

Efectos del cambio climático en la estructura molecular de la materia orgánica del suelo de una dehesa

Effects of climate change in soil organic matter molecular structure in a Mediterranean savanna

Layla M. San Emeterio^{1,2}, Ignacio Pérez-Ramos¹, M. Teresa Domínguez², José M. de la Rosa¹ & José A. González-Pérez^{1,*}

¹ Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), Grupo MOSS. Avda. Reina Mercedes 10, 41012 Sevilla (España)

² Universidad de Sevilla, Facultad de Químicas, Grupo MED Soil. C/Prof Garcia Gonzalez 1, 41012, Sevilla (España)

(*E-mail: jag@irnase.csic.es)

<https://doi.org/10.19084/rca.28747>

RESUMEN

Las sabanas mediterráneas (dehesas) son sistemas agrosilvopastoriles típicos, caracterizados por la presencia dispersa de robles (*Quercus* spp.) y especies arbustivas. Estos ecosistemas están sometidos a una marcada estacionalidad, propia del clima mediterráneo, lo que se refleja en la dinámica microbiana del suelo. La interacción de los factores que más afectan la dinámica microbiana (clima, vegetación y suelo), es clave para comprender los ciclos biogeoquímicos que, a su vez se espera que se reflejen en la estructura de la materia orgánica (MOS). Para evaluar el efecto del cambio climático, utilizamos pirólisis analítica (Py-GC/MS) para la caracterización molecular de la MOS en un experimento de imitación en campo (2017-2021). Entre los 117 compuestos biogénicos encontrados, las distribuciones y contenidos de ácidos grasos y *n*-alcanos fueron más sensibles a los tratamientos climáticos. Además, se observa una degradación preferencial de compuestos derivados de holocelulosa y acumulación de compuestos derivados de la lignina, que se encuentra poco evolucionada, lo que apunta a condiciones desfavorables para la su degradación. Los resultados sugieren que la composición molecular de la MOS y la aplicación de Py-GC/MS aporta información sobre los cambios ambientales del suelo y que tienen valor como biomarcadores para el seguimiento del cambio climático en suelos mediterráneos.

Palabras clave: pirólisis analítica, materia orgánica del suelo, cambio climático, ecosistema mediterráneo.

ABSTRACT

Mediterranean savannahs (dehesas) are typical agro-sylvo-pastoral systems, characterized by the scattered presence of oak trees (*Quercus* spp) and shrubby species, along with the integration of other practices. These ecosystems are subjected to a marked seasonality characteristic of the Mediterranean climate, and expected to be reflected in soil microbial dynamics. The interplay of driving factors on the microbial dynamics (climate, vegetation and soil) is key to understanding biogeochemical cycles in Mediterranean forests that, in turn are expected to be reflected in soil organic matter (SOM) structure. In this communication analytical pyrolysis (Py-GC/MS) was used for the molecular characterization of SOM in a field manipulative experiment aimed to evaluate the impact of forecasted warming and drying in a five-year experiment (2017-2021). Among all the biogenic compounds that were found (a total of 117), fatty acids and aliphatic compounds (*n*-alkanes) were found most responsive to climatic treatments. Also, a preferential degradation of holocellulose derived compounds and accumulation and preservation of lignin derived compounds, pointing to non-favourable lignin decomposition conditions. The results suggest that SOM molecular composition, hence the application of Py-GC/MS encompasses information on soil environmental shifts having biomarker value for monitoring climate change in Mediterranean soils.

Keywords: analytical pyrolysis, soil organic matter, climate change, Mediterranean ecosystem.

INTRODUCTION

La materia orgánica del suelo (MOS) juega un papel esencial en la dinámica de los ecosistemas e influye decisivamente en sus propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Feng & Simpson, 2011), incluida su estructura, productividad y erodibilidad, entre otras (Cotrufo & Lavelle, 2022). Estas propiedades tienen un impacto en la vegetación, la fauna y en servicios ecosistémicos como el secuestro de carbono (Lal, 2007). Teniendo en cuenta que los suelos representan el segundo mayor sumidero de carbono terrestre, su potencial de secuestro es una de las piedras angulares de las futuras políticas ambientales para combatir el cambio climático. Por lo tanto, es crucial mejorar nuestros conocimientos sobre cómo el cambio climático puede modificar la evolución y las tasas de renovación de carbono en los suelos. Esto es especialmente relevante en las áreas mediterráneas, que por ser un ecotono entre los climas templado y tropical, se espera que los efectos producidos por el cambio climático global se acusen muy rápidamente (Thuiller *et al.*, 2006).

