

AVANCES EN TÉCNICAS

DE CONTROL Y PREVENCIÓN
DEL OROBANQUE EN CHILE



cb⁺
SOFOFA HUB

AVANCES EN TÉCNICAS

DE CONTROL Y
PREVENCIÓN DEL
OROBANCHE EN CHILE



A G R A D E C I M I E N T O S

Agradecemos a Empresas IANSA y a su equipo de expertos por la revisión crítica de este informe, cuyos valiosos aportes permitieron fortalecer su contenido.



RESUMEN

El presente informe, elaborado por el Centro de Biotecnología Traslacional (CBT), analiza el mercado internacional en busca de soluciones para el control y la prevención del orobanche, una planta parasítica que afecta significativamente al cultivo del tomate. El documento entrega una visión general sobre el contexto actual de esta problemática a nivel global, destacando las dificultades técnicas específicas en Chile, así como las oportunidades existentes para enfrentarla debido a la falta de soluciones completamente efectivas disponibles.

El informe se estructura en cuatro secciones principales: “Contexto”, en la que se describe la situación actual del orobanche y su impacto económico en la producción del tomate industrial tanto en Chile

como en el extranjero; “Soluciones Identificadas”, que analiza y compara las soluciones técnicas disponibles internacionalmente para su control y prevención; “Tecnologías Destacadas”, donde se identifican y resaltan aquellas alternativas más prometedoras en términos de efectividad y aplicabilidad para Chile, subrayando además la importancia estratégica de que el país se posicione como un referente internacional en investigación, desarrollo y producción de nuevas tecnologías orientadas al control integral del orobanche; y finalmente “Conclusiones”, donde se muestran las posibilidades y oportunidades del ecosistema chileno para desarrollar soluciones innovadoras, adquiriendo proyección global en el combate de parásitos vegetales.

CONTENIDO

1.

CONTEXTO

p . 6

2.

SOLUCIONES

p . 10

IDENTIFICADAS

2.1. Soluciones Agronómicas y Culturales

P . 11

2.2. Soluciones Químicas

p . 12

2.3. Soluciones Biológicas

p . 14

3.

TECNOLOGÍAS

p . 17

DESTACADAS

3.1. Micro-péptidos

P . 17

3.2. Edición Genética

p . 19

3.3. Uso de aminoácidos

p . 21

4.

CONCLUSIONES

P . 23

5.

REFERENCIAS

P . 25

El tomate es la hortaliza con mayor producción y consumo a nivel mundial, desempeñando un papel esencial en la alimentación humana y la industria agrícola. En 2023, su producción global superó los 192 millones de toneladas, manteniendo una tendencia de crecimiento constante durante la última década, con China liderando el mercado con el 36% de la producción total [1].

El comercio internacional del tomate se divide en dos grandes categorías principales: el consumo fresco y el procesamiento para la elaboración de productos derivados, como pastas y salsas. En este escenario, Chile ha consolidado una posición estratégica como el séptimo mayor exportador de tomate procesado a nivel global, aportando el 3,7% de las exportaciones mundiales y generando más de 289 millones de dólares en ingresos anuales [2]. La importancia de Chile en este segmento se refuerza al considerar que, en 2023, se cultivaron 12.721 hectáreas de tomate en el país, de las cuales el 56% se destinó a la producción industrial, concentrando principalmente en las regiones del Maule y O'Higgins [3].

Entre los principales destinos de las exportaciones chilenas procesadas se encuentran Japón, Alemania, México, Estados Unidos y

Colombia, siendo Japón y Alemania los mercados que han triplicado sus importaciones desde 2022, lo que refleja la creciente demanda de productos derivados del tomate [2].

Por otro lado, *Phelipanche ramosa*, comúnmente conocida como orobanche o jopo ramificado, es una maleza parásita obligada que afecta gravemente a cultivos de la familia Solanaceae, como las papas, los pimientos o tomates [4]. Esta especie se caracteriza por la ausencia de clorofila y tallos pálidos, lo que la hace completamente dependiente de sus plantas hospedadoras para la obtención de agua y nutrientes. Se conecta al sistema vascular de la raíz del huésped mediante una estructura especializada denominada haustorio.. El principal desafío para su control radica en su complejo sistema reproductivo. Cada planta de orobanche puede producir hasta 250.000 semillas entre 0,2 y 0,3 mm de largo, las cuales tienen la capacidad de permanecer latentes en el suelo durante un período prolongado, que oscila entre 10 y 12 años, aunque algunas fuentes sugieren que pueden mantenerse viables por más de 20 años. La propagación de estas semillas ocurre principalmente por autopolinización [5].

El ciclo de germinación de *P. ramosa* se desarrolla en dos etapas: un acondicionamiento influido por la humedad y la temperatura, y una estimulación germinal activada por señales moleculares, en particular estrigolactonas, producidas por las raíces de los cultivos hospedadores [6]. La diseminación de estas semillas, facilitada por su

diminuto tamaño y la contaminación cruzada a través de maquinaria agrícola, ha permitido que la especie, originaria del Mediterráneo y Asia Occidental, se extienda a diversas regiones como Australia, América, Asia Oriental y África [5], como se evidencia en la Figura 1.

