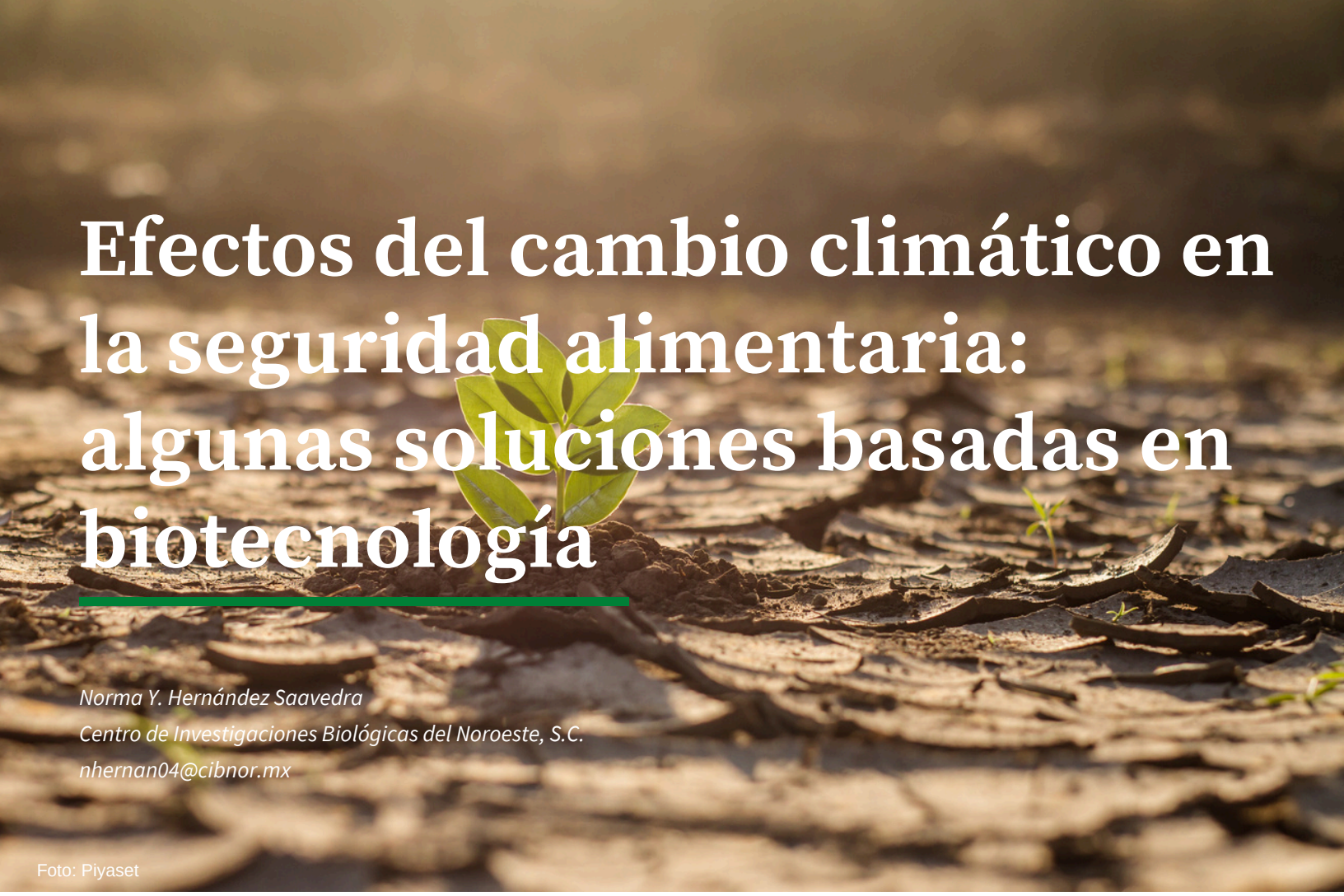


Efectos del cambio climático en la seguridad alimentaria: algunas soluciones basadas en biotecnología



Norma Y. Hernández Saavedra

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

nhernan04@cibnor.mx

Foto: Piyaset

Tema

El cambio climático está agravando las amenazas a la seguridad alimentaria mundial al afectar la productividad agrícola, la distribución de alimentos y la calidad de los nutrientes. La biotecnología se reconoce cada vez más como una herramienta clave para adaptar los sistemas alimentarios a estos desafíos, ofreciendo soluciones innovadoras para mejorar la resiliencia, la productividad y el valor nutricional de los cultivos.

1.Introducción

El Cambio Climático (CC, por sus siglas en español) representa una amenaza significativa para la seguridad alimentaria mundial al alterar la temperatura, la humedad y los patrones de lluvia, además de incrementar la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, lo cual afecta negativamente la agricultura, las cosechas y la calidad nutricional de los cultivos (Fig. 1A). Lo anterior, aumenta la

volatilidad de los precios de los alimentos y agrava la desnutrición, especialmente en regiones vulnerables y entre las poblaciones marginadas (Schmidhuber y Tubiello, 2007). El CC también promueve cambios en el comportamiento de los microorganismos y las plagas, lo que puede provocar la aparición y el agravamiento de enfermedades transmitidas por los alimentos (Fig. 1B). Las condiciones ambientales cambiantes favorecen la propagación de especies invasoras y la proliferación de algas productoras de toxinas, lo que da lugar a brotes de contaminación de productos del mar (EFESA, 2025), por lo que los factores socioeconómicos y las disparidades regionales influyen aún más en la gravedad de estos impactos (Mirzabaev et al., 2023).



