

Trichoderma y su aplicación en agricultura como agente de control biológico y como hongo beneficioso para las plantas

Enrique Monte y Rosa Hermosa

Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE). Departamento de Microbiología y Genética, Universidad de Salamanca. Río Duero 12, Campus de Villamayor. 37185 Salamanca

emv@usal.es

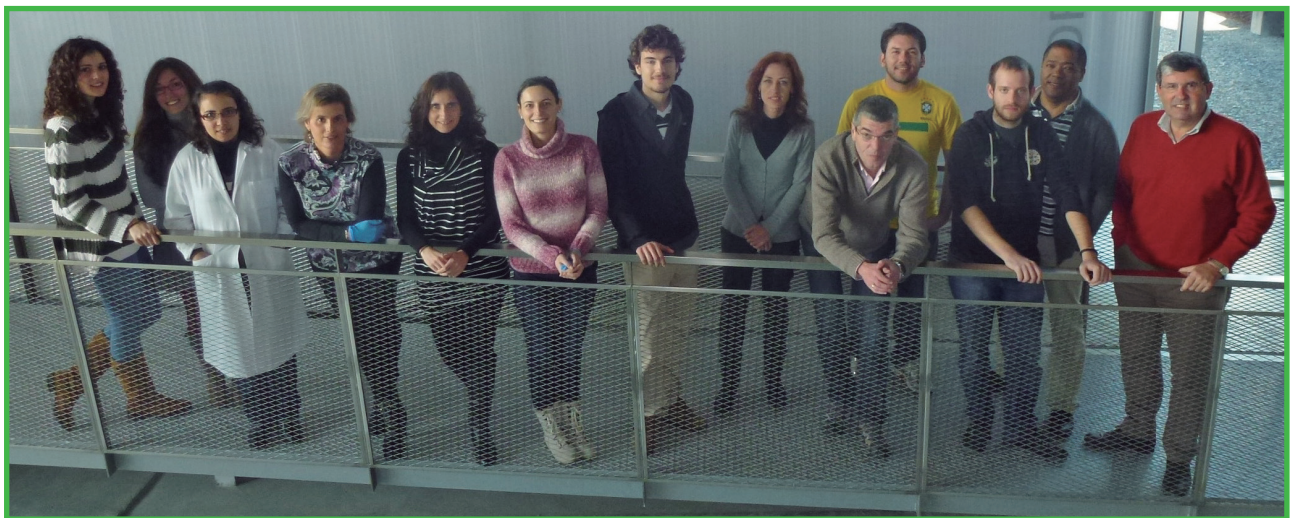


Foto de grupo. M^a Cruz Cardeñosa, Raquel Martín, Isabel Chamorro, Belén Rubio, Ana Alonso, Irene Carrero, Javier A. Pardal, Rosa Hermosa, Carlos Nicolás, Hugo de Medeiros, Jorge Poveda, Esclaudys Pérez y Enrique Monte.

El grupo «Fitopatología y Control Biológico» está liderado por Enrique Monte, catedrático de Microbiología, y posee la mención de Grupo Reconocido de Investigación por la Universidad de Salamanca, y Grupo de Excelencia y Unidad de Investigación Consolidada por la Junta de Castilla y León. El grupo nació en el Departamento de Microbiología y Genética de la Universidad de Salamanca en 1989, con Isabel García Acha, profesora de investigación del CSIC, y con Enrique Monte, tras su regreso como postdoc en el Reino Unido, y creció con las primeras investigadoras que realizaron sus tesis doctorales con hongos del género

Trichoderma como agente de control biológico (Grondona *et al.*, 1997; Hermosa *et al.*, 2000). Desde entonces, venimos trabajando con este hongo debido a su interés como alternativa a agroquímicos en agricultura biológica y en sistemas de producción integrada. Hemos abordado ámbitos tan diversos como la microbiología, bioquímica, ecología, fitopatología, genómica funcional y estructural, proteómica, transcriptómica y, en época más reciente, el diálogo molecular de *Trichoderma* con las plantas, bien como inductor de respuestas de defensa frente a patógenos y estrés ambientales, o como fertilizante y promotor del

crecimiento, dando como resultado incrementos significativos de producción en plantas cultivadas.