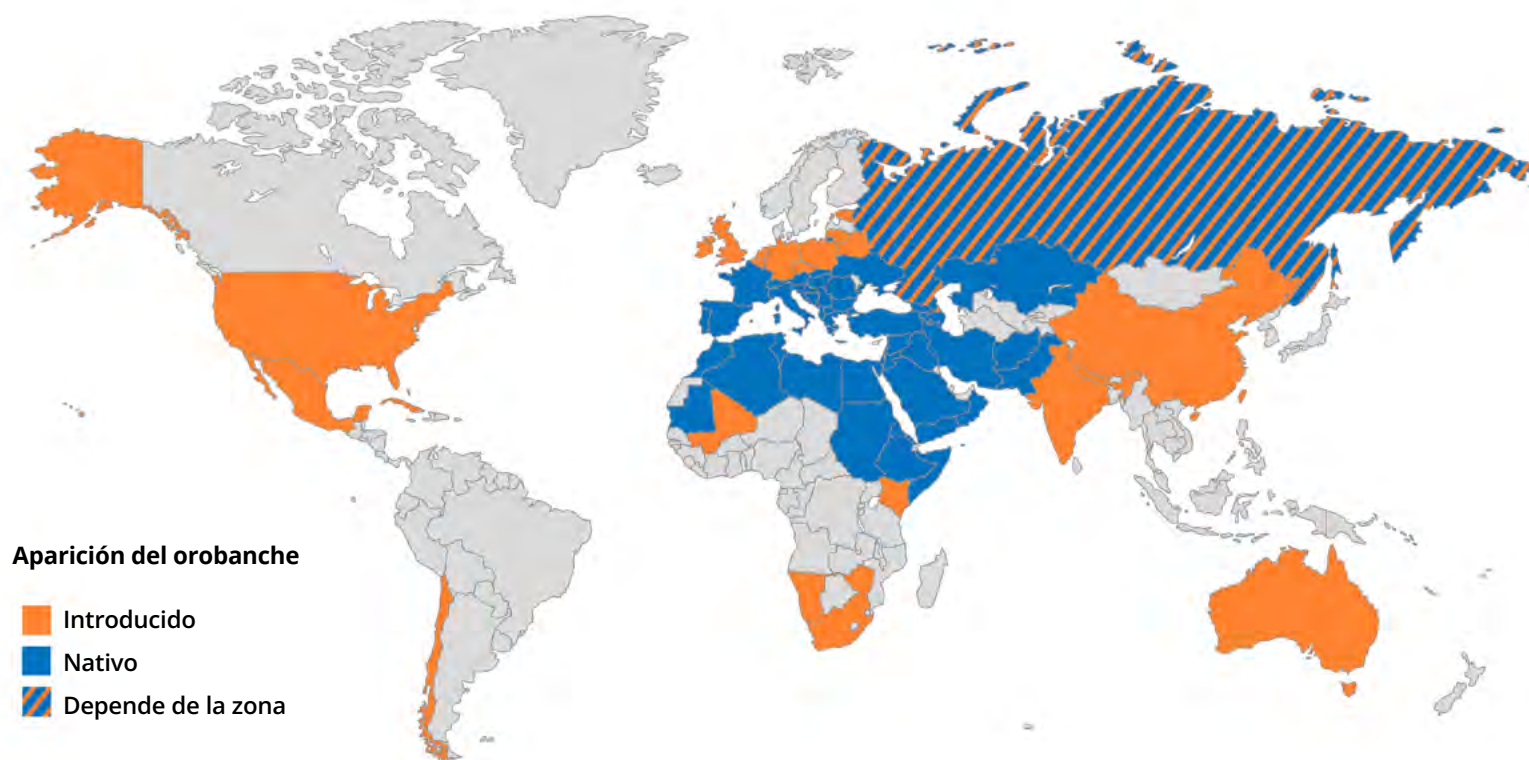


Figura 1: Mapa demostrativo de la plaga nativa (azul), introducida (naranja) o ambos dependiendo de la zona (naranja con rayas azules) por cada país.

El impacto del orobanche en la agricultura es profundo y multifacético, extendiéndose más allá de la simple reducción de la cantidad de cosecha. En Chile representa una amenaza considerable para los cultivos de tomate, con mermas en los rendimientos que pueden superar el 50% e incluso llevar a la pérdida total de la cosecha. Algunos estudios reportan pérdidas aún más severas, superando el 80% en el contexto chileno [7].