La eficiencia en el almacenamiento de C en los suelos depende fundamentalmente de los mecanismos y procesos involucrados en la formación de la MOS. La MOS es un material muy heterogéneo cuyo origen está principalmente en la transformación microbiana de biomacromoléculas vegetales (biopolímeros) como polisacáridos (holocelulosas), polifenoles (lignina), polipéptidos (proteínas), políesteres (ceras), etc. (Jiménez-González *et al.*, 2017). La pirólisis analítica acoplada a cromatografía gaseosa y espectrometría de masas (Py-GC/MS), es una herramienta muy adecuada para el estudio de materiales complejos y poco solubles como es la MOS. La Py-GC/MS permite la separación, identificación y cuantificación relativa de los constituyentes individuales de la MOS, proporcionando además una información estructural molecular detallada (San-Emeterio *et al.*, 2021).

En este estudio, utilizamos pirólisis analítica (Py-GC/MS) para investigar cambios en la composición de la MOS en un ecosistema de sabana mediterránea (dehesa) sometido a tratamientos que simulan ambientes más cálidos y secos, imitando posibles escenarios climáticos futuros. El experimento abarca cinco años y, específicamente, nuestro

objetivo era obtener información sobre 1) cómo un incremento del calentamiento y la sequía pueden afectar la composición de la MOS 2) los principales factores que afectan a la composición y cambios en la MOS y 3) los biomarcadores que pueden predecir/identificar esos cambios en la MOS.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó Py-GC/MS para la caracterización molecular de la MOS en un experimento de campo que incluyó exclusión de precipitaciones y aumento de la temperatura. La zona de estudio está ubicada en Sierra Morena (Pozoblanco, Córdoba, SO-España). Se tomaron muestras compuestas de suelo (0-10 cm) en cuatro parcelas con distintos tratamientos climáticos: calentamiento (W); sequía (D); una combinación de ambos (W+D) y control no tratado (C). Las parcelas se instalaron en 2016 bajo dos hábitats distintos: bajo la canopia de encina (*Q. ilex*) (árbol) y en la zona de pasto abierto (abierto). Los datos corresponden al muestreo inicial realizado en 2017 (un año después de la instalación de los ensayos) y cinco años después en 2021.

Para comparar los efectos de los tratamientos en la estructura de la MOS, se llevó a cabo un Análisis de Componentes Principales (PCA) utilizando diferentes conjuntos de variables: i) abundancia relativa de cada familia de compuestos, ii) propiedades del suelo: pH, humedad, contenido de C y N (%), y composición de isótopos estables de C, N ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). Para la representación gráfica de los datos se utilizaron los programas RStudio (versión 1.4.1717) y “FactoMineR” y “Factoextra”.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se identificaron un total de 117 compuestos de pirólisis y se detectaron diferencias significativas de composición entre hábitats ‘árbol’ y ‘abierto’ -tanto en 2017 como en 2021- para las principales clases de compuestos: nitrogenados (N), aromáticos (ARO), metoxifenoles procedentes de lignina (LIG), isoprenoides (ISO), ácidos grasos (FA), alcanos (ALK) y compuestos derivados de los polisacáridos (PS) (Figura 1). Se encontró que tales diferencias químicas derivaban principalmente de la composición de la biomasa predominante incorporada al suelo. Las

distribuciones y contenidos de FA y ALK (*n*-alcanos) fueron más sensibles a los tratamientos climáticos, mostrando menor abundancia en los tratamientos D y W. Esta tendencia es más pronunciada en el hábitat “abierto” y sigue siendo significativa después de 5 años de experimentación. Además, la fracción LIG/PS aumentó con el tiempo, especialmente en el hábitat “árbol”, lo que apunta a una degradación preferencial de PS debido al aumento de la actividad microbiana. Finalmente, la proporción de compuestos ARO y FA de cadena corta y media aumentó con el tiempo, lo que apunta a condiciones desfavorables para la descomposición de la MOS (Ofiti *et al.*, 2021).

