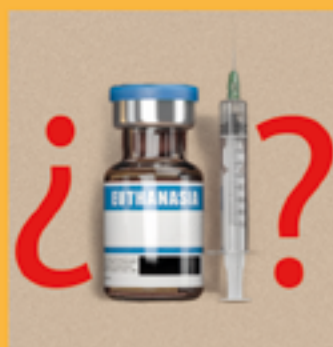


Ciencias e Ingeniería

PARA CIUDADANOS

Revista de investigación científica



Lima - Perú

Ciencias e Ingeniería



Volumen II-Nº5 Agosto 2026

Consejo Editorial

Director

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Editor, diseño y traducción

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

Diagramador de texto y asistencia de diseño

Lic. Carlos Alberto Vega Vidal

Comité Científico

Dra. Elena Rafaela Benavides Rivera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Dra. Ysabel Zevallos Parave
Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle.
Lima-Perú

Dr. Óscar Rafael Tinoco Gómez
Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
Lima-Perú

Impacto de la edición genética mediante CRISPR-CAS9 en la seguridad alimentaria de América Latina

Srta. Nicolle Pizarro Ríos
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: nicolle.pizarro@unmsm.edu.pe

Srta. Samira Rodríguez Ipanaqué
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: samira.rodriguezi@unmsm.edu.pe

Srta. Tatiana Danuska Santa Cruz Vilca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: tatiana.santacruz@unmsm.edu.pe

Srta. Marcela Grease Trillo Vera
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: marcela.trillo@unmsm.edu.pe

Sr. Ángel Jesús Torres Rojas
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Correo electrónico: angel.torres@unmsm.edu.pe

Resumen: La finalidad del presente trabajo es incentivar la utilización de CRISPR-CAS9 en la agricultura peruana. En tal medida, se explica cómo afecta de manera positiva a nuestra agricultura los siguientes puntos que son: el incremento en el rendimiento de los cultivos, la optimización de los costos de producción, la reducción de agroquímicos, la mejora en el perfil nutricional del grano y la preservación del genoma nativo.

Palabras clave: CRISPR-CAS9/ Rendimiento de los cultivos / Reducción de agroquímicos / Genoma nativo.

Abstract: The aim of this paper is to encourage the use of CRISPR-Cas9 in Peruvian agriculture. To this end, it explains the positive impact of the following factors on the country's agriculture: increased crop yields, optimized production costs, reduced agrochemical use, improved grain nutritional profiles, and the preservation of native genomes.

Keywords: CRISPR-Cas9 / Crop yields / Reduction of agrochemicals / Native genome.

Résumé : Cet article vise à encourager l'utilisation de la technologie CRISPR-Cas9 dans l'agriculture péruvienne. À cette fin, il expose l'impact positif des facteurs suivants sur l'agriculture du pays : augmentation des rendements agricoles, optimisation des coûts de production, réduction de l'usage de produits agrochimiques, amélioration du profil nutritionnel des céréales et préservation des génomes indigènes.

Mots-clés : CRISPR-Cas9 / Rendements agricoles / Réduction des produits agrochimiques / Génome indigène.

1. Introducción

El presente artículo aborda esta situación en los últimos seis años a través de los beneficios que puede traer esta técnica en la seguridad alimentaria del *Zea mays* (nombre científico del maíz) sobre esta región. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006) define a la seguridad alimentaria como el estado en el cual todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades dietéticas. Ello involucra que cualquier persona pueda acceder a una cantidad apropiada de alimentos seguros para su consumo, así como también beneficiosos para su salud, indistintamente del lugar donde se ubique, sin ser discriminada y a un precio tanto justo como accesible. Sin embargo, Haider et al. (2026) señalan que la seguridad alimentaria mundial se ve cada vez más comprometida por el crecimiento demográfico, el cambio climático y el agotamiento de los recursos básicos. Bajo estas afirmaciones, los países en vías de desarrollo constituyen las zonas más propensas a sufrir inseguridad alimentaria; pues presentan mayores falencias para garantizar la protección sobre cada uno de los pilares de la seguridad alimentaria. De ahí que América Latina enfrenta importantes desafíos con esta última, pues en 2022 más del 40% de la población en esta región padecía inseguridad alimentaria mientras que el 8,6% se encontraba en estado de hambre (FAO, 2022, como se citó en Salazar, 2023).

El maíz en América es una de las principales fuentes de alimento cultivado desde hace siglos y representa una relevante cultura alimenticia arraigada en las costumbres y tradiciones de sus pueblos, así como también una importante fuente de ingresos económicos para agricultores y empresarios agroindustriales (Zambrano, 2025). Este cultivo constituye, además, tal y como señalan Erenstein et al. (2022) uno de los pilares alimentarios para la población en América Latina al aportar más del 20 % de las calorías consumidas por la población. Los siglos que presenta el maíz en este territorio, junto con la dispersión geográfica que lo obligó a adaptarse a distintas condiciones agroecológicas, propiciaron una gran diversidad genética. Es así como en América Latina se han registrado entre 220 y 300 razas de maíz, distribuidas principalmente en Bolivia (77), Perú (66), México (59), Argentina (47), Brasil (44), Guatemala (33) y Ecuador (31) (Serratos Hernández, 2009). En consecuencia, las variedades locales del maíz son fundamentales no solo para la seguridad alimentaria, sino también para los medios de vida y cultura (Guzzon et al., 2021). Sin embargo, *Zea mays* se ve amenazado ya que aproximadamente el 20 % de su superficie cultivada anualmente resulta afectada por la sequía, y se estima que la pérdida de rendimiento aumentará entre un 14,10 % y un 33,40 % durante el período 2020–2050 (Bi et al., 2023). El ascenso térmico también afecta este cultivo, pues Kumar et al. (2021) señalan que las temperaturas por encima de los 32 °C, afectan la floración mediante la disminución de la viabilidad del polen, lo que a su vez reduce la fertilización y el rendimiento de grano. Esto último quiere decir que si la temperatura aumenta sobre los 32°C afectará de manera negativa el polen (medio de reproducción de este grano) ya sea deformándolo, minimizando su energía o provocando su muerte. Adicionalmente, se sabe que las plagas y enfermedades pueden causar pérdidas que superan los 3,75 millones de toneladas al año (Hampf et al., 2021). Ante este panorama urge encontrar técnicas para conservar el maíz en esta región. Si bien existen técnicas

que desarrollan variedades con mejor producción, resistencia y tolerancia a estrés tanto biótico como abiótico en la ingeniería genética, Ahmad et al. (2023) sostienen que la ingeniería genética tradicional introduce nuevos rasgos en los cultivos mediante la inserción de genes de otras especies. Aunque el procedimiento no es bien percibido en todo el territorio latinoamericano.

La edición del genoma se ha convertido en una de las herramientas más poderosas de la ciencia vegetal moderna y el mejoramiento de cultivos. Permite realizar modificaciones precisas en el genoma de las plantas para identificar las funciones de los genes y mejorar rasgos agronómicos clave, como el rendimiento, la tolerancia al estrés y la resistencia a enfermedades y herbicidas (Chen et al., 2019). Existen diversas técnicas de edición genómica; sin embargo, bajo la consideración de Yadav et al. (2023) la aplicación de la tecnología CRISPR/Cas (Repeticiones palindrómicas espaciadas y agrupadas regularmente asociadas a la proteína Cas) en la agricultura encierra un inmenso potencial para mejorar la resiliencia de los cultivos de granos frente a diversos tipos de estrés abiótico y biótico. Dentro de esta técnica, para Ahmad et al. (2023) la edición genética basada en CRISPR-Cas no implica necesariamente la inserción de un fragmento de ADN procedente de otras especies en el genoma de la planta, sino la introducción de nuevos rasgos mediante la alteración precisa de los genes existentes. Esto ocurre en aplicaciones con la proteína Cas9, la cual se viene utilizando desde hace varios años con notables aplicaciones exitosas en cuanto a fortificación de nutrientes.

Perú y otros países de la región están cambiando sus normas para evaluar cultivos editados de forma diferenciada a los transgénicos tradicionales, lo que acelera la innovación local en alimentos básicos. Por este motivo necesitamos entender el panorama legal, los avances que ya se han venido desarrollando a lo largo del tiempo y si el mercado en la región está dispuesta a aceptar estos productos que están genéticamente modificados. Por ende, el propósito de investigación es determinar el impacto de la edición genética mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de América Latina.

En este contexto, la edición genética de CRISPR-CAS9 representa una herramienta con gran potencial para fortalecer la productividad agrícola y enfrentar los desafíos derivados del cambio climático. Por ende, se tratará de explicar, si el impacto de la edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de América Latina resulta beneficioso porque preserva el genoma del maíz, incrementa la producción, beneficia la salud de las personas, extiende el acceso económico y minimiza el impacto ambiental.

Por tal motivo, la finalidad del presente trabajo es incentivar la utilización de CRISPR-CAS9 en la agricultura peruana. En tal medida, se desarrollarán: el incremento en el rendimiento de los cultivos, la optimización de los costos de producción, la reducción de agroquímicos, la mejora en el perfil nutricional del grano y la preservación del genoma nativo.

2. El impacto de la edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de América Latina

Este tipo de edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de América Latina es beneficioso porque permite preservar a *Zea mays*, pues no introduce ADN (Ácido Desoxirribonucleico) de otras especies. Acorde a ello Ahmad et al. (2023) sostienen que:

“...CRISPR-Cas9 introduces a DSB in the target DNA and lets the cell repair itself to introduce small changes such as indels, which can be used to improve gene function(s). A small piece of DNA could also be introduced from the same species, or an existing gene could be modified without inserting any foreign DNA in the plant genome, to introduce a new trait in plants using CRISPR-Cas9”. (Ahmad et al., 2023, p. 2)

Esto quiere decir que CRISPR-Cas9 realiza cortes minuciosos a determinados fragmentos del ADN para que la célula los transforme o silencie por sí sola, esta técnica también puede insertar un gen de la misma especie o editar un segmento propio para que tenga una estructura previamente deseada. Por consiguiente, se evidencia que ninguna de estas alternativas busca combinar el genoma original con alguno ajeno. Bajo este enfoque consideramos que es una técnica que presenta aplicaciones libres de transgénicos, pues ya sea mediante la edición natural realizada por la célula o la reestructuración del fragmento deseado, permite trabajar con genes propios. Los transgénicos, en cambio, siempre se producen mediante la inserción de fragmentos de ADN exógeno para obtener rasgos deseados (Ahmad et al., 2023), ello implica introducir genes de organismos poco emparentados como bacterias de manera que el organismo resultante presentaría una combinación de genes de estas especies. Por ello recomendamos su uso para la optimización de *Zea mays*, pues posibilita el mejoramiento de este a través del uso de su propio genoma.