A nivel global, las malezas parásitas de los géneros *Orobanche* y *Phelipanche* son responsables de cuantiosas pérdidas de rendimiento en una amplia gama de cultivos. Las pérdidas documentadas en cultivos de tomate y tabaco suelen oscilar entre el 30% y el 50%, y en infestaciones severas, pueden alcanzar el 100% de la producción. Casos en Chile demuestran cómo el rendimiento total de los campos pueden afectarse entre un 57 al 65% debido a los cambios en las concentraciones de macro y micronutrientes disponibles y parasitados [8]. En Irán, al igual que el caso local, se han evidenciado pérdidas de un 40% anual en el rendimiento debido exclusivamente al orobanche [9]. Esto conlleva a que la infestación por orobanche también comprometa la calidad del fruto. Se ha documentado un impacto negativo en el contenido de azúcar, la composición de aminoácidos y el nivel de carotenoides en los tomates [8].

La proyección de una mayor distribución global de las especies de *Orobanchaceae*, impulsada por el extenso comercio agrícola y el

cambio climático, transforma el problema del orobanche de una molestia local a una preocupación global de seguridad agrícola. Para Chile, esto significa que la amenaza a largo plazo es creciente, incluso si las infestaciones actuales son manejables.

A pesar de la gravedad de la amenaza, actualmente no existe una solución definitiva en Chile para erradicar o controlar eficazmente el orobanche en cultivos de tomate previamente contaminados. Pese a que se han evaluado distintas alternativas, incluyendo herbicidas, control mecánico y métodos biológicos, estas estrategias han tenido resultados parciales y no han logrado eliminar completamente al parásito. El uso de herbicidas, si bien puede retrasar temporalmente la germinación del orobanche, presenta limitaciones significativas. Estas incluyen el riesgo de fitotoxicidad para el cultivo, la posible presencia de residuos químicos en los frutos y la creciente resistencia del parásito a estos productos.

Los métodos mecánicos, como la solarización del suelo y el arado profundo, han demostrado ser efectivos en otras regiones del mundo. Sin embargo, en Chile, estos métodos enfrentan dificultades técnicas. Estas se relacionan con condiciones climáticas desfavorables, como temperaturas moderadas o baja radiación solar en ciertas zonas productivas, así como limitaciones en el manejo agrícola tradicional que obstaculizan su aplicación sistemática. Una de las principales problemáticas declaradas por las principales productoras locales es

la propagación mediada a través del uso compartido de maquinaria. Si bien existen protocolos de limpieza y desinfección, la magnitud de la presencia del orobanche en el país limitan los resultados de esta técnica de prevención [10]. Asimismo, el uso de biocontroladores, aunque prometedor, aún se encuentra en etapas iniciales y enfrenta desafíos asociados a su producción, eficacia variable y adaptación local. Esto plantea la necesidad urgente de explorar nuevas soluciones tecnológicas que puedan superar estas barreras y entregar alternativas sostenibles y eficaces en el contexto agrícola chileno, buscando también convertir al país en un referente mundial en la búsqueda de soluciones innovadoras y posicionando a las empresas nacionales como líderes en el área.

En este contexto, las soluciones tecnológicas más avanzadas provienen mayoritariamente de corporaciones con foco en mercados de gran

escala. Dado el tamaño acotado del mercado chileno para tomate, el retorno esperado suele ser insuficiente para justificar formulaciones o etiquetas específicas para Chile. En la práctica, esto se traduce en acceso limitado o tardío a innovaciones, o en recomendaciones no optimizadas para condiciones del suelo y climáticas locales. Este escenario abre una ventana estratégica para articular consorcios público-privados que compartan riesgo regulatorio, habilitar startups tecnológicas capaces de adaptar paquetes de manejo integrado a la realidad productiva chilena y consolidar plataformas de I+D que generen evidencia comparativa (bioeficacia, fitotoxicidad, residuos) y aceleren la transferencia a productores.



2 .

SOLUCIONES IDENTIFICADAS

En esta sección se exponen diversas tecnologías identificadas por el equipo técnico del CBT a partir de una búsqueda preliminar en fuentes secundarias; por ello, las descripciones ofrecidas se basan únicamente en la información disponible públicamente. Se presentan los resultados obtenidos al 12 de mayo de 2025.

Con el propósito de ofrecer una visión amplia y comparable, se recolectaron soluciones ensayadas en distintos niveles de escala, independientemente de su base tecnológica (mecánica, química o biológica). La clasificación operacional empleada distingue tres niveles de madurez: “Campo”, que agrupa tecnologías probadas experimentalmente en cultivos abiertos de tomate; “Laboratorio”, que comprende evaluaciones in vitro o bajo invernadero sin validación en escenarios reales;

e “Industriales/Patente”, que incluye desarrollos con protección intelectual asociada al control, ya sea en solicitud o concedidos, y/o con rutas claras de escalamiento industrial.

