

¿Cómo funciona?



Virus al servicio de la ciencia: silenciamiento y expresión génica en plantas

Viruses at the service of science: gene silencing and expression in plants

Mariana Sepúlveda Pérez
Julio Armando Massange Sánchez
Rafael Urrea López*

Unidad de Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ), SECIHTI, Zapopan, Jalisco, 45019, México.

*Autor para la correspondencia:
rurrea@ciatej.mx

Resumen

Durante siglos solo observamos las plantas desde afuera, basándonos en sus características físicas y rendimiento. Actualmente, la biotecnología abre una ventana al interior utilizando un aliado inesperado: los virus vegetales domesticados, llamados “vectores virales”. Gracias a su capacidad de replicarse masivamente, estos vectores permiten producir proteínas en abundancia o silenciar genes de manera temporal. Así, los científicos investigan la función de los genes, o sintetizan proteínas de interés como vacunas y medicamentos dentro de las plantas. Además, avances recientes permiten usar los vectores virales para la edición génica de precisión.

Palabras clave: Virus, VOX, VIGS.

Summary

For centuries, we observed plants from the outside only, based on their physical properties, and fruit yield. Today, biotechnology opens an inner window with the help of an unexpected ally: domesticated plant viruses, so-called “viral vectors”. Due to their ability to reproduce massively these vectors allow scientists to produce huge amounts of protein, or the temporal silencing of specific genes. With this, scientist can learn what genes do, or make a lot of protein for vaccines and medicine. Recent discoveries have also allowed these viral vectors to do precision gene editing.

Keywords: Virus, VOX, VIGS.

Introducción

Las plantas cumplen muchos roles vitales, no solo nos proveen alimento, sino que también producen oxígeno, ayudan a mitigar el cambio climático, son fuente de combustibles y nos brindan materiales esenciales. A pesar de su importancia, aún se desconocen muchos de los mecanismos moleculares de su biología. Es por esto que, diversas estrategias y herramientas se han desarrollado para profundizar en su estudio y aprovechamiento. Entre estas herramientas vamos a destacar una, que utiliza un aliado inesperado, **los virus de plantas**. Estos han sido estudiados por cerca de 100 años, lo que ha permitido entender cómo funcionan, cómo interaccionan con sus hospederos, e incluso las estrategias que tienen las plantas para defenderse de ellos, convirtiendo a algunos virus vegetales en una valiosa herramienta biotecnológica [1]. En este documento presentamos el uso de vectores virales para la sobreexpresión de genes y tam-

bién para su silenciamiento. Para mayor información acerca de los aspectos fundamentales se recomienda consultar Rössner y colaboradores, 2022 [2].

¿Virus para estudiar genes?

¿Virus? ¿Esos que causan enfermedades? Sí, los mismos. Los virus son segmentos de ácidos nucleicos (ADN o ARN) encapsulados en una cubierta proteica (cápside). Estos agentes infecciosos no se pueden replicar por sí mismos, pero infectan células y aprovechan su maquinaria para multiplicarse [3]. Precisamente por esa capacidad hoy se utilizan en investigación como un “Caballo de Troya”. Tal como en la leyenda griega, donde un objeto aparentemente inofensivo ocultaba soldados en su interior, los virus pueden convertirse en transportadores de material genético dentro de las células vegetales.

Para lograrlo, los científicos toman virus que infectan naturalmente a las plantas y los modifican en el laboratorio, eliminan las regiones no esenciales y conservan solo lo necesario para su funcionamiento: su cápside para proteger el material genético, proteínas de movimiento para desplazarse dentro de la planta, y en algunos casos, proteínas que apoyan su replicación. Ese espacio “liberado” se aprovecha para insertar secuencias de interés, transformando al virus en un **vector viral** (como se muestra en la Figura 1).

Así, un organismo que normalmente causa enfermedad se convierte en una herramienta biotecnológica versátil, útil tanto para estudiar la función de los genes como para producir proteínas de interés, como por ejemplo compuestos antimicrobianos, vacunas o moléculas terapéuticas. Estos avances han sido posibles gracias a décadas de investigación en virología vegetal y al desarrollo de la biología molecular y la ingeniería genética, que hoy permiten rediseñar genomas virales incorporando o eliminando genes para otorgar nuevas funciones o suprimir las existentes.