Este tipo de investigación, eminentemente aplicada, ha dado lugar a varias patentes y a la creación de empresas y puestos de trabajo, y sentado las bases para conseguir el primer fungicida biológico registrado en España (TUSAL[®]), además de haber servido para formar parte del consorcio internacional que consiguió el registro de distintas formulaciones de *Trichoderma* en la UE, y para recibir los premios Severo Ochoa de la Fundación príncipe de Asturias (1999), Mecenas del Consejo Social de la Universidad de Salamanca (2002) y Fleming de la SEM (2007). Las spin-off del grupo siguen generando conocimiento y la infraestructura científica de una de ellas permitió que lideráramos e impulsáramos los primeros estudios de genómica funcional de *Trichoderma* spp. (Vizcaíno *et al.*, 2006). En 2001, fuimos uno de los laboratorios fundadores del Instituto Hispano-Luso de Investigaciones Agrarias (CIALE) y en ese mismo año se integró en nuestro grupo Santiago Gutiérrez, profesor titular de Microbiología de la Universidad de León. En 2002, finalizado un postdoc en Italia, Rosa Hermosa se incorporó como Investigadora Cajal y luego como profesora titular de Microbiología, responsabilizándose de la puesta a punto de herramientas ómicas (Morán-Díez *et al.*, 2009; Kubicek *et al.*, 2011) y de la interacción molecular *Trichoderma*-planta (Hermosa *et al.*, 2012). En 2005, incorporamos a Carlos Nicolás, profesor titular de Fisiología Vegetal, como experto en regulación hormonal y respuesta bioquímica de la planta, para llevar a cabo análisis funcionales de genes de *Trichoderma* en el sistema modelo de *Arabidopsis*. En la actualidad, disponemos de varias líneas de plantas transgénicas que sobreexpresan genes de *Trichoderma* (Nicolás *et al.*, 2014). Desde 2007, la Dra. Belén Rubio, actualmente profesora contratada doctor, trabaja en el análisis transcriptómico de *Trichoderma* en interacción con plantas, en metabolismo de nitrógeno y en la obtención de mutantes nulos para genes de interés en *Trichoderma*. Entre las contribuciones más recientes del grupo destacan el establecimiento de las bases de la investigación traslacional en materia de control biológico con *Trichoderma* (Lorito *et al.*, 2010), la constatación mediante genómica comparada del micoparasitismo como un estilo de vida ancestral de *Trichoderma* respecto a la colonización endofítica de plantas (Druzhinina *et al.*, 2011), el establecimiento de un modelo de diálogo molecular *Trichoderma*-planta (Hermosa *et al.*, 2012), la comprobación de que la inducción de defensas provocada por *Trichoderma* en las plantas tiene una dinámica ondulante (Rubio *et al.*, 2014), la demostración de que el ácido salicílico es la molécula clave de las plantas para dirigir los movimientos de colonización endofítica de *Trichoderma* en las raíces (Alonso-Ramírez *et al.*, 2014), que *Trichoderma* y el hongo fitopatógeno *Botrytis cinerea* establecen una interacción molecular en el que sesquiterpenos y policétidos establecen un diálogo metabólico (Malmierca *et al.*, 2015a), que la ruta biosintética de esteroides y los niveles de los mismos en la membrana de *Tricho-*

derma es fundamental para la expresión de genes de defensa en la planta (Malmierca *et al.*, 2015b) y que la regulación de una ruta principal del metabolismo primario de *Trichoderma* puede modular la producción de metabolitos secundarios y afectar el potencial de biocontrol (Pérez *et al.*, 2015).

