

En la salud y en la enfermedad: las levaduras en las plantas

IRÁN TAPIA VÁZQUEZ, JUAN JOSÉ SALAZAR CORTÉS Y CLAUDIA MARTÍNEZ ANAYA

La Dra. Tapia Vázquez es investigadora posdoctoral en el Laboratorio de interacción Planta-microorganismos del Instituto de Biotecnología. El M. en C. Salazar Cortés es estudiante de doctorado del programa de Ciencias Bioquímicas en el Laboratorio de interacción Planta-microorganismos del Instituto de Biotecnología. La Dra. Martínez Anaya es investigadora titular y dirige el Laboratorio de interacción Planta-microorganismos del Instituto de Biotecnología.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Cuando escuchamos la palabra *levadura*, casi siempre pensamos en el pan, la cerveza o el vino; pero el proceso por los que generan estos productos es solo uno de muchos en los que participa este grupo diverso de *hongos* microscópicos. Muchas levaduras viven en el suelo, en el aire o sobre la superficie de las plantas, y algunas alternan entre la vida unicelular y fases multicelulares que transforman por completo su entorno. En este artículo exploramos esa diversidad: cómo se clasifican las levaduras para poder hacer sentido de todo lo que ahora sabemos sobre estos microorganismos, qué sucesos han dejado huella durante su estudio, y finalmente, qué estamos aprendiendo sobre su asociación con las plantas, en las que ciertas especies podrían funcionar en estrategias de promoción del crecimiento vegetal como biofertilizantes.

Breve historia del estudio de las levaduras

Aunque las levaduras son organismos unicelulares, no deben confundirse con las bacterias. Al igual que nuestras propias células, las levaduras son organismos *eucariontes* con compartimentos internos bien definidos (como el núcleo y las mitocondrias), lo que las hace mucho más grandes que una bacteria promedio. Por esta razón fueron de los primeros microorganismos en ser observados bajo el microscopio. Su rápido crecimiento en medios de cultivo relativamente simples y económicos, las hacen muy útiles para la ciencia, por lo que especies como *Saccharomyces cerevisiae* y *Schizosaccharomyces pombe* se convirtieron en modelos de estudio perfectos. Con ellas, muchas investigaciones han descifrado detalles de biología celular con importante repercusión en organismos multicelulares (como los mamíferos). Por ejemplo, al estudiar la división celular en levaduras se ha podido entender lo que sale mal durante el desarrollo del cáncer e incluso probar nuevos fármacos para combatirlo. Durante décadas, la inmensa mayoría de las investigaciones se enfocó en estas especies, desarrollando múltiples herramientas para modificarlas genéticamente. Hoy en día, un grupo

muy variado de levaduras es de gran interés en diferentes áreas de investigación básica o aplicada.

Características de las levaduras

Las levaduras pertenecen al reino Fungi, es decir, al de los hongos. Pero a diferencia de muchos hongos filamentosos, cuya morfología básica son células tubulares y alargadas que se organizan en *hifas*, en las levaduras la unidad estructural es, por lo general, una sola célula de forma ovalada o redondeada, y en esa forma transcurre la mayor parte de su ciclo de vida. Y esta es precisamente una de sus características más distintivas: la manera en la que se dividen. En muchas especies predomina la *gemación*, que es un proceso en el que la célula madre forma un pequeño brote en su superficie que crece conforme recibe material celular y, tras la división del núcleo, aloja

formas) y que, dependiendo del ambiente o de la etapa de su ciclo de vida, alternan entre una fase unicelular y otra filamentosas.