Adicionalmente, las soluciones se ordenan por mecanismo de acción: “Inhibición”, cuando buscan impedir la germinación de las semillas; “Mortalidad”, cuando apuntan a su eliminación; e “Inhibición/Mortalidad”, cuando combinan ambos efectos. De manera consistente con la literatura y reportes técnicos revisados, no existe una medida única y definitiva. El control efectivo requiere paquetes integrados de manejo, donde la combinación secuencial o simultánea de estrategias genere sinergias que aumenten la eficacia y reduzcan el riesgo de falla y/o resistencia [11], [12].

2.1. Soluciones Agronómicas y Culturales

Por soluciones Agronómicas y Culturales se entienden aquellas que requieren una acción manual, la utilización de equipos físicos o técnicas mecánicas para su implementación. Estas se basan en la modificación directa de las condiciones del suelo o del ciclo del

cultivo, diferenciándose de las soluciones químicas o biológicas en que su efectividad depende en gran medida de factores agronómicos y ambientales. Por soluciones Agronómicas y Culturales se entienden

Tabla 1: Soluciones Agronómicas y Culturales identificadas para controlar la aparición y expansión del orobanche

Nombre	Descripción	Escala de aplicación	Inhibición / Mortalidad	Referencia
Época de siembra y plantación	Ajustar la fecha de siembra del cultivo, ya sea adelantando o retrasando respecto a lo habitual, para reducir la germinación potencial del orobanche. Esta práctica se basa en las diferencias entre el ciclo vital del cultivo y el del orobanche, evitando que ambos se sincronicen y facilitando el control del parásito.	Campo	Inhibición	[4], [13]
Solarización	Se investiga el efecto de la solarización del suelo. La técnica consiste en cubrir el terreno con una lámina de polietileno transparente antes de la plantación, lo que eleva la temperatura de la capa superficial del suelo, superando los 47°C. Este incremento térmico resulta letal para las semillas de orobanche situadas en los 10 cm superiores, reduciendo significativamente el banco de semillas y, por ende, la incidencia del parásito.	Campo	Mortalidad	[14], [15]
Profundidad del arado	Metodología que propone aumentar la profundidad del arado inicial de los campos con el objetivo de crear un ambiente anaeróbico para las semillas del orobanche en el cual no puedan germinar ni sobrevivir.	Campo	Mortalidad	[16]
Rotaciones	Rotar los campos mediante el uso de cultivos no hospederos durante el período de latencia de las semillas (10–12 años). De esta manera, se evita que la mayoría de las semillas encuentren un huésped adecuado para germinar, lo que finalmente conduce a su muerte.	Campo	Mortalidad	[4], [13]

A pesar de sus ventajas, estas estrategias presentan limitaciones considerables. La eficiencia de la solarización depende fuertemente de la radiación solar y la humedad del suelo, condiciones que no siempre se cumplen en las principales zonas productoras de tomate en Chile. Además, los costos asociados al uso extensivo de plásticos agrícolas y la logística de cobertura en grandes superficies reducen su viabilidad económica. En cuanto al arado profundo, requiere maquinaria de alta potencia y su aplicación repetida puede afectar la estructura del suelo y aumentar la erosión. Las rotaciones prolongadas, aunque efectivas, son difíciles de sostener económicamente en sistemas especializados en solanáceas, donde el margen de sustitución de cultivo es limitado.

Las soluciones agronómicas y culturales ofrecen una alternativa tangible, pero su adopción masiva depende de condiciones climáticas,

escala de producción y acceso tecnológico. En el contexto chileno, su implementación requeriría adaptación local, integración con herramientas de sensorización o manejo térmico automatizado y la participación de nuevos actores tecnológicos que puedan reducir costos operativos y aumentar su eficiencia de aplicación.

2.2. Soluciones Químicas

Por soluciones Químicas se entienden aquellas que requieran de la aplicación de algún químico en formato líquido o sólido. En estas se incluyen también protocolos de aplicación de estos mismos, que hayan sido patentados o estudiados por diversas instituciones.

Tabla 2: Soluciones Químicas identificadas para controlar la aparición y expansión del orobanche.

Nombre	Descripción	Escala de aplicación	Inhibición / Mortalidad	Referencia
Herbicidas	Se propone aplicar un tratamiento directamente sobre las semillas, lo que permite eliminar los costos asociados a las aplicaciones convencionales y reducir la dosis necesaria. Además, esta técnica se realiza en una zona muy próxima a donde germina el orobanche, maximizando su efecto. En otros cultivos, como el haba, la arveja, la lenteja y la maravilla, se han utilizado herbicidas tales como imazetapir e imazapir pronamida, lo que respalda la viabilidad de este enfoque.	Campo	Inhibición	[4], [17]
Rimsulfuron	Rimsulfuron es un herbicida ya empleado en el control de otras plagas, y se propone su aplicación mediante irrigación por goteo. Es fundamental respetar el límite máximo permitido de este producto, dado que en algunos campos se utiliza para otros cultivos, lo que requiere una dosificación cuidadosa para evitar impactos negativos. Sus aplicaciones están siendo estudiadas y probadas en campos chilenos.	Campo	Mortalidad	[4], [17], [18]

