus vulgaris*).

Especie	Suma de Superficie (ha)
Ajenjo	0,0285
Santolina	0,025
Tomillo	0,0575
Total general	0,15275

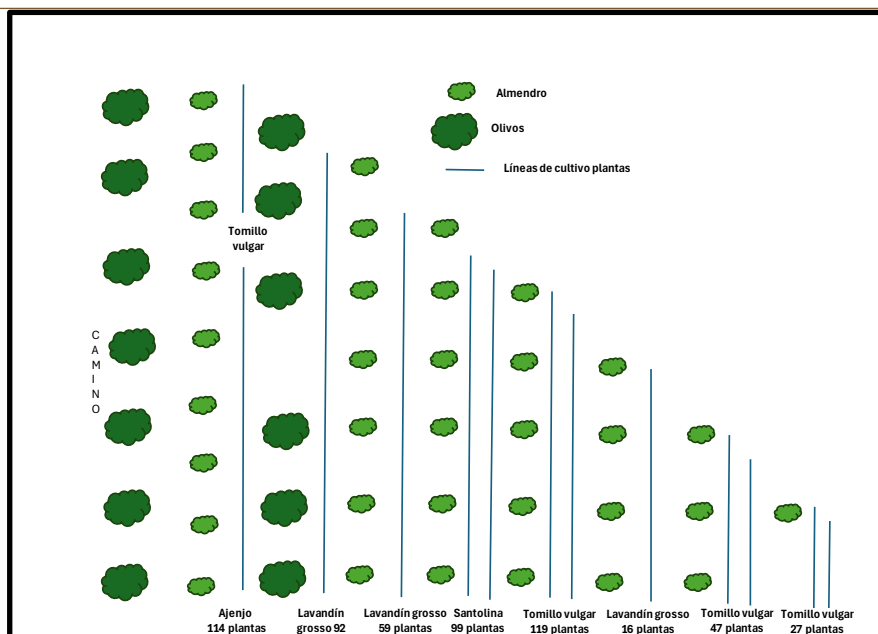


Figura. 1. Disposición espacial de las plantas aromáticas en la parcela de almendros/olivos.

Caracterización de suelo:

En marzo de 2022 se recogieron muestras de suelo para la caracterización inicial, antes del cultivo con aromáticas. El muestreo se efectuó con una barrena Eijkelkamp de 3,5 cm de diámetro, tomando muestras compuestas en 3-4 puntos georreferenciados por parcela y a tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-40 cm) (Figura 2 e Imagen 1).

Cada muestra compuesta se elaboró a partir de cinco “pinchazos”: un punto central y cuatro adicionales situados a unos 7 m en las cuatro direcciones. Las muestras se secaron al aire, se molieron y la fracción <2 mm se almacenó en tarrinas para análisis posteriores.

Los parámetros caracterizados y los métodos utilizados están relacionados en la Figura 3.



Figura 2. Puntos georreferenciados para muestreo de suelo en dos profundidades a tres profundidades (0–10, 10–20 y 20–40 cm), en los años de 2022 y 2025.

Determinación	Método
Densidad aparente	Cilindro de volume conocido
Propiedades hidráulicas	Estimación (ecuaciones pedotransferencia)
Fracciones texturales	Aerometría
pH	Electrometría
Conductividad eléctrica	Conductivimetría
Nitrógeno total	Dumas
Materia orgánica	Calcinación
Carbono orgánico y relación C/N	Cálculo aritmético
Fósforo disponible	Espectrofotometría UV-VIS
Potasio, magnesio, calcio y sodio disponibles	Espectrometría de Absorción Atómica
Potasio, magnesio y calcio de cambio	Cálculo aritmético
Sodio de cambio	Espectrometría de Absorción Atómica
Relación K/Mg	Cálculo aritmético
Capacidad de intercambio catiónico	Espectrometría de Absorción Atómica
Carbonatos totales	Calcinómetro
Caliza activa	Valoración redox

Figura 3. Parámetros considerados para la caracterización de suelo y los métodos utilizados para su obtención



Imagen 1. Muestreo de suelo

El mismo muestreo se ha repetido en marzo de 2025, para comparación.

