

**Sección:** Arte en ciencia e ingeniería

# *La travesía de Azotobacter vinelandii: una aventura llena de cambios*

*The journey of Azotobacter vinelandii: An adventure full of changes*

---

*Iliana C. Martínez-Ortiz*  
*Francisca Villanueva-Flores\**

*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Instituto Politécnico Nacional, Boulevard de la Tecnología, 1036 Z-1, P 2/2, 62790, Xochitepec, Morelos, México.*

*\*Autor para la correspondencia: fvillanuevaf@ipn.mx*

## **RESUMEN**

*Azotobacter vinelandii* es una bacteria del suelo capaz de fijar nitrógeno y solubilizar fosfatos, procesos que favorecen el crecimiento de las plantas. Bajo condiciones adversas, como la desecación, sufre un proceso de diferenciación celular mediante el cual forma quistes, estructuras resistentes a la desecación. En esta narrativa en forma de cuento describimos el proceso que realiza *Azotobacter* desde el enquistamiento hasta la germinación.

*Palabras clave: Azotobacter vinelandii, quiste, resistencia.*

---

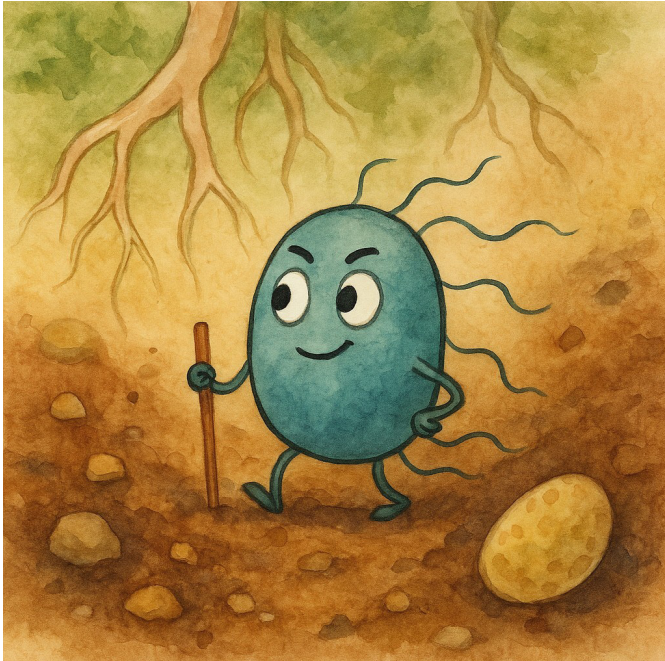
## **SUMMARY**

*Azotobacter vinelandii* is a soil bacterium capable of nitrogen fixation and phosphate solubilization, processes that promote plant growth. Under adverse conditions, such as desiccation, it undergoes a process of cellular differentiation through which it forms cysts, structures that are resistant to desiccation. In this narrative, we describe the process followed by *Azotobacter* from encystment to germination.

*Keywords: Azotobacter vinelandii, cyst, resistance.*

## Un habitante discreto del suelo

En el vasto universo del suelo, donde las raíces de las plantas conversan entre susurros, habita un ser diminuto, tan pequeño, que está formado por una sola célula. A pesar de que podrías imaginar que es un ser simple, te aseguro que es extraordinario, su nombre es: *Azotobacter vinelandii*.



## El don de transformar nutrientes en recursos aprovechables

Comencemos hablando de su don más generoso: ayudar al crecimiento vegetal. *A. vinelandii*  **fija nitrógeno**, que las plantas usan para sintetizar proteínas, clorofila y ácidos nucleicos y **solubiliza fosfatos**, crucial para moléculas como ATP y fosfolípidos. Lo interesante es que ambos nutrientes son abundantes en el ambiente, pero no en una forma utilizable. El problema del nitrógeno, por ejemplo, es que está en forma de  $N_2$ , una molécula extremadamente estable. Las plantas no pueden romper ese enlace por sí mismas. *A. vinelandii* sí puede hacerlo, gracias a una enzima llamada ni-

trogenasa, que convierte  $N_2$  en amonio ( $NH_4^+$ ), una forma aprovechable, mientras que el fósforo suele estar presente en el suelo, pero atrapado en formas insolubles. En esa condición, las raíces no pueden absorberlo fácilmente. *A. vinelandii*, puede contribuir a solubilizar fosfatos, mediante la liberación de compuestos que modifican el microambiente y facilitan la liberación del fósforo. Por eso, quienes crecen cerca de ella se vuelven más altos, más verdes y más fuertes.