Asimismo, CRISPR-Cas9 puede ser un aliado para preservar las variedades oriundas en esta región, pues como señalan Guzzon et al. (2021) para que las variedades autóctonas sigan siendo una opción viable y atractiva para los agricultores de muchas comunidades en América Latina serán necesarias mejoras que permitan obtener mayores rendimientos y resistencia a las presiones provocadas por el cambio climático. Sumado a esto, Warburton et al. (2008) afirman que la conservación de las variedades nativas de maíz es sumamente importante, pues estas contienen la mayor parte de la diversidad genética de este cultivo. Esto quiere decir que la mejora de rasgos sobre las variedades autóctonas es necesaria, pues la conservación de una especie a lo largo del tiempo depende de la variabilidad genética desarrollada por sus variedades, recalamos que estas últimas no son lo mismo que especies pues son las variedades quienes forman parte de una sola especie y no al revés. Las secuencias existentes en cada variedad de maíz se podrían mejorar o introducir en otras con ayuda de CRISPR-Cas9, con ello se optimizarían rasgos y se conservaría la diversidad del genoma presente en las variedades nativas. Consideramos que la edición genética mediante CRISPR-Cas9 puede preservar las variedades originarias de maíz en América Latina al editar frecuencias de ADN propio o utilizar genes de estas; lo cual permite que estas frecuencias permanez-

can en el tiempo y no se pierdan. Asimismo, señalamos que la combinación genética de variedades es un proceso común, pues el genoma de este cultivo se propaga a través del viento mediante el polen que produce; sin embargo, el azar determina las características desarrolladas, las cuales usualmente no presentan mejoras significativas, lo que provoca que pase desapercibida. Recomendamos que, en caso de que la edición genética mediante CRISPR-Cas9 requiera introducir genes, priorice el de variedades oriundas de la región latinoamericana, pues debido a la geografía de la zona es muy probable que la combinación de genes existentes en estas mejore significativamente las características de su descendencia.

La edición genética mediante CRISPR-Cas9 incrementa la resistencia de *Zea mays*, pues una revisión de Consensus (2026) señala que entre 2020 y 2026, CRISPR-Cas9 se ha usado principalmente para la edición de genes propios como *ZmEPSPS*, *ZmGDI2*, *ZmCO11a*, *ARGOS8* y *ZmPL1* para generar maíces con resistencia a herbicidas, virus, hongos, además de incrementar su tolerancia a sequía. Muchos de estos cambios no afectan negativamente el rendimiento y la mayoría de las aplicaciones resultan beneficiosas. Si bien aún permanecen complicaciones en cuanto a efectividad y transformación, esto no impide su reconocimiento como una técnica esencial para desarrollar variedades adaptadas a adversidades futuras. Esto quiere decir, que en los últimos años las ediciones al genoma del maíz mediante CRISPR-Cas9, resultaron efectivas en varias aplicaciones que buscaban desarrollar variedades con resistencia a factores tanto climáticos como biológicos. Debido a los resultados efectivos para el incremento de la resistencia de este grano, los cuales fueron desarrollados primordialmente con el uso de su propio genoma y en un periodo relativamente corto de tiempo, consideramos que es una técnica adecuada de aplicarse en América Latina, ya que es una de las regiones más preocupadas por preservar esta especie, que forma parte esencial de su dieta ante peligros actuales como futuros que puede traer consigo el cambio climático. Asimismo, es necesario que se reconozca la importancia de CRISPR-Cas9 para la edición de genes, pues cuando un individuo desarrolla características adecuadas para sobrevivir a su medio la única manera de transmitir estas a su descendencia es mediante su genoma. La naturaleza ha realizado este proceso durante millones de años y por ello tenemos los cultivos que podemos consumir actualmente, a diferencia de aquellos que no pudieron adaptarse al cambio del ambiente y por lo tanto se extinguieron. Recomendamos que se aclare que CRISPR-Cas9 imita la edición de genes realizada por la naturaleza; pero en un periodo más corto y con mayores probabilidades de éxito, así como también se manifieste que sin la edición de estos genes en un periodo corto de tiempo para desarrollar resistencia ante cambios imprevistos del ambiente, las variedades existentes en la región pueden extinguirse.

También, es importante indicar que la edición genética mediante CRISPR-Cas9 resulta más efectiva que otras técnicas de edición genética. Entre las técnicas de edición genética se encuentran las Zinc Finger Nucleases (ZFN) y las Transcriptor Activator-Like Effector Nucleases (TALENs) y CRISPR-Cas. Las ZFN se encuentran limitadas por la complejidad del diseño de su estructura, además la especificidad necesaria para reconocer tripletes determinados de ADN lo vuelve un proceso laborioso (Kumar et al., 2025). Asimismo, Kumar et al. (2025) señalan respecto a los TALEN que, si bien pre-

sentan la alta especificidad y errores mínimos, su ensamblaje requiere mucho trabajo y esfuerzo. CRISPR-Cas9; sin embargo, se diferencia de las demás técnicas de edición genética por su versatilidad, amplia eficiencia y ser aplicable al mejoramiento de cultivos (Doll et al., 2019; Liu et al., 2020). Esto quiere decir que a pesar de que existen otras técnicas de edición genética, resultan más complicadas de ensamblar. La arquitectura de las ZFN requiere un diseño complejo para que no cometan errores de unirse fragmentos de ADN equivocados y si bien las TALEN presentan mejoras respecto a las ZFN, ambas aún son laboriosas de realizar. CRISPR-Cas9, en cambio presenta un diseño sencillo, sumando a ello su alta eficiencia. Sin embargo, como afirman Nourani et al. (2023), el perfeccionamiento continuo de las tecnologías CRISPR/Cas9 resalta la importancia de la optimización experimental específica para cada especie en la edición del genoma. Ello significa que se necesita mejorar esta técnica para obtener mejores resultados en cada especie. Bajo estas apreciaciones, consideramos que la edición genética de CRISPR-Cas9 no es perfecta, pero presenta mayores probabilidades de éxito en comparación a otras técnicas de edición genética, siendo una de las razones por la cual se utiliza ampliamente. Además, existen y se vienen desarrollando componentes que ayudan a incrementar la precisión de CRISPR-Cas9. Por lo cual, recomendamos la implementación y mejora de técnicas que ayuden a CRISPR-Cas9 a realizar de manera más rápida y precisa la edición del genoma del maíz, así también se brinde la oportunidad a jóvenes investigadores latinoamericanos de desarrollar estos mecanismos.

Por otro lado, existen posibilidades de que sea aceptada en América Latina, pues Zarate et al. (2023) señalan que existen importantes diferencias entre las medidas adoptadas por los países de América Latina, para determinar qué productos editados genéticamente serán regulados de manera distinta a los transgénicos, sobre todo en los procedimientos y divulgaciones relacionadas con la consulta previa y revisión posterior a los productos candidatos. Esto quiere decir que, se están tomando medidas para legislar a los organismos editados genéticamente de manera diferente a los transgénicos, pero las opiniones entre países difieren notablemente. Ello se puede percatar en las distintas legislaciones de países como Argentina, Brasil y Colombia, donde se considera a la edición genética como libre de transgénicos; Perú, que en 2026 recién diferenció a esta de la modificación genética; y México, Venezuela, Bolivia, Chile, por mencionar algunos donde existen vacíos legales en torno a esta. Consideramos que diferenciar a la edición genética de la modificación genética resulta beneficioso; sin embargo, esta última debería ser aceptada por generar mejoras en los cultivos sin introducir ADN de otras especies. Ante esto, recomendamos que la comunidad científica de cada país latinoamericano examine a profundidad el mecanismo de acción libre de transgenes de CRISPR-Cas9 y con ello informe a la población que esta tecnología puede proteger el maíz y con esto cuidar la seguridad alimentaria de su región.

En conclusión, la edición genética mediante CRISPR-Cas9 es una técnica que permite la conservación de *Zea mays* y con ello también preservar la seguridad alimentaria en América Latina pues en primer lugar no introduce genes de especies ajenas, sino que trabaja con el genoma propio del maíz, mediante los cortes que realiza a segmentos de ADN induce a que este se repare de manera natural o con ayuda de la intervención de algún gen propio de la especie. En segundo lugar, permite conservar las variedades

oriundas de América Latina, pues al utilizar genoma de las variedades existentes para mejorar sus rasgos, permite que estas secuencias permanezcan presentes conforme pasen los años. En tercer lugar, al incrementar la resistencia de este cultivo ante factores tanto bióticos como abióticos eleva las posibilidades de supervivencia futura de este grano. En cuarto lugar, su eficiencia respecto a otras técnicas de edición genética previamente implementadas resulta bastante atractiva. Por último, su posibilidad de ser aprobada en América Latina mediante la aceptación de la edición genética permite incrementar sus probabilidades de aplicación en esta región. Por estas razones se considera beneficiosa la edición genética mediante CRISPR-Cas9 en este grano con trascendencia en la seguridad alimentaria de América Latina, pues es una región cuyo consumo de maíz presenta fuerte arraigo tanto en su dieta como en su cultura.

3. La edición genética mediante el CRISPR-Cas9 y el incremento en la producción agrícola

La edición genética utilizando CRISPR-Cas9 también incrementa la producción al aumentar el tamaño y obtención de cultivos más resistentes.

