

Efectos de la aplicación de biochar de alperujo como enmienda en suelos de olivar superintensivo

Application of olive pomace biochar as soil amendment for intensive olive crops

José M. de la Rosa^{1,*}, Ana Z. Miller¹, José A. González-Pérez¹ & Paloma Campos²

¹ MOSS group, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC), Reina Mercedes, Av. 10, 41012, Seville, Spain

² Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, University of Seville, Prof. García González, 1, 41012, Seville, Spain
(*E-mail: jmrosa@irnase.csic.es)

<https://doi.org/10.19084/rca.28500>

RESUMEN

La agroindustria del aceite de oliva es un importante sector económico en los países mediterráneos, cuya producción va acompañada de la generación de enormes cantidades de residuos orgánicos. La reciente proliferación de olivares superintensivos, más rentables, genera una mayor demanda de agua para riego y está aumentando la producción de estos residuos. La conversión de los residuos de almazara en biochar mediante pirólisis, para su posterior uso como enmienda orgánica en suelos de olivar superintensivo, podría contribuir a solucionar ambos problemas, ya que el biochar tiene una alta porosidad y contenido en carbono orgánico de alta estabilidad. Sin embargo, los efectos de su aplicación en las propiedades del suelo y en la fisiología del olivo no son bien conocidos. Este estudio aborda los efectos de la aplicación de biochar de alperujo de almazara, de compost vegetal (enmienda orgánica tradicional) y de la mezcla de ambos sobre las propiedades de un suelo (Xerochrept) y en la fisiología de olivos de “arbequina”. Esta plantación de olivar superintensivo y riego deficitario está situada en la estación experimental del IRNAS-CSIC “La Hampa” (Coria del Río, Sevilla, España). Tanto el biochar como el compost redujeron la resistencia a la penetración e incrementaron el contenido en Carbono orgánico y la humedad del suelo. La aplicación de biochar resultó más eficaz para aumentar la capacidad de retención de agua y la humedad del suelo y el estatus hídrico de los olivos en la fase anterior a la cosecha sin incrementar las tasas de respiración (emisión de CO₂) del suelo.

Palabras clave: sostenibilidad, materia orgánica, propiedades hídricas, fisiología vegetal, economía circular

ABSTRACT

The olive oil agro-industry is an important economic sector in Mediterranean countries, whose production is accompanied by the generation of huge quantities of organic waste. The recent proliferation of super-intensive olive groves, more profitable, generates a greater demand of water for irrigation and is increasing the production of organic waste. The conversion of these olive mill wastes into biochar by pyrolysis, for subsequent use as an organic amendment in super-intensive olive grove soils, could contribute to solving both problems, since biochar has a high porosity and a highly stable organic carbon content. Nevertheless, the effects of its application on soils properties and plant physiology are still not well known. This study addresses the effects of the application of olive mill pomace (*alperujo*) biochar, 100% vegetable compost (traditionally used organic amendment) and the mix of both organic amendments on the properties of a Xerochrept soil and on the physiology of “arbequina” olive trees”. The super-intensive olive trees plantation, with irrigation deficit, is located in the IRNAS-CSIC field station “La Hampa” (Coria del Río, Seville, Spain). Both biochar and compost reduced soil penetration resistance and increased soil organic Carbon and moisture content. However, the application of biochar was more effective than the addition of green compost or the compost+biochar mixture in increasing soil moisture. Biochar application improved soil physical properties and plant water status at the pre-harvest phase without increasing soil respiration (CO₂ emission) rates.

Keywords: sustainability, organic matter, water properties, plant physiology, circular economy

INTRODUCCIÓN

España, con más de 2,5 millones de hectáreas dedicadas al cultivo del olivar (28% de ellas de regadío; MAPA), es hoy el primer productor y exportador mundial de aceite de oliva (Vilar y Cárdenas, 2012). En los últimos años, para evitar las fluctuaciones interanuales de la productividad y garantizar la rentabilidad, el cultivo intensivo y superintensivo del olivo se ha ido extendiendo en la Península Ibérica y se plantan hasta 600 y 2000 olivos por hectárea, respectivamente. En ambos casos es posible la recolección automática, pero es necesario el riego controlado, generalmente por goteo. Sin embargo, el clima semiárido de la región mediterránea limitará el desarrollo de los cultivos intensivos de olivo, que requieren riego.