## Cuando el suelo deja de ser un hogar

El suelo no es un ambiente estable. A diferencia de un laboratorio, donde temperatura, nutrientes y humedad se controlan, el suelo real es un sistema dinámico. Imaginemos un campo en la temporada seca: las lluvias cesan, el calor golpea sin tregua, el viento arrastra y consume la humedad que la tierra guarda. Los nutrientes comienzan a escasear. A escala microscópica, esto es una crisis: ¿Cómo sobrevivir? *A. vinelandii* tiene la respuesta: transformándose.



## Diferenciación celular: el arte de cambiar sin dejar de ser

En microbiología existe un curioso principio: dos células de la misma especie, con el mismo genoma, pueden verse y comportarse distinto dependiendo de qué genes estén activos. A esto se le llama **diferenciación celular**, que quiere decir que, la bacteria entra a un estado fisiológico distinto; expresa proteínas diferentes, reorganiza su metabolismo y modifica su estructura a un quiste.

## El quiste: una estrategia de resistencia

Un quiste es una **estructura diferenciada**, diseñada para resistir condiciones adversas como la desecación; en una forma de vida especializada para soportar un ambiente que ya no permite crecimiento normal. Lo primero que ocurre es un cambio visible: la célula deja de verse como un bastón y se redondea. Se encoge, reorganiza su envoltura y modifica su fisiología. En el interior ocurre otro cambio crucial: la acumulación de gránulos de **polihidroxibutirato (PHB)**, una reserva energética,

que la bacteria utiliza cuando necesita reiniciar su metabolismo. Después viene la construcción del refugio: una cápsula protectora compuesta de **alginato**, un polímero viscoso, que funciona como barrera física.



## Una decisión poblacional

En una población bacteriana, no todas las células se enquistan al mismo tiempo. ¿Por qué? Porque el enquistamiento es costoso: toma días y requiere reorganización metabólica. Si todas las bacterias de la población entraran en estado de diferenciación, el sistema quedaría sin células activas capaces de aprovechar nutrientes disponibles, competir por espacio o responder a cambios rápidos. En otras palabras: el enquistamiento no es solo una respuesta individual, también es una estrategia poblacional. Algunas células apuestan por resistir el futuro. Otras permanecen activas para aprovechar el presente.



### El despertar desde la germinación: cuando el agua regresa

Y entonces un día sucede, ¡vuelve el agua! La humedad se filtra en el suelo, el ambiente se vuelve favorable y el quiste recibe señales que reactivan el metabolismo. La célula utiliza el PHB acumulado para reiniciar procesos como:

síntesis de macromoléculas. El quiste se fragmenta como una cáscara y de su interior emergen dos células activas, listas para multiplicarse e iniciar nuevamente el ciclo.



### Más allá del cuento: *A. vinelandii* como una herramienta biotecnológica para la agricultura

La historia de *A. vinelandii* no es solo un relato curioso, es un ejemplo real de cómo la ecología de un microbio, puede favorecer procesos biotecnológicos. Su capacidad de fijar nitrógeno y contribuir a la disponibilidad de fósforo la vuelve relevante para agricultura. Su habilidad de formar quistes la vuelve particularmente interesante para aplicaciones reales,

porque le permite sobrevivir condiciones ambientales difíciles. Esto es clave si pensamos en productos biotecnológicos como fertilizantes microbianos: no basta con que una bacteria sea útil en laboratorio; también debe ser capaz de persistir en el suelo. Y en eso, *A. vinelandii* tiene una ventaja evidente: sabe resistir.

## Agradecimiento

Se agradece al financiamiento SIP2025481 otorgado por el Instituto Politécnico Nacional y al fondo CBF2025-I-1532 de la Convocatoria de Ciencia Básica y de Frontera de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, para la realización de este trabajo. Se declara que se utilizó la herramienta Chat GPT-4 como apoyo para la revisión ortográfica y el diseño de las ilustraciones, sin comprometer la originalidad ni el rigor científico del manuscrito.

## Referencias

- [1] Das, H. K. (2019). Azotobacters as biofertilizer. *Advances in Applied Microbiology*, 108, 1–43. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2019.07.001>
- [2] Høidal, H. K., Glaerum Svanem, B. I., Gimmestad, M., & Valla, S. (2000). Mannuronan C-5 epimerases and cellular differentiation of *Azotobacter vinelandii*. *Environmental Microbiology*, 2(1), 27–38. <https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2000.00074.x>