Figura 1. Efectos del Cambio Climático. Panel A, Contaminación ambiental y el incremento de la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos afectan negativamente la agricultura, las cosechas y la calidad nutricional de los cultivos; Panel B, el CC genera nuevas condiciones ambientales que son una oportunidad para la proliferación de enfermedades en cultivos y frutos (Canva).



La biotecnología ofrece estrategias eficaces para contrarrestar algunos efectos del estrés climático. Técnicas como la ingeniería genética, la edición genómica y la selección asistida por marcadores se utilizan para desarrollar cultivos con mayor resistencia a la sequía, el calor y las plagas, así como perfiles nutricionales mejorados. Las innovaciones biotecnológicas también apoyan prácticas sostenibles, como el biocarbón para la fertilidad del suelo y el biogás para la generación de energía renovable, entre otras.



Figura 2. Nueve clases en las que la FAO clasificó las 44 innovaciones que considera que influirán en la alimentación del planeta para el 2050 (Canva).

2. Los Sistemas Alimentarios y el Cambio Climático

Los sistemas alimentarios del planeta están bajo presión debido a los cambios de temperatura (la temperatura elevada), los cambios en los patrones de lluvias, el aumento de la población y las diversas exigencias alimenticias. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) ha identificado 44 innovaciones emergentes —que incluyen insectos comestibles, alimentos impresos en 3D

y agricultura en ambientes controlados— que pueden transformar la producción de alimentos y la seguridad de la agricultura en el futuro próximo (Di Martino et al., 2025). Sin embargo, para que esto sea posible, es muy importante que exista una legislación proactiva y se de la colaboración entre sectores, a fin de garantizar que estos adelantos apoyen los propósitos de salud pública y del medio ambiente.

En respuesta a esta problemática, se están desarrollando nuevas formas de alimentarse y producir en todo el planeta. En los próximos 25 años, estas innovaciones tendrán la capacidad

de cambiar la forma en la que se producen los alimentos y como los consumimos. Dentro de su labor de exploración, la FAO realizó una actividad de prospección para indagar las posibles consecuencias de estos adelantos sobre la inocuidad alimentaria. A través de entrevistas con especialistas y la aplicación de métodos estadísticos, la investigación determinó que existen cuarenta y cuatro innovaciones catalogadas en nueve clases (Fig. 2) que se cree que influenciarán los procesos alimenticios del planeta en los próximos 25 años.

Para alcanzar los objetivos futuros de seguridad alimentaria, a medida que la población mundial se acerca a los 10 000 millones de personas, la transformación de los sistemas agroalimentarios es crucial para que sean más resilientes, inclusivos y ambientalmente sostenibles en sincronía con la necesidad de legislación proactiva y colaboración intersectorial para garantizar que estos avances favorezcan la salud pública y la sostenibilidad ambiental (Fig. 3).

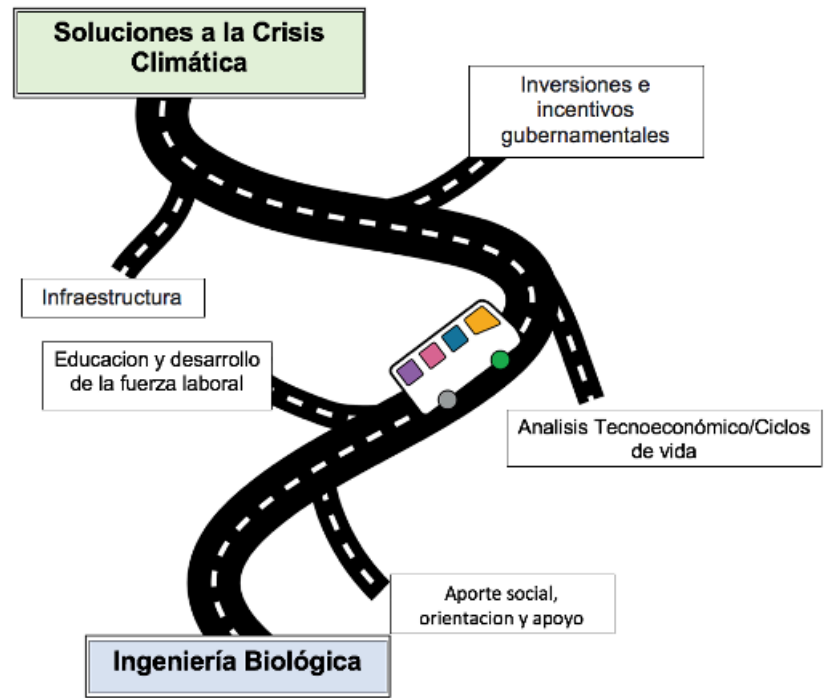


Figura 3. Factores que fortalecen el camino hacia soluciones de ingeniería biológica a la crisis climática (modificado de Aurand et al., 2024).