Al igual que los animales o las plantas, las levaduras también tienen una vida sexual. Algunas especies pueden reducir a la mitad su información genética, en un proceso llamado *meiosis*, similar al que ocurre cuando nosotros producimos espermatozoides u óvulos. Tomemos como ejemplo a la famosa *S. cerevisiae*, que puede vivir de dos maneras: como una célula con dos juegos de cromosomas (*diploide*) o, con solamente un juego tras la *meiosis*, que genera cuatro células hijas o esporas (*haploides*). En microbiología no existen géneros sexuales (como machos y hembras), pero sí hay *tipos compatibles*; entonces, cuando dos células haploides se encuentran y son compatibles, se fusionan para volver a formar

en la naturaleza existan señales específicas para que ocurra que no hemos logrado reproducir en el laboratorio. Comprender estas dos fases (*haploide* y *diploide*) es muy importante, ya que en algunos casos esto determina el comportamiento de la especie. Un ejemplo cercano es el del huitlacoche, que en México disfrutamos como una delicia, pero que en otros lugares se le considera una plaga del maíz. Este hongo (de nombre científico *Ustilago maydis*) tiene una fase ambiental como levadura haploide que se reproduce en el suelo, que es no infectiva; pero cuando dos haploides compatibles se encuentran y se fusionan, se vuelven virulentos para el maíz. Al fusionarse, la nueva célula diploide cambia su forma unicelular a la forma de hifa, lista para la colonización del maíz, generando los característicos tumores oscuros en la mazorca que todos conoce-



Figura 2. Izquierda, huitlacoche creciendo en el maíz (Foto: Adobe Stock). Derecha, cuerpo fructífero de *Tremella* creciendo en el bosque (Foto de C. Martínez-Anaya).

sideran rasgos fisiológicos (como los nutrientes que utilizan y cómo los procesan), rasgos ecológicos (dónde viven y con qué organismos interactúan) y, cada vez más, se requiere evidencia molecular basada en genes y genomas completos, así como en patrones de expresión génica. En los esquemas modernos de clasificación – como los de la Comisión Internacional sobre Taxonomía de los Hongos (ICTF por *International Commission on the Taxonomy of Fungi*) – se distinguen alrededor de 2,000 especies de levaduras (www.theyeast.org). Estas se dividen en dos filos (que es el nivel taxonómico siguiente al de reino) de hongos: el primero es el Basidiomycota que concentra entre el 25 y 30% de las especies; mientras que el filo Ascomycota contiene al resto.

En Basidiomycota, las levaduras se distribuyen en tres subdivisiones (*Ustilaginomycotina*, *Pucciniomycotina* y *Agaricomycotina*) y se han reportado alrededor de 500 especies en decenas de géneros. Algunos de ellos (por ejemplo, *Tremella*, *Phaeotremella* y *Sirobasidium*) sí forman cuerpos fructíferos, que, por ser gelatinosos, son usados en la industria cosmética para la hidratación de la piel (Figura 2). Aquí también encontramos especies de relevancia médica, como *Cryptococcus neoformans* que es un patógeno de humanos. Otras, como *Cystobasidium*, *Rhodotorula* y *Naganishia*, viven en ambientes muy fríos (como la Antártida). Por su parte, Ascomycota incluye los subfilos *Taphrinomycotina*, *Saccharomycotina* y *Pezizomycotina*, y concentra alrededor de 1,500 especies en más de 90 géneros. *Saccharomycotina* reúne la mayor parte de las especies descritas (alrededor de 1,200) y con frecuencia se le denomina el grupo de las *levaduras verdaderas*. Aquí se encuentran levaduras ampliamente distribuidas en ambientes terrestres y acuáticos, asociadas a plantas y animales, como *Candida albicans* que causa infecciones oportunistas en personas inmunocomprometidas, y *Saccharomyces cerevisiae* (la principal responsable de la fermentación alcohólica en bebidas). También en este grupo hay géneros que, además de la forma unicelular, pueden formar estructuras filamentosas, como *Eremothecium*, *Geotrichum* y *Hyphopichia*.