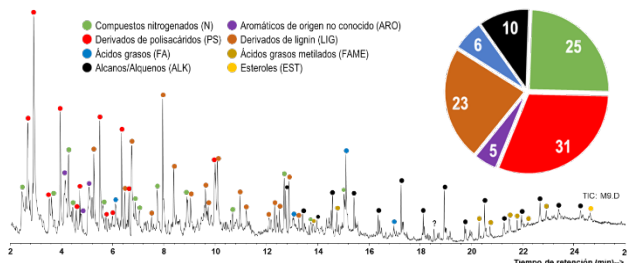


Figura 1 - Ejemplo de cromatograma obtenido de la pirólisis directa de un suelo de “dehesa” bajo copa de árbol en una parcela control (C). Las etiquetas en los picos se refieren a las principales familias de compuestos. En inserto se muestra la distribución porcentual media de los principales componentes de la MOS de una dehesa identificados mediante Py-GC/MS ($n=16$).

El análisis PCA nos permitió evaluar la influencia de los diversos tratamientos climáticos sobre la abundancia relativa de compuestos biogénicos y otros parámetros del suelo (Figura 2). Mientras que al inicio del experimento (2017) no se distinguen diferencias entre los tratamientos climáticos, cinco años más tarde (2021), pueden ya observarse cambios significativos entre los tratamientos control (C) y el resto. En particular se observa que los compuestos alifáticos (ALK y FA) explican gran parte de la varianza que diferencia entre los grupos C y D, W, W+D, por lo que estas variables tienen potencial como biomarcadores para el seguimiento de los efectos del cambio climático en la MOS.

Además, al utilizar los 27 metoxifenoles identificados para calcular un índice de diversidad química de los compuestos de lignina del suelo basado en

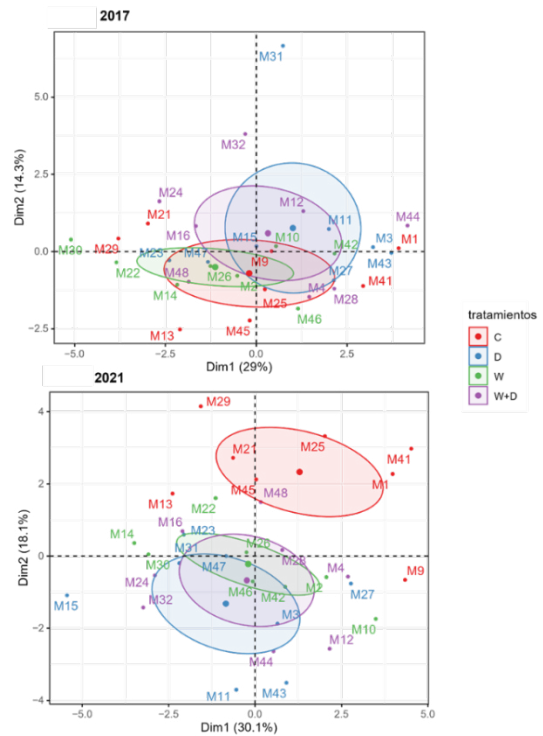


Figura 2 - Análisis de componentes principales (factorial de datos mixtos) con la distribución de las muestras de suelos. Incluye los valores medios de familias de compuestos pirolíticos y las variables químicas del suelo. Arriba 2017 y abajo 2021. Los grupos se diferencian con un nivel de confianza (IC) del 95 %.

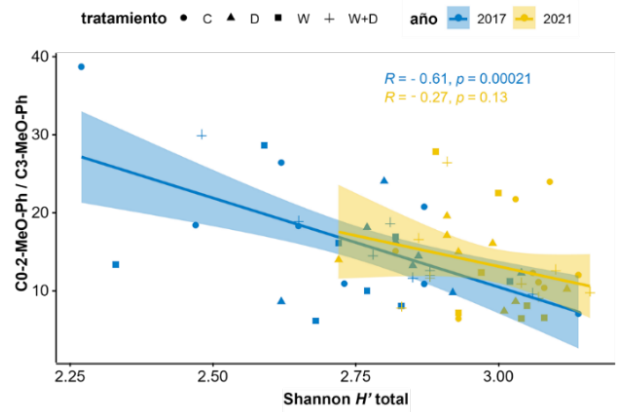


Figura 3 - Relación entre la diversidad química de la lignina del suelo (H') y el índice de degradación de lignina (CO-2-MeO-Ph/C3-MeO-Ph). Las bandas indican un nivel de confianza (IC) del 95 %.

el H' de Shannon-Wiener (Figura 3). Encontramos que la diversidad química (H') media fue significativamente menor en 2017 que en 2021 ($p < 0.001$).