Sobrevivencia, Biomasa y Rendimiento de Aceite Esencial:

Las plantas han sido contadas 5 meses después de la plantación y justo antes de empezar la época de cosecha (marzo de 2024) para cálculo del % de supervivencia de las plantas, considerando la aridez climática.

La biomasa fresca se determinó después del corte de parte aérea de cada especie, durante plena floración. El material vegetal recién recolectado (kg) se pesó inmediatamente después de su obtención para garantizar la



exactitud del dato, con una báscula portátil. Tanto las cosechas como las labores de control de malas hierbas se llevaron a cabo manualmente, seleccionando para cada especie el estado fenológico óptimo de recolección.

Por efecto de la sequía y/o heladas, este año no se ha obtenido cosecha de almendros.

Análisis Fitoquímico

Las partes aéreas secas de las plantas se sometieron a un proceso de hidrodestilación mediante un aparato tipo Clevenger (100 g de muestra en 1000 mL de agua, durante 1 hora). El contenido de aceite esencial (EO) se obtuvo por pesada como masa por 100 g de material vegetal seco, y se estimó el rendimiento en kg/ha. Cada determinación analítica se realizó por triplicado.

Para el análisis cualitativo y cuantitativo de la composición del aceite esencial se empleó cromatografía de gases con detector de ionización de llama (GC-FID), acoplada a espectrometría de masas (MS), expresándose la concentración de cada compuesto detectado como intensidad relativa (%).

Resultados

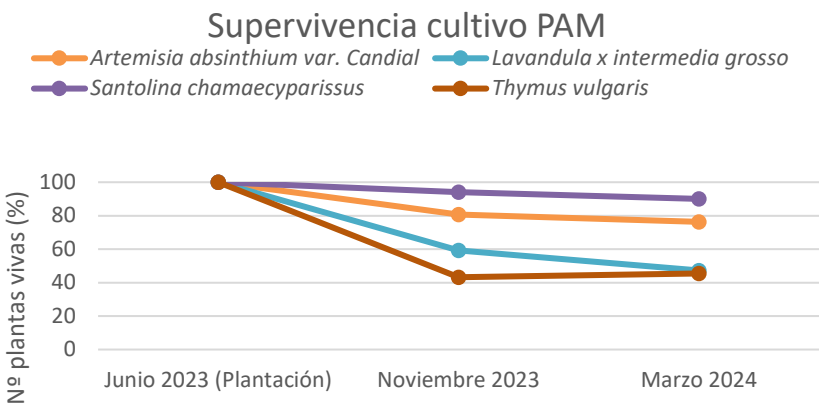
Supervivencia y establecimiento de las especies aromáticas

La supervivencia de las cuatro especies evaluadas mostró diferencias marcadas entre 2023 y 2024. *S. chamaecyparissus* presentó los valores más altos (90,04% en marzo de 2024), lo que confirma su elevada capacidad de adaptación a condiciones mediterráneas áridas. *Artemisia absinthium* alcanzó una supervivencia intermedia (76,32%), coherente con su rusticidad y tolerancia a suelos pobres. En contraste, *Thymus vulgaris* registró la supervivencia más baja del ensayo (45% en marzo de 2024)(Tabla 2 y Gráfica 2).

En conjunto, los resultados indican que Santolina y Artemisia fueron las especies mejor adaptadas al ambiente semiárido del ensayo, mientras que el tomillo presentó mayor sensibilidad al estrés hídrico durante el periodo de establecimiento.

Tabla 2: Supervivencia (%) de las especies evaluadas entre 2023 y 2024.

Supervivencia plantas (%)			
Especie	Junio 2023 (Plantación)	Noviembre 2023	Marzo 2024
<i>Artemisia absinthium</i> var. <i>Candial</i>	100	80,70	76,32
<i>Lavandula x</i> <i>intermedia grosso</i>	100	59,34	47,28
<i>Santolina</i> <i>chamaecyparissus</i>	100	94,04	90,04
<i>Thymus vulgaris</i>	100	43,22	45,44



Gráfica 2. Representación gráfica de la supervivencia (%) de las especies evaluadas entre 2023 y 2024.