Aunque existen múltiples usos de los vec-

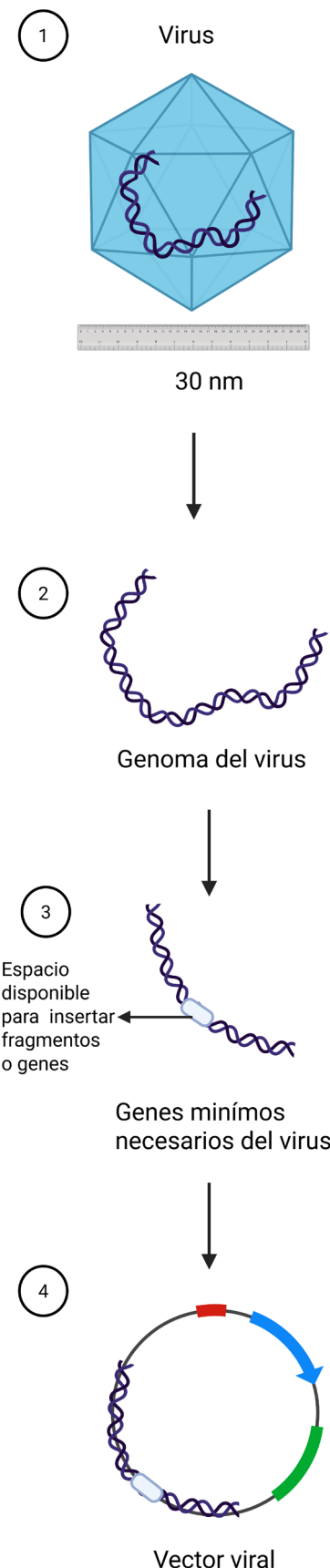


Figura 1. Representación de la construcción de un vector viral. Primero del virus (1) se obtiene el genoma viral (2); luego se eliminan las partes no esenciales liberando un espacio (gris) donde se insertan nuevas secuencias (3); después se agregan diferentes segmentos que le confieren otras propiedades al vector, y que no provienen del virus (líneas roja, azul y verde), todo ello organizado en una molécula circular de ADN llamada vector viral (4), que luego se inoculan en las células vegetales. Figura creada con BioRender.com

tores virales, los más extendidos actualmente son dos: La sobreexpresión de genes mediada por virus conocida como **VOX**, por sus siglas en inglés (Virus-mediated Overexpression), la cual permite transformar a la planta en una fábrica de proteínas. La segunda es el silenciamiento de genes inducido por virus, o **VIGS**, por sus siglas en inglés (Virus-Induced Gene Silencing), por medio de la cual es posible estudiar la función de los genes cuando se interrumpe la transcripción de las proteínas para las cuales transcriben dichos genes [2].

Plantas como fábricas de proteínas, mediante VOX

La sobreexpresión mediada por virus convierte a las plantas en verdaderas biofábricas de proteínas. Para ello los vectores virales apro-

vechan la capacidad natural de los virus para replicarse de manera eficiente poniendo a su servicio la maquinaria celular de la planta. Para que esto sea posible es necesario sortear varios pasos críticos, entre ellos insertar el vector viral en las células vegetales. Una vez dentro el vector viral inicia la transcripción y traducción, generando múltiples copias del virus modificando el cual será capaz de propagarse hacia otras células donde se repetirá el proceso de transcripción y traducción. Durante este proceso repetitivo se sintetizan al mismo tiempo proteínas virales y la proteína de interés. En pocos días, gran parte del tejido vegetal expresa la proteína de interés en niveles elevados, lo que convierte a la planta en una auténtica biofábrica [2]. En la Figura 2 se ejemplifica VOX con una proteína fluorescente como marcador visual.