Foto: Moisesecu

3. Estrategias y soluciones para abordar los desafíos de seguridad alimentaria inducidos por el cambio climático.

A continuación, se presentan algunas estrategias y soluciones para abordar los desafíos de seguridad alimentaria inducidos por el CC, abarcando medidas de adaptación para la resiliencia agrícola, esfuerzos de mitigación para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI, por sus siglas en español) de la agricultura, intervenciones políticas y marcos institucionales, y cooperación y alianzas internacionales (Cheng et al., 2021; Toromade et al., 2024).

3.1 Las prácticas de gestión sostenible de la tierra

Estas prácticas desempeñan un papel crucial en la mejora de la capacidad de los sistemas agrícolas para afrontar el CC, a la vez que promueven la salud del suelo, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (De Corato, 2020). La agricultura de conservación y la agricultura orgánica son ejemplos de prácticas sostenibles de gestión de la tierra que pueden mejorar la estructura del suelo, la retención de agua y el ciclo de nutrientes, reducir la erosión, aumentar la fertilidad y mitigar los impactos del cambio climático en la productividad de los cultivos.

Otro ejemplo es la diversificación de cultivos, que implica la plantación de una variedad de cultivos con diferentes características y requisitos de crecimiento para mitigar los riesgos y mejorar la resiliencia al cambio climático (Zsögön et al., 2022; Fig. 4). Al diversificar sus cultivos, los agricultores pueden mitigar los impactos de los fenómenos meteorológicos extremos, las plagas y las enfermedades, garantizando un suministro de alimentos más estable y seguro. Además, la rotación de cultivos ayuda a mantener el contenido de nutrientes disponibles en el suelo y su estructura. La implementación de estrategias de rotación de cultivos debe tener en cuenta las características locales del suelo y las condiciones climáticas. La propia estrategia debe considerar factores como la selección de cultivos, la frecuencia de siembra y la secuencia de rotación. Esto es crucial porque la secuencia de rotación debe alternar entre cultivos hospedantes y no hospedantes (es decir, cultivos susceptibles a plagas y enfermedades). Otro detalle para considerar es el intervalo de siembra dentro del mismo ciclo de rotación de cultivos (Cherlinka, 2025).

3.2 La conservación del agua y las técnicas de riego eficientes

Son prácticas esenciales para optimizar la eficiencia del uso del agua y reducir la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a la escasez de agua y la sequía (Vincent et al., 2020). Las tecnologías de riego por goteo, riego por aspersión y riego de precisión pueden suministrar agua directamente a la zona radicular de los cultivos, minimizando la evaporación y la escorrentía y maximizando la absorción de agua (Fig. 5A). Además, la captación de agua de lluvia, la conservación de la humedad del suelo y la reutilización de aguas residuales pueden aumentar el suministro de agua y amortiguar las fluctuaciones climáticas en las precipitaciones, garantizando así una fuente de agua fiable y sostenible para la agricultura (Khan et al., 2021).



Figura 4. Ejemplos de rotación de cultivos agrícolas: Trigo – Girasol – Barbecho; Maíz – Avena – Alfalfa o Trébol – Barbecho o Pasto; Zanahoria – Trigo – Pasto de trigo; rotación de trigo de invierno: Trigo – Trigo – Colza – Trigo – Trigo – Soja/Girasol, sembrados consecutivamente durante dos años; rotación de maíz de verano: Maíz (mazorca) – Soja – Girasol – Algodón – Maíz – Soja – Trigo (tomado de EOS, 2025).

3.3 El secuestro de carbono en el suelo y la vegetación

Este proceso puede ayudar a compensar las emisiones de GEI de la agricultura y a mitigar el cambio climático, a la vez que mejora la fertilidad y la productividad del suelo. Prácticas como los cultivos de cobertura, la retención de residuos de cultivos y la agroforestería (sistema que combina deliberadamente árboles y arbustos con cultivos y/o ganadería en la misma área, espacial o temporalmente) pueden aumentar el contenido de carbono orgánico de los suelos y la biomasa, secuestrando dióxido de carbono de la atmósfera y almacenándolo en los ecosistemas terrestres (Fig. 5B). Asimismo, la restauración de tierras degradadas, la conservación de hábitats naturales y las iniciativas de reforestación pueden mejorar aún más el potencial de secuestro de carbono y promover la conservación de la biodiversidad (Toromade et al., 2024).

3.4 Reducir la dependencia de los combustibles fósiles

Adoptar fuentes de energía renovables como la solar, la eólica y la bioenergía mitigarán las emisiones de GEI de las operaciones agrícolas y reducirán la huella de carbono de

la producción de alimentos. Las tecnologías de energía renovable, como los sistemas de riego con energía solar, los digestores de biogás y las turbinas eólicas, pueden proporcionar energía limpia y sostenible para las operaciones agrícolas, las instalaciones de procesamiento y las redes de transporte. Además, la adopción de tecnologías de bajas emisiones, como mejores prácticas de gestión del ganado, sistemas de captura de metano y digestión anaeróbica, pueden reducir las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica y el estiércol (Toromade et al., 2024; Fig. 5C).