Producción de biomasa y rendimiento de aceites esenciales

La producción de biomasa fresca durante 2024 también mostró diferencias significativas entre especies. *Thymus vulgaris* registró la mayor producción (81,60 kg/ha), seguida de *Artemisia absinthium* (81,36 kg/ha), mientras que *Santolina chamaecyparissus* presentó la biomasa más baja



(22,75 kg/ha) (Tabla 3). Los rendimientos de aceite esencial fueron coherentes con la producción de biomasa: tomillo obtuvo el mayor rendimiento (1,58 kg/ha), frente a valores mucho menores en ajeno (0,24 kg/ha) y Santolina (0,44 kg/ha) (Tabla 3).

Estos resultados sugieren que, pese a su menor supervivencia, el tomillo es la especie con mayor potencial productivo y económico, mientras que Santolina destaca por su estabilidad y menor requerimiento hídrico, aunque con rendimientos más modestos.

Tabla 3. Producción de biomasa fresca (Kg/ha) y de aceite esencial (Kg/ha) durante la campaña de 2024 para 3 especies estudiadas.

Cosecha 2024		
Especie	Producción biomasa fresca (kg/ha)	Producción aceite esencial (kg/ha)
<i>Santolina chamaecyparissus</i>	22,75	0,44
<i>Thymus vulgaris</i>	81,60	1,58
<i>Artemisia absinthium</i> var. <i>candial</i>	81,36	0,24

Evolución de las propiedades fisicoquímicas del suelo (2022–2025)

- pH, conductividad eléctrica y carbonatos

El pH del suelo se mantuvo estable entre 2022 y 2025 (8,58–8,76), reflejando la naturaleza fuertemente alcalina del suelo de la zona. La conductividad eléctrica se mantuvo baja (0,12–0,13 dS/m), lo que indica ausencia de procesos de salinización. Los contenidos de carbonatos totales y caliza activa mostraron ligeras reducciones, lo que podría asociarse a una mayor actividad biológica derivada de la implantación de la cubierta vegetal (Tabla 4).

- **Textura**

La textura del suelo no mostró variaciones relevantes respecto al análisis inicial, manteniéndose como franca–arenosa (tabla 4). Este comportamiento es esperable, dado el corto periodo de evaluación y la alta estabilidad textural típica de suelos carbonatados mediterráneos.

Tabla 4. Evolución comparativa de las propiedades fisicoquímicas del suelo, entre 2022 y 2025, en la parcela de estudio.

Textura								
Año	Profundidad (cm)	pH	C.E. (dS m-1)	Carbonatos (%)	Caliza activa (%)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)
2022	0-10	8,58	0,13	43,21	13,87	56,8	17,1	26,1
	10-20	8,61	0,12	45,91	13,63	54,7	17,8	27,5
	20-40	8,60	0,13	47,13	13,68	52,4	18,6	29,0
2025	0-10	8,68	0,12	43,42	12,78	55,78	16,80	27,43
	10-20	8,70	0,12	45,19	11,87	53,88	16,88	29,25
	20-40	8,76	0,12	41,65	11,55	51,68	18,83	29,50

Capacidad de intercambio catiónico, agua útil y materia orgánica

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)**

El valor de CIC presentó un leve descenso durante el periodo estudiado (18,76 → 13,26 meq/100 g) (Tabla 5). Estos cambios pueden atribuirse a la combinación de estrés hídrico continuado y al bajo contenido de arcillas de tipo expansivo.

- **Agua útil y capacidad de retención**



La capacidad de retención de agua y el agua útil disminuyeron ligeramente entre 2022 y 2025 (Tabla 5). Esta tendencia se corresponde con el régimen de sequías intensas registrado durante los últimos años, lo cual limita la formación de agregados estables y la evolución estructural del suelo.

- **Carbono orgánico y materia orgánica**

A pesar de las condiciones climáticas adversas, se observó un **aumento del carbono orgánico** (0,84% → 0,99%) y de la **materia orgánica** (1,45% → 1,70%) en el horizonte superficial (Tabla 5). Este resultado indica que la implantación de especies aromáticas contribuyó a mejorar la calidad del suelo, favoreciendo el aporte de residuos vegetales y la actividad microbiana.