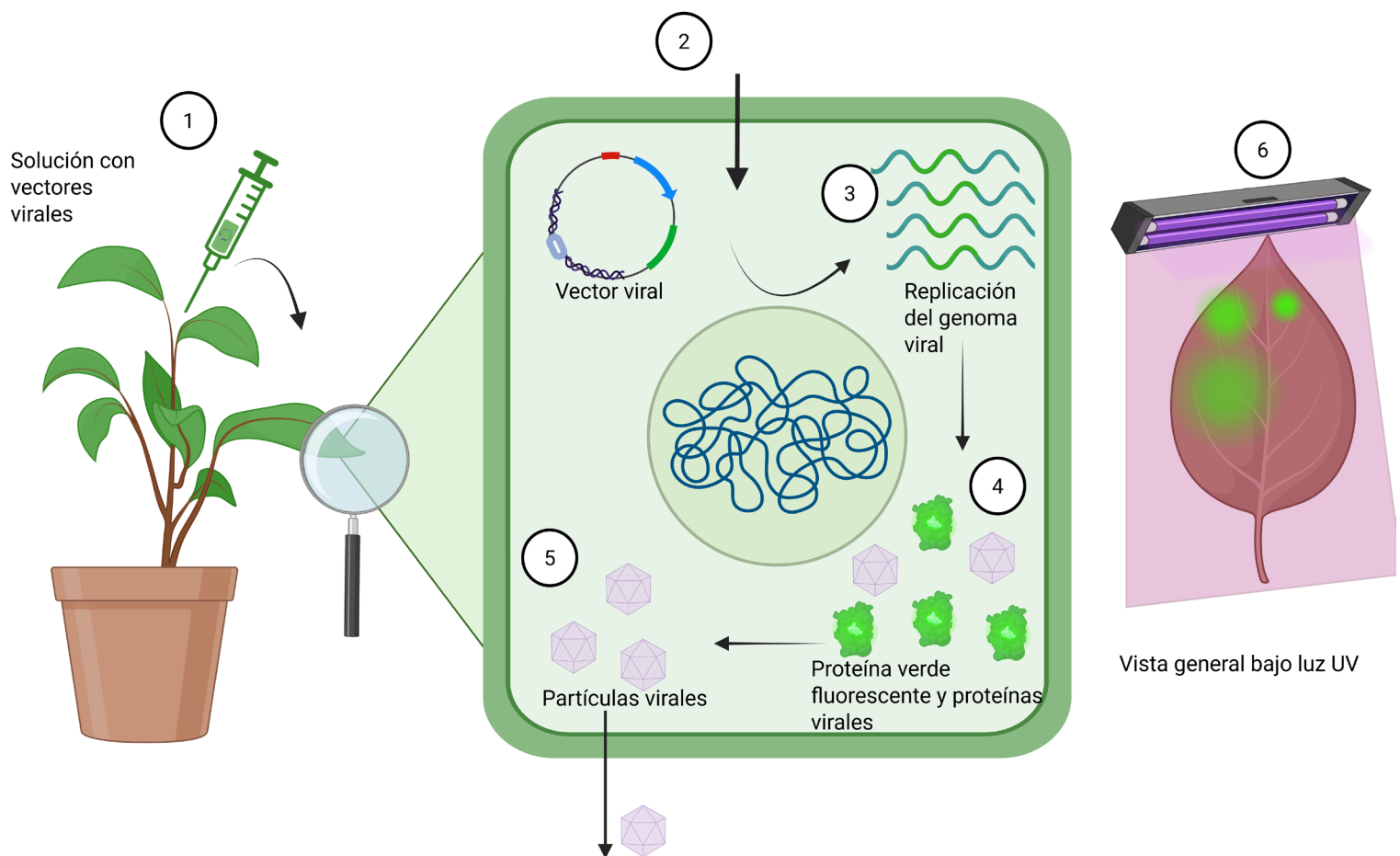


Figura 2. Representación de VOX con la proteína verde fluorescente. Primero el vector viral se inocula en la planta. (2) El vector viral ingresa en la célula vegetal. (3) El genoma viral modificado, que contiene las instrucciones de la proteína verde fluorescente, se replica masivamente utilizando la maquinaria de la célula. Posteriormente (4), estas múltiples copias serán traducidas en proteínas, tanto de los componentes virales como de la proteína verde fluorescente. Después (5), las partículas virales se ensamblan (material genético + cápside) para infectar otras células. Pasados varios días, la acumulación de proteína fluorescente será evidente al exponer la hoja inoculada a luz UV (6). Figura creada con BioRender.com