4. Soluciones e innovaciones biotecnológicas

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) informó en 2019 que aproximadamente el 23% de las emisiones globales de GEI se atribuyen a la agricultura, la silvicultura y la degradación del suelo. Esto incluye las emisiones asociadas a la deforestación, el uso de fertilizantes, la gestión de residuos y otras prácticas relevantes.

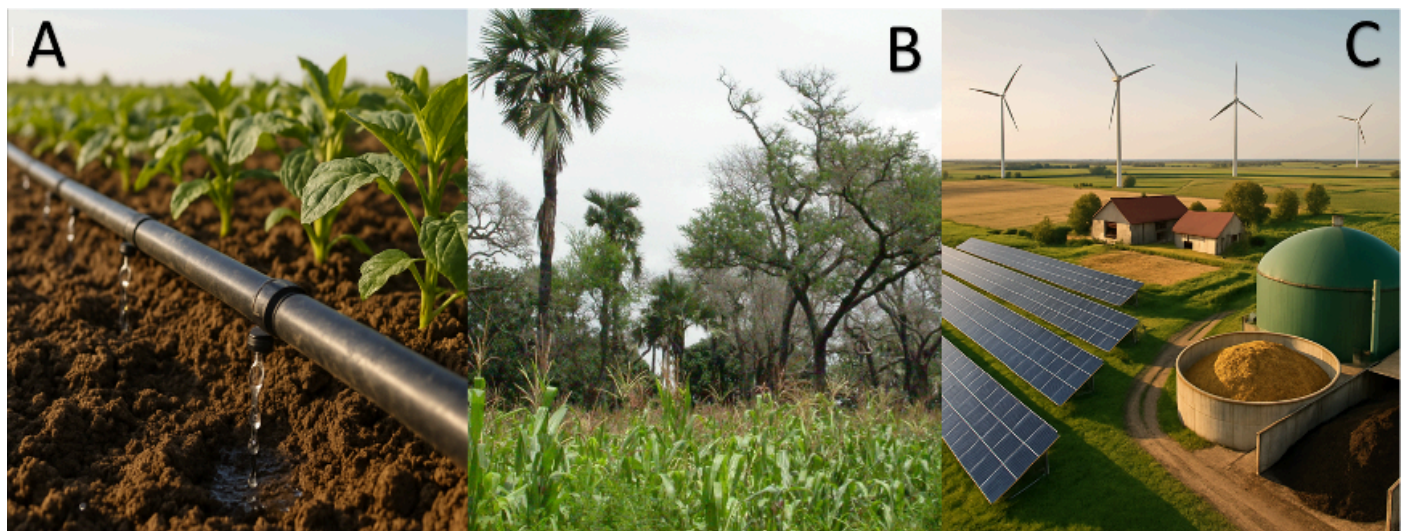


Figura 5. Ejemplos de prácticas de gestión sostenible de la tierra. Paneles: A, Riego por goteo; B, Agroforestería; C, Fuentes de energía renovables como la solar, la eólica. (Canva).



Figura 6. Biocarbón (tomado de Sela, 2025).

Las técnicas biotecnológicas que se emplean actualmente, como la aplicación de biocarbón, la producción de biogás y la biorremediación, han demostrado potencial para abordar diversos desafíos. Además, se propone la implementación de métodos avanzados o infrutilizados, como CRISPR/Cas9 para la edición genética de precisión, la agricultura de precisión y los sistemas a gran escala. Si bien algunas de estas prácticas ya se utilizan, se necesita más investigación para evaluar su productividad (cuánto valor y residuos se pueden obtener de ellas) y cómo mejorar su sostenibilidad para minimizar los residuos (Toromade et al., 2024).

4.1 Biocarbón

El biocarbón es una forma estable y porosa de carbono producida mediante pirólisis, un proceso que calienta residuos orgánicos, como residuos vegetales y animales, en ausencia de oxígeno a temperaturas de entre 350 y 700 °C; el producto resultante es un material muy poroso y rico en carbono, capaz de persistir en el suelo durante cientos o miles de años. Este proceso transforma biomasa como astillas de madera, estiércol y residuos de cultivos en carbón vegetal, biocombustible y gas de síntesis, lo que resulta en un material resistente a la descomposición (Fig. 6).

El creciente interés mundial en el biocarbón se debe a su capacidad para mejorar la salud del suelo al promover la actividad microbiana, absorber contaminantes, mitigar el cambio climático y elevar el pH del suelo, lo que lo convierte en una herramienta valiosa para la gestión de residuos y el uso sostenible de los recursos, especialmente en países con residuos orgánicos infrutilizados (Obonukut et al., 2022).

