



IRÁM PABLO RODRÍGUEZ SÁNCHEZ
Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

DOI 10.47633/oriolus1.1-3

BIOLOGÍA SINTÉTICA: UNA REVOLUCIÓN SOSTENIBLE PARA LA AGRICULTURA DEL SIGLO XXI



Imagen ilustrativa / Creada con Inteligencia Artificial. ChatGPT, OpenAI, 2026.

Introducción

La biología sintética se ha consolidado como una disciplina transformadora que fusiona ingeniería, biología molecular y ciencias computacionales para diseñar organismos y sistemas biológicos con funciones específicas. En el contexto agrícola, esta tecnología ofrece soluciones innovadoras frente a desafíos globales como el crecimiento poblacional, el cambio climático y la degradación de suelos. Según la FAO, la producción de alimentos deberá incrementarse en un 70% para 2050, sin expandir significativamente la frontera agrícola. En este escenario, la biología sintética emerge como una herramienta clave para desarrollar cultivos más resilientes, microbiomas funcionales y alternativas sostenibles a insumos agroquímicos.

Avances tecnológicos en biología sintética agrícola

Edición genética de precisión y cultivos resilientes

La edición genómica mediante CRISPR-Cas9 ha permitido modificar genes específicos relacionados con la tolerancia a estrés abiótico, resistencia a patógenos y eficiencia fotosintética. A diferencia de los transgénicos tradicionales, estas técnicas no requieren la inserción de ADN foráneo, lo que facilita su aceptación regulatoria en países como EE.UU. y Brasil.

Además, herramientas emergentes como los editores de bases y los sistemas CRISPR multiplexados permiten una edición simultánea de múltiples loci, acelerando el desarrollo de variedades adaptadas a condiciones climáticas extremas.

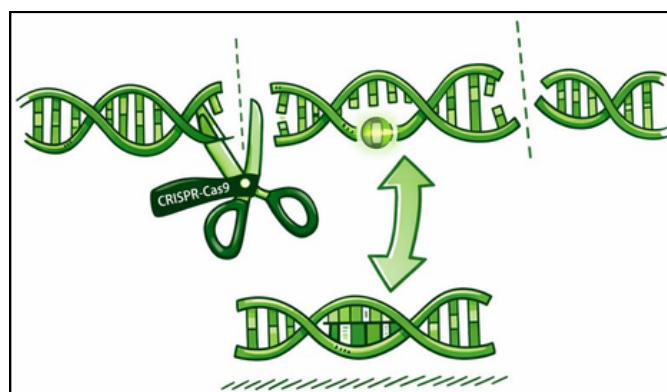


Figura 1: CRISPR-Cas9 es una herramienta revolucionaria de edición genética que funciona como unas "tijeras moleculares" para cortar y modificar el ADN de forma precisa, rápida y económica.

Imagen ilustrativa / Creada con Inteligencia Artificial. ChatGPT, OpenAI, 2026.

Microbiomas sintéticos: ingeniería del ecosistema rizosférico

Los consorcios microbianos sintéticos (SynComs) representan una estrategia prometedora para mejorar la salud del suelo y la productividad vegetal sin modificar directamente el genoma de las plantas. Estos consorcios se diseñan mediante algoritmos de aprendizaje automático que integran datos ómicos y modelos ecológicos para seleccionar cepas con funciones complementarias.

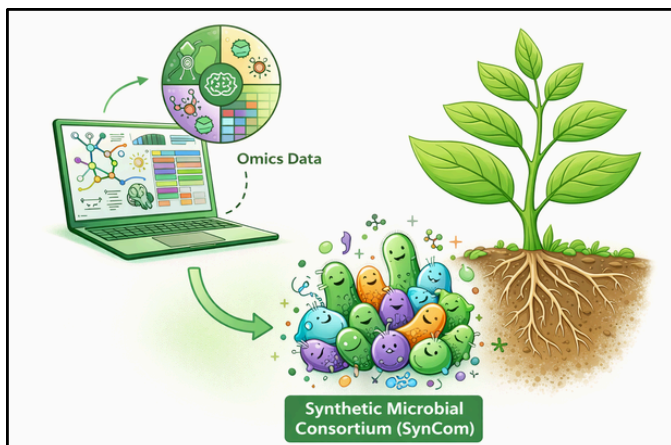


Figura 2: Los consorcios microbianos sintéticos son comunidades diseñadas de microorganismos con funciones complementarias que colaboran para realizar tareas complejas, superando en eficiencia y robustez a las cepas únicas.

Imagen ilustrativa / Creada con Inteligencia Artificial. ChatGPT, OpenAI, 2026.