Nombre	Descripción	Escala de aplicación	Inhibición / Mortalidad	Referencia
Fertilización	Según evidencias obtenidas en pruebas con plantas cultivadas en macetas, se ha demostrado que el nitrato afecta negativamente tanto la germinación como la elongación del tubo germinativo del orobanche.	Campo	Inhibición	[4]
Esterilización	Se emplean agentes esterilizantes o fumigantes del suelo aplicados antes de la plantación. Estos productos penetran en el sustrato, eliminando patógenos, bacterias, hongos y semillas de malezas. Entre los ejemplos destacados se encuentran el Metam Sodio, el 1,3-dicloropropeno/Telone y el Metil isotiocinato.	Campo	Mortalidad	[4], [11]
Estimulantes de germinación	Una estrategia consiste en inducir la germinación en ausencia de cultivos hospederos mediante el uso de estimulantes químicos, lo que se conoce como “germinación suicida”. Esto provoca que las semillas de orobanche germinen sin disponer de un huésped, agotando así el banco de semillas. Para ello, se propone explorar opciones sintéticas análogas a las estrigolactonas, compuestos naturales que actúan como señales de germinación. Asimismo, se sugiere investigar inhibidores de la síntesis de giberelinas, como el uniconazol, para limitar aún más la capacidad del parásito de establecerse.	Laboratorio	Inhibición	[19]
Protocolo de aplicación de un análogo del éster de bencilo	Este método consiste en la aplicación en tierra de un compuesto químico análogo a un éster de bencilo que induce la germinación temprana del orobanche. La técnica implica dos aplicaciones previas a la plantación: la primera se realiza entre 50 y 40 días y la segunda entre 30 y 20 días antes de la siembra, utilizando una concentración de 1 a 10 ppm.	Industrial / Patente	Mortalidad	[20]
Lactonas sesquiterpenoides	Basado en la aplicación de lactonas sesquiterpénicas (metabolitos secundarios con un anillo lactona muy reactivo capaces de modular procesos fisiológicos en otras plantas), se aislaron cuatro tipos de moléculas a partir de <i>Centaurea cineraria</i> L. subsp. <i>cineraria</i> , las cuales demostraron altos índices de inhibición. En particular, los derivados acetilados del salonitenolide exhibieron una actividad inhibidora del 100%, lo que resalta su potencial para aplicaciones en el control del orobanche.	Laboratorio	Inhibición	[21]

A nivel experimental, los herbicidas de amplio espectro han mostrado eficacias variables, con resultados favorables sólo cuando se aplican en fases subterráneas tempranas del parásito. Por ejemplo, rimsulfuron e imazapir ofrecen controles superiores al 70% en tomate [22]. Sin embargo, su eficacia disminuye notablemente cuando la infección ya es visible o cuando las semillas están más profundas en el perfil del suelo. En paralelo, las estrategias de germinación suicida, basadas en análogos de estrigolactonas o ésteres de bencilo, han alcanzado tasas de germinación inducida de entre 60 y 80% en laboratorio, aunque aún presentan limitaciones en persistencia, estabilidad química y escalabilidad de la producción, lo que restringe su uso masivo en campo [23], [24].

Entre las principales dificultades técnicas del control químico se incluyen la fitotoxicidad al cultivo huésped, la rápida degradación de los compuestos en suelos orgánicos, la baja selectividad, y los altos costos regulatorios asociados al registro de nuevos ingredientes activos. Además, los fumigantes del suelo, como el Metam Sodio y el 1,3-dicloropropeno, enfrentan crecientes restricciones medioambientales en la Unión Europea y América Latina, limitando su disponibilidad comercial [25].

En el mercado global coexisten dos frentes con distinto nivel de madurez. El primero, ya validado en tomate bajo condiciones reales, es la quimigación secuencial con rimsulfuron en tomate de proceso. California otorgó una etiqueta 24(c) como exención de “necesidad local” [18], y

ensayos de UC ANR y UC Davis muestran reducciones de emergencia de un 85% sin comprometer la selectividad cuando se respetan dosis y ventanas fenológicas. Además, las demostraciones a escala reportan ausencia de daño al cultivo. Sin embargo, esta primera experiencia no sería plenamente factible en Chile por diferencias regulatorias y por las restricciones de importación, registro del ingrediente activo y su uso por quimigación, que hoy no cuentan con un marco habilitante equivalente.

El segundo frente, aún emergente, lo impulsan grupos académicos, como un grupo perteneciente a la Academia China de Ciencias, mediante “germinación suicida” con análogos de estrigolactonas y butenólidos microbianos, que en invernadero han logrado inducciones por sobre un 60% en orobanche [26], [27]. El desafío inmediato es asegurar estabilidad y trasladar la eficacia a campo abierto, integrándola con manejo del banco de semillas y ventanas de intervención, y evaluando rutas regulatorias locales que permitan su adopción en condiciones productivas reales.