4.2 Biorremediación

Los GEI reducen la posibilidad de escape de calor al espacio lo que conduce a mantener altas temperaturas en la atmósfera inferior. Los desechos del transporte, la manufactura, la agricultura, la electricidad y la construcción causan contaminación ambiental al generar diversos gases cuya acumulación en la atmósfera es la principal fuente de GEI, además de ser los principales impulsores del cambio climático (Hernández Saavedra, 2024). La biorremediación es una estrategia de tratamiento flexible, rentable y ambientalmente sostenible que emplea organismos vivos, principalmente microorganismos, para degradar los contaminantes ambientales en formas menos tóxicas (Itam, 2020). La biodegradación, llevada a cabo con la ayuda de algas (y

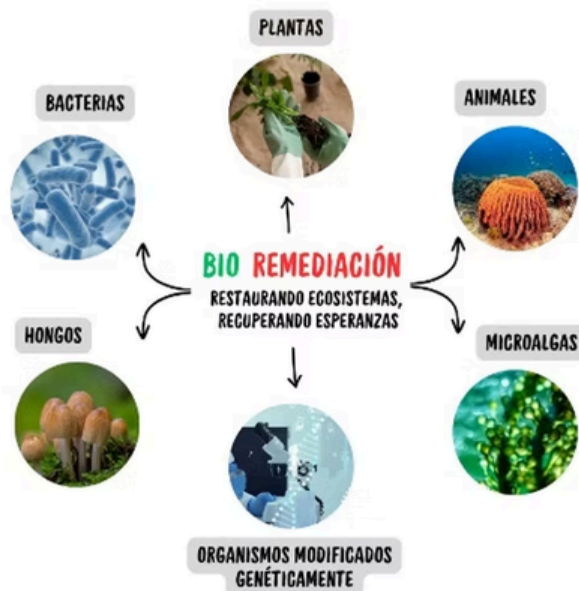


Figura 7. Tipos de grupos biológicos que participan en la biodegradación (tomado de Frances Mesa, 2024).

microalgas), hongos, bacterias, plantas, animales (Fig. 7) y otros grupos más específicos, como los actinomicetos (bacterias altamente abundantes en el suelo terrestre, donde descomponen la materia orgánica), es un proceso natural que no produce metabolitos intermedios dañinos y es una técnica eficaz para eliminar sustancias tóxicas. Esta alternativa demuestra ser más efectiva, rentable, menos peligrosa para los organismos y más ecológica (Gangola et al., 2023).

4.3 Innovaciones en la fermentación

La energía alternativa, el gas y la precisión en la fermentación son algunas de las nuevas técnicas de fermentación que se auguran para un mayor desarrollo en los próximos años. Para ilustrar, la transformación de biomasa toma uso de microorganismos para generar alimentos con alto contenido de proteínas. Por su parte, el biogás es una alternativa ecológica a los combustibles fósiles debido a su baja generación de emisiones peligrosas y sus mínimos efectos negativos. En contraste, los combustibles fósiles contribuyen significativamente a las emisiones GEI, una causa clave del cambio climático, el calentamiento global y el derretimiento de los hielos polares. Según el Centro Asiático y

del Pacífico para la Ingeniería y Maquinaria Agrícola, el biogás convierte los residuos agrícolas en combustible y fertilizante mediante digestión anaeróbica. Además, el digestato anaeróbico, una suspensión de residuos de la producción de biogás, es una rica fuente de nutrientes para las plantas y un buen sustituto de los fertilizantes minerales (Van Midden, et al., 2023).

Teniendo en cuenta que las prácticas agrícolas actuales contribuyen significativamente a las emisiones de GEI, un 17 % directamente a través de actividades agrícolas, y de un 7 % al 14 % adicional mediante cambios en el uso del suelo, se requieren cambios radicales para preparar el sistema alimentario para los desafíos futuros. La transformación adicional

de hábitats naturales en áreas agrícolas no es una opción. En el marco de los límites de un planeta saludable, los niveles de GEI actuales indican que el mundo ha superado los límites para el cambio en los sistemas de tierras y se necesita la reforestación. Para superar estos desafíos, la biotecnología alimentaria y la fermentación proporcionan alimentos e ingredientes alternativos. Una nueva hipótesis sugiere que la fermentación externa por microorganismos fue el impulsor de la expansión del cerebro humano al aumentar la biodisponibilidad de macro y micronutrientes (Bryant et al., 2023). En la actualidad, el sector de procesamiento de alimentos utiliza microorganismos para la conservación de alimentos y para producir una amplia gama de pro-

ductos de valor añadido; enzimas, compuestos de sabor, vitaminas, ácidos grasos Omega-3, postbióticos, cultivos microbianos probióticos o ingredientes alimentarios. La ventaja de las soluciones biotecnológicas es que los subproductos secundarios del sector agroalimentario, actualmente tratados como residuos, podrían convertirse en alimentos e ingredientes alimentarios (Dietrich, 2024). Por ejemplo, en Europa, el proyecto europeo VOLATILE demostró que los residuos biodegradables municipales pueden transformarse (mediante ácidos carboxílicos de cadena corta) en ácidos grasos Omega-3 beneficiosos para la salud utilizando microalgas heterótrofas. Y en el proyecto INNOPROTEIN, están utilizando enfoques innovadores de fermentación para producir nuevas fuentes de proteínas a partir de microalgas, hongos filamentosos y bacterias. Los subproductos del sector agroalimentario también pueden valorizarse en ácido gamma-aminobutírico (GABA), un neurotransmisor inhibitorio con varios beneficios para la salud en los seres humanos (Dietrich, 2024).