Queda claro que las levaduras no pertenecen a una sola rama en el árbol de la vida. Su existencia es resultado de lo que en biología se conoce como *evolución convergente*: esto significa que distintos linajes de hongos, que evolucionaron independientemente hace



miles o incluso millones de años, adoptaron la misma estrategia de vivir como levaduras. Además, apenas estamos rascando la superficie de su diversidad. Algunos cálculos indican que las especies que hoy conocemos representan solo el 1% del total de levaduras que existe en la naturaleza. El descubrimiento de nuevas levaduras es impulsado por potentes herramientas tecnológicas, como la secuenciación masiva de ADN, que nos permite detectar qué microorganismos están presentes en una muestra ambiental (como suelo o agua) sin siquiera verlos. Sin embargo, leer su ADN no es suficiente. Para comprender verdaderamente cómo viven, de qué se alimentan y cómo interactúan con su entorno, es indispensable aislarlas y hacerlas crecer en el laboratorio. Desafortunadamente, las técnicas para cultivar microorganismos no avanzan a la misma velocidad que las genéticas, por lo que lograr aislar estas especies desconocidas sigue siendo un gran reto para los científicos en todo el mundo.

Las levaduras y las plantas

La fermentación típica de las frutas (la que nos da el vino o la sidra) ocurre porque levaduras como *S. cerevisiae* procesan sus abundantes azúcares. Al hacerlo, producen compuestos aromáticos que atraen a las moscas que se alimentan de ellas, pero al mismo tiempo las levaduras se adhieren a las moscas para dispersarse a otros lugares. Pero *S. cerevisiae* no está sola. Gracias a las tecnologías de análisis de ADN, hoy sabemos que las plantas son el hogar de una comunidad diversa de levaduras (como *Hanseniaspora*, *Pichia* o *Metschnikowia*), que pueden tener un papel activo en la salud de la planta. Por ejemplo, se ha descubierto que ciertas levaduras en la piña ayudan a producir antioxidantes (flavonoides) que evitan que la fruta se oxide rápidamente, además de aportar el aroma característico que tanto disfrutamos.

Las levaduras como parte fundamental del microbioma de las plantas

Al igual que hemos aprendido que no podemos vivir sin los millones de microorganismos que habitan nuestro cuerpo, ahora también sabemos que las plantas no son individuos aislados, sino un *metaorganismo* que se desarrolla y coevoluciona con su microbioma asociado. El suelo de la *rizosfera* (la parte más próxima a la raíz) actúa como sistema digestivo e inmunológico externo de la planta, por eso, la fertilidad del suelo no depende solo de la cantidad de nutrientes que

le adicionemos, sino de las complejas redes de interacción entre microbios y plantas. Las bacterias y los hongos hacen biodisponibles minerales y nitrógeno, producen compuestos que afectan directamente el desarrollo de la raíz y el follaje, y activan la inmunidad vegetal, proveyendo resistencia al estrés ambiental y a microorganismos patógenos. Cuando la comunidad microbiana está en equilibrio, los campos de cultivo prosperan. Pero si el balance se rompe, el suelo se vuelve infértil, las plantas se debilitan y las cosechas son malas o se pierden. Estudios recientes muestran que al igual que los hongos filamentosos, las levaduras participan tanto en el reciclaje de componentes que nutren las plantas como en el control del desarrollo de patógenos, que de lo contrario podrían convertirse en plagas. De esta forma, especies como *Rhodospiridiobolus*, *Aureobasidium* y *Hanseniaspora* se han encontrado colonizando la superficie de hojas y raíces, e incluso dentro de los tejidos de la planta (como *endófitos*). Mientras que *Mrakia*, *Naganishia* y *Rhodotorula* son levaduras que han sido aisladas de ambientes extremos (como desiertos salinos), y sorprendentemente se ha visto que son capaces de transferir resistencia a la planta con la que se asocian para que sobreviva en condiciones hostiles. Durante décadas, la agricultura ha dependido de fertilizantes y pesticidas químicos que, aplicados de forma indiscriminada, desequilibran el microbioma. En búsqueda de alternativas a estos productos, las levaduras como biofertilizantes o aún protectoras contra enfermedades, son una estrategia prometedora. Eso es precisamente en lo que trabajamos en nuestro laboratorio de investigación, en donde al analizar a una levadura resistente a las bajas temperaturas que fue aislada del suelo asociado a una planta creciendo al lado del cráter del volcán Nevado de Toluca, hemos determinado que permite un mejor desarrollo de plantas de la familia solanácea (como la papa, el tomate o el chile), y las protege de infecciones (Figura 3). Actualmente estamos analizando la posibilidad de que los resultados que observamos a nivel de experimentos

de laboratorio puedan ser transferidos a condiciones de cultivo reales, lo que ayudaría a disminuir el uso de productos sintéticos y restablecer el equilibrio ecológico del suelo, con un beneficio directo para los agricultores.