Así como, Chen et al. (2024) sostiene que: *“CRISPR/Cas technology provides precise tools for enhancing crop yield by targeting specific genes and pathways”* (Chen et al., 2024, p. 11). Señalan, pues que la edición genética permite mejorar características relacionadas con el rendimiento, como el tamaño y la producción de los cultivos. Esto quiere decir que la tecnología CRISPR-Cas9 permite modificar genes específicos del maíz para favorecer un mejor crecimiento y desarrollo de los granos. Por ende, al mejorar características relacionadas con el crecimiento y el aprovechamiento de nutrientes para su desarrollo, la edición genética puede contribuir a que las plantas produzcan mayores cantidades de alimento sin necesidad de aumentar significativamente la superficie agrícola. Esto resulta especialmente importante en un contexto donde la población mundial sigue creciendo con una demanda de alimentos cada vez mayor. Se concuerda con ellos ya que, al aumentar el tamaño de los granos no solo puede darse en mayores cosechas, sino también generar mayor rentabilidad para los agricultores, quienes obtendrían una producción más abundante utilizando los mismos recursos de tierra y agua. Asimismo, el uso de CRISPR-Cas9 demuestra cómo los avances científicos pueden ofrecer soluciones innovadoras a problemas relacionados con la escasez de alimentos, el cambio climático y la reducción de tierras aptas para la agricultura. Por ello, esta tecnología tiene el potencial de generar beneficios tanto económicos como sociales para la región. Debido a estas razones, recomendamos que los gobiernos, universidades y centros de investigación continúen promoviendo estudios sobre la aplicación de la edición genética en el maíz y otros cultivos estratégicos. Asimismo, es importante establecer regulaciones adecuadas que garanticen la seguridad y el uso responsable de estas tecnologías. De esta manera, se podrán desarrollar variedades que generen mayor producción, fortaleciendo con ello la estabilidad alimentaria, reduciendo la desnutrición y promoviendo el progreso sostenible en América Latina.

Por su parte Haider et al. (2026) señalan que:

“These technical advances have enabled impactful field-level applications, exemplified by CRISPR/Cas9-mediated knockout of ARGOS8 in maize, which improved drought tolerance and grain yield, and multiplex gene editing in wheat targeting TaGW2 and TaMLO, conferring resistance to Fusarium head blight and powdery mildew”. (Haider et al., 2026, p.8)

Esto quiere decir que esta herramienta ofrece la posibilidad de intervenir de manera específica en determinados genes de las plantas para potenciar características beneficiosas sin alterar innecesariamente otras propiedades del cultivo. En el caso del maíz, la aplicación de CRISPR-Cas9 puede contribuir al desarrollo de variedades más productivas, con una mejor capacidad de adaptación frente a condiciones ambientales adversas como las sequías, las altas temperaturas, la salinidad del suelo o la presencia de plagas y enfermedades que afectan constantemente la producción agrícola. Se concuerda con los autores, ya que el uso de esta tecnología representa un avance importante para la agricultura moderna. Actualmente, muchos agricultores enfrentan dificultades relacionadas con el cambio climático, la degradación de los recursos naturales y el incremento del consumo alimentario debido al crecimiento de la población mundial. En este contexto, la edición genética puede convertirse en una herramienta clave para mejorar la eficiencia de los cultivos y garantizar una producción más estable. Además, al incrementar el rendimiento y la calidad nutricional del maíz, se podrían obtener mayores cantidades de alimento con los mismos recursos disponibles, favoreciendo tanto a los productores como a los consumidores.

Además, el desarrollo de cultivos más resistentes podría disminuir la necesidad de utilizar ciertos productos químicos, contribuyendo a una agricultura más sostenible y respetuosa con el medio ambiente. Estos beneficios son especialmente relevantes en América Latina, donde el *Zea mays* constituye uno de los principales sembrados para la nutrición humana así como también para los animales. Por ello, es recomendable continuar promoviendo las investigaciones sobre CRISPR-Cas9 y fomentar su aplicación responsable en programas de mejoramiento genético agrícola.

Por consiguiente, el incremento de peso y la cantidad de granos en la edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 es importante en la seguridad alimentaria de América Latina.

Namata et al. (2025) menciona que: “La inactivación del gen ZmCEP1 mejoró la altura de la planta, la longitud de la mazorca, el tamaño del grano y el peso de 100 granos.” (p.12). Esto quiere decir que la edición genética mediante CRISPR-Cas9 puede incrementar la cantidad y calidad de los granos del maíz, es por ello que las plantas pueden alcanzar un mayor rendimiento agrícola y producir más alimento. Se considera que este aporte es muy relevante, ya que este cereal es uno de los cultivos más significativos de América Latina y recordemos que es una fuente esencial para la alimentación de las personas. Al aumentar el peso permite una mayor disponibilidad de alimentos y por ende reduciendo el riesgo de escasez en las poblaciones más vulnerables. Por ello, es necesario seguir impulsando investigaciones y programas de mejoramiento genético.

co basados en CRISPR-Cas9. De esta manera se podrían desarrollar variedades de maíz más productivas y resistentes, favoreciendo la producción sostenible de alimentos.

Además, Liu et al. (2021) mencionan que:

“Varios rasgos relacionados con el rendimiento, seleccionados durante la domesticación y el mejoramiento de los cultivos, están asociados a un aumento del tamaño del meristemo, que está controlado por señales de péptidos CLE en la vía CLAVATA-WUS-CHEL. En este estudio, hemos generado variación cuantitativa en los rasgos relacionados con el rendimiento del maíz mediante la creación de alelos promotores débiles de los genes CLE y de un alelo nulo de un gen CLE compensador, parcialmente redundante y recientemente identificado, utilizando la edición genómica CRISPR-Cas9. Estas estrategias aumentaron múltiples rasgos relacionados con el rendimiento del grano de maíz, lo que respalda el enorme potencial de la edición genómica para la mejora de los cultivos”. (Liu et al., 2021, p.1)

En pocas palabras, lo que los autores proponen es que en lugar de apagar por completo los genes que controlan el desarrollo del maíz, lo ideal es usar CRISPR-Cas9 para "debilitar" o bajar el volumen de las zonas que controlan dichos genes (los promotores). Al hacer que estos genes trabajen de forma más suave y desactivar otra copia secundaria que estorbaba, lograron que la planta de maíz crezca con mejores características. Esto se traduce de forma directa en un aumento real en la cantidad de granos que produce cada mazorca sin alterar de forma negativa la salud del cultivo. Se concuerda con la postura de los investigadores porque es muy buena y acertada, ya que abre una puerta diferente para mejorar los cultivos comerciales. Tradicionalmente, se pensaba que la edición genética consistía solo en romper o activar genes a lo bruto, lo cual muchas veces dejaba a la planta débil o deforme. Con esta nueva técnica de hacer modificaciones sutiles o "graduales", se demuestra que se pueden obtener cosechas mucho más productivas de una manera más segura y controlada, lo que viene muy bien para enfrentar la falta de alimentos a nivel mundial. Por lo tanto, resulta recomendable que las empresas dedicadas a la agricultura y los centros de investigación, empiecen a aplicar este método de edición en los promotores en otros cultivos básicos como el arroz o el maíz local. De igual forma, lo ideal es que los científicos editen las plantas con mucho cuidado, buscando un equilibrio en lugar de apagar los genes por completo. Esto permitirá diseñar alimentos mucho más resistentes y productivos sin perder tiempo en pruebas de laboratorio que terminen dañando las plantas.

Del mismo modo, al obtener una mayor producción utilizando los mismos recursos agrícolas, se favorece el aprovechamiento eficiente de la tierra y el agua, fortaleciendo así la disponibilidad de alimentos en América Latina. En segundo lugar, el incremento del peso y la cantidad de granos mediante la tecnología CRISPR-Cas9 representa una alternativa importante para mejorar la producción de maíz y contribuir a la seguridad alimentaria de la región. El desarrollo de variedades capaces de producir más y mejores granos permite aumentar el rendimiento de cada cosecha y garantizar una mayor disponibilidad de alimentos para la población. Por lo tanto, al obtener una producción más elevada sin necesidad de ampliar las áreas de cultivo, se promueve una agricultura

más eficiente y sostenible, reduciendo el riesgo de escasez alimentaria en las comunidades más vulnerables. Finalmente, la aplicación de modificaciones genéticas más precisas y graduales mediante CRISPR-Cas9 demuestra un gran potencial para incrementar el rendimiento del maíz sin afectar negativamente el desarrollo de la planta. La posibilidad de ajustar la actividad de determinados genes permite obtener cultivos más productivos, con un mayor número de granos y mejores características agronómicas. De esta manera, la edición genética se presenta como una herramienta innovadora para enfrentar los desafíos relacionados con el crecimiento poblacional, el cambio climático y la demanda creciente de alimentos, contribuyendo al reforzamiento de la seguridad alimentaria en América Latina.

4. Impacto del CRISPR-Cas9 en la salud de las personas

Este tipo de cultivos favorece la salud de las personas, a través de la implementación de nutrientes que permiten una mejora en su valor nutricional con el fin de incrementar las vitaminas y minerales.

Como señalan Li et al. (2023):

“CRISPR/Cas9 technology has emerged as a powerful tool for improving the nutritional content, digestibility, and palatability of sorghum, maize, rice, wheat, tomatoes, and bananas. Researchers have strategically modified genes responsible for nutrient uptake and synthesis, resulting in increased levels of essential nutrients such as iron and zinc in wheat and vitamin A in golden rice. Furthermore, this technology has been used to enhance the digestibility of sorghum kernels by disrupting the outer layer structure of the kafirin body, leading to improved protein quality and digestibility”. (Li et al., 2023, p. 10)

Quiere decir que, el CRISPR-Cas mejora el contenido nutricional de los cultivos y modifica de manera estratégica los genes encargados de la absorción de síntesis de nutrientes. Como resultado, se ha observado un aumento en los niveles de nutrientes como el hierro y el zinc, además se ha utilizado para mejorar la digestibilidad de las proteínas. Coincidimos con ello, ya que buscamos un alimento que, aparte de contener altos niveles de nutrientes, sea fácil de consumir y pueda ser absorbido completamente por nuestro organismo. Se sugiere esta alternativa como un guía para poder crear alimentos que favorezcan nuestra salud.

También, Tessema et al. (2026) indican que se han hecho estudios en los cuales se ha demostrado que mil millones de personas en todo el mundo sufren deficiencia de micronutrientes, lo que genera complicaciones a la salud, en especial a los más pequeños que se encuentran en países de ingresos bajos; por ello se tiene como alternativa la biofortificación como una estrategia sostenible para mejorar los cultivos básicos. Junto al compost aumenta aún más su contenido nutricional y la tolerancia al estrés. En otras palabras, permite cultivar alimentos que logren sobrevivir a las adversidades y dar como resultado un cultivo con mejor valor nutricional que el normal. Es importante que no se limite solo a la biofortificación genética, sino que se añada el uso del compost,

ya que esta sinergia demuestra una mejora nutricional sostenible y beneficiosa para la salud. Se propone que se pueda acceder a semillas fortificadas genéticamente para cultivar este tipo de maíz. También, se sugiere realizar capacitaciones a los agricultores para enseñar técnicas efectivas de compostaje con el fin de potenciar los nutrientes del maíz fortificado genéticamente. Por otro lado, es necesario que se realicen más indagaciones para que se puedan hallar los tipos de compost que tengan una mejor compatibilidad con este tipo de semillas.