Otro de los problemas a los que se enfrenta el sector olivarero es la generación de una enorme cantidad de residuos orgánicos. La valorización y reciclado de estos residuos agrícolas para su uso como sustratos o enmiendas del suelo promueve la economía de KM0 y sostenible. Una de las enmiendas orgánicas desarrolladas durante la última década para su uso en suelos degradados es el biochar, producto sólido aromático muy poroso resultante de la pirólisis o calentamiento en ausencia de oxígeno de biomasa residual (de la Rosa *et al.*, 2014). Numerosos estudios promueven su aplicación y han plasmado los efectos beneficiosos en la mejora de las propiedades físicas de los suelos, destacando su porosidad y su capacidad de mejorar la estructura de suelos degradados (Campos *et al.*, 2020a). Sin embargo, los resultados varían enormemente según la naturaleza del biochar y las condiciones de producción (Campos *et al.*, 2020b), y la mayoría de los ensayos exitosos han sido realizados en condiciones controladas, para suelos ácidos, de textura gruesa o en climas húmedos (Jeffrey *et al.*, 2011) y por tanto aún existe incertidumbre sobre su eficacia en condiciones de clima mediterráneo. Para que el biochar producido a partir de restos de almazara pueda convertirse en una solución real de reciclado de estos residuos es necesario:

- Conocer los efectos de su aplicación en la composición y las propiedades del suelo, especialmente propiedades hídricas, y compararlo con los efectos de la aplicación de enmiendas tradicionalmente usadas como es el

compost, en olivares superintensivos de clima mediterráneo.

- Evaluar el efecto de la enmienda en la respuesta fisiológica del cultivo, con el objetivo de conseguir un uso más eficiente del agua.
- Abordar el efecto de la enmienda en la emisión de CO₂, uno de los gases de efecto invernadero. Estos tres aspectos constituyen los objetivos de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Enmiendas orgánicas

El biochar se produjo a partir de orujillo o alperujo de oliva seco (en adelante denominado biochar; B) en el reactor de Carboliva S.L. (Puente del Obispo, España) mediante pirólisis a 500 °C con un tiempo de residencia de 15 minutos. B tiene un pH de 9,7, una capacidad de retención de agua del 100%, un contenido de carbono y nitrógeno del 75% y del 1%, respectivamente, y una conductividad eléctrica de 14.000 μS cm⁻¹. El compost vegetal (CP) fue elaborado por Fertilizantes Orgánicos Melguizo S.L. (Los Palacios y Villafranca, España) a partir de una mezcla de restos de poda y virutas de madera de pino reciclada. Posee un pH de 7 y su contenido en Carbono y Nitrógeno es de 41% y 2% respectivamente.

Experimento de campo

Las parcelas experimentales se ubicaron en la finca experimental del IRNAS-CSIC "La Hampa", situada en el municipio de Coria del Río (Sevilla, España). Esta zona posee un clima típicamente mediterráneo, con inviernos suaves y veranos secos y episodios de lluvia concentrados durante el otoño y la primavera. Las temperaturas medias mínimas y máximas del aire en la zona son de 12 °C y 26 °C, respectivamente. La precipitación media anual fue de 496 mm para el periodo 2015-2020, y de 442 mm durante el año 2021. El suelo de las parcelas en estudio consiste en una marga arenosa (Xerochrept), mientras que los olivos son arbequinos (*Olea europaea* L.) de 6 años de edad plantados en líneas a 4 m × 1,5 m (1667 árboles ha⁻¹) irrigados con un

30% de riego deficitario regulado. Se establecieron cuatro tratamientos diferentes que consistieron en: parcelas control sin enmienda (C; control), B con una dosis de 40 t ha⁻¹ de biochar, CP con una dosis de 40 t ha⁻¹, y CP+B (20 t ha⁻¹ de cada uno). En todos los casos la enmienda orgánica se mezcló con los primeros 5 cm de suelo. Cada tratamiento se aplicó por fila completa de 24 árboles. Se tomaron periódicamente muestras de suelo de 0 a 5 cm, de 5 a 10 cm y de 10 a 20 cm de profundidad con una barrena manual para cada tratamiento en los días del año (D) 78, 92, 114, 122, 150, 213, 222, 249, 256, 256, 296 y 1 año+51 días.