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Ramírez A, Poveda J, Martín JI, Hermosa R, Monte E, Nicolás C. (2014). Salicylic acid prevents *Trichoderma harzianum* from entering the vascular system of the roots. *Mol Plant Pathol* 15: 823-31.
- Druzhinina IS, Seidl-Seiboth V, Herrera-Estrella A, Horwitz BA, Kenerley CM, Monte E, Mukherjee P, Zeilinger S, Grigoriev IV, Kubicek CP. (2011). *Trichoderma*: the genomics of opportunistic success. *Nature Rev Microbiol* 9: 749-59.
- Grondona I, Hermosa MR, Tejada M, Gomis MD, Mateos PF, Bridge PD, Monte E, García-Acha I. (1997). Physiological and biochemical characterization of *Trichoderma harzianum*, a biological control agent against soilborne fungal plant pathogens. *Appl Environ Microbiol* 63: 3189-98.
- Hermosa MR, Grondona I, Iturriaga EA, Díaz-Minguez JM, Castro C, Monte E, García-Acha I. (2000). Molecular characterization and identification of biocontrol isolates of *Trichoderma* spp. *Appl Environ Microbiol* 66: 1890-8.
- Hermosa R, Viterbo A, Chet I, Monte E. (2012). Plant-beneficial effects of *Trichoderma* and of its genes. *Microbiology* 158: 17-25.
- Kubicek CP. *et al.* (2011). Comparative genome sequence analysis underscores mycoparasitism as the ancestral life style of *Trichoderma*. *Genome Biol* 12: R40.
- Lorito M, Woo SL, Harman GE, Monte E. (2010). Translational research on *Trichoderma*: from 'omics to the field. *Annu Rev Phytopathol* 48: 395-417.
- Malmierca MG, Barua J, McCormick SP, Izquierdo-Bueno I, Cardoza RE, Alexander NJ, Hermosa R, Collado IG, Monte E, Gutiérrez S. (2015a). Novel aspinolides production by *Trichoderma arundinaceum* with a potential role in *Botrytis cinerea* antagonistic activity and plant defence priming. *Environ Microbiol* 17: 1103-18.
- Malmierca MG, McCormick SP, Cardoza RE, Monte E, Alexander NJ, Gutiérrez S. (2015b). Production of trichodiene in a *Trichoderma harzianum* *erg1* silenced strain evidences the importance of the sterol biosynthetic pathway to induce the expression of plant defense-related genes. *Mol Plant Microbe Interact* 28: 1181-97.
- Morán-Díez E, Hermosa MR, Ambrosio P, Cardoza RE, Gutiérrez S, Lorito M, Monte E. (2009). The ThPG1 endopolygalacturonase is required for the *Trichoderma harzianum*-plant beneficial interaction. *Mol Plant Microbe Interact* 22: 1021-31.
- Nicolás C, Hermosa R, Rubio MB, Mukherjee PK, Monte E. (2014). *Trichoderma* genes in plants for stress tolerance-status and prospects. *Plant Sci* 228: 71-8.
- Pérez E, Rubio MB, Cardoza RE, Gutiérrez S, Bettiol W, Monte E, Hermosa R. (2015). The importance of chorismate mutase in the biocontrol potential of *Trichoderma parareesei*. *Front Microbiol* 6: 1181.
- Vizcaíno JA, González FJ, Suárez B, Redondo J, Heinrich J, Hermosa MR, Gutiérrez S, Monte E, Llobell A, Rey M. (2006). Generation, annotation and analysis of ESTs from *Trichoderma harzianum* CECT 2413. *BMC Genomics* 7: 193.
- Rubio MB, Quijada NM, Pérez E, Domínguez S, Monte E, Hermosa R. (2014). Identifying beneficial qualities of *Trichoderma parareesei* for plants. *Appl Environ Microbiol* 80: 1864-73.