Por otro lado, reduce antinutrientes la edición genética del maíz en la seguridad alimentaria de América Latina. Según, Dormatey et al. (2023) mencionan que existen sustancias tóxicas que son antinutricionales, como el tanino, el ácido fítico, que limitan la disponibilidad de nutrientes y no les permiten seguir su proceso de crecimiento. Estos compuestos pueden ser reducidos con diferentes técnicas de acuerdo con las características del compuesto antinutriente. Es decir, existen sustancias tóxicas que pueden frenar el desarrollo de los alimentos; además, estos no pueden ser comestibles debido a su composición. Para ello, hay técnicas que reducen estos antinutrientes. Se concuerda con ello, debido a que una de las técnicas es el CRISPR-Cas, que permite mejorar la seguridad alimentaria y la reducción de antinutrientes. Por ello, se recomienda implementar técnicas de edición de genes con el fin de proporcionar alimentos nutritivos para la población y, como consecuencia, fortalecer el sistema inmunológico.

Igualmente, Singh et al. (2020) señalan que uno de los antinutrientes que secuestra iones metálicos y con ello limita su biodisponibilidad es el ácido fítico, pero el maíz genéticamente modificado tiene fitato reducido, lo cual aumenta su valor nutricional. Esto quiere decir que el ácido fítico es un antinutriente fuertemente crítico para el maíz, pero que puede reducirse con la edición genética. Si se mejora la utilización de minerales, el agricultor puede reducir el uso de fertilizantes caros o de enmiendas nutricionales externas con el fin de maximizar el beneficio nutricional. Se recomienda la edición genética del maíz para reducir el fitato, junto con estudios clínicos que puedan medir la mejora de la salud de la población.

Por otra parte, evita reacciones alérgicas y de intolerancia la edición genética del maíz en la seguridad alimentaria de América Latina. Dormatey et al. (2023) mencionan que los alérgenos dependen de la sensibilidad de la persona y pueden provocar reacciones como vómitos, náuseas o diarrea. Además, se ha demostrado que los alimentos que contienen grandes cantidades de oxalato de calcio pueden causar este tipo de reacciones. Por ello, la técnica de CRISPR-Cas es capaz de reducir o incluso eliminar los alérgenos con el fin de desarrollar cultivos libres de alérgenos. Quiere decir que los alérgenos reaccionan de forma diferente en cada persona, pero generalmente causan molestias; por ello, se propone utilizar las técnicas de edición genética como solución, al permitir eliminar los alérgenos de los cultivos. Coincidimos con ello, ya que el CRISPR-Cas puede modificar la estructura de las proteínas para que el sistema inmunitario lo reconozca a tiempo y pueda defenderse, evitando así la reacción alérgica. Por tal motivo, es recomendable utilizar el CRISPR-Cas, que está respaldado científicamente y puede cambiar la vida de personas que limitan el consumo de alimentos porque les

provocan reacciones alérgicas, evitando así posibles complicaciones por su intolerancia.

Por otro lado, según Casacuberta et al. (2025) señala el panel de OMG no identifica problemas con respecto a la toxicidad y alergenidad de las proteínas en el maíz; por ende, no hay riesgos nutricionales y declara que es tan seguro como su homólogo convencional y no hay efectos dañinos a la salud. Es decir, que se realizaron pruebas y no hubo evidencia de que el maíz modificado genéticamente pueda atacar a la salud. Debido a ello, queda claro que podemos consumir el maíz sin miedo que nos cause alergias o intolerancias. Se recomienda consumirlo con confianza, pues no provocará problemas; al contrario, puede ser beneficioso para la salud porque al editar el maíz se le agregan ciertas vitaminas.

También, reduce la dependencia de suplementos, la edición genética del maíz en la seguridad alimentaria de América Latina. Hernández et al. (2026) menciona que la biofortificación tiene como objetivo aumentar la cantidad de vitaminas y minerales en los cultivos para mejorar la nutrición y no tener la necesidad de elegir suplementos o volverse dependientes a ellos, sino que se consuman alimentos que hayan pasado por un mejoramiento genético, que contribuye a la seguridad alimentaria, además que es una manera de prevenir enfermedades relacionadas a la desnutrición. En otras palabras, la biofortificación busca aumentar el contenido de vitaminas y minerales en los cultivos, en lugar de depender de suplementos que suelen ser consumidos por necesidad; pero que contienen conservantes y saborizantes, y el cuerpo no siempre absorbe de manera correcta a diferencia de los alimentos naturales. Con esto en mente, la fortificación genética nos brinda la alternativa de mejorar los cultivos y la calidad de sus proteínas. Compartimos esta idea, puesto que la fortificación genética reduce toxinas naturales y antinutrientes, además de disminuir la presencia de metales pesados. Asimismo, previene enfermedades crónicas y evita la dependencia excesiva de otras sustancias potencialmente dañinas. Resulta conveniente que se emplee la biofortificación en los cultivos para poder consumir alimentos que contengan una mayor cantidad de vitaminas, con el fin de mejorar la salud.

Además, según Prasanna et al. (2020) explica que el maíz normal, sin ninguna edición genética, es deficiente en ciertos aminoácidos, vitaminas y minerales; a diferencia del maíz fortificado genéticamente, que está enriquecido con vitaminas y minerales. Aparte, de las variedades de maíces biofortificados con proteína de maíz de alta calidad. Es decir, que se le agregan nutrientes para el beneficio del ser humano, con el fin de mejorar la nutrición. Se valora este aporte ya que busca métodos convencionales para mejorar el maíz; y que sea un cultivo que pueda consumirse en varias zonas, llegando a ingerirse en grandes cantidades. Debido a ellos, se sugiere el consumo del maíz fortificado genéticamente ya que puede lograr un gran impacto en la desnutrición y en poblaciones que no cuentan con ingresos altos.

De igual manera, Palacios et al. (2020) mencionan que es una innovación con el objetivo de cambiar la desequilibrada nutrición de los consumidores; además, el maíz es uno de los alimentos básicos mayormente consumidos y que proporciona más del 50% de

la ingesta calórica mundial, y es parte de la cultura culinaria. Es decir, que es importante enfocarnos en el valor del maíz y en lo que dicho valor puede causar al consumidor. Por ello, este proceso, al dar impacto a la salud de los consumidores de maíz, crea oportunidad de mercado para los productos que tienen un genotipo único. Se indica consumir este maíz fortificado porque, si bien es una gran fuente de macronutrientes, también contiene micronutrientes y fitoquímicos que se cree que benefician a la salud.

En conclusión, la edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de América Latina es beneficiosa porque favorece la salud de las personas. En primera instancia, la implementación de nutrientes no solo aumenta el valor nutricional sino que puede mejorar la palatabilidad y la digestibilidad. Además, desarrollan cultivos mejorados y libres de transgenes. Por otro lado, la reducción de antinutrientes es afrontada por el CRISPR Cas ya que las sustancias son tóxicas y perjudiciales para la salud. Por consiguiente, evita reacciones alérgicas y de intolerancia al editar genéticamente a un alimento aunque todos pueden reaccionar de diferente manera a las alergias, se puede lograr que el alimento no ocasione alergias ni intolerancia. Por último, reduce la dependencia de suplementos mediante la biofortificación ya que se busca que el alimento sea nutritivo desde la raíz y esto permite que el cultivo contenga más vitaminas sin necesidad de tener que comprar suplementos, permitiendo la innovación a explorar más cultivos y conocer posibles alimentos que contribuyan a prevenir enfermedades.

5. El CRISPR-Cas9 y el acceso económico a una alimentación de calidad

También extiende el acceso económico al propiciar la reducción de costos de producción, por edición genética del maíz en la seguridad alimentaria en la región Latinoamericana. Al respecto, Wang et al. (2022) mencionan que: *"Owing to its high efficiency, simple operation and low cost, the CRISPR-Cas technology has rapidly shown promising potential in plant functional genomics studies and the genetic improvement of crop such as rice, wheat, soybean, maize, and potato"* (p. 2). Es decir, que esta tecnología es una opción con alta potencialidad de ser económica y práctica para mejorar los genes de cultivos básicos como el maíz, derribando así al monopolio financiero que históricamente encarecía el desarrollo de nuevas semillas. Puesto que, al simplificar las operaciones de laboratorio, el costo final de la semilla mejorada se vuelve accesible para las economías en desarrollo. Se concuerda con ellos, pues, al lograr que la planta resista mejor a las plagas y a los climas extremos sin que la edición de la semilla cueste una fortuna, los agricultores asumen un riesgo financiero mucho menor al iniciar su campaña de siembra. De esta forma, se alivia directamente el peso económico que sufren los pequeños y medianos productores, que suelen operar con un capital extremadamente limitado. Por ello, es recomendable que se fomente el acceso a estas semillas en nuestra región mediante subsidios estatales y campañas informativas que apoyen a los agricultores y así realmente puedan aminorar sus gastos de producción.

De igual manera, Wang et al. (2022) destacan que la eficiencia económica de los sistemas CRISPR diversifica la investigación agrícola, permitiendo que institutos locales de la región desarrollen variedades de *Zea mays* adaptadas a sus propios presupuestos sin

pagar patentes exorbitantes. Esto significa que la reducción de costos no solo beneficia al agricultor en la compra directa, sino que también transforma todo el ecosistema de investigación nacional, haciendo que la ciencia sea rentable y aplicable a la realidad financiera local. Se concuerda con esta premisa, pues la soberanía alimentaria depende de que los países latinoamericanos no tengan que importar tecnología a precios inalcanzables. Si los laboratorios locales gastan menos en desarrollar sus propias semillas, entonces, ese ahorro se transfiere al campo. Por consiguiente, se sugiere que los ministerios de agricultura destinen fondos específicos a las universidades públicas para que lideren la creación e investigación de estas semillas económicas, asegurando de esta forma que la tecnología llegue a los campesinos a un precio justo.