Tabla 5. Evolución comparativa de la **Capacidad de intercambio catiónico, agua útil y materia orgánica** del suelo, entre 2022 y 2025, en la parcela de estudio.

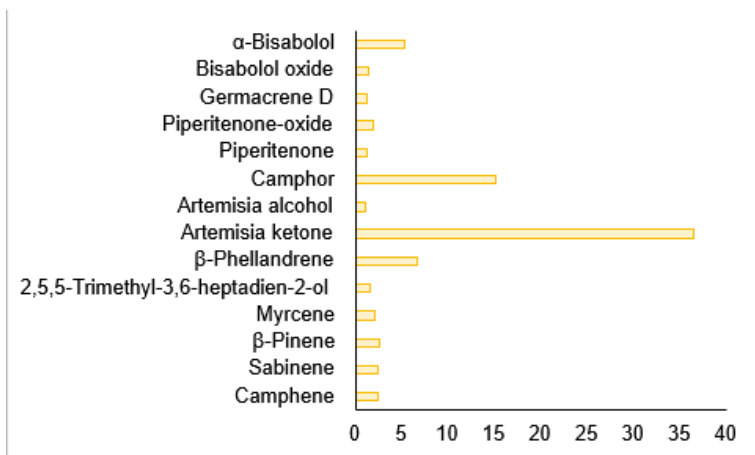
Año	Profundidad (cm)	Punto de marchitez (%)	Agua			Macronutrientes			
			Capacidad de campo (%)	Agua disponible (%)	CIC (meq 100 g ⁻¹)	C orgánico (%)	N total (%)	M.O (%)	C/N
2022	0-10	15,8	24,6	9,0	18,76	0,84	0,08	1,45	10,18
	10-20	16,3	25,4	8,8	16,47	0,77	0,07	1,33	11,95
	20-40	17,8	27,3	9,3	17,33	0,77	0,07	1,32	10,58
2025	0-10	13,59	19,54	6,0	13,26	0,99	0,09	1,70	10,88
	10-20	13,59	18,89	5,3	14,18	0,93	0,08	1,61	11,53
	20-40	12,98	18,59	5,6	14,58	0,85	0,07	1,47	12,38

Análisis fitoquímico de los aceites esenciales

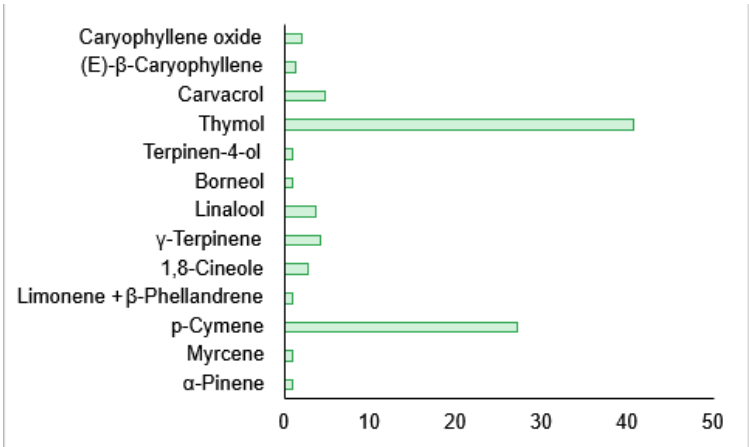
Los aceites esenciales presentaron perfiles fitoquímicos característicos de cada especie:

- *Santolina chamaecyparissus*: presencia mayoritaria de *artemisia ketone* (36,5%) y *camphor* (15,1%), acordes con la literatura (Gráfica 3).
- *Thymus vulgaris*: dominancia de *thymol* (40,6%), acompañado de *p-cymene* y *carvacrol*, típico del quimiotipo *thymol* de ambientes mediterráneos (Gráfica 4).
- *Artemisia absinthium*: alto contenido de *sabinene* (19,7%) y *bicycloheptenol* (11,5%), con ausencia de niveles elevados de *thujone*, aspecto relevante para su uso industrial (Gráfica 5).