2.3. Soluciones Biológicas

Por soluciones Biológicas se entienden aquellas que emplean organismos vivos o biomoléculas derivadas de ellos como parte del control directo del parásito. En estas se incluyen también cualquier tipo de edición a nivel biológico/molecular de las plantas a cultivar.

Tabla 3: Soluciones Biológicas identificadas para controlar la aparición y expansión del orobanche.

Nombre	Descripción	Escala de aplicación	Inhibición / Mortalidad	Referencia
Cultivos trampa	Una estrategia consiste en utilizar un cultivo trampa que, al no ser susceptible a la parasitación, estimula la germinación del orobanche en ausencia de un huésped adecuado, impidiendo su establecimiento. Entre los cultivos trampa sugeridos se encuentran el lino, el poroto, la pimienta, el maíz, el sorgo, el trigo y la avena.	Campo	Inhibición	[13]
Cultivo cebo	Una estrategia consiste en plantar cultivos huéspedes alternos al tomate con el fin de que el orobanche los parasite. Sin embargo, el cultivo de estas plantas cebo no debe ser utilizado comercialmente y debe ser destruido después de su ciclo para evitar la diseminación de las semillas que puedan haber sido producidas.	Campo	Inhibición	[13]
Control Biológico	La estrategia consiste en utilizar la pequeña mosca <i>Phytomyza orobanchia</i> , cuyas larvas se alimentan principalmente de las semillas y, en menor medida, del tallo del orobanche, causando un daño que reduce la capacidad del parásito para establecerse y propagarse.	Campo	Mortalidad	[13]
Edición génica	Mediante técnicas como CRISPR-Cas9, es posible modificar genes en las plantas hospederas para reducir la producción de estrigolactonas, fitohormonas que estimulan la germinación del orobanche. Asimismo, la ingeniería genética permitiría desarrollar variedades de tomate con mayor resistencia a la parasitación, ya sea fortaleciendo el sistema de defensa o impidiendo la adhesión de la maleza a las raíces.	Industrial / Patente	Inhibición	[28], [29], [30], [31]
Uso de micro-péptidos	Se utilizan micro-péptidos biocompatibles sintetizados a partir de micro-ARN como herbicidas para inhibir la germinación. Su aplicación es mediante riego, spray o directamente en el sustrato de crecimiento.	Industrial / Patente	Inhibición	[32]
Micoherbicidas	Se trata de un control biológico basado en hongos mediante patógenos externos que atacan específicamente al orobanche, sin inducir citotoxicidad en el tomate. Distintas especies del hongo <i>Fusarium</i> han demostrado un potencial prometedor en plantas de tabaco. Sin embargo, aún no se han desarrollado sistemas escalables para su aplicación o producción.	Laboratorio	Mortalidad	[33]
Uso de aminoácidos como herbicida	Al menos cuatro aminoácidos han presentado actividad inhibitoria considerable: arginina, lisina, fenilalanina y triptófano. De estos, los últimos dos presentan efectos permanentes y también un alto índice de mortalidad.	Laboratorio	Inhibición / Mortalidad	[34]

Las estrategias biológicas constituyen una de las áreas más activas de investigación, dado que el uso de químicos está cada día más regulado y limitado, donde la producción de estas últimas contribuyen a generar una mayor huella de carbono. Sin embargo, su efectividad depende fuertemente de las condiciones locales. Los cultivos trampa y cebo han demostrado entre 50 y 80% de reducción del banco de semillas, pero su éxito está condicionado por el tipo de suelo, el régimen hídrico y la sincronía entre los ciclos fenológicos del cultivo y del parásito [13]. En regiones áridas, la germinación inducida puede ser parcial si la humedad no alcanza los niveles necesarios para activar las señales radiculares del orobanche.

El control biológico con insectos o microorganismos presenta resultados prometedores, aunque aún con limitaciones logísticas y regulatorias. La mosca *Phytomyza orobanchia* ha sido empleada con éxito en el norte de África y Asia occidental, pero su dispersión controlada fuera de esas regiones enfrenta restricciones fitosanitarias. Los micoherbicidas basados en *Fusarium* spp. alcanzan niveles de mortalidad del 70 y 95% del parásito, sin afectar a la especie probada, pero su producción masiva y estabilidad durante almacenamiento siguen siendo obstáculos clave. Asimismo, la liberación ambiental de cepas modificadas o introducidas requiere protocolos de bioseguridad estrictos bajo la normativa de la FAO y la UE [35], [36].

Por otro lado, las estrategias moleculares representan el frente de innovación con mayor potencial disruptivo. La edición génica ha permitido reducir hasta en un 90% la exudación de estrigolactonas en líneas experimentales de tomate y tabaco, evitando la germinación

del parásito sin afectar el crecimiento del hospedante [37], [38], [39]. Del mismo modo, los micro-péptidos derivados de ARN pequeños y los aminoácidos bioactivos abren una línea de biocontrol no tóxica y biocompatible, aunque aún carecen de validaciones en entornos relevantes y regulatorias para uso agrícola [40], [41].