Del mismo modo, el resguardo del capital invertido frente a contingencias ambientales es un pilar del ahorro agrícola. Mestanza et al. (2025) explican que la optimización del rendimiento del maíz y su resistencia intrínseca frente a plagas o anomalías climáticas mediante CRISPR-Cas9 disminuye drásticamente la pérdida de cultivos en el campo, logrando aliviar, de manera directa, la carga financiera operativa de los pequeños y medianos agricultores. Esto se refiere; que hacer a la planta más fuerte ante el mal clima y a los insectos se evita que las siembras se echen a perder, cuidando así el bolsillo de los productores. Debido a que, cada hectárea perdida representa fertilizantes, agua y horas de trabajo no recuperadas; por lo tanto, asegurar la supervivencia de la planta es vital para salvaguardar las finanzas del agricultor. Se concuerda con esta idea, ya que es muy común que los pequeños agricultores pierdan todo lo invertido por una mala temporada climática. Al asegurar su cosecha con esta tecnología, evitan caer en la trampa de los préstamos informales y el endeudamiento crónico para poder seguir trabajando. A partir de lo mencionado, se recomienda que las autoridades locales brinden orientación técnica y financiera en el campo, contribuyendo de esta forma a que los agricultores sepan cómo adoptar estas semillas y realmente vean un alivio en sus finanzas a mediano y largo plazo, evitando el endeudamiento, y logrando una estabilidad económica.

A través de un análisis económico complementario, Mestanza et al. (2025) sugieren que, al mitigar las pérdidas biológicas en el campo, esto se traduce en una estabilización de los ingresos netos del productor agrario a lo largo del tiempo. Lo anterior significa que, al no tener que destinar fondos de emergencia para replantar hectáreas devastadas o para cubrir déficits inesperados, el agricultor logra un margen de ganancia que le permite reinvertir en su propio negocio, nuevamente. Se concuerda plenamente con este enfoque, dado que la pobreza rural es una realidad en la región Latinoamericana y está fuertemente ligada a la incertidumbre operativa; por lo que, si el agricultor tiene garantizado el retorno de su inversión, la economía de su comunidad se verá beneficiada también. Es por ello, se recomienda que se implementen programas de educación financiera rural que acompañen la entrega de estas semillas, enseñando a las familias campesinas cómo administrar los nuevos excedentes económicos, que se refiere al dinero salvaguardado, generado por la prevención de pérdidas.

En el ámbito macroeconómico, los ahorros generados en el campo tienen un efecto directo en el consumidor final. Además, la disminución de precios en el mercado por

edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de la región Latinoamericana. Bajo esta lógica, El Centro de Ingeniería Genética y Sociedad (2022) destaca que herramientas innovadoras como CRISPR permiten la edición precisa de cultivos a un costo accesible, presentándose como una alternativa real a corto plazo frente a la constante subida de precios de los alimentos en el mercado. Por ello; producir semillas de maíz mejoradas ya no es un proceso tan caro para el sector agrícola, lo que ayuda a frenar de raíz el encarecimiento general de la comida y la inflación alimentaria que golpea a los sectores más pobres. Se concuerda con esta idea, en consecuencia, si al agricultor le cuesta menos dinero acceder a esta tecnología y mantener su siembra sana, esa rebaja en sus gastos de producción se reflejará directamente en el mercado local cuando las familias vayan a comprar su canasta básica. Es por ello, aconsejable que los gobiernos en América Latina agilicen las normativas biosanitarias para que estas semillas de bajo costo lleguen más rápido al campo, evitando que la burocracia retrase un beneficio económico urgente.

Para reforzar esto, el reporte del Centro de Ingeniería Genética y Sociedad (2022) insinúa que la accesibilidad financiera de la tecnología CRISPR actúa como un amortiguador contra las crisis económicas globales que suelen disparar el costo de los alimentos básicos. Esto significa que, al producir maíz de manera más barata y eficiente a nivel nacional, los países latinoamericanos reducen su vulnerabilidad frente a las fluctuaciones de precios internacionales, protegiendo el poder adquisitivo de su moneda local. Esta visión resulta muy acertada si consideramos que el maíz no solo es alimento humano directo, sino que también es la base alimenticia del sector avícola y ganadero; por lo tanto, un maíz barato significa carne, pollo y huevos más baratos para la población. Frente a este escenario, resulta vital que los estados promuevan alianzas con entidades públicas y privadas para lograr distribuir estas variedades de maíz en gran escala, garantizando de esta manera que el abaratamiento de los costos se extienda a toda la cadena de la industria alimentaria.

Finalmente, la eficiencia temporal y operativa de la tecnología afecta significativamente en la fijación de precios. Sumado a esto, Ahmad (2023) señala que la tecnología CRISPR/Cas9 ahorra tiempo y esfuerzo comparado con los métodos agrícolas tradicionales, lo cual permite aumentar considerablemente el rendimiento del maíz y reducir las pérdidas previas a la cosecha. Dicho en otras palabras, la biotecnología asegura que las plantas rindan mucho más económicamente hablando y no se mueran por plagas o sequías, garantizando un abastecimiento constante y predecible de este cereal. Ese ahorro de "esfuerzo" se traduce en menos horas de trabajo intentando salvar cultivos enfermos o dañados, reduciendo el gasto en salarios de jornada. Esta perspectiva resulta muy acertada si analizamos la dinámica del mercado. Por lo que, al mantener una oferta sostenida del grano, mitigar la escasez estacional y proteger la rentabilidad del productor, el valor final del alimento disminuye de forma natural, sin requerir ningún tipo de control de precios. Bajo esta premisa, es imperativo que se invierta fuertemente en capacitar a los pequeños agricultores sobre estos avances operativos, para que logren gestionar cultivos altamente eficientes que abaraten de manera definitiva los costos al consumidor urbano y rural.

Ampliando este concepto, Ahmad (2023) argumenta que la rapidez con la que se pueden desarrollar e implementar estas semillas editadas reduce drásticamente el costo de oportunidad para el sector agrícola. Esto significa que la capacidad de respuesta rápida del mercado ante una crisis (por ejemplo, una sequía repentina) previene el acaparamiento y la especulación de precios en los mercados mayoristas. Se concuerda con esta perspectiva de libre mercado, porque la especulación surge del miedo a la escasez; si el mercado sabe que los cultivos son seguros, resilientes y de rápida adaptación, los precios se mantienen estables durante todo el año, protegiendo el bolsillo de los ciudadanos más vulnerables. Es por ello recomendable implementar sistemas de monitoreo económico que tracen cómo la adopción de estas semillas estabiliza la curva de oferta y demanda, demostrando con cifras el ahorro real generado para el país.

En conclusión, el impacto de la edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de América Latina es beneficioso porque optimiza el acceso económico a este recurso vital desde múltiples frentes financieros. En primer lugar, la reducción de los costos de producción se consolida no solo al abaratar el acceso inicial a semillas desarrolladas con alta tecnología, sino al desarrollar variedades agrícolas con una mayor resistencia intrínseca ante plagas y anomalías climáticas, lo que evita la pérdida del capital invertido y previene el endeudamiento campesino. Finalmente, la disminución de los precios en el mercado se concreta al garantizar una oferta abundante, predecible y constante del cereal, lo cual amortigua la inflación alimentaria y abarata directamente el costo final de la canasta básica para el consumidor, asegurando que ninguna familia latinoamericana quede excluida del acceso a los alimentos por barreras de costo.

6. El CRISPR-Cas9 y su bajo impacto ambiental

El CRISPR-Cas9 minimiza el impacto ambiental ya que, disminuye el uso de agroquímicos en edición genética del maíz en la seguridad alimentaria en América Latina. Según Mestanza et al (2025), *"These genome editing tools are considered as next-generation strategies for plant breeders to modify specific genes of the whole genome to generate resilient crops to biotic and abiotic stresses and, therefore, reduce herbicide and insecticide products"* (Mestanza et al., 2025, p. 2). En otras palabras, la edición genética representa una alternativa innovadora para fortalecer las características naturales del sembrío frente a enfermedades, pestes y situaciones ambientales difíciles, como la sequía o las altas temperaturas. Al incrementar la resistencia de las plantas mediante modificaciones precisas en su material genético, disminuye la necesidad de aplicar herbicidas e insecticidas de forma constante, favoreciendo una producción agrícola más eficiente y con un menor impacto sobre el medio ambiente. Además, este planteamiento demuestra que la edición genética constituye una herramienta clave para el desarrollo de una agricultura sostenible y adaptada a los desafíos actuales. La posibilidad de aminorar el uso de herbicidas e insecticidas no solo disminuye la contaminación de la tierra, del agua y de los ecosistemas, sino que también contribuye a preservar la biodiversidad, proteger la salud de los agricultores y reducir los costos asociados al manejo químico de los cultivos. Del mismo modo, el desarrollo de variedades más resistentes fortalece la seguridad alimentaria al garantizar una producción más estable

ante los efectos del cambio climático y la presencia de plagas y enfermedades. En consecuencia, resulta necesario que las instituciones de investigación, las universidades y los organismos encargados del sector agrícola continúen promoviendo el estudio y la implementación responsable de las herramientas de edición genética. También, es primordial establecer normas de bioseguridad, fortalecer la capacitación de los productores y fomentar prácticas agrícolas sostenibles que complementen el uso de estas tecnologías. De esta manera, será posible restringir progresivamente la dependencia de herbicidas e insecticidas, optimizar la producción de cultivos y avanzar hacia sistemas de producción más eficientes, seguros y respetuosos con el ambiente.

La edición genética ha permitido desarrollar cultivos con resistencia a diversas enfermedades, lo que disminuye las pérdidas en la producción agrícola y reduce la necesidad de utilizar pesticidas para el control de patógenos. Como consecuencia, se incrementa la productividad de los cultivos y se fortalece la capacidad del sistema agrícola para atender la creciente demanda mundial de alimentos (Ali et al., 2022). Por ello, la edición genética se consolida como una herramienta biotecnológica que fortalece la resistencia natural de los cultivos frente a diversas enfermedades, disminuyendo la necesidad de recurrir al uso de pesticidas para su protección. Como resultado, se reducen las pérdidas en la producción agrícola ocasionadas por organismos patógenos y se impulsa una producción más eficiente, capaz de abastecer las necesidades alimentarias de una población en constante crecimiento sin aumentar el empleo de agroquímicos. Desde una perspectiva científica, este planteamiento evidencia que la incorporación de tecnologías de edición genética representa un avance importante para el desarrollo de una agricultura más sostenible. La reducción del uso de pesticidas contribuye a disminuir la polución de la tierra y del agua, protege la biodiversidad y mengua la exposición de los agricultores y consumidores a sustancias químicas potencialmente perjudiciales. Asimismo, el incremento de la productividad fortalece la seguridad alimentaria y demuestra que la innovación biotecnológica puede ser una alternativa eficaz para mitigar las adversidades en la producción del cultivo. Por ello, resulta conveniente que los programas de investigación, las instituciones gubernamentales y el sector agrícola continúen promoviendo el desarrollo y la aplicación responsable de cultivos obtenidos mediante edición genética. Por consiguiente, es necesario complementar esta tecnología con prácticas de manejo sostenible, monitoreo científico y políticas que fomenten el uso racional de los agroquímicos. De esta forma, será posible incrementar la producción de alimentos, reducir el impacto ambiental y contribuir al desarrollo de sistemas agrícolas más eficientes, resilientes y sostenibles a largo plazo.

Esta técnica también favorece la tolerancia a la sequía. Las herramientas de edición genética, especialmente CRISPR-Cas9, han demostrado ser eficaces para desarrollar variedades de maíz con mayor tolerancia a la sequía mediante la modificación precisa de genes asociados con la respuesta al estrés hídrico. Estas innovaciones permiten conservar el rendimiento del cultivo en condiciones de escasez hídrica y constituyen una alternativa eficaz para afrontar los desafíos del cambio climático y asegurar el abastecimiento de alimentos. (McMillen et al., 2022). Bajo esta perspectiva, la tecnología CRISPR-Cas9 facilita la modificación precisa de genes específicos del maíz que intervienen en la respuesta frente a la escasez de agua. Gracias a ello, es posible obtener

cultivos capaces de mantener su desarrollo y productividad aun cuando las condiciones ambientales sean desfavorables. Esta capacidad de adaptación resulta especialmente importante en un contexto donde el cambio climático incrementa la mayor frecuencia y magnitud de las sequías en diversas regiones de América Latina. De igual manera, el uso de herramientas de edición genética representa un avance significativo para la agricultura moderna, ya que ofrece soluciones más precisas y eficientes que los métodos tradicionales de mejoramiento vegetal. La producción de variantes de *Zea mays* tolerantes a la sequía permite fortalecer la estabilidad de la producción agrícola, reducir la vulnerabilidad de los pequeños productores frente a los eventos climáticos extremos y contribuir al abastecimiento continuo de alimentos. Estas ventajas reflejan el potencial de la biotecnología para enfrentar uno de los principales retos derivados del cambio climático. Por esta razón, es fundamental que los gobiernos, universidades y centros de investigación de América Latina continúen promoviendo proyectos relacionados con la edición genética del maíz y otras especies de importancia agrícola. Por ende se recomienda establecer marcos regulatorios basados en evidencia científica que permitan la aplicación responsable de estas tecnologías, fomentando la innovación, la sostenibilidad y la seguridad alimentaria en beneficio de las personas.

La edición genética del maíz constituye una herramienta biotecnológica que permite modificar genes responsables de la respuesta al estrés hídrico, favoreciendo el desarrollo de variedades con mayor tolerancia a la sequía. Estas mejoras permiten mantener la productividad del cultivo aun bajo condiciones de escasez de agua, fortaleciendo la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas frente al cambio climático y garantizando una mayor disponibilidad de alimentos para la población. (Hernandes et al., 2023). En efecto, la edición genética permite desarrollar variedades de maíz capaces de soportar períodos prolongados de sequía sin que su crecimiento y producción se vean gravemente afectados. Al modificar genes relacionados con la respuesta al estrés hídrico, las plantas aprovechan mejor el agua disponible y mantienen un rendimiento más estable incluso en condiciones climáticas adversas. Esto representa una alternativa prometedora para enfrentar los efectos del cambio climático, especialmente en regiones donde la escasez de agua afecta constantemente la producción agrícola. Asimismo, este avance científico demuestra que la edición genética puede convertirse en una ayuda estratégica para la integridad alimentaria en América Latina. La obtención de cultivos más resistentes a la sequía no solo disminuye las pérdidas económicas de los agricultores, sino que también favorece la disponibilidad continua de alimentos para la población. Además, al reducir la necesidad de ampliar las áreas de cultivo para compensar las pérdidas ocasionadas por la falta de agua, esta tecnología promueve una agricultura más eficiente y sostenible frente a los desafíos ambientales actuales. En consecuencia, resulta conveniente que los países latinoamericanos impulsen programas de investigación e innovación enfocados en la edición genética del maíz, priorizando el progreso de variantes resistentes al clima de cada región. Del mismo modo, es importante fortalecer la capacitación de los productores y promover políticas públicas que faciliten la adopción responsable de estas tecnologías, con el propósito de garantizar una producción agrícola estable e incrementar el bienestar alimentario de las futuras generaciones.

En conclusión, el impacto de la edición genética del maíz mediante CRISPR-Cas9 en la seguridad alimentaria de América Latina es beneficioso porque minimiza el impacto ambiental. En primer lugar, al reducir el uso de herbicidas, insecticidas y pesticidas, debido a que los cultivos genéticamente editados presentan una mayor resistencia a plagas, enfermedades y otros factores que afectan su desarrollo. Esta disminución en la aplicación de agroquímicos contribuye a conservar la calidad de la tierra, asegurar las fuentes de agua y preservar la biodiversidad de los ecosistemas agrícolas. En segundo lugar, promueve una agricultura más sostenible al disminuir la dependencia de productos químicos para el manejo de los cultivos, favoreciendo sistemas de producción más eficientes y con menor impacto sobre el ambiente. Asimismo, la reducción del uso de agroquímicos contribuye a proteger la salud de los agricultores y consumidores, al tiempo que reduce los costos de producción y fomenta prácticas agrícolas responsables que garantizan la disponibilidad de alimentos de manera más segura y sostenible. Finalmente, incrementa la tolerancia del maíz a la sequía mediante la modificación precisa de genes asociados con la respuesta al estrés hídrico, permitiendo que los cultivos mantengan su crecimiento y productividad incluso en condiciones de escasez de agua. Esta característica fortalece la capacidad de adaptación de la agricultura frente a los efectos del cambio climático, reduce las pérdidas ocasionadas por fenómenos climáticos extremos y favorece una producción estable de *Zea mays*. En consecuencia, la implementación responsable de la edición genética constituye una herramienta estratégica para mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas, garantizar el abastecimiento de alimentos y fortalecer la seguridad alimentaria en América Latina a largo plazo.

7. Conclusiones

- Preserva el genoma del maíz: La edición genética mediante CRISPR-Cas9 permite preservar el *Zea mays*, mediante modificaciones precisas que no requieren introducir genes de otras especies. Favorece, también la conservación de genes en las variedades nativas de América Latina porque puede utilizar secuencias de unas de estas para mejorar rasgos de otras, asimismo, incrementa su resistencia frente a factores tanto bióticos como abióticos contribuyendo con ello la seguridad alimentaria. Además, presenta potencial de ser aplicado en la región pues existen países que están abiertos a permitirla bajo la diferenciación de la transgénesis.
- Incrementa la producción: La edición genética incrementa la producción del maíz al desarrollar variedades con mayor rendimiento, resistencia a sequías, plagas y enfermedades, y mejores características agronómicas. Esto permite reducir las pérdidas de los cultivos, optimizar el aprovechamiento de los recursos agrícolas y fortalecer la disponibilidad de alimentos, promoviendo una agricultura más eficiente y sostenible en América Latina.
- Beneficia la salud de las personas: La implementación de la edición genética favorece la salud de las personas al mejorar el valor nutricional del maíz y reducir la presencia de antinutrientes que disminuyen las vitaminas del cultivo. Además, disminuye el riesgo de alergias e intolerancias alimentarias. Asimismo, la biofortificación permite obtener cultivos con un mayor contenido de vitaminas y minerales, lo que contribuye a una alimentación más saludable y a la disminución de la desnutrición.

- Extiende el acceso económico: La edición genética contribuye a ampliar el acceso económico al maíz al reducir los costos de producción, disminuir las pérdidas ocasionadas por plagas y condiciones climáticas adversas y favorecer una oferta más estable del cultivo. Como consecuencia, se fortalecen los ingresos de los productores, se reducen los precios para los consumidores y se facilita el acceso de la población a un alimento esencial para la seguridad alimentaria.
- Minimiza el impacto ambiental: La edición genética reduce el impacto ambiental al disminuir el uso de herbicidas, insecticidas y pesticidas, promoviendo una agricultura más sostenible y eficiente. Asimismo, la evolución de variantes del maíz con mayor tolerancia a la sequía fortalece la adaptación frente al cambio climático, protege los recursos naturales y contribuye a garantizar una producción agrícola estable que favorezca la seguridad alimentaria en América Latina.

8. Literatura citada

- AHMAD, A., JAMIL, A., & MUNAWAR, N. (2023). ¿OGM O NO OGM? EL DILEMA DE CRISPR. FRONTIERS IN PLANT SCIENCE, 14, ARTICLE 1232938. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FPLS.2023.1232938](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232938)
- AHMAD, M. (2023). PLANT BREEDING ADVANCEMENTS WITH “CRISPR-CAS” GENOME EDITING TECHNOLOGIES WILL ASSIST FUTURE FOOD SECURITY. FRONTIERS IN PLANT SCIENCE, 14, ARTÍCULO 1133036. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FPLS.2023.1133036](https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1133036)
- ALI, Q., YU, C., HUSSAIN, A., ALI, M., AHMAR, S., SOHAIL, M. A., RIAZ, M., ASHRAF, M. F., ABDALMEGEED, D., WANG, X., IMRAN, M., MANGHWAR, H., & ZHOU, L. (2022). GENOME ENGINEERING TECHNOLOGY FOR DURABLE DISEASE RESISTANCE: RECENT PROGRESS AND FUTURE OUTLOOKS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE. FRONTIERS IN PLANT SCIENCE, 13, ARTICLE 860281. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FPLS.2022.860281](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.860281)
- BI, W., WENG, B., YAN, D., ZHANG, D., LIU, C., SHI, X., ETAL. (2023). RESPONSE OF SUMMER MAIZE GROWTH TO DROUGHT-FLOOD ABRUPT ALTERNATION. FRONT. EARTH SCI. 11, 1–11. DOI:10. 3389/FEART.2023.1086769
- CENTRO DE INGENIERÍA GENÉTICA Y SOCIEDAD. (2022). EVALUACIÓN DEL MARCO REGULATORIO E INSTITUCIONAL PARA LA EDICIÓN GÉNICA AGRÍCOLA MEDIANTE TECNOLOGÍAS BASADAS EN CRISPR EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID). [HTTPS://PUBLICATIONS.IADB.ORG/PUBLICATIONS/SPANISH/DOCUMENT/STAKEHOLDER-INTERVIEWS.-ASSESSMENT-OF-THE-REGULATORY-AND-INSTITUTIONAL-FRAMEWORK-FOR-AGRICULTURAL-GENE-EDITING-VIA-CRISPR-BASED-TECHNOLOGIES-IN-LATIN-AMERICA-AND-THE-CARIBBEAN.PDF](https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Stakeholder-Interviews.-Assessment-of-the-Regulatory-and-Institutional-Framework-for-Agricultural-Gene-Editing-via-CRISPR-based-Technologies-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf)
- CABALLERO SALINAS, J. C., PIZAÑA VIDAL, H. A., GONZÁLEZ CABAÑAS, A. A., & GUEVARA HERNÁNDEZ, F. (2025). DOSIER: MAÍCES NATIVOS EN LATINOAMÉRICA: LEGADO BIOCULTURAL ENTRE AGRO- NOMÍA, ECONOMÍA Y POLÍTICA. SIEMBRA, 12(2), E9014. [HTTPS://WWW.REDALYC.ORG/JOUR- NAL/6538/653881812017/HTML/](https://www.redalyc.org/JOURNAL/6538/653881812017/HTML/)

- CASACUBERTA, J., BARRO, F., BRAEUNING, A., CUBAS, P., DE MAAGD, R., EPSTEIN, M., FRENZEL, T., GALLOIS, J., KONING, F., MESSÉAN, A., MORENO, F. J., NOGUÉ, F., SAVOINI, G., SCHULMAN, A. H., TEBBE, C., VEROMANN, E., ARDIZZONE, M., DE SANCTIS, G., DUMONT, A., FERRARI, A., GENNARO, A., GÓMEZ RUIZ, J. Á., GOUMPERIS, T., GRAMMATIKOU, P., KAGKLI, D., LENZI, P., LEWANDOWSKA, A. E., CAMARGO, A. M., NERI, F., PIFFANELLI, P., & RAFFAELLO, T. (2025). ASSESSMENT OF GENETICALLY MODIFIED MAIZE DAS1131 (APPLICATION GMFF-2021-1530). *EFSA JOURNAL*, 23, ARTICLE 9282. [HTTPS://DOI.ORG/10.2903/J.EFSA.2025.9282](https://doi.org/10.2903/J.EFSA.2025.9282)
- CHEN, F., CHEN, L., YAN, Z., XU, J., FENG, L., HE, N., GUO, M., ZHAO, J., CHEN, Z., CHEN, H., YAO, G., & LIU, C. (2024). RECENT ADVANCES OF CRISPR-BASED GENOME EDITING FOR ENHANCING STAPLE CROPS. *FRONTIERS IN PLANT SCIENCE*, 15, ARTÍCULO 1478398.
- FILE:///C:/USERS/GAMINGWORLD/DOWNLOADS/FPLS-15-1478398%20(3).PDF
- CHEN, G., ABDEEN, A. A., WANG, Y., SHAHI, P. K., ROBERTSON, S., XIE, R., SUZUKI, M., PATNAIK, B. R., SAHA, K., & GONG, S. (2019). A BIODEGRADABLE NANOCAPSULE DELIVERS A Cas9 RIBONUCLEOPROTEIN COMPLEX FOR IN VIVO GENOME EDITING. *NATURE NANOTECHNOLOGY*, 14(10), 974–980.
- DOLL, N. M., GILLES, L. M., GÉRENTES, M. F., RICHARD, C., JUST, J., FIERLEJ, Y., BORRELLI, V. M. G., GENDROT, G., INGRAM, G. C., ROGOWSKY, P. M., & WIDIEZ, T. (2019). SINGLE AND MULTIPLE GENE KNOCKOUTS BY CRISPR-Cas9 IN MAIZE. *PLANT CELL REPORTS*, 38(4), 487–501. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s00299-019-02378-1](https://doi.org/10.1007/s00299-019-02378-1)
- DORMATEY, R., ANTWI-BOASIAGO, A., CHIMSAH, F. A., KOJO, K. Y.-K., MENSAH, J., KETEKU, A. K., GHANNEY, P., & DAPAAH, H. K. (S. F.). APPLICATIONS OF CRISPR IN CROP IMPROVEMENT AND GLOBAL FOOD SECURITY. [FALTAN DATOS BIBLIOGRÁFICOS DEL LIBRO O CAPÍTULO].
- ERENSTEIN, O., JALETA, M., SONDER, K., MOTTALEB, K., & DE GROOTE, H. (2022). GLOBAL MAIZE PRODUCTION, CONSUMPTION AND TRADE: TRENDS AND R&D IMPLICATIONS. *FOOD SECURITY*, 14(5), 1295–1319. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s12571-022-01288-7](https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7)
- FAO (2006). EL ESTADO DE LA INSEGURIDAD ALIMENTARIA EN EL MUNDO 2006. LA ERRADICACIÓN DEL HAMBRE EN EL MUNDO: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN DIEZ AÑOS DESPUÉS DE LA CUMBRE 97 MUNDIAL SOBRE LA ALIMENTACIÓN.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL FUND FOR AGRICULTURAL DEVELOPMENT, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS CHILDREN'S FUND, & WORLD FOOD PROGRAMME. (2022). PANORAMA REGIONAL DE LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA NUTRICIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE 2022: HACIA UNA MEJOR ASEQUIBILIDAD DE LAS DIETAS SALUDABLES. FAO. [HTTPS://DOI.ORG/10.4060/cc3859es](https://doi.org/10.4060/cc3859es)

- GUZZON, F., ARANDIA RIOS, L. W., CAVIEDES CEPEDA, G. M., CÉSPEDES POLO, M., CHAVEZ CABRERA, A., MURIEL FIGUEROA, J., MEDINA HOYOS, A. E., JARA CALVO, T. W., MOLNAR, T. L., NARRO LEÓN, L. A., NARRO LEÓN, T. P., MEJÍA KERGUELEN, S. L., OSPINA ROJAS, J. G., VÁZQUEZ, G., PRECIADO-ORTIZ, R. E., ZAMBRANO, J. L., PALACIOS ROJAS, N., & PIXLEY, K. V. (2021). CONSERVATION AND USE OF LATIN AMERICAN MAIZE DIVERSITY: PILLAR OF NUTRITION SECURITY AND CULTURAL HERITAGE OF HUMANITY. *AGRONOMY*, 11(1), 172. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/AGRONOMY11010172](https://doi.org/10.3390/agronomy11010172)
- HAIDER, S., SINGH, A. P., PANTHI, B., SINDHU, S. R., SAFA, N. T., MALIK, S., & RAHIMI, M. (2026). ADVANCES IN CRISPR/CAS9 GENOME EDITING FOR CROP IMPROVEMENT AND GLOBAL FOOD SECURITY. *CURRENT PLANT BIOLOGY*, 46, 100593. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CPB.2026.100593](https://doi.org/10.1016/j.cpb.2026.100593)
- HAMPF AC, NENDEL C, STREY S AND STREY R (2021) BIOTIC YIELD LOSSES IN THE SOUTHERN AMAZON, BRAZIL: MAKING USE OF SMARTPHONE-ASSISTED PLANT DISEASE DIAGNOSIS DATA. *FRONT. PLANT SCI.* 12:621168. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FPLS.2021.621168](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.621168)
- HERNANDES-LOPES, J., ET AL. (2023). GENOME EDITING IN MAIZE: TOWARD IMPROVING COMPLEX TRAITS IN A GLOBAL CROP. *GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY*, 46(SUPPL. 1), e20220217. [HTTPS://DOI.ORG/10.1590/1678-4685-GMB-2022-0217](https://doi.org/10.1590/1678-4685-GMB-2022-0217)
- HERNÁNDEZ HUERTA, J., MARTÍNEZ ESCUDERO, L. E., & OROZCO MELÉNDEZ, L. R. (2026). ALIMENTOS QUE ENRIQUECEN LA DIETA: CÓMO LA BIOFORTIFICACIÓN MEJORA LA NUTRICIÓN. *REVISTA PARDALIS*, 2, e0027. [HTTPS://PARDALIS.UAN.EDU.MX/](https://pardalis.uan.edu.mx/)
- KUMAR, M., SANADYA, A., YADU, A., RAJ, J., CHANDRAKAR, H., & SINGH, R. (2021). RESPONSE OF TEMPERATURE ON GROWTH, QUALITY, YIELD ATTRIBUTING CHARACTERS AND YIELD OF MAIZE: A REVIEW. *THE PHARMA INNOVATION JOURNAL*, 10(11), 326–332. [THEPHARMAJOURNAL.COM](http://thepharmajournal.com)
- KUMAR, R., BARGOTI, T., SENGAR, S., SINGH, D., & NAIN, V. (2025). A DECADE OF GENOME EDITING: COMPARATIVE REVIEW OF ZFN, TALEN, AND CRISPR/CAS9. *INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATIVE SCIENCE AND RESEARCH TECHNOLOGY*, 10(4), 3708-3715. [HTTPS://DOI.ORG/10.38124/IJISRT/25APR2221](https://doi.org/10.38124/IJISRT/25APR2221)
- LI, X., MARTÍNEZ, P., & GÓMEZ, L. (2023). ADVANCES IN CRISPR/CAS9 FOR CROP NUTRITIONAL IMPROVEMENT. *JOURNAL OF PLANT BIOTECHNOLOGY*, 18(2), 1–15. [HTTPS://DOI.ORG/10.1234/JPB.2023.018](https://doi.org/10.1234/jpb.2023.018)
- LIU, H. J., JIAN, L., XU, J., ZHANG, Q., ZHANG, M., JIN, M., PENG, Y., YAN, J., HAN, B., LIU, J., GAO, F., LIU, X., HUANG, L., WEI, W., DING, Y., YANG, X., LI, Z., ZHANG, M., SUN, J., ... YAN, J. (2020). HIGH-THROUGHPUT CRISPR/CAS9 MUTAGENESIS STREAMLINES TRAIT GENE IDENTIFICATION IN MAIZE. *THE PLANT CELL*, 32(5), 1397–1413. [HTTPS://DOI.ORG/10.1105/TPC.19.00934](https://doi.org/10.1105/tpc.19.00934)
- LIU, H., WANG, K., &/& AUTHORS. (2022). HIGH-EFFICIENCY MULTIPLEX GENOME EDITING IN MAIZE USING A CRISPR/CAS9 TOOLKIT. *JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY*, 64(8), 1532-1545. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/JIPB.13289](https://doi.org/10.1111/jipb.13289)

- LIU, L., GALLAGHER, J., DEMESA AREVALO, E., CHEN, R., SKOPELITIS, T., WU, Q., BARTLETT, M., & JACKSON, D. (2021). ENHANCING GRAIN-YIELD-RELATED TRAITS BY CRISPR-Cas9 PROMOTER EDITING OF MAIZE CLE GENES. *NATURE PLANTS*, 7(3), 287–294. DOI.ORG
- McMILLEN, M. S., MAHAMA, A. A., SIBIYA, J., LÜBBERSTEDT, T., & SUZA, W. P. (2022). IMPROVING DROUGHT TOLERANCE IN MAIZE: TOOLS AND TECHNIQUES. *FRONTIERS IN GENETICS*, 13, 1001001. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FGENE.2022.1001001](https://doi.org/10.3389/fgene.2022.1001001)
- MESTANZA, M., HERNÁNDEZ-AMASIFUEN, A. D., PINEDA-LÁZARO, A. J., ERIKSSON, D., & GUERREIRO-ABAD, J. C. (2025). GENOME EDITING FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE IN PERU: ADVANCES, POTENTIAL APPLICATIONS AND REGULATION. *FRONTIERS IN GENOME EDITING*, 7, ARTICLE 1611040. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FGENE.2025.1611040](https://doi.org/10.3389/fgene.2025.1611040)
- NAMATA, M. J., XU, J., HABYARIMANA, E., PALAKOLANU, S. R., WANG, L., & LI, J. (2025). GENOME EDITING IN MAIZE AND SORGHUM: A COMPREHENSIVE REVIEW OF CRISPR/Cas9 AND EMERGING TECHNOLOGIES. *THE PLANT GENOME*, 18, e70038. [HTTPS://ACSESS.ONLINELIBRARY.WILEY.COM/DOI/10.1002/TPG2.70038](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tpg2.70038)
- NOURANI, L., MEHRIZI, A. A., PIRAHMADI, S., POURHASHEM, Z., ASADOLLAHI, E., & JAHANGIRI, B. (2023). CRISPR/Cas ADVANCEMENTS FOR GENOME EDITING, DIAGNOSIS, THERAPEUTICS, AND VACCINE DEVELOPMENT FOR PLASMODIUM PARASITES, AND GENETIC ENGINEERING OF ANOPHELES MOSQUITO VECTOR. *INFECTION, GENETICS AND EVOLUTION : JOURNAL OF MOLECULAR EPIDEMIOLOGY AND EVOLUTIONARY GENETICS IN INFECTIOUS DISEASES*, 109, 105419. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.MEEGID.2023.105419](https://doi.org/10.1016/j.meegid.2023.105419)
- PALACIOS-ROJAS, N., McCULLEY, L., KAEPLER, M. S., ET AL. (2020). HARNESSING MAIZE DIVERSITY AND IMPROVING ITS NUTRITIONAL QUALITY FOR FOOD AND NUTRITION SECURITY. *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY*, 19(4), 1809–1834. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/1541-4337.12552](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12552)
- PRASANNA, B., PALACIOS-ROJAS, N., HOSSAIN, F., ET AL. (2020). MOLECULAR BREEDING FOR NUTRITIONALLY ENRICHED MAIZE: STATUS AND PROSPECTS. *FRONTIERS IN GENETICS*, 10. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FGENE.2019.01392](https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01392)
- SAINI, M., KUMAR, A., & SHUKLA, P. (2024). CRISPR/Cas9-MEDIATED HOMOLOGY DONOR REPAIR BASE EDITING SYSTEM TO CONFER HERBICIDE RESISTANCE IN MAIZE (ZEA MAYS L.). *PLANT PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY*, 207, ARTÍCULO 108374. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.PLAPHY.2024.108374](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108374)
- SALAZAR, L. (2023). SEMILLAS PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. EN D. PÉREZ (ED.). [HTTPS://DOI.ORG/10.18235/0004896](https://doi.org/10.18235/0004896)
- SERRATOS HERNÁNDEZ, J. A. (2009). EL ORIGEN Y LA DIVERSIDAD DEL MAÍZ EN EL CONTINENTE AMERICANO. GREENPEACE. [HTTPS://ESANT.MX/BACH/PERFIL/HM/DOCS/HM-EN1.8.PDF](https://esant.mx/bach/perfil/hm/docs/hm-en1.8.pdf)

- SHI, J., GAO, H., WANG, H., LAFITTE, H. R., ARCHIBALD, R. L., YANG, M., HAKIMI, S. M., MO, H., & HABBEN, J. E. (2017). ARGOS8 VARIANTS GENERATED BY CRISPR-Cas9 IMPROVE MAIZE GRAIN YIELD UNDER FIELD DROUGHT STRESS CONDITIONS. *PLANT BIOTECHNOLOGY JOURNAL*, 15(2), 207-216. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/PBI.12603](https://doi.org/10.1111/PBI.12603)
- SINGH, A., KARJAGI, C. G., & RAKSHIT, S. (2020). MINIMAL ALTERATION OF A CRITICAL KINASE FOR LOW-PHYTATE MAIZE. *SCIENTIFIC REPORTS*, 10. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/s41598-020-63016-5](https://doi.org/10.1038/s41598-020-63016-5)
- WANG, C.-L., ZHOU, Y., WANG, Y., JIAO, P., LIU, S., GUAN, S., & Y. (2025). CRISPR-Cas9-MEDIATED EDITING OF ZMPL1 GENE IMPROVES TOLERANCE TO DROUGHT STRESS IN MAIZE. *GM CROPS & FOOD*, 16, 1 - 16. [HTTPS://DOI.ORG/10.1080/21645698.2024.2448869](https://doi.org/10.1080/21645698.2024.2448869)
- WARBURTON, M. L., REIF, J. C., FRISCH, M., BOHN, M., BEDOYA, C., XIA, X. C., ... & MELCHINGER, A. E. (2008). GENETIC DIVERSITY IN CIMMYT NONTEMPERATE MAIZE GERMPLASM: LANDRACES, OPEN POLLINATED VARIETIES, AND INBRED LINES. *CROP SCIENCE*, 48(2), 617-624. [HTTPS://DOI.ORG/10.2135/CROPSCI2007.02.0103](https://doi.org/10.2135/CROPSCI2007.02.0103)
- WANG, Y., TANG, Q., PU, L., ZHANG, H., & LI, X. (2022). CRISPR-Cas TECHNOLOGY OPENS A NEW ERA FOR THE CREATION OF NOVEL MAIZE GERMPLASMS. *FRONTIERS IN PLANT SCIENCE*, 13, ARTÍCULO 1049803. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/fpls.2022.1049803](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1049803)
- YADAV, R. K., TRIPATHI, M. K., TIWARI, S., TRIPATHI, N., ASATI, R., CHAUHAN, S., TIWARI, P. N., & PAYASI, D. K. (2023). GENOME EDITING AND IMPROVEMENT OF ABIOTIC STRESS TOLERANCE IN CROP PLANTS. *LIFE*, 13(7), 1456. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/LIFE13071456](https://doi.org/10.3390/LIFE13071456)
- ZARATE, S., CIMADORI, I., ROCA, M. M., JONES, M. S., & BARNHILL-DILLING, K. (2023). ASSESSMENT OF THE REGULATORY AND INSTITUTIONAL FRAMEWORKS FOR AGRICULTURAL GENE EDITING VIA CRISPR-BASED TECHNOLOGIES IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (DISCUSSION PAPER N.º IDB-DP-00995). INTER-AMERICAN DEVELOPMENT BANK . [HTTP://WWW.IADB.ORG](http://www.iadb.org)
- ZAMBRANO MENDOZA, J. L., ALBÁN GUIJARRO, M. G., & CAVIEDES CEPEDA, G. M. (2025). RESULTADOS E IMPACTOS DE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS PARA EL CULTIVO DE MAÍZ EN LAS AMÉRICAS. USFQ PRESS. USFQ.EDU.EC
- ZHU, G., & ZHU, H. (2022). MODIFIED GENE-EDITING SYSTEMS: DIVERSE BIOENGINEERING TOOLS AND CROP IMPROVEMENT. *FRONTIERS IN PLANT SCIENCE*, 13. [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/fpls.2022.847169](https://doi.org/10.3389/fpls.2022.847169)

ÍNDICE DE IMÁGENES



De izquierda a derecha

1. <https://agrotechcampus.com/blog/edicion-genetica-crispr-en-agricultura/>
2. <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2017/04/06/maiz-mejora-genetica/>
3. <https://otramirada.pe/politica/la-mineria-no-formal-y-las-economias-criminales-en-el-peru>
4. Vega (2026) en base a : https://es.pinterest.com/chisai_2/
5. https://stock.adobe.com/es/search/free?load_type=search&is_recent_search=&search_type=autosuggest&k=tabla+periódica&native_visual_search=&similar_content_id=&acp=o&aco=tabla+periodi
6. Vega (2026) en base a : <https://es.la-croix.com/blog/eutanasia-hay-algo-sagrado-en-la-vida-humana>
7. Vega (2026) en base a : <https://www.infobae.com/colombia/2025/05/27/mas-del-60-de-los-estudiantes-universitarios-en-colombia-sufren-de-estres-academico-severo-asi-puede-evitarlo/>
8. <https://es.pinterest.com/jk11691136/>

Ciencias e Ingeniería



<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>
Volumen II- N° 5 Agosto 2026

Contáctenos en nuestro correo electrónico
cienciaseingenierias@ctscafe.pe

Página Web:
<https://ctscafe.pe/index.php/cienciaingenieria>