La sobreexpresión de proteínas mediante vectores virales no se limita a proteínas fluorescentes. En su lugar se insertan genes de interés científico o económico, como proteínas farmacéuticas. En la actualidad se producen vacunas en plantas porque es una alternativa más económica que en bacterias o células animales, y además ofrece ventajas de bioseguridad [2]. Un caso destacado es la síntesis del interferón gamma humano (IFN γ), una proteína clave del sistema inmunológico utilizada en pacientes con enfermedad granulomatosa crónica. Mediante el uso de la planta *Nicotiana benthamiana* como hospedera y un vector derivado del virus del mosaico del bambú, investigadores han observado un incremento significativo tanto en el rendimiento como en la actividad biológica de esta proteína [4].

Silenciando genes

Los vectores virales también se pueden utilizar para disminuir temporalmente la expresión de un gen, es decir, para evitar que la información del gen se traduzca en una proteína. Pero ¿cómo es posible que un vector viral que se usa para VOX, también se pueda usar para VIGS? La clave de esta estrategia es que, además de aprovechar la capacidad del virus para replicarse en las células, se utiliza el propio sistema de defensa de la planta contra la infección.

Así como nosotros tenemos nuestro sistema inmunológico que nos ayuda a defendernos de virus, bacterias y enfermedades en general, las plantas también tienen un sistema de defensa. Tanto en VOX como en VIGS el mecanismo de defensa de la planta responde una vez que detecta al virus, activando el sistema de silenciamiento transcripcional y postranscripcional. Para lo cual primero la planta reconoce como extraños los segmentos de ácidos nucleicos (ADN o ARN) del virus, después activa los mecanismos de silenciamiento transcripcional y postranscripcional para evitar su transcripción a ARN y su traducción a proteínas. Por ello, en VIGS se inserta en el vector viral un fragmento

de uno de los genes de la propia planta, con lo cual se logra dirigir el mecanismo de defensa vegetal contra el ARN mensajero de uno de sus propios genes. Este enfoque permite estudiar la función de genes específicos al observar los cambios en la planta cuando disminuye la expresión y/o traducción de dicho gen [2]. Esto se ejemplifica en la Figura 3, donde se silencia un gen que participa en la síntesis de carotenoides, *PDS* (*fitoeno desaturasa*), el cual afecta los pigmentos de la planta y causa un fenotipo albino.

Además de ser útiles para entender el funcionamiento de los genes en la planta, VIGS tiene aplicaciones de interés agronómico. Como por ejemplo retrasar la maduración de los frutos para que tengan un mayor tiempo de vida de anaquel. En tomate, se observó que al silenciar el gen *SIEIN2* de forma localizada y transitoria en el fruto, la pulpa se mantenía verde. Gracias a este estudio se encontró una relación entre el gen y la cadena de síntesis de otros genes necesarios para la síntesis de etileno, los cuales afectan la maduración del fruto [5].

Otro caso innovador mediante VIGS es el control de patógenos responsables de enfermedades devastadoras en la industria citrícola, como el psílido asiático de los cítricos (*Diaphorina citri*), insecto transmisor de la enfermedad conocida como “greening” o HLB [6]. Estos ejemplos demuestran que VIGS es una herramienta rápida y versátil para la caracterización funcional de genes y, cada vez más, como un recurso prometedor para enfrentar retos en la agricultura moderna.

