

Debaryomyces hansenii y *Hansenula polymorpha* inducen mecanismos de respuesta a deficiencia de Fe en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.)

LUCENA C¹, ALCALÁ-JIMÉNEZ MT², ROMERA FJ¹, GARCÍA MJ¹, PÉREZ-VICENTE R², RAMOS J³

¹Departamento de Agronomía (DAUCO-María de Maeztu Unidad de Excelencia), Edificio C-4, Campus de Rabanales Ceia3, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España

²Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Edificio C-4, Campus de Rabanales Ceia3, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España

³Departamento de Química Agrícola, Edafología y Microbiología, Edificio C-6, Campus de Rabanales Ceia3, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España

✉ mi1raruj@uco.es | b42lulec@uco.es

La deficiencia de hierro (Fe) es un problema agronómico de primer orden que origina una disminución significativa del rendimiento y calidad de las cosechas. Paradójicamente, el Fe es muy abundante en los suelos de cultivo, aunque en su forma oxidada, que es poco soluble y con baja disponibilidad para las plantas. Ante esta situación, las plantas desarrollan mecanismos de respuesta morfológicos y fisiológicos, principalmente en sus raíces, dirigidos a facilitar su adquisición (Lucena *et al.* 2015). A pesar de estos mecanismos de respuesta, en muchos casos es necesario aplicar fertilizantes de Fe, mayoritariamente en forma de quelatos de Fe, para corregir esta deficiencia en campo. La enorme presión que la agricultura moderna ejerce desde hace décadas sobre los cultivos, ha supuesto el uso abusivo de fertilizantes químicos, provocando serios problemas medioambientales y un aumento del coste de la producción por el elevado precio que alcanzan estos productos. Esto restringe su uso a cultivos con alto valor añadido (Briat *et al.*, 2015). Una de las alternativas más sostenibles al uso de agroquímicos, y que más peso está alcanzando actualmente, pasa por un mayor conocimiento y mejor manejo de la rizosfera y de las comunidades microbianas asociadas a la misma en los suelos de cultivo. Existen numerosos microorganismos rizosféricos con capacidad de solubilizar nutrientes, como el Fe, con escasa disponibilidad para las plantas. Diversos estudios, realizados todos ellos con hongos o bacterias promotoras del crecimiento, han demostrado



Miembros del grupo: de izquierda a derecha, Rafael Pérez Vicente, José Ramos Ruiz, Carlos Lucena León, Francisco Javier Romera Ruiz y María José García del Rosal.

que su aplicación al suelo de cultivo puede mejorar la nutrición de Fe en plantas (Ipek *et al.* 2017). Recientemente, en un estudio publicado por Kaur y colaboradores (2020), se ha conseguido caracterizar, por primera vez, el papel que juegan determinadas cepas de la levadura *Debaryomyces hansenii* (Dh) en la detoxificación de arsénico en plantas de arroz. Además, en dicho estudio los autores también observaron que, aparte de mitigar el estrés provocado por el arsénico, la inoculación con esta levadura

mejoró tanto el estado nutricional como el crecimiento de las plantas de arroz. Sin embargo, nada se sabía hasta el momento del papel que juegan las levaduras en la nutrición férrica de las plantas. Nuestro Grupo ha sido pionero en evaluar la implicación de diferentes especies de levaduras [*Debaryomyces hansenii* (Dh), *Saccharomyces cerevisiae* (Sc) y *Hansenula polymorpha* (Hp)] en la inducción de mecanismos de respuesta a deficiencia de Fe en plantas dicotiledóneas. La finalidad de este estudio

dio ha sido el de comprobar si estas tres levaduras, o alguna de ellas, podrían ser utilizadas como posibles biofertilizantes de Fe. Esto supondría una fertilización más respetuosa con el medio ambiente que la habitual aplicación de quelatos, llevada a cabo para combatir la clorosis férrica (Lucena *et al.* 2021).

Para esta evaluación, se han desarrollado ensayos con plantas de pepino crecidas en medio hidropónico. Se hizo un seguimiento durante los cuatro días siguientes a la aplicación de tratamientos de deficiencia de Fe y a la inoculación con las levaduras, evaluando el efecto de las levaduras sobre cuatro de los mecanismos de respuesta que las plantas activan frente a la deficiencia de Fe: (1) la acidificación de la rizosfera; (2) la capacidad de reducir el Fe³⁺, forma más abundante, a Fe²⁺, forma preferentemente absorbida; (3) el incremento de la absorción del Fe²⁺ (mediante la expresión del gen que codifica al transportador de membrana); y (4) la proliferación de pelillos radicales. Los resultados obtenidos reflejaron el carácter inductor de las tres levaduras estudiadas sobre los diferentes mecanismos de respuesta a deficiencia de Fe evaluados en este trabajo (Lucena *et al.* 2021). No obstante, de las tres levaduras analizadas, destacaron *Debaryomyces hansenii* y *Hansenula polymorpha* por su mayor capacidad inductora, tanto de mecanismos de respuesta fisiológicos (acidificación de la rizosfera, capacidad reductora y transporte de Fe), como de mecanismos morfológicos (proliferación de pelillos radicales en la zona subapical de raíces jóvenes, tanto en plantas crecidas sin Fe como en aquellas que crecieron con Fe; **Figura 1**).