En conclusión, las levaduras son mucho más que los microorganismos detrás de nuestras bebidas y alimentos favoritos. Con cada nueva especie que se descubre, confirmamos que estas pequeñas células fúngicas son parte importante del motor silencioso de ecosistemas enteros, y que podemos aprovechar lo que nos ofrecen para una agricultura sustentable.

Para saber más

Boekhout, T., Amend, A. S., El Baidouri, F., Gabaldón, T., Gernl, J., Mittelbach, M., Robert, V., Tan, C. S., Turchetti, B., Vu, D., Wang, Q. M., & Yurkov, A. (2022). Trends in yeast diversity discovery. *Fungal Diversity* 114 (1): 491–537. <https://doi.org/10.1007/s13225-021-00494-6>

Devi, R. P., Yamunasri, P., Balachandrar, D., & Muruganathi, D. (2025). Potencial de las levaduras del suelo para el crecimiento vegetal y la salud del suelo en la agricultura: Una revisión. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 19(1), 1–18. <https://doi.org/10.22207/JPAM.19.1.10>

Mejía Barajas, J. A., & Saavedra Molina, A. (s. f.). *Conociendo las levaduras*. Saber Más (Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo). <https://www.sabermas.umich.mx/archivo/articulos/97-numero-131/193-conociendo-las-levaduras.html>

Tullio, V. (2022). Yeast genomics and its applications in biotechnological processes: What is our present and near future? *Journal of Fungi*, 8(7), 752. <https://doi.org/10.3390/jof8070752>

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos.