Desafíos y oportunidades

Aunque los vectores virales ofrecen una vía rápida y versátil para el silenciamiento y sobreexpresión de genes, su uso presenta limitaciones. La compatibilidad del virus con ciertas plantas restringe las especies en las que se pueden utilizar. Los síntomas producidos por el virus pueden enmascarar los resultados, principalmente en VIGS, lo que puede interferir en la interpretación de resultados. Otro factor

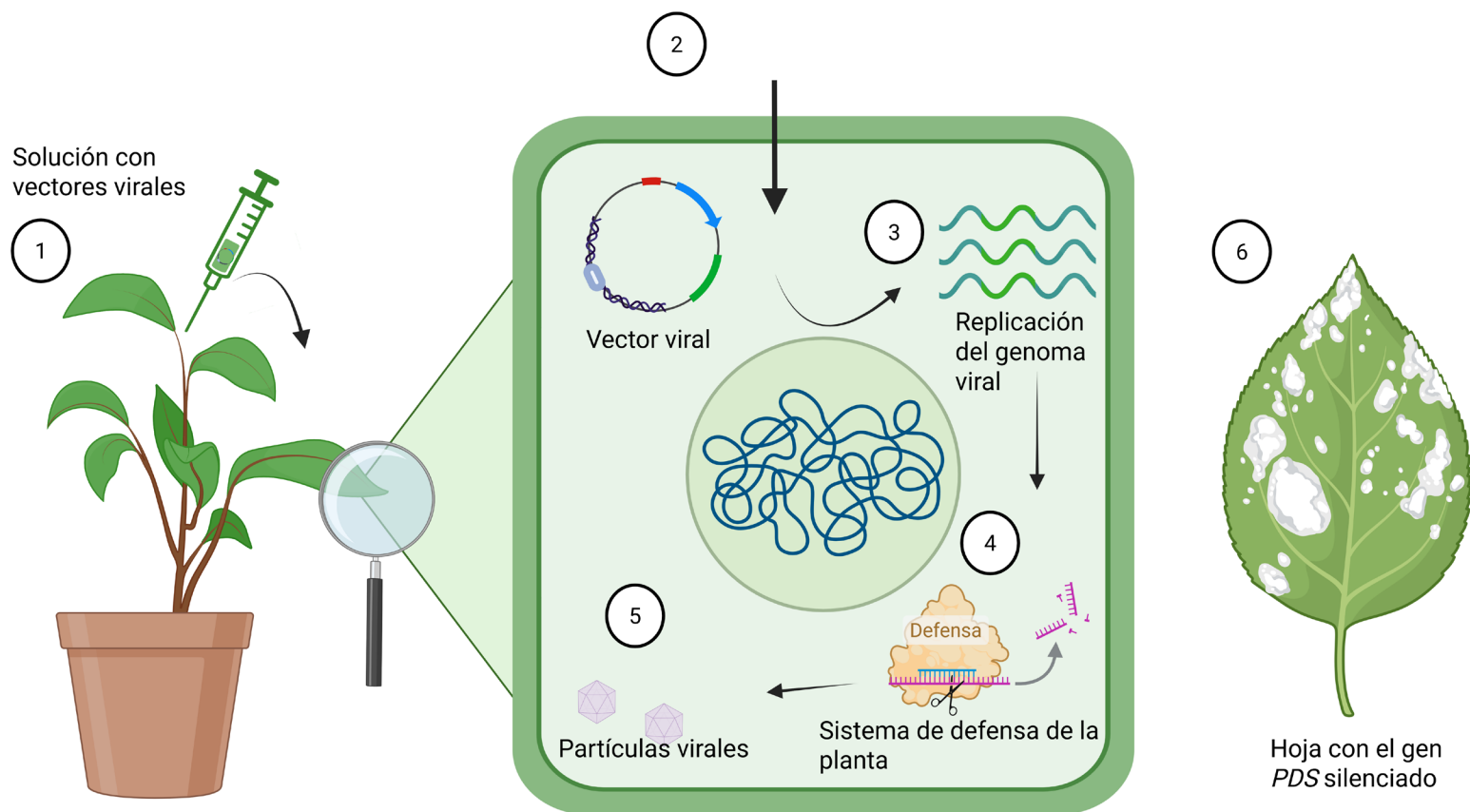


Figura 3. Representación de VIGS con el gen PDS. Primero el vector viral se inocula en la planta. Luego (2) el vector viral ingresa al interior de la célula vegetal. A continuación (3), el genoma viral modificado, que contiene las instrucciones de un segmento del gen PDS, se replica masivamente utilizando la maquinaria de la célula. Después (4), estas múltiples copias son detectadas como extrañas por el sistema de defensa de las plantas, el cual actuará para degradarlas. Dado, que el genoma viral contiene un fragmento del gen PDS, el ARN mensajero de este gen será reconocido como un agente extraño y será degradado. Sin embargo (5), algunas partículas virales logran ensamblarse y continúan infectando nuevas células. Logrando que en las hojas nuevas se observen manchas blancas causadas por una disminución en la traducción de PDS (6). Figura creada con BioRender.com

limitante es la capacidad de carga del vector. Estas condiciones hacen necesario un diseño experimental cuidadoso [1, 2].