Además, al final del experimento se observa una pérdida de la relación inversa entre H' y el parámetro del estado de degradación de la lignina (C0-2-MeO-Ph/C3 MeO-Ph) (Fig. 3). Ésto junto con el aumento significativo de los compuestos derivados de LIG observado al final del experimento, indica que los tratamientos climáticos han tenido un efecto negativo en la degradación de este biopolímero en el suelo.

CONCLUSIONES

Este estudio mostró que existen claras diferencias en la estructura química de la MOS de dehesa tomadas bajo diferentes ambientes y que están principalmente condicionadas por el efecto de la canopia de la vegetación arbórea. Además, los distintos tratamientos que imitan posibles futuros escenarios de calentamiento y disminución de lluvias, también influenciaron la estructura orgánica del suelo. Los resultados muestran que, en condiciones menos favorables de humedad y temperatura, se acumulan en el suelo principalmente compuestos derivados de la holocelulosa, así como lignina que presenta un menor grado de descomposición.

Cinco años de calentamiento experimental del suelo alteraron la calidad y cantidad de MOS, al menos en la parte superior del suelo (0-10 cm). Esta transformación de la MOS podría afectar funciones del suelo, por ejemplo, aquellas relacionadas con aspectos hidrológicos y agronómicos y eventualmente reducir el potencial total de almacenamiento de C del suelo bajo un clima más cálido.

Por último, destacar el potencial de la pirolisis analítica (Py-GC/MS) para la caracterización y evaluación de la MOS y que nos puede permitir una mejor comprensión de cómo las prácticas de manejo del suelo o los efectos del cambio climático, pueden alterar los mecanismos de secuestro de C orgánico del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Proyectos EU-EJC 2ª Conv. MIXROOT-C., Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades (MICIU) INTERCARBON (CGL2016-78937-R) y DECAFUN (CGL2015-70123-R). L. San Emeterio agradece al MICIU por su contrato de investigación FPI (BES-2017-07968). D. Monis, A.M. Carmona y E. Gutiérrez por su asistencia técnica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cotrufo, M.F. & Lavelle, J.M. (2022) - Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration. *Advances in Agronomy*, vol. 172, p. 1-66. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.11.002>
- Feng, X. & Simpson, M.J. (2011) - Molecular-level methods for monitoring soil organic matter responses to global climate change. *Journal of Environmental Monitoring*, vol. 13, n. 5, p. 1246-1254.
- Jiménez-González, M.A.; Álvarez, A.M.; Carral, P.; González-Vila, F.J. & Almendros, G. (2017) - The diversity of methoxyphenols released by pyrolysis-gas chromatography as predictor of soil carbon storage. *Journal of Chromatography A*, vol. 1508, p. 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2017.05.068>
- Lal, R. (2007) - Carbon management in agricultural soils. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, vol. 12, n. 2, p. 303-322. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9036-7>
- Ofiti, N.O.; Zosso, C.U.; Soong, J.L.; Solly, E.F.; Torn, M.S.; Wiesenberg, G.L. & Schmidt, M.W. (2021) - Warming promotes loss of subsoil carbon through accelerated degradation of plant-derived organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 156, art. 108185. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108185>
- San-Emeterio, L.M.; López-Núñez, R.; González-Vila, F.J. & González-Pérez, J.A. (2021) - Evolution of Composting Process in Maize Biomass Revealed by Analytical Pyrolysis (Py-GC/MS) and Pyrolysis Compound Specific Isotope Analysis (Py-CSIA). *Applied Sciences*, vol. 11, n. 15, art. 6684. <https://doi.org/10.3390/app11156684>
- Thuiller, W.; Midgley, G.F.; Hughes, G.O.; Bomhard, B.; Drew, G.; Rutherford, M.C. & Woodward, F.I. (2006) - Endemic species and ecosystem sensitivity to climate change in Namibia. *Global Change Biology*, vol. 12, n. 5, p. 759-776. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01140.x>