

# Influencia del microbioma del suelo en el rendimiento del cultivo de pimiento

El uso de micorrizas arbusculares en agricultura está cada vez más extendido. Los beneficios son numerosos, tanto desde el punto de vista nutricional como de tolerancia a estreses abióticos (sequía, frío o altas temperaturas). Por otra parte, los hongos del género *Trichoderma* se han usado también como facilitadores de determinados nutrientes, así como agentes de biocontrol de enfermedades producidas por hongos de suelo. En un ensayo llevado a cabo en pimiento en la localidad de El Ejido (Almería) se muestra que la inoculación conjunta de dos particulares cepas de micorriza arbuscular BEG72 y *Trichoderma* TK7 pueden aumentar la producción y calidad de los frutos con una mayor cantidad de compuestos de interés nutraceutico.

**Gorka Erice**  
Director técnico, Atens.

**Paolo Bonini**  
Director, NGALab

**Verónica Cirino**  
CEO, Atens

**Giuseppe Colla y Maurizio Ruzzi**  
Catedráticos, Universidad de la Toscana

## Atens, 25 años de experiencia en producción de microorganismos

Atens fue fundada hace 25 años, en 1994, con el objetivo de desarrollar y producir micorriza a escala industrial para una agricultura sostenible. Esta larga experiencia hace de Atens uno de los primeros actores en el mercado de microorganismos, y le ha permitido posicionarse hoy como un referente a nivel de conocimiento sobre el funcionamiento de las micorrizas y otros microorganismos en usos agrícolas, ofreciendo soluciones de calidad, sostenibles y efectivas para afrontar los desafíos de la agricultura actual.

Hoy en día, Atens se erige como una empresa referente y pionera en la producción de micorrizas in vivo y *Trichoderma* en medio sólido mediante biorreactor, jugando un rol protagonista en las nuevas tendencias de sostenibilidad y agricultura Residuo 0, y liderando la categoría mediante una pasión por la investigación continua y una política de inversión en tecnología e innovación incan-

sable, que involucra, por ejemplo, el uso de tecnología farmacéutica en sus métodos de producción.

## El presente de los microorganismos en agricultura

El conocimiento científico que tenemos de los microorganismos del suelo, especialmente de aquellos que interactúan con las plantas, ha alcanzado una madurez que trasciende a los centros de investigación básica. Esta comprensión se traduce en una mejor aplicación en nuestros campos en condiciones de interacción con los factores ambientales.

Desde Atens y su laboratorio de I+D, Next Generation Agronomics (NGALab), estudiamos precisamente los organismos más pequeños del planeta, bacterias y hongos, que representan un gran reservorio de biodiversidad en suelos. Intervienen en los ciclos biogeoquímicos que sostienen la vida y pueden controlar la salud de las plantas. En línea con lo mencionado anteriormente nuestro