A pesar de estas restricciones, las diferentes aplicaciones de virus vegetales en VOX y VIGS han demostrado su utilidad como herramientas biotecnológicas. VOX facilita la biosíntesis rápida y abundante de proteínas de interés, desde reporteros fluorescentes hasta compuestos farmacéuticos de alto valor. VIGS, por su parte, se ha consolidado como una estrategia versátil para silenciar genes para comprender su función, además de ofrecer potenciales aplicaciones en la agricultura, como la mejora de la vida postcosecha de los frutos o el control sostenible de plagas y enfermedades. En conjunto, ambos sistemas muestran la capacidad de los vectores virales para transformar a las plantas en plataformas biotecnológicas flexibles y eficientes.

Además, el potencial de los vectores virales no se limita a las aplicaciones actuales. Algunos virus, como el virus del moteado del tomate (Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV) pueden transportar dentro de las células vegetales grandes cargas, como por ejemplo la secuencia de la proteína Cas9, indispensable para la edición de genes, por lo que en el futuro es posible que presenciemos el uso de vectores virales en la generación de plantas con genomas editados, pero libres de transgenes [7]. En síntesis, los vectores virales representan una herramienta poderosa para la biología molecular vegetal: son rápidos, económicos, versátiles y cada vez más relevantes en la investigación básica y aplicada. Aunque aún no han dado origen a cultivos comerciales [8], tienen una gran capacidad para impulsar innovaciones en áreas como la producción de proteínas, la mejora agronómica y la edición génica. **iBIO**

Referencias

- [1] Wang, Z., Cao, S., Xu, X., He, Y., Shou, W., Munaiz, E. D., Yu, C., & Shen, J. (2023). Application and expansion of virus-Induced Gene Silencing for functional studies in vegetables. *Horticulturae*, 9(8), 934. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9080934>
- [2] Rössner, C., Lotz, D., & Becker, A. (2022). VIGS goes viral: How VIGS transforms our understanding of plant science. *Annual Review of Plant Biology*, 73(1), 703–728. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-102820020542>
- [3] Segre, J. (2025). Virus. In *Talking Glossary of Genomic and Genetic Terms*, Genome.gov. <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Virus> Consultado: 09 de septiembre, 2025.
- [4] Jiang, M.-C., Hu, C.-C., Lin, N.-S., & Hsu, Y.-H. (2019). Production of human IFN γ protein in *Nicotiana benthamiana* plant through an enhanced expression system based on Bamboo mosaic virus. *Viruses*, 11(6), 509. <https://doi.org/10.3390/v11060509>
- [5] Tang, Q., Wei, S., Chen, Z., Zheng, X., Tu, P., & Tao, F. (2024). The reverse genetic as a potential of virus-induced gene silencing in tomato biology. *Food Frontiers*, 5(6), 2498–2514. <https://doi.org/10.1002/fft2.455>
- [6] Killiny, N., Nehela, Y., Hajeri, S., Gowda, S., & Stelinski, L. L. (2025). Virus-induced gene silencing simultaneously exploits “attract and kill” traits in plants and insects to manage huanglongbing. *Horticulture Research*, 12(2), uhae311. <https://doi.org/10.1093/hr/uhae311>
- [7] Awan, M. J. A., Akram, A., Amin, I., & Mansoor, S. (2023). Viral vectors as carriers of genome-editing reagents. *Trends in Plant Science*, 28(9), 981–983. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2023.05.010>
- [8] AgbioInvestor. (2025). *GM Approvals Database*. Agbioinvestor.com. <https://gm.agbioinvestor.com/approvals-database> Consultado: 09 de septiembre, 2025.