Plataforma bionanotecnológica para el desarrollo de nanoprobióticos: probióticos como vehículos de micronutrientes para la nutrición humana y animal

Claudio Dietz-Vargas, Eduardo Sepúlveda-Rivera, Javiera Ramos-Zúñiga, Dinka Ivulic, Daniela Allendes, Bárbara Norambuena, José M. Pérez-Donoso.

Universidad Andrés Bello, Bionanotechnology and Microbiology Laboratory, Center for Bioinformatics and Integrative Biology (CBIB), Facultad de Ciencias Biológicas, Av. República #303, Santiago, Chile

Contacto: jose.perez@unab.cl

Introducción

Problema

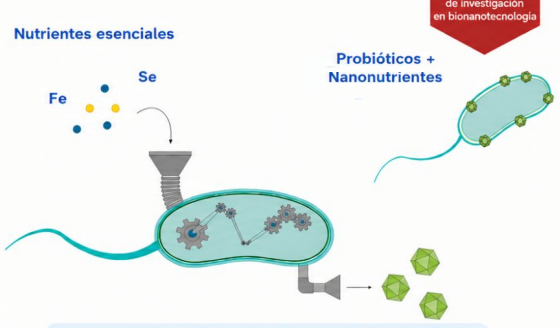
+5.000 millones personas con ingesta inadecuada de micronutrientes.

+4.000 millones presentan ingesta insuficiente de hierro.

336 toneladas de antibióticos usó la salmonicultura chilena en 2024, bajo creciente presión por reducirlos.

Nuestra solución

+10 años de investigación en bionanotecnología



Los probióticos pueden actuar como biofábricas y vehículos de nanonutrientes esenciales.

Aplicaciones

Esta tecnología es versátil y puede aplicarse en:

Salud humana
- Suplementos minerales con beneficios probióticos y alimentos funcionales.

Producción animal
- Alimento acuícola y suplementación en aves y cerdos.

Agricultura
- Bioestimulantes y biofertilizantes con micronutrientes.

Objetivos

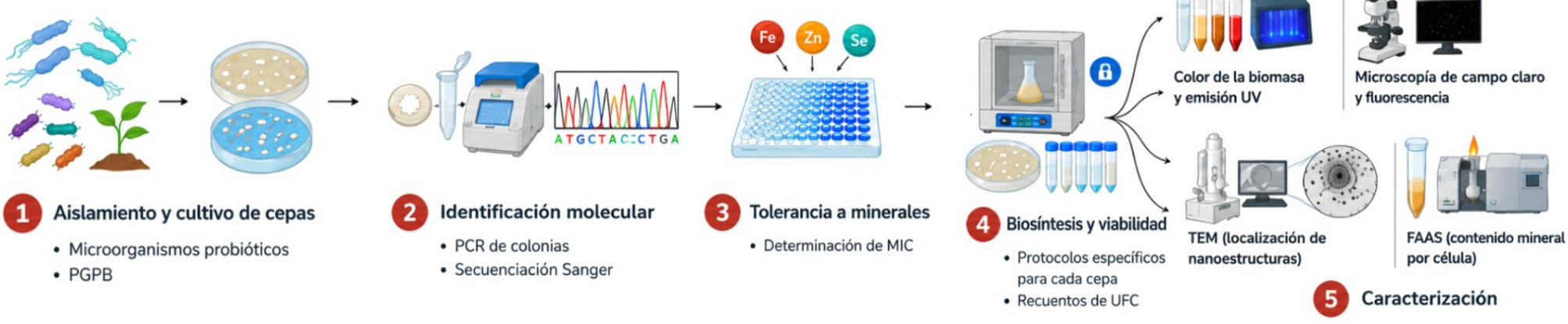
Objetivo general

Desarrollar un flujo de trabajo para la producción de **nanoprobióticos**, optimizando la **retención y liberación de micronutrientes** mediante bacterias probióticas y promotoras del crecimiento vegetal (PGPB).

Objetivos específicos

1. **Aislar** e identificar cepas probióticas y PGPB.
2. **Biosintetizar** nanoestructuras minerales intracelulares
3. **Caracterizar** la carga mineral preservando la viabilidad celular.

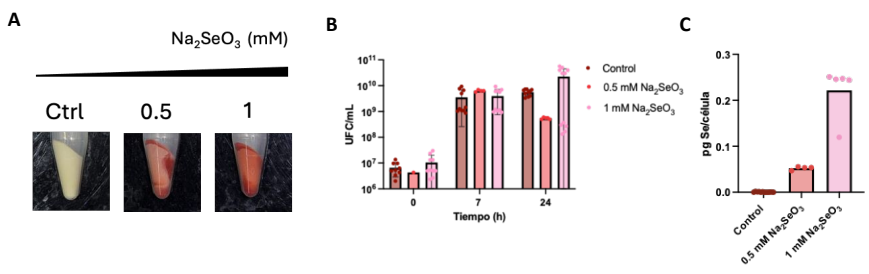
Metodología



1. **Aislamiento y cultivo de cepas**
   - Microorganismos probióticos
   - PGPB
2. **Identificación molecular**
   - PCR de colonias
   - Secuenciación Sanger
3. **Tolerancia a minerales**
   - Determinación de MIC
4. **Biosíntesis y viabilidad**
   - Protocolos específicos para cada cepa
   - Recuentos de UFC
5. **Caracterización**