Determinación de propiedades y composición de los suelos

El contenido de carbono total (C) y nitrógeno total (N) de B, CP y de los suelos se determinó por combustión en un analizador elemental (Thermo Instruments, Bremen, Alemania). El pH y la conductividad eléctrica se midieron en una mezcla 1:10 de muestra: agua destilada (p/p). La humedad de los suelos se determinó por diferencia de peso después de secar las muestras a 40 °C durante 48 h. La humedad del suelo también se midió *in situ* de manera periódica con una sonda EUROTECH PMS710, mientras que la resistencia a la penetrabilidad del suelo se midió con un penetrómetro FT327 (QA Supplies LLC).

Para cada tipo de tratamiento se instalaron 10 cilindros de PVC (10 cm de diámetro y 5 cm de altura) para medir la tasa de respiración del suelo (descomposición de la materia orgánica por los microorganismos y la respiración de las raíces del suelo) que se expresó como $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Además, a mediodía de los días 251, 287, 334 y 418 se determinó por triplicado la tasa de fotosíntesis neta (AN), la conductancia estomática (gs) y la tasa máxima de transporte de electrones (ETRmax) en 2 hojas maduras sin lesiones del lado sur de cuatro árboles por tratamiento por el servicio de Ecofisiología Vegetal del IRNAS.

Todos los datos se expresan como la media de mediciones por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de cualquiera de las enmiendas orgánicas incrementó de manera significativa el contenido en carbono y la humedad de la fracción superior del suelo (0-5 cm). Además, los tres tratamientos con enmiendas, especialmente el biochar, redujeron la resistencia a la penetrabilidad, reduciendo la compactación del suelo y permitiendo el aumento de la humedad, con un suministro de agua similar. Este resultado fue especialmente pronunciado en los análisis realizados durante el mes de octubre (días previos a la cosecha). Ninguno de los tratamientos afectó de manera significativa al contenido en nitrógeno de los suelos. La aplicación de biochar incrementó el pH y la humedad del suelo medida *in situ*. Se encontró una correlación inversa entre la humedad del suelo y su resistencia a la penetrabilidad.

La Tabla 1 muestra los resultados de la eficiencia intrínseca del uso del agua (WUEi) por parte de los olivos de las parcelas correspondientes a cada uno de los tratamientos.

Tabla 1 - Eficiencia intrínseca del uso del agua (WUEi)

	Sept.	Oct. (pre cosecha)	Nov. (post-cosecha)	Feb.	Promedio
C	138	100	125	183	137
CP+B	123	115	124	194	139
CP	121	86	129	223	140
B	136	202	133	203	168

WUEi se calcula como la relación entre la tasa neta de fotosíntesis y la conductancia estomática

Los valores de WUEi de los olivos de las parcelas enmendadas con biochar fueron en promedio un 20% mayores que los de las parcelas restantes. Esta diferencia se concentra principalmente en el periodo anterior a la cosecha. Este es un rasgo clave para la adaptación del olivo a la sequía, y explica el mayor WUEi registrado habitualmente en las plantas adaptadas a la sequía. De manera similar, no se encontraron diferencias de ETRmax entre tratamientos, excepto por el aumento significativo encontrado en las plantas de las parcelas enmendadas con biochar en el periodo anterior a la cosecha (ETRmax= 184 mmol e- m⁻²s⁻¹; día 287; tratamiento B). Las plantas con valores más altos de ETRmax son más

eficientes en el transporte de electrones y potencialmente fijan más CO₂ (Baker y Rosenqvist, 2004).

La Figura 1 muestra escasas diferencias entre los tratamientos para cada muestreo en las tasas de emisión de CO₂ (respiración) de los suelos. En general, se observa un incremento global en las tasas de respiración del suelo de manera lineal con la temperatura promedio (variación estacional), para reducirse paulatinamente en otoño e invierno.