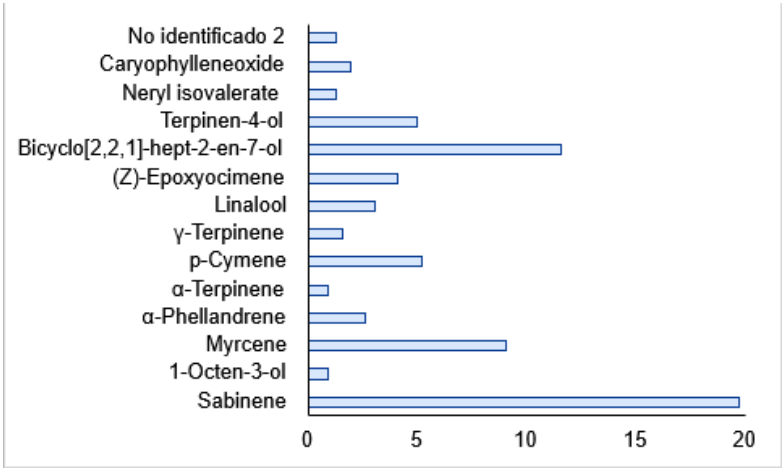
La composición química observada es consistente con perfiles mediterráneos, indicando que el estrés hídrico no alteró de forma negativa la **identidad química de los aceites esenciales**.



Gráfica 3. Compuestos mayoritarios del AE de *S. chamaecyparissus* (%).



Gráfica 4. Compuestos mayoritarios del AE de *T. vulgaris* (%).



Gráfica 5. Compuestos mayoritarios del AE de *A. absinthium* (%).

Conclusiones

Santolina chamaecyparissus y *Artemisia absinthium* demostraron una elevada supervivencia y buena adaptación a condiciones semiáridas, mientras que *Thymus vulgaris* y *Lavandula × intermedia* fueron más sensibles al estrés hídrico.

Thymus vulgaris mostró la mayor producción de biomasa y aceite esencial, lo que lo convierte en la especie más rentable, aunque requiere manejo hídrico más cuidadoso durante el establecimiento.

La implantación de especies aromáticas contribuyó a aumentar la materia orgánica y el carbono orgánico del suelo, incluso bajo condiciones climáticas muy secas, lo que sugiere un efecto positivo sobre la calidad edáfica.

Los aceites esenciales mantuvieron perfiles fitoquímicos estables y característicos, lo que indica que el estrés hídrico moderado no compromete la calidad química del producto final.

La integración de plantas aromáticas en sistemas de almendro constituye una estrategia viable para diversificar la producción, mejorar la funcionalidad ecológica del suelo y aumentar la resiliencia de los agroecosistemas mediterráneos frente a escenarios de cambio climático.

Bibliografía

Almagro, M., Díaz-Pereira, E., Boix-Fayos, C., Zornoza, R., Sánchez-Navarro, V., Re, P., Fernández, C., & Martínez-Mena, M. (2023). *The combination of crop diversification and no tillage enhances key soil quality parameters related to soil functioning without compromising crop yields in a low-input rainfed almond orchard under semiarid Mediterranean conditions*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 350, 108579. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108579>.

Chen, X., Song, B., Yao, Y., Wu, H., Hu, J. H., & Zhao, L. (2014). *Aromatic plants play an important role in promoting soil biological activity related to nitrogen cycling in an orchard ecosystem*. *Science of the Total Environment*, 472, 939–946. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.127>.

Lloret-Pérez, I. (2015). *Evolución temporal y espacial de las propiedades de los suelos bajo la influencia de especies vegetales en antiguos sistemas agrarios abandonados en la provincia de Alicante* [Tesis doctoral]. Universidad de Alicante.

Zhang, Y., Han, M., Song, M., Tian, J., Song, B., Hu, Y., Zhang, J., & Yao, Y. (2021). *Intercropping with aromatic plants increased the soil organic matter content and changed the microbial community in a pear orchard*. *Frontiers in Microbiology*, 12, 616932. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.616932>.

Zuazo, V. H. D., & Pleguezuelo, C. R. R. (2009). *Soil-erosion and runoff prevention by plant covers: A review*. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), 65–86. <https://doi.org/10.1051/agro:2007062>.



Creado dentro del Plan Complementario de Agroalimentación AGROALNEXT en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