4.4 Agricultura de precisión

La agricultura de precisión es un enfoque de gestión que aprovecha la recopilación, organización y análisis de datos para tomar decisiones informadas basadas en la variabilidad del campo. Al integrar diversas fuentes de datos, como los nutrientes del suelo, la presencia de plagas, la sanidad vegetal y las condiciones climáticas, permite a los agricultores adaptar sus prácticas a las necesidades específicas de cada parcela, optimizando así el uso de recursos y mejorando el rendimiento (Shafi et al., 2019). Este método, basado en datos, busca impulsar la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la agricultura, a la vez que reduce el desperdicio. Su crecimiento se ve impulsado por innovaciones tecnológicas como la agricultura vertical, la agricultura en ambientes controlados, la robótica, la automatización y la inteligencia artificial (Robovision, 2025).

4.5 Nuevos alimentos

De acuerdo con la Unión Europea, cualquier alimento que no se estuviera consumiendo de manera significativa antes de mayo de 1997, con independencia de las fechas de adhesión de los Estados miembros a la Unión, se considera un ‘nuevo alimento’ o novel food. Este término comprende “nuevos alimentos, alimentos procedentes de nuevas fuentes, nuevas sustancias utilizadas en los alimentos y nuevas formas y tecnologías para elaborar alimentos” (Palomo y Prieto Hontoria, 2024).

Las fuentes de alimentos emergentes analizadas están, en gran medida, infrautilizadas a nivel mundial debido a limitaciones regionales o a recientes avances tecnológicos. Como ejemplo, se pueden mencionar los insectos comestibles, que están ganando reconocimiento como fuentes de proteína sostenibles y de alta calidad con un impacto ambiental mínimo como el *Tenebrio molitor* (para alimentación humana o animal; Fig. 8A), el cual actualmente está aprobado por la UE, lo que ofrece opciones prometedoras para diversificar y mejorar la seguridad alimentaria mundial. Los hongos (que engloban mohos y levaduras; Fig 8B) tienen un gran potencial debido a su alto contenido en proteínas (30-50%), presentan un amplio perfil aminoacídico (que cumple las directrices de la FAO), proporcionan vitaminas del grupo complejo B y son ricas en glucanos (en sus paredes celulares), que aportan fibra a la dieta. Como otras fuentes de alimentos emergentes, se incluyen grasas y aceites alternativos como el tucumã, un fruto de palma amazónica con beneficios para la salud, así como cultivos infrautilizados como la jojoba (Fig. 8C), el teff y el mijo, que son resilientes al cambio climático y altamente nutritivos (Cortes, 2022).



Figura 8. Ejemplos de alimentos alternativos. A, jojoba; B, Tenebrios o mealworms; y C, hongos comestibles (Canva).

5. Biotecnología: innovando en la elaboración de alimentos

Para mejorar la seguridad alimentaria y los medios de vida, es crucial desarrollar estrategias que reduzcan el riesgo de sequía, sostengan la producción agrícola y animen a los pequeños agricultores a adoptar prácticas de gestión eficaces. La biotecnología desempeña un papel clave en este esfuerzo, especialmente en las regiones desérticas, al mejorar la resiliencia y la nutrición de los cultivos mediante técnicas como la ingeniería genética (Fig. 9A), el cultivo de tejidos vegetales (Fig. 9B) y la selección asistida por marcadores. Innovaciones como el maíz TELA, un cultivo genéticamente modificado resistente a la sequía y las plagas, y las variedades biofortificadas, están transformando la producción alimentaria al ofrecer soluciones escalables y sostenibles a desafíos como la sequía, las plagas y la desnutrición. Dentro de las estrategias biotecnológicas actualmente en uso en el mejoramiento de cultivos hacia la sustentabilidad alimentaria incluyen las siguientes: (i) Ingeniería

genética, (ii) Cultivo de Tejidos para propagación masiva, (iii) Selección asistida por marcadores moleculares, entre otras.

5.1 Las técnicas de ingeniería genética (GET, por sus siglas en inglés)

Estas técnicas implican el uso de métodos artificiales para modificar el material genético o el genoma de una célula u organismo con el fin de alterar sus rasgos hereditarios. Esto implica la transferencia de genes o rasgos específicos de una célula viva a otra, incluso entre especies distintas. Las nucleasas de sitio específico (SSN, por sus siglas en inglés) con secuencias de ARN o dominios de unión al ADN se han empleado en las GET convencionales para dirigirse al genoma y editarlo. Las nucleasas de dedo de zinc (ZFN, por sus siglas en inglés), las nucleasas efectoras de tipo activador de la transcripción (TALEN, por sus siglas en inglés) y las meganucleasas son formas de SSN; sin embargo, están obsoletas debido a su dependencia de una cantidad limitada de loci, la necesidad de construir enzimas específicas, el alto

coste de crear dominios proteicos específicos y la necesidad de construir vectores con monómeros específicos y los efectos fuera del objetivo asociados. Con los progresos logrados en biología molecular, han surgido técnicas avanzadas de ingeniería genética (como repeticiones palindrómicas agrupadas y regularmente interespaciadas [CRISPR/Cas9, CRISPR/Cpf1], edición primaria, edición de bases y herramientas de modificación epigenética). Estas técnicas permiten la edición precisa y eficiente de genomas en períodos de tiempo más cortos.