En promedio los tratamientos con compost (CP, y CP+B) obtuvieron las mayores tasas de respiración,

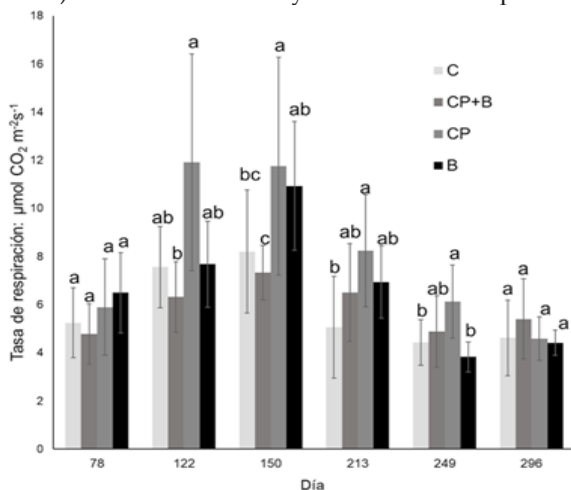


Figura 1 - Tasas de respiración del suelo (CO₂ emitido). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos en el mismo muestreo ($p < 0,05$).

especialmente en primavera y verano, aunque las diferencias no siempre fueron significativas y es necesario realizar experimentos a largo plazo para verificar estos resultados.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que la aplicación de biochar (40 t ha⁻¹) aumentó la humedad del suelo y redujo su resistencia a la penetrabilidad, y por tanto su compactación. Además, las tasas de fotosíntesis neta, la eficiencia media intrínseca de uso del agua y la tasa máxima de transporte de electrones en otoño, poco antes de la cosecha, mejoraron significativamente en los árboles de las parcelas enmendadas con biochar. No se observaron diferencias importantes en las tasas de respiración entre los suelos enmendados y no enmendados, aunque las emisiones de CO₂ de los suelos enmendados con compost fueron en promedio superiores a la de las parcelas no enmendadas o enmendadas con biochar.

AGRADECIMIENTOS

La investigación objeto de esta publicación ha sido posible gracias a la financiación del Proyecto "Aplicación de biochar de residuos agrícolas para reducir el estrés hídrico e incrementar el carbono estable del suelo en plantaciones de olivar" realizado con la Beca Leonardo a Investigadores y Creadores Culturales 2020 de la Fundación BBVA. Se agradece al CSIC la financiación del proyecto PIE 20214AT021. La Dra. A. Miller agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación del contrato RYC2019-026885-I.

La Fundación BBVA no se hace responsable de las opiniones, comentarios y contenidos incluidos en este manuscrito y/o de los resultados derivados del mismo, que son responsabilidad total y absoluta de los autores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baker, R. & Rosenqvist, E. (2004) - Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, vol. 55, n. 403, p. 1607-1621. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh196>
- Campos, P.; Miller, A.Z.; Prats, S.A.; Knicker, H.; Hagemann, N. & de la Rosa, J.M. (2020a) - Biochar amendment increases bacterial diversity and vegetation cover in trace element-polluted soils: A long-term field experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 150, art. 108114. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108014>
- Campos, P.; Miller, A.Z.; Knicker, H.; Costa-Pereira, M.F.; Merino, A. & de la Rosa, J.M. (2020b) - Chemical, physical and morphological properties of biochars produced from agricultural residues: Implications for their use as soil amendment. *Waste Management*, vol. 105, p. 256-267. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.02.013>
- de la Rosa, J.M.; Paneque, M.; Miller, A.Z. & Knicker, H. (2014) - Relating physical and chemical properties of four different biochars and their application rate to biomass production of *Lolium perenne* on a Calcic Cambisol during a pot experiment of 79 days. *Science of the Total Environment*, vol. 499, p. 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.025>
- Jeffrey, S.; Verheijen, F.; van der Velde, M. & Bastos, A.C. (2011) - A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agricultural Ecosystems & Environment*, vol. 144, n. 1, p. 175-187. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015>
- Vilar, J. & Cárdenas, R. (2012) - *El sector internacional de elaboración de aceite de oliva: un estudio descriptivo de los distintos países productores*. Úbeda: GEA Westfalia.