Resultados y Discusión

Nutrición Humana



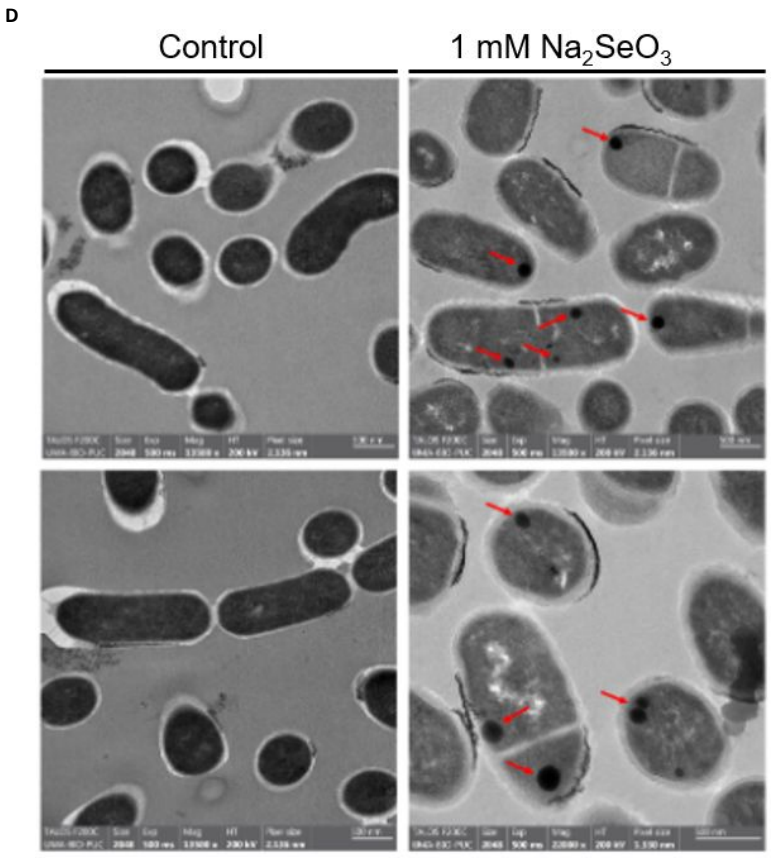
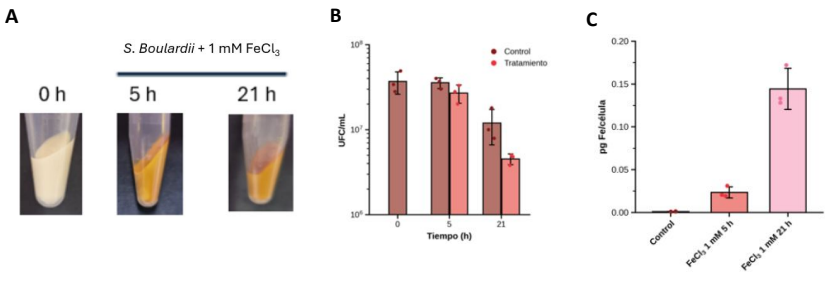


Figura 1. Biosíntesis de nanonutrientes de selenio en *Lactobacillus plantarum*. Las células se cultivaron en un medio específico para cada cepa hasta la fase exponencial y se expusieron a concentraciones subinhibitorias de un precursor de selenio. (A) Pellets celulares que muestran una coloración roja dependiente de la dosis después de la exposición al precursor. (B) Viabilidad celular (UFC/mL) durante la exposición. (C) Selenio intracelular cuantificado mediante FAAS (pg Se/célula), que muestra una acumulación dependiente de la dosis. (D) TEM de células control y expuestas a Se; las flechas rojas indican estructuras intracelulares esféricas electrodensas, ausentes en los controles. Barras de escala: 500 nm.