5.2 Cultivo de Tejidos.

Las plantas se ven frecuentemente expuestas a diversos factores de estrés bióticos y abióticos que pueden perjudicar su desarrollo y crecimiento, reduciendo el rendimiento de cultivos de importancia económica y causando pérdidas económicas sustanciales a nivel mundial. Para mitigar estos efectos, el mejoramiento de variedades de plantas tolerantes al estrés ha sido una práctica generalizada durante décadas, y el cultivo de tejidos vegetales se ha

consolidado como un método rentable y eficiente para este propósito. El cultivo de tejidos vegetales es un método para cultivar rápidamente numerosas plantas con características genéticas mejoradas en un entorno regulado. Implica técnicas para el crecimiento o mantenimiento de células, tejidos u órganos vegetales en condiciones estériles en un medio de cultivo de nutrientes de composición conocida. El cultivo de tejidos vegetales ha generado enormes avances en los últimos años y ahora es una herramienta vital para el desarrollo de las ciencias agrícolas y la agricultura moderna. Mediante el cultivo de tejidos, los investigadores pueden desarrollar y cribar genotipos tolerantes al estrés e investigar alteraciones en el metabolismo y la fisiología bajo estrés. La selección in vitro en entornos controlados ofrece un enfoque altamente efectivo y rentable para el desarrollo de la tolerancia al estrés vegetal.

5.3 Impresión 3D de alimentos

Mediante el uso de "tintas alimentarias", esta tecnología puede replicar texturas complejas que imitan fielmente productos alimenticios complejos, como la carne. Varias alternativas vegetales a la carne y el marisco ya están a punto de comercializarse (Di Martini et al., 2025; Hernández Saavedra, 2023; Fig. 9C).



Figura 9. Tres representaciones de las principales áreas de la innovación de alimentos mediante técnicas biotecnológicas. A, Ingeniería genética; B, cultivo de tejidos; y C, Impresión 3D de alimentos (Canva).

5.4 Selección asistida por marcadores.

La selección asistida por marcadores moleculares, o SAM, es una herramienta utilizada por genetistas y fitomejoradores como un enfoque práctico para el mejoramiento, con el fin de aumentar la eficiencia de la selección y acelerar el ciclo de mejoramiento. En comparación con la selección fenotípica convencional, la SAM es más eficiente, confiable y efectiva. Los marcadores moleculares pueden identificar rápidamente rasgos económicamente significativos en la población de mejoramiento, lo que permite su posterior manipulación en un período más corto. Al aplicar marcadores en la etapa de plántula, se puede lograr una alta precisión a un costo reducido, lo que mejora las respuestas de selección positivas. En la SAM, el polimorfismo a nivel de ADN acelera el proceso de selección, siendo los marcadores codominantes, como los marcadores microsatélites/SSR, los marcadores RFLP y los SNP, los más utilizados.

6. Conclusión

El CC amenaza la seguridad alimentaria debido a cambios de temperatura, patrones de lluvia alterados, y plagas, afectando la producción agrícola y la calidad de los productos. Esto, junto con el crecimiento demográfico, aumenta la demanda de alimentos, haciendo crucial la seguridad alimentaria. La biotecnología ofrece soluciones para crear cultivos resistentes al estrés, superando las limitaciones de los métodos tradicionales. Técnicas como la ingeniería genética y la edición genómica permiten modificaciones precisas y rápidas en plantas, ayudando a desarrollar cultivares que satisfagan la demanda alimentaria y promuevan la agricultura sostenible frente al cambio climático.

7. Referencias

- Aliaga Sandoval, J. (2025). Impresión 3D: innovación aplicada a los alimentos. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile. Consultado 02/12/2025.
- Cortes, A. (2022). Las nuevas fuentes de proteínas que revolucionan la alimentación del futuro. ASEBIO. Consultado 02/12/2025.
- Jiménez, J.A., Sanz, C. (2024). Biotecnología: la clave para abordar la triple crisis ambiental y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible. ASEBIO. Consultado 01/12/2025.
- Aurand, E.R., Moon, T.S., Buan, N.R. et al. (2024). Addressing the climate crisis through engineering biology. *npj Clim. Action* 3, 9. <https://doi.org/10.1038/s44168-023-00089-8>
- Bryant, K.L., Hansen, C. Hecht, E.E. (2023). Fermentation technology as a driver of human brain expansion. *Commun Biol* 6, 1190. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05517-3>.
- Cheng, Y., Liu, H., Wang, S., Cui, X., Li, Q. (2021). Global action on SDGs: Policy review and outlook in a post-pandemic era. *Sustainability*, 13(11), 6461. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/11/6461>
- Cherlinka, V. (2025). Rotación De Cultivos: Tipos Y Ejemplos Prácticos. EOS Data Analytics. Consultado 01/12/2025.
- CLU-IN. (2023). Bioremediation. CLU-IN. Consultado 22/10/2025
- De Corato, U. (2020). Towards new soil management strategies for improving soil quality and ecosystem services in sustainable agriculture: Editorial overview. *Sustainability*, 12(22), 9398. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9398>
- Di Martino, M., Feeney, J., Fattori, V. (2025). From Insects to Indoor Farms: Food Innovations That Could Transform What We Eat By 2050. Farming First. Consultado 22/10/2025
- Dietrich, T. (2024). La biotecnología alimentaria y la fermentación al servicio de los ingredientes y la salud. tecnal:a. Consultado 02/12/2025.

- EFESA. (2025). Cambio climático y seguridad alimentaria. Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, EFESA por sus siglas en ingles. Consultado 03/11/2025.
- Frances Mesa, J.L. (2024). Biorremediación para la degradación de contaminantes ambientales. Juventud Técnica. Consultado 01/12/2025.
- Gangola, S., Joshi, S., Bhandari, G., Bhatt, P., Kumar, S., Pandey, S. C. (2023). Omics approaches pesticide biodegradation for a sustainable environment. En: Advanced Microbial Techniques in Agriculture, Environment, and Health Management (pp. 191–203). Elsevier.
- Hernández Saavedra, N.Y. (2024). Contaminación por plásticos: estrategias biotecnológicas para su manejo. 2(4):7-21 <https://doi.org/10.5281/zenodo.13685488>.
- Hernández Saavedra, N.Y. (2023). ¿Tienes un antojo? ¡Albóndigas de carne de mamut!. Biotecnológica Magazine, 1(2):13–17. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8184720>.
- Itam, DH. (2020). The use of biochar for bioremediation of crude oil/hydrocarbon polluted soils: Bioremediation of polluted soils, studies, results and possibilities. Hydrom Poll Soils, 8:1. doi: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3707749>.
- Khan, N., Ray, R.L., Sargani, G.R., Ihtisham, M., Khayyam, M., Ismail, S. (2021). Current progress and future prospects of agriculture technology: Gateway to sustainable agriculture. Sustainability, 13(9), 4883. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/4883>.
- Mirzabaev, A., Kerr, R., Hasegawa, T., Pradhan, P., Wreford, A., Von Der Pahlen, M., Gurney-Smith, H. (2023). Severe climate change risks to food security and nutrition. Climate Risk Management, 39:100473. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100473>.
- Obonukut, M., Alabi, S., Jock, A. (2023). Biochar from Cassava Waste: A Paradigm Shift from Waste to Wealth. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/83491>.
- Occident. (2023). 8 ejemplos de alimentos transgénicos que consumes sin saber que lo son. <https://www.occident.com/blog/alimentos-transgenicos-ejemplos/>
- Palomo, V., Prieto Hontoria, P.L. (2024). Nuevos alimentos: no son milagrosos, pero pueden traer mejoras nutricionales. Nutriendo ALDI. Consultado 01/12/2025.
- Robovision. (2025). Top 5 AgTech trends in 2025. ROBOVISION. Consultado 27/11/2025.
- Schmidhuber, J., Tubiello, F. (2007). Global food security under climate change. PNAS, 104:19703-19708. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104>.
- Shafi, U., Uferah, M.R., García-Nieto, J., Hassan, S.A., Zaidi, S.A.R., Iqbal, N. (2019). Precision agriculture techniques and practices: From considerations to applications. Sensors. 2019;19(17): 3796. doi: <https://doi.org/10.3390/s19173796>.
- Toromade, A., Soyombo, D., Kupa, E. Ijomah, T. (2024). Reviewing the impact of climate change on global food security: Challenges and solutions. Inter J Appl Res Soc Sci, 6(7):1403-1416. <https://fepbl.com/index.php/ijarss/article/view/1300>.
- Van Midden, C., Harris, J., Shaw, L., Sizmur, T., Pawlett, M. (2023). The impact of anaerobic digestate on soil life: A review. Appl. Soil Ecol.,191: 105066. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.105066>.
- Vincent, A.A., Segun, I.B., Loretta, N.N., Abiola, A. (2021). Entrepreneurship, agricultural value-chain and exports in Nigeria. United International Journal for Research and Technology, 2(08), 1-8. <https://uijrt.com/articles/v2/i8/UIJRTV2I80001.pdf>.
- Zsögön, A., Peres, L.E., Xiao, Y., Yan, J., Fernie, A.R. (2022). Enhancing crop diversity for food security in the face of climate uncertainty. The Plant Journal, 109(2), 402-414.

Sobre la autora



Dra. Norma Y. Hernández Saavedra.
Investigadora Titular, CIBNOR. Sistema
Nacional de Investigadores Nivel 2. Scopus,
Research Gate, ORCID, Academia.

Cita:

Hernández Saavedra, N. Y. (2026). Efectos del
cambio climático en la seguridad alimentaria:
algunas soluciones basadas en biotecnología.
Biotecnológica Magazine, 4(1), 15-28.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.19072126>