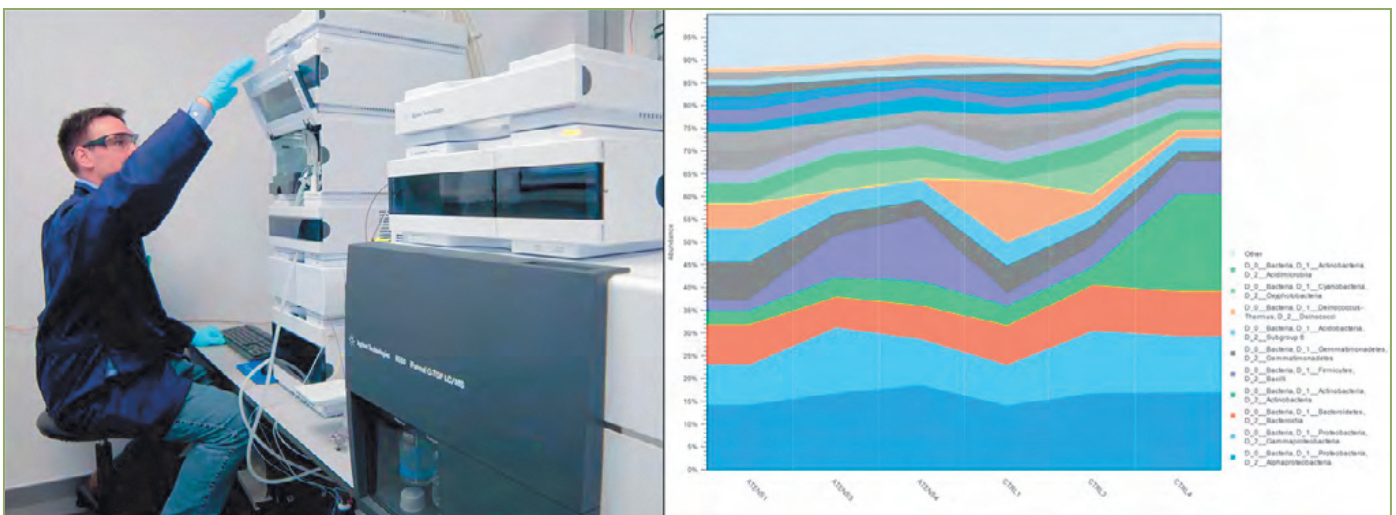


Figura 1. A la izquierda, la vista del instrumento UHPLC-ESI-qTOF utilizado para el análisis metabólico en el laboratorio NGALab; a la derecha, el análisis de metagenómica muestra los cambios en las poblaciones de bacterias del suelo tras la inoculación con micorrizas arbusculares y *Trichoderma*.

objetivo a largo plazo es ampliar la comprensión de la diversidad genética y metabólica de microorganismos y plantas y explorar ésta para aplicaciones biotecnológicas. Para ello, en NGALab hemos desarrollado una plataforma multiómica que nos permita generar el conocimiento científico necesario para aplicarlo en beneficio de una mayor productividad.

En el laboratorio, los análisis genómicos nos permiten conocer con precisión la composición genética completa de un microorganismo y nos indican su potencialidad a la hora de ayudar a las plantas en su desarrollo normal o en situaciones de estrés. Cuando estos genes se traducen en proteínas, su análisis global, la proteómica, nos puede mostrar la instantánea de la fisiología de microorganismos y plantas. Estas proteínas forman parte estructural de las células, pero también son las enzimas que van a convertir unos metabolitos en otros nuevos. En un paso más, el estudio de los metabolitos, la metabolómica, puede ayudarnos a entender la interacción de las plantas con el medio ambiente (Feussner y Polle, 2015). Desde NGALab aspiramos a que el conocimiento de las ciencias ómicas sienten las bases sobre las que podamos cubrir las necesidades de un sector primario estratégico cuyo futuro pasa por usar los microorganismos como uno de sus principales elementos de desarrollo.

### Efectos de la inoculación en plantas de interés agrícola

Desde que en 1885 Albert Bernhard Frank descubrió los hongos simbiotes de las plantas, las micorrizas (Frank, 1885), pasando por los estudios pioneros en nuestro país de José Miguel Barea y Rosario Azcón, y sucesivamente Cinta Calvet y Amelia Camprubi, es mucho lo que hemos aprendido de estos microorganismos. El primer gran beneficio que obtienen las plantas es la mejora en la nutrición debido a que el hongo les ayuda a explorar el suelo en busca de nutrientes y agua (Smith y Smith, 2011). Además, aumenta la disponibilidad de fósforo gracias a que el hongo es capaz de solubilizarlo del suelo (Camprubi y col. 2011). También es común que las micorrizas protejan a la planta frente al estrés oxidativo y que muestren más resistencia frente a estreses abióticos (sequía, salinidad o altas temperaturas) (Ruíz-Lozano y col., 2012) y bióticos (plagas y enfermedades) (Pozo y Azcón-Aguilar, 2007). Por otra parte, los hongos del género *Trichoderma* son saprófitos, actúan como fitoestimulantes y tienen propiedades de biocontrol. Estos hongos compiten con hongos patógenos por el espacio y los nutrientes, producen sustancias que inhiben el crecimiento de otros hongos (antibiosis) y promueve las defensas de la planta (Colla y col., 2015).

Debido a esta diversidad en el modo de actuación de los microorganismos, con múltiples mecanismos que funcionan de manera simultánea o secuencialmente (Bashan y de-Bashan, 2010), es muy conveniente la aproximación ómica. El uso de técnicas que puedan abarcar la complejidad del metabolismo nos permite no perder los muchos efectos adicionales que pueden derivar de la inoculación de plantas con microorganismos.



Figura 2. El agricultor responsable del cultivo en el invernadero de El Ejido en el que se llevó a cabo el ensayo.

### Un caso de éxito. Inoculación de micorrizas y *Trichoderma* en pimiento californiano

Este ensayo fue llevado a cabo en Águilas Bajas (El Ejido) sobre plantas de pimiento californiano variedad SV1204PB (Figura 2). La fecha de plantación fue el 19 de julio y el 3 de agosto se hizo la aplicación de micorriza (2 kg/ha de Team Hortícola, *Rhizoglyphus irregularis* BEG72 y *Funnelliformis mosseae* BEG234, 1000 esporas/g) con *Trichoderma koningii* TK7 (1 kg/ha de Condor Shield,  $1 \times 10^9$  UFC/g) y un enraizante en base a extractos vegetales (Heptabiol, 2,5 l/ha). A partir de noviembre se muestrearon las hojas y los frutos para su análisis metabolómico y el suelo para su análisis metagenómico.

El peso medio de los frutos tratados desde diciembre hasta abril se incrementó una media de un 12%, variando desde un mínimo de 8,5% en diciembre hasta un máximo de 22,5% en marzo (Figura 3). En hojas se ha visto un aumento de la biosíntesis, tanto de auxinas como citoquininas y brasinoesteroides. Las citoquininas están muy ligadas a los meristemas, tanto de tallos como raíces (Santner y col., 2009), lo que, unido a la diferenciación de los órganos y dominancia apical de las auxinas (Spaepen y col., 2009), se relacionaría con un crecimiento más rápido en las plantas inoculadas (Bhattacharyya y Jha, 2012). Los brasinoesteroides son hormonas que, además de en el crecimiento, intervienen en el metabolismo secundario y de defensa. En este sentido, y junto con el aumento de la síntesis de jasmonatos, involucrados en la conocida como resistencia sistémica inducida, podemos confirmar el estímulo de las defensas de estas plantas (Carvalhois y col., 2015).

Por otra parte, se ha visto un aumento de compuestos estructurales como esteroides, lignina y suberina. Estos componentes fundamentales de las paredes celulares están implicados en la defensa física de las células vegetales, de tal manera que las células suberizadas juegan un papel importante en la protección contra agresiones

ambientales y de patógenos (Novo y col., 2017). Es muy interesante que se hayan incrementado las fitoalexinas, compuestos de defensa. Muchos son los estudios en los que plantas colonizadas con *Trichoderma* muestran un mayor contenido endógeno de fitoalexinas y fenoles, lo que podría significar mayor tolerancia a estreses ambientales (López-Bucío y col., 2015).

En frutos de pimiento tenemos que destacar el aumento de algunos compuestos interesantes, tanto desde el punto de vista del desarrollo y de la sanidad vegetal, como por su aporte a una mayor calidad nutricional. Entre este tipo de fitoquímicos hemos encontrado carotenoides y vitaminas. Los carotenoides son pigmentos importantes para la salud humana debido a su papel como antioxidantes (Fraser et al., 2004). Además, se ha encontrado un mayor contenido en vitamina B6 y vitamina B7.

El análisis metagenómico del suelo ha evidenciado un aumento de la biodiversidad microbiana en la parcela tratada, especialmente en bacterias del género *Bacillus*, conocidas por su actividad promotora del crecimiento vegetal (PGPR) (Figura 1), además de confirmar la correcta presencia tanto de micorrizas como de *Trichoderma*.

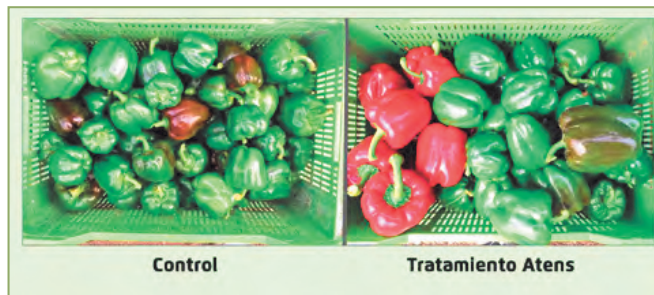


Figura 3. Los pimientos california inoculados simultáneamente con micorrizas arbusculares y *Trichoderma* mostraron un incremento del peso medio del 12%.

Estos hallazgos sugieren que la inoculación de plantas con microorganismos de calidad aumenta el valor comercial de los frutos de pimiento, incrementando la producción al mismo tiempo que se consigue mayor calidad y propiedades nutraceuticas de los frutos. En este sentido, el uso de microorganismos en la agricultura se ha transformado en un elemento fundamental para asegurar cosechas que satisfagan las demandas de una población creciente que exigirá alimentos de calidad.

## Bibliografía

- ! Bashan Y, de-Bashan LE. 2010. How the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum* promotes plant growth—a critical assessment. *Adv Agron* 108:77–136
- Bhattacharyya, PN, Jha, D K. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World J Microbiol Biotechnol*, 28(4), 1327-1350
- Camprubí, A., Estaún, V., Nogales, A., García-Figueres, F., Pitet, M., Calvet, C. 2008. Response of the grapevine rootstock Richter 110 to inoculation with native and selected arbuscular mycorrhizal fungi and growth performance in a replant vineyard. *Mycorrhiza* 18: 211-216
- Carvalhais, LC., Dennis, PG., Badri, DV., Kidd, BN., Vivanco, JM., Schenk, PM. 2015. Linking jasmonic acid signaling, root exudates, and rhizosphere microbiomes. *Mol Plant Microbe Interact*, 28(9), 1049-1058.
- Colla, G., Roupael, Y., Di Mattia, E., El-Nakhel, C., Cardarelli, M. 2015. Co-inoculation of *Glomus intraradices* and *Trichoderma atroviride* acts as a biostimulant to promote growth, yield and nutrient uptake of vegetable crops. *J Sci Food Agric*, 95(8), 1706-1715.
- Feussner, I. Polle, A. 2015. What the transcriptome does not tell - proteomics and metabolomics are closer to the plants' patho-phenotype. *Curr Opin Plant Biol* 26, 26-31.
- Frank, AB. 1885. «Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze». *Ber Deutsch Bot Gesells* 3: 128-145.
- López-Bucio, J., Pelagio-Flores, R., Herrera-Estrella, A. 2015. *Trichoderma* as biostimulant: exploiting the multilevel properties of a plant beneficial fungus. *Sci hortic*, 196, 109-123.
- Novo, M., Silvar, C., Merino, F., Martínez-Cortés, T., Lu, F., Ralph, J., Pomar, F. 2017. Deciphering the role of the phenylpropanoid metabolism in the tolerance of *Capsicum annuum* L. to *Verticillium dahliae* Kleb. *Plant Sci*, 258: 12-20.
- Pozo MJ. Azcón-Aguilar C. 2007. Unravelling mycorrhiza-induced resistance. *Curr Opin Plant Biol* 10: 393-398.
- Ruiz-Lozano, JM., Porcel, R., Azcón, R., Aroca, R. 2012. Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *J Exp Bot* 63, 695–709.
- Santner, A., Calderon-Villalobos, LIA., Estelle, M. 2009. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nat Chem Biol*, 5(5), 301.
- Smith SE., Smith FA. 2012. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia*, 104:1, 1-13,
- Spaepen, S., Vanderleyden, J., Okon, Y. 2009. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Adv Bot Res*, 51, 283-320.