Nutrición Animal



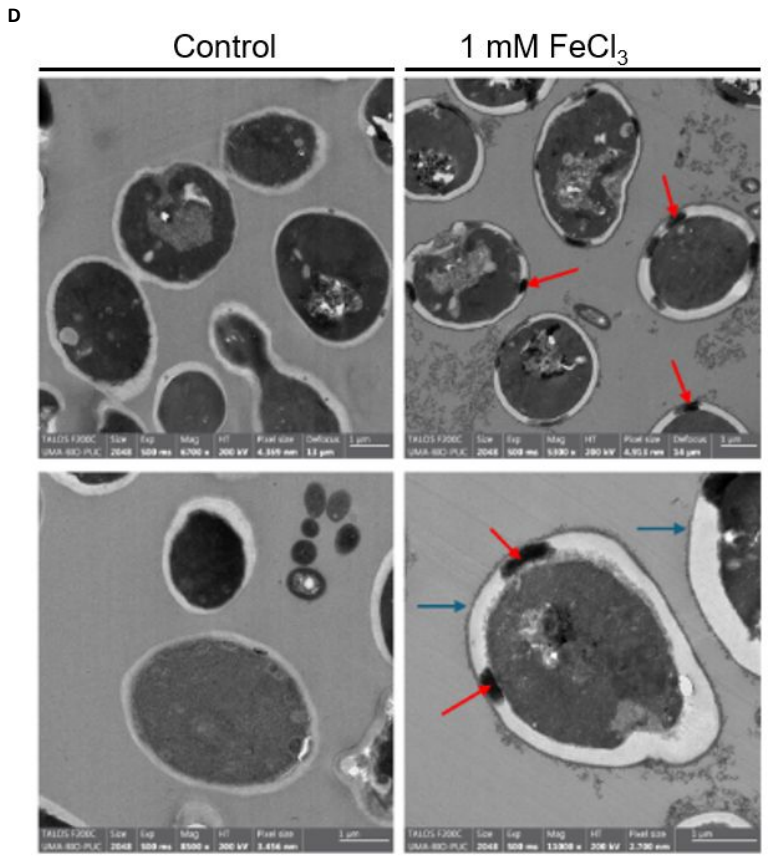


Figura 2. Biosíntesis de nanonutrientes de hierro en *Saccharomyces boulardii*. Las células se cultivaron hasta la fase exponencial tardía y se expusieron al precursor de hierro. (A) Pellets celulares a diferentes tiempos de exposición. (B) Viabilidad celular (UFC/mL) durante la exposición. (C) Hierro intracelular cuantificado mediante FAAS (pg Fe/célula) para la condición de 1 mM. (D) TEM de células control y expuestas a Fe; se indican depósitos electrodensos en la pared celular (flechas rojas) y la envoltura (flechas azules), ausentes en los controles. Barras de escala: 1 µm.

Conclusiones

Las cepas probióticas fueron capaces de biosintetizar y acumular nanoestructuras de micronutrientes, preservando su viabilidad celular. Estos resultados establecen la base de una plataforma de nanoprobióticos para la nutrición humana y animal, que será validada mediante ensayos de liberación controlada en condiciones gastrointestinales simuladas y, posteriormente, en modelos animales.

Referencias

1. Passarelli, S., Free, C. M., Shepon, A., Beal, T., Batis, C., & Golden, C. D. (2024). Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: A modelling analysis. *The Lancet Global Health*. https://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00276-6
2. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (2025). *Informe sobre uso de antimicrobianos en la salmonicultura nacional, año 2024*.
3. Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura. (2020). *Programa para la Optimización del Uso de Antimicrobianos en la Salmonicultura (PROA-Salmón)*.
4. European Commission. (2005, December 22). *Ban on antibiotics as growth promoters in animal feed enters into effect* [Press release IP/05/1687].
5. Gahlawat, G., & Choudhury, A. R. (2019). A review on the biosynthesis of metal and metal salt nanoparticles by microbes. *RSC Advances, 9*, 12944–12967. https://doi.org/10.1039/C8RA10483B
6. Xu, C., Qiao, L., Ma, L., Yan, S., Guo, Y., Dou, X., Zhang, B., & Roman, A. (2019). Biosynthesis of polysaccharides-capped selenium nanoparticles using *Lactococcus lactis* NZ9000 and their antioxidant and anti-inflammatory activities. *Frontiers in Microbiology, 10*, 1632. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01632
7. Monrás, J. P., Díaz, V., Bravo, D., Montes, R. A., Chasteen, T. G., Osorio-Román, I. O., Vásquez, C. C., & Pérez-Donoso, J. M. (2012). Enhanced glutathione content allows the in vivo synthesis of fluorescent CdTe nanoparticles by *Escherichia coli*. *PLoS ONE, 7*(11), e48657. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048657
8. Gallardo-Benavente, C., Carrión, O., Todd, J. D., Pieretti, J. C., Seabra, A. B., Durán, N., Rubilar, O., Pérez-Donoso, J. M., & Quiroz, A. (2019). Biosynthesis of CdS quantum dots mediated by volatile sulfur compounds released by Antarctic *Pseudomonas fragi*. *Frontiers in Microbiology, 10*, 1866. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01866

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID) a través de FONDEF Tecnologías Avanzadas, proyecto TA25I10074.

Agradecemos a la Universidad Andrés Bello (UNAB) y a Pewman Innovation por su apoyo, y a los socios industriales que contribuyeron a la validación temprana de esta tecnología.

@bionanotechnologylab

BIONANOTECHNOLOGYLAB