Desde la perspectiva del mercado, grandes empresas como Bayer Crop Science y Corteva Agriscience han comenzado a invertir activamente en consorcios de biocontrol, impulsando el desarrollo de bioherbicidas de amplio espectro y programas de edición genética enfocados en la resistencia varietal, en lugar de en el control directo. Ambas compañías han establecido colaboraciones con Pairwise, una startup especializada en la edición genética, en la que se enlistan como inversores, participando en proyectos dirigidos a verduras de hoja verde y tomate [42], [43]. Además, Corteva mantiene una alianza estratégica con G+FLAS Life Sciences, una empresa surcoreana, para el desarrollo de nuevas variedades de tomate con un mayor contenido de vitamina C. Sin embargo, a pesar de estas colaboraciones, no se observa un enfoque específico en la resistencia al orobanche, lo que podría ser una oportunidad de investigación y desarrollo en el futuro.

En síntesis, las soluciones biológicas ofrecen el enfoque más sostenible y con mejor aceptación regulatoria a largo plazo. A nivel global, el avance hacia productos biológicos comerciales consolida una tendencia donde la cooperación entre centros de I+D, startups y agroindustrias será clave para traducir las eficiencias de laboratorio en resultados reproducibles en campo.



3 .

TECNOLOGÍAS DESTACADAS

A continuación, se destacan algunas soluciones del listado anterior que resultan ser innovadoras y prometedoras para el desarrollo de tecnologías agrícolas. Varias de las alternativas identificadas ya han sido probadas por empresas productoras, aunque con resultados dispares debido a los altos costos de aplicación, condiciones climáticas poco favorables o rendimientos insuficientes en relación con su toxicidad potencial. Además, muchas de las opciones químicas corresponden a estrategias eficaces en otras especies y se utilizan principalmente por la falta de alternativas específicas frente al orobanche.

En este contexto, el análisis se centra en tecnologías emergentes y enfoques biotecnológicos recientes que, pese a requerir mayor desarrollo y validación local, representan según el presente análisis soluciones prometedoras para el futuro del control sostenible de esta maleza en el país.

3.1. Micro-péptidos

Los micro-péptidos son secuencias peptídicas cortas, generalmente formadas por 10 a 20 aminoácidos, que se producen de manera natural en diversos organismos. Estas moléculas desempeñan un papel fundamental en la regulación de la expresión génica en las plantas, modulando funciones fisiológicas clave. Su acción se ejerce alterando o inhibiendo la expresión de proteínas, generando un efecto temporal sin modificar el material genético de la planta. Además, debido a su rápida degradación en el entorno, su aplicación mediante métodos como la irrigación o el spray resulta segura tanto para el ambiente como para el consumo humano.

La empresa francesa Micropep creó una plataforma tecnológica capaz de identificar micro péptidos denominados miPEPs, pequeñas proteínas formadas por menos de 20 aminoácidos con la capacidad de actuar como señales intracelulares, dentro de estructuras conocidas como pri-miARNs, que son moléculas largas de ARN precursoras de microARN y que tradicionalmente se consideraban no codificantes [32]. Los microARN o miARN, por su parte, son moléculas cortas de ARN no codificante que regulan la expresión génica, es decir, determinan qué genes se activan o se silencian dentro de la célula. Estos miPEPs tienen la función específica de regular la acumulación de miARNs particulares, lo que a su vez afecta la expresión de los genes sobre los cuales dichos miARNs actúan, como se esquematiza en la Figura 2. Esta innovadora estrategia ofrece una herramienta precisa

para regular procesos fisiológicos en las plantas sin alterar su material genético, abriendo nuevas oportunidades en biotecnología y agricultura. En este contexto, Micropep se dedica a la producción de micro-péptidos orientados a la protección de cultivos, aprovechando estas propiedades para desarrollar soluciones agrícolas sostenibles. Si bien esta tecnología no ha sido liberada como un producto o servicio, sí declaran estar trabajando en etapas de investigación en esta línea de trabajo con el objetivo de liberar un producto al mercado global. La colaboración entre Micropep y Corteva es una validación crucial de esta tecnología. La inversión de Corteva y sus derechos exclusivos sobre una biblioteca de péptidos demuestran que los grandes actores de la industria reconocen el potencial comercial de los micro-péptidos [44].

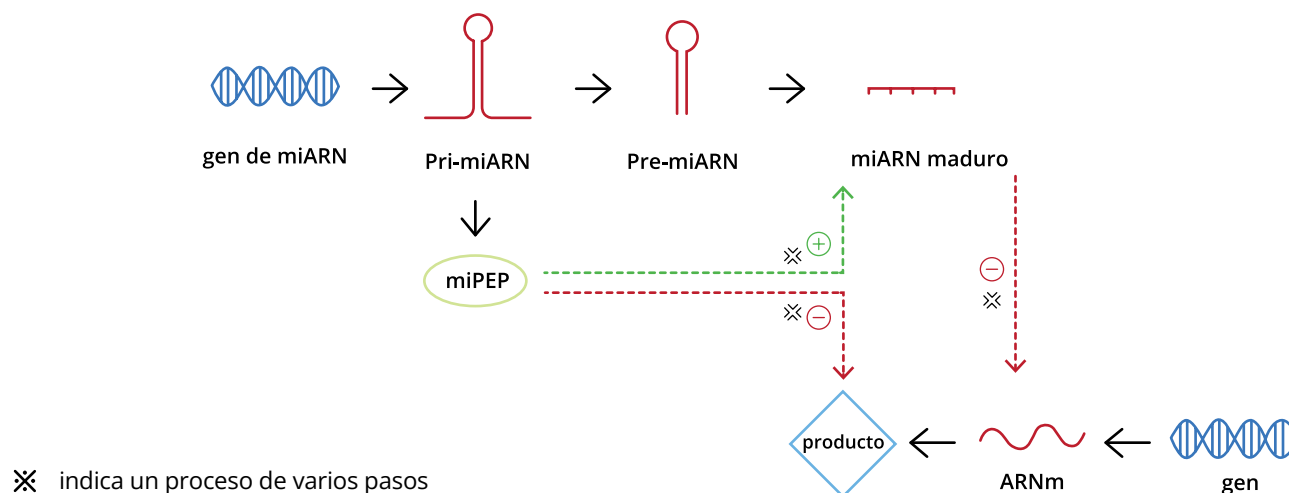


Figura 2: Esquema representativo del proceso de producción y acción de micro-péptidos en células vegetales. Las líneas rojas indican efectos inhibitorios sobre los elementos regulados, mientras que la línea verde indica efectos activadores o promotores. Adaptada de Saberian, et al., 2021 [45].

Los micro-péptidos representan un enfoque de “biotecnología suave” debido a su alta especificidad y baja huella ambiental. Si bien no hay productos o servicios al día de la publicación del presente documento, existe evidencia mediante patentes de que están trabajando en secuencias peptídicas con foco en orobanche. Su acción post-transcripcional y su rápida degradación garantizan un impacto residual mínimo en el medio ambiente y en organismos no objetivo, lo que los distingue de los pesticidas químicos tradicionales que a menudo tienen impactos más amplios y problemas de persistencia. Esta característica los hace particularmente atractivos para mercados con regulaciones ambientales estrictas y para la agricultura orgánica, configurando un nicho de alto valor.

3.2. Edición Genética

La edición genética en el tomate representa una estrategia innovadora frente al estrés biótico causado por parásitos como el orobanche. Hasta ahora, la mayoría de los estudios de edición genética en tomate se han centrado principalmente en otras enfermedades [29], dejando así un amplio espacio para desarrollar nuevas soluciones en este ámbito. Mediante esta técnica, es posible generar variedades de tomate resistentes al orobanche, modificando directamente genes relacionados con la producción de compuestos que estimulan la germinación del parásito, como las estrigolactonas. En Israel, por ejemplo, investigadores del Instituto Volcani de la Organización de

Investigación Agrícola, han logrado avances significativos mediante la inhibición específica de genes responsables de la liberación de estrigolactonas frente a la cepa egipcia del orobanche, *Phelipanche aegyptiaca*, reduciendo en un 90% las plantas infectadas con respecto a los controles en invernadero [30]. Más recientemente, la eliminación del gen *SIABCG45* en tomate confirió resistencia de amplio espectro a diferentes especies de *Phelipanche*, lo que resultó en un aumento de rendimiento de aproximadamente el 30% en campos infestados, sin penalización de rendimiento en campos libres de orobanche [38]. De esta manera se abren oportunidades para aplicar esta tecnología en diferentes regiones y variedades.

La precisión que ofrece la edición genética permite intervenciones puntuales en los tomates sin alterar otras funciones esenciales de la planta, proporcionando así una solución sostenible y respetuosa con el medio ambiente, en comparación con el uso de productos químicos. Al intervenir específicamente en los mecanismos de comunicación química entre la planta y el parásito, también se reduce considerablemente el riesgo de que el orobanche genere resistencia, ventaja clave frente a métodos tradicionales de control. Otra ventaja significativa es la reducción en los tiempos de desarrollo, donde mediante cultivo y evaluación en invernadero, los períodos de prueba de las variedades editadas genéticamente pueden disminuir considerablemente. En lo regulatorio, la tendencia también favorece su adopción. En Estados Unidos, las plantas con ediciones alcanzables por

mejoramiento convencional quedan exentas de normativas restrictivas y los desarrolladores de variedades pueden solicitar una “confirmación de exención”. De manera análoga, en la Unión Europea avanza una regulación de Nuevas Técnicas de Fitomejoramