

# TESIS DOCTORAL

## Producción y caracterización de biochar de residuos vitivinícolas: análisis del potencial para el control de nematodos fitopatógenos

**DOCTORANDA:** Ángela Martínez Gómez, Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)

**PROGRAMA DE DOCTORADO:** Ciencias Agrarias y Ambientales (UCLM)

**DIRECTORA:** Dra. Carolina Escobar Lucas, Departamento de Ciencias Ambientales (UCLM)

**TUTORA:** Dra. Carmen Fenoll Comes, Departamento de Ciencias Ambientales (UCLM)

**COMPOSICIÓN DEL TRIBUNAL:** Dra. Maria Fe Andrés (Presidenta), Dr. José Domínguez (Secretario), Dra. Mar Martín (Vocal)

**FECHA Y LUGAR DE LECTURA:** Toledo, 4 de mayo de 2023

**CALIFICACIÓN:** Sobresaliente *cum laude*

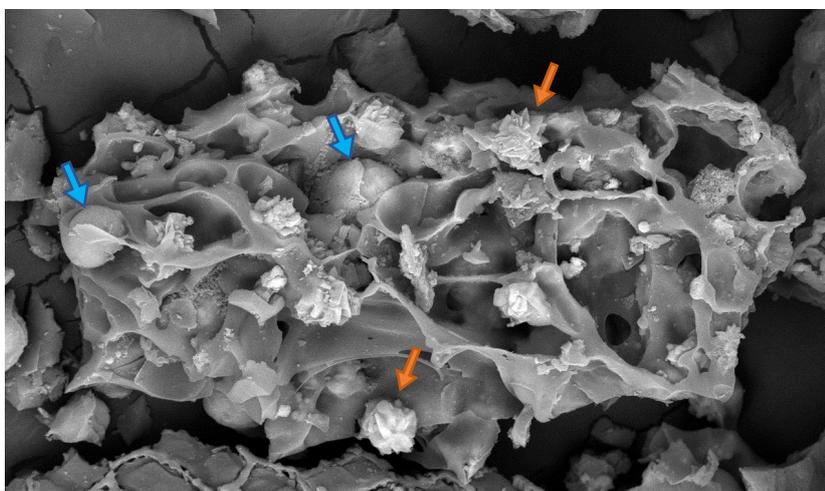
### RESUMEN

Los nematodos formadores de agallas (*Meloidogyne* spp.) son parásitos obligados de plantas que infectan un gran número de especies vegetales y suponen una grave amenaza para la economía y la productividad agrícola a nivel global. Estos nematodos se establecen en el interior de las raíces de las plantas para completar su ciclo de vida, donde forman un sitio de alimentación que constituye un pseudo-órgano conocido como agalla, en cuyo interior inducen la diferenciación de células (conocidas como “células gigantes”) que actúan como sumideros de nutrientes. Debido a la progresiva restricción del uso de pesticidas, es esencial el desarrollo de alternativas más sostenibles y compatibles con estrategias de manejo integrado.

En este sentido, el uso de biochar, un producto derivado de la pirólisis de materia orgánica a altas temperaturas y en ausencia de oxígeno, ha sido descrito como eficaz para el control de diferentes tipos de bacterias, hongos, insectos y nematodos fitopatógenos. La producción y uso de biochar es un tema de creciente interés debido a su gran variedad de aplicaciones, muchas de ellas relacionadas con beneficios para el medio ambiente. Por ello, decidimos producir y caracterizar nuestro propio biochar a partir de residuos de la industria vitivinícola, considerando que España es el tercer mayor productor de uva a nivel mundial y Castilla-La Mancha la comunidad con mayor producción del país; y estudiar su efecto durante la interacción de plantas de tomate con nematodos formadores de agallas. Este estudio pionero fue el primer paso para el inicio de una nueva línea de investigación en el laboratorio sobre el uso de biochar para el control de nematodos fitopatógenos.

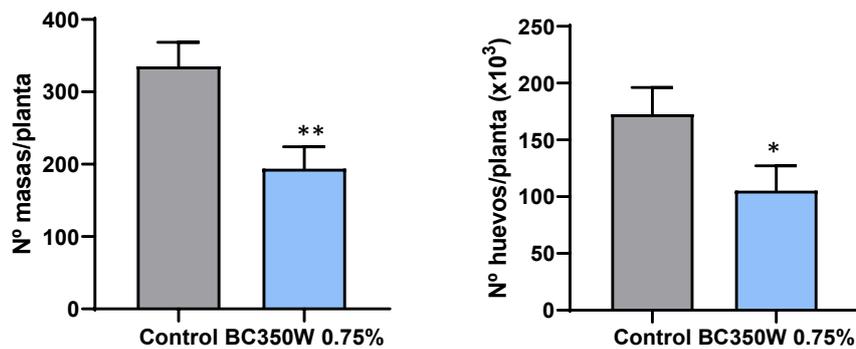
En primer lugar, se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica que nos permitiese adquirir los conocimientos necesarios para poder llevar a cabo la parte experimental. Por ello, la primera parte de esta tesis doctoral consta de dos revisiones bibliográficas centradas en la eficacia del biochar para la mejora del crecimiento y la protección frente a patógenos de las plantas. En el caso del aumento del crecimiento vegetal, nos centramos en biochares producidos a partir de los cuatro cereales de mayor producción global y destacamos estudios en los que el cultivo utilizado como materia prima para la producción de biochar era el mismo sobre el que posteriormente se aplicaría. En cuanto al control de patógenos, analizamos estudios en los que se demuestra la efectividad de la aplicación de biochar frente a bacterias, hongos, insectos, oomicetes y nematodos.

La segunda parte de esta tesis fue puramente experimental. Se obtuvieron dos biochares mediante la pirólisis a dos temperaturas diferentes (350 °C y 700 °C) de la materia prima elegida (orujo de uva tinta), que fueron caracterizados mediante técnicas de análisis elemental, espectrometría de masas, espectroscopía infrarroja y microscopía electrónica. Esto nos permitió analizar el efecto de las dos temperaturas de pirólisis sobre las características del biochar. En general, el incremento de la temperatura de pirólisis provocó un aumento de la concentración de C y otros elementos esenciales para el metabolismo vegetal (Ca, Mg, K, P, etc.). Al menos una parte de estos elementos se encontraba localizada en el interior de los poros del biochar en forma de estructuras cristalinas (Fig. 1) parcialmente solubles en agua, ya que su concentración disminuía tras someter los biochares a un lavado con agua. De esta forma, además de los biochares sólidos, obtuvimos sus correspondientes extractos acuosos. Estos extractos presentaban altos valores de pH debido a la solubilización de los elementos alcalinos observados en el biochar, y su aplicación sobre plántulas de tomate mostró cierta fitotoxicidad a altas concentraciones que estaría causada, aunque solo en parte, por el alto pH de las muestras. Por el contrario, no parecían afectar a la supervivencia de los nematodos ni a la interacción planta-nematodo.



**Figura 1.** Partícula de biochar con estructuras cristalinas en el interior de sus poros. Las flechas de diferentes colores indican ejemplos de cristales de diferente morfología y composición.

En cuanto al biochar sólido, y con el objetivo de estudiar su efecto durante la interacción planta nematodo, se utilizaron dosis sin efectos fitotóxicos y se realizaron experimentos en los que plantas de tomate fueron expuestas de forma simultánea a biochar lavado al 0,75% (p/p) en arena y a larvas de nematodos de la especie. Se observó una mejora de ciertos parámetros fisiológicos de la planta, como el número de tomates por planta (posiblemente debido a variaciones en el tiempo de floración y/o fructificación). Además, comprobamos que la aplicación de biochar disminuía la capacidad infectiva y reproductiva de estos nematodos, al observar una reducción significativa del número de masas (42%) y del número de huevos por planta (36%) (Fig. 2). En definitiva, nuestros resultados muestran la efectividad, en condiciones controladas, de la aplicación de biochar de residuos vitivinícolas sobre plantas de tomate para el control de nematodos formadores de agallas.



**Figura 2.** Efecto de la aplicación de biochar en suelo al 0.75% (p/p) sobre parámetros infectivo/reproductivos de *M. javanica* en plantas de tomate.

### Publicaciones derivadas de esta tesis

Martínez-Gómez Á, Andrés MF, Barón-Sola Á, Díaz-Manzano FE, Yousef I, Mena IF, Díaz E, Gómez-Torres Ó, González-Coloma A, Hernández LE, Escobar C. (2023). Biochar from grape pomace, a waste of vitivinicultural origin, is effective for root-knot nematode control. *Biochar* 5, 30 <https://doi.org/10.1007/s42773-023-00228-8>

Martínez-Gómez Á, Poveda J, Escobar C. (2022). Overview of the use of biochar from main cereals to stimulate plant growth. *Front. Plant. Sci.* 13:912264. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.912264>

Poveda J, Martínez-Gómez Á, Fenoll C, Escobar C (2021). The Use of Biochar for Plant Pathogen Control. *Phytopathology* 111(9):1490–1499. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-06-20-0248-RVW>



**Fotografía del acto de lectura y defensa.** De izquierda a derecha: José Domínguez (secretario), Mar Martín (vocal), Ángela Martín (doctoranda), Carolina Escobar (directora) y Maria Fe Andrés (Presidenta).