Los resultados obtenidos abren una esperanzadora línea de investigación que implica a estas dos especies de levadura (Hp y Dh) en el grupo de microorganismos susceptibles de ser utilizados como biofertilizantes de Fe, en aras de conseguir una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente.

Profundizar en el papel que juegan estas levaduras frente a otras deficiencias nutricionales, como la de fósforo, por ejemplo, así como evaluar la interacción de estas con otros microorganismos beneficiosos, son los objetivos futuros de nuestro grupo de investigación.

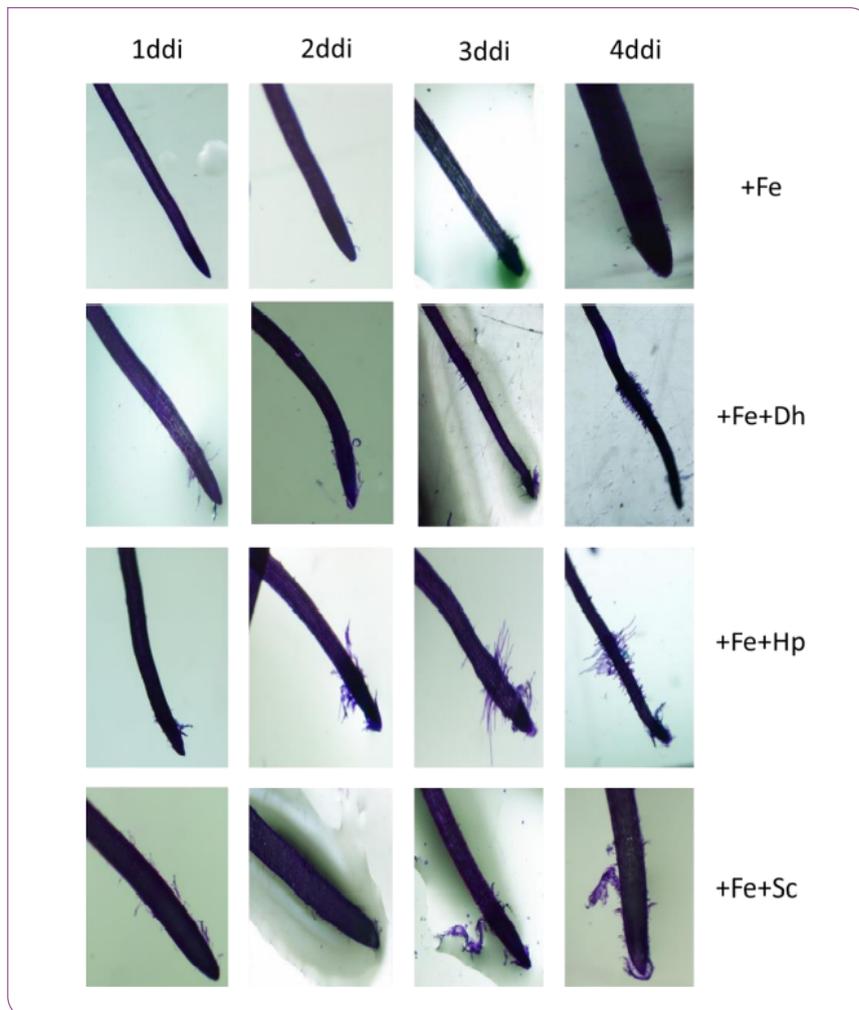


Figura 1. Análisis de la evolución de la formación y proliferación de pelillos radicales en la zona subapical de raíces jóvenes en plantas de pepino crecidas en condiciones de suficiencia de Fe (40 µM) e inoculadas o no con las tres levaduras objeto de estudio en este trabajo: Dh, Hp y Sc. Las imágenes se obtuvieron 1, 2, 3 y 4 días después de la inoculación (ddi) mediante microscopio estereoscópico con cámara incorporada, después de haber teñido las raíces con azul de toluidina.

Bibliografía

- Briat JF, Dubos C, & Gaymard F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. Trends in Plant Science 20: 33-40.
- Ipek M, Aras S, Arıkan Ş, Eşitken A, Pırlak L, Dönmez, MF & Turan M. (2017). Root plant growth promoting rhizobacteria inoculations increase ferric chelate reductase (FC-R) activity and Fe nutrition in pear under calcareous soil conditions. Scientia Horticulturae 219:144-151.
- Kaur J, Anad V, Srivastava S, Bist V, Tripathi P, Naseem M. (2020). Yeast strain *Debaryomyces* for ameliorations of

arsenic stress in rice. Ecotoxicology and Environmental Safety 195: 110480.

- Lucena C, Romera FJ, García MJ, Alcántara E and Pérez-Vicente R. (2015). Ethylene participates in the regulation of Fe deficiency responses in Strategy I plants and in rice. Frontiers in Plant Science. 6: 1056.

- Lucena C, Alcalá-Jiménez MT, Romera FJ & Ramos J. (2021). Several yeast species induce iron deficiency responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.). Microorganisms 9: 2603.