| Acción | Microrganismo |
|---|---|
| Fijación biológica de nitrógeno | <i>Rhizobium spp.</i> |
| | <i>Bradyrhizobium spp.</i> |
| | <i>Frankia spp.</i> |
| | <i>Azotobacter spp.</i> |
| | <i>Clostridium spp.</i> |
| | <i>Klebsiella pneumoniae</i> |
| | <i>Azospirillum spp.</i> |
| | <i>Herbaspirillum spp.</i> |
| | <i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i> |
| | <i>Anabaena spp.</i> |
| Solubilización de fósforo y potasio | <i>Nostoc spp.</i> |
| | <i>Bacillus megaterium</i> |
| | <i>Paenibacillus spp.</i> |
| | <i>Trichoderma harzianum</i> |
| | <i>Bacillus mucilaginosus</i> |
| | <i>Rhizobium spp.</i> |
| Biocontrol de patógenos mediante antibiosis o competencia | <i>Pseudomonas fluorescens</i> |
| | <i>Bacillus subtilis</i> |
| | <i>Streptomyces spp.</i> |
| | <i>Paenibacillus polymyxa</i> |
| | <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> |
| | <i>Pseudomonas putida</i> |
| Producción de fitohormonas como auxinas y giberelinas | <i>Lysobacter enzymogenes</i> |
| | <i>Pseudomonas fluorescens</i> |
| | <i>Azospirillum brasilense</i> |
| | <i>Pseudomonas putida</i> |
| | <i>Enterobacter cloacae</i> |
| | <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> |
| | <i>Azotobacter chroococcum</i> |
| | <i>Bacillus pumilus</i> |
| | <i>Rhizobium spp.</i> |
| | <i>Azotobacter</i> |
| | <i>Bacillus mycoides</i> |
| | <i>Enterobacter aerogenes</i> |

Tabla 1.- Aplicaciones destacadas de las bacterias en la producción vegetal.

Estudios recientes han demostrado que los SynComs pueden aumentar el rendimiento de cultivos hasta en un 30% y reducir el uso de fertilizantes sintéticos, contribuyendo a una agricultura regenerativa.

Estudio de caso: impacto de los SynComs en maíz

En Iowa, un ensayo a gran escala en 2023 mostró que la aplicación de microbiomas sintéticos personalizados en maíz logró:

- Incremento del rendimiento sin modificación genética.
- Eliminación del uso de fertilizantes nitrogenados.
- Reducción de la huella de carbono agrícola.
- Ahorros económicos significativos para los productores.

Empresas como Pivot Bio y Indigo Agriculture han liderado esta transición hacia bioinsumos inteligentes, con una adopción proyectada de más de 5 millones de hectáreas para 2027.



Figura 3: Imagen ilustrativa / Creada con Inteligencia Artificial. ChatGPT, OpenAI, 2026.

Desafíos y consideraciones éticas

Complejidad biológica y predictibilidad

Uno de los principales retos es la complejidad inherente de los sistemas vivos. Las interacciones planta-microbio-ambiente son altamente dinámicas y contextuales. Aunque los modelos computacionales y la biología de sistemas han mejorado la predictibilidad, aún se requieren ensayos de campo extensivos para validar la eficacia de los diseños sintéticos.

Regulación y percepción pública

La regulación de organismos editados genéticamente varía entre regiones. Mientras que EE.UU. adopta un enfoque basado en la equivalencia sustancial, la Unión Europea mantiene restricciones más estrictas. La aceptación social depende en gran medida de la percepción del riesgo y del beneficio, por lo que la comunicación científica clara y transparente es esencial.

Conclusión

La biología sintética está redefiniendo el futuro de la agricultura al ofrecer soluciones precisas, sostenibles y escalables. Desde la edición genética de cultivos hasta el diseño de microbiomas funcionales, esta disciplina permite enfrentar los desafíos alimentarios del siglo XXI sin comprometer la salud del planeta. Su implementación exitosa dependerá de una sinergia entre ciencia, regulación y participación social informada.



Figura 4: Aplicaciones agrícolas de la biología sintética. Imagen ilustrativa / Creada con Inteligencia Artificial. ChatGPT, OpenAI, 2026.

Referencias

1. Yang, J.-S., & Reyna-Llorens, I. (2023). Plant synthetic biology: exploring the frontiers of sustainable agriculture and fundamental plant biology. *Journal of Experimental Botany*, 74(13), 3787–3790. <https://doi.org/10.1093/xb/erad220>
2. Sargent, D., Conaty, W. C., & Sharwood, R. E. (2022). Synthetic biology and opportunities within agricultural crops. *Journal of Sustainable Agriculture and Environment*, 1, 89–107. <https://doi.org/10.1002/sae2.12014>
3. Karataş, P., & Ayaz, F. (2025). Synthetic biology and application areas. *Discover Biotechnology*, 2(3). <https://doi.org/10.1007/s44340-025-00010-5>
4. Giordano, A. (2023). From the lab to the field: CRISPR/Cas addressing challenges in agriculture. *Journal of Experimental Botany*, 74(12), 3399–3401. <https://doi.org/10.1093/xb/erad199>
5. Shayanthan, A., Ordoñez, P. A. C., & Oresnik, I. J. (2022). The role of synthetic microbial communities (SynCom) in sustainable agriculture. *Frontiers in Agronomy*, 4, 896307. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.896307>
6. Gonçalves, O. S., Creevey, C. J., & Santana, M. F. (2023). Designing a synthetic microbial community through genome metabolic modeling to enhance plant-microbe interaction. *Environmental Microbiome*, 18, Article 81. <https://doi.org/10.1186/s40793-023-00536-3>
7. Lee, J., Kim, S., Jung, H., Koo, B.-K., & Han, J. A. (2023). Exploiting bacterial genera as biocontrol agents: mechanisms, interactions and applications in sustainable agriculture. *Journal of Plant Biology*, 66, 485–498. <https://doi.org/10.1007/s12374-023-09404-6>
8. Kejela, T. (2024). Phytohormone-producing rhizobacteria and their role in plant growth. En *New Insights into Phytohormones*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1002823>