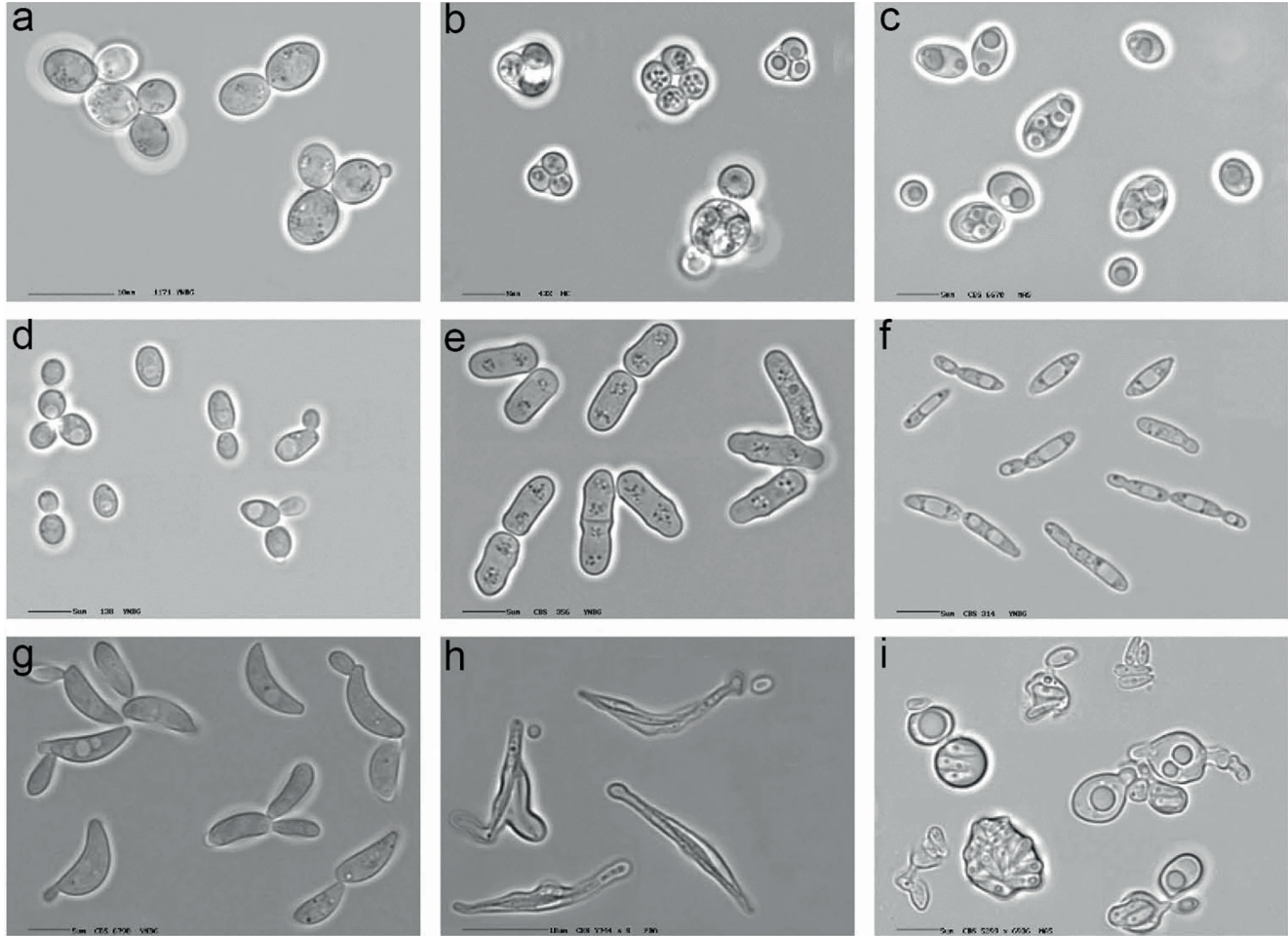


Figura 1. Diversas formas de levaduras en división. (a) *Saccharomyces cerevisiae* en gemación; (b) *Saccharomyces paradoxus* en reproducción por meiosis; (c) *Pichia scutulata* con ascoesporas; (d) *Candida glabrata* en gemación; (e) *Schizosaccharomyces pombe* en fisión; (f) *Hanseniaspora uvarum* en gemación; (g) *Metschnikowia lunata*; (h) *Metschnikowia agaves* en reproducción por meiosis; (i) *Clavispora lusitanae* en reproducción por meiosis. Figura tomada de Boekhout et al., 2022.

una de las copias para convertirse en una célula hija. En otras levaduras, la división ocurre por *fisión*, que es una separación más simétrica (Figura 1). Además, a diferencia de muchos hongos filamentosos, las levaduras normalmente carecen de estructuras donde se produzcan o liberen esporas sexuales, conocidas como *cuerpos fructíferos*, que reconocemos en hongos macroscópicos, como el champiñón o las setas.

Pero como suele ocurrir en biología, nada es absoluto: existen linajes tradicionalmente llamados “levaduras” que rompen estas generalizaciones. Por ejemplo, hay especies *dimórficas* (que tienen dos

una levadura diploide con dos juegos de información genética. La “decisión” de multiplicarse, ya sea clonándose a sí misma o por reproducción sexual, depende de las condiciones del ambiente, pero es posible que el estrés sea la señal para la formación de las esporas haploides, que suelen ser células con mayor resistencia a condiciones desfavorables para crecer. Aún no sabemos si esta es la regla para todas las levaduras. En el laboratorio, hay especies que parecen reproducirse siempre haciendo copias exactas de sí mismas, sin importar cuánto estrés se les aplique. Pero esto no significa que no tengan un ciclo sexual; es probable que

mos (Figura 2).

Clasificación de las levaduras

La clasificación taxonómica de las levaduras es importante, porque permite identificar con precisión sus propiedades genéticas, metabólicas, fisiológicas y sus posibles usos. Esta clasificación es la base para aprovechar sus beneficios o mitigar sus riesgos en distintos sectores, desde la medicina hasta la producción de alimentos.

Para clasificar las levaduras no basta con la morfología y el tipo de reproducción que presentan, sino que también se con-



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: www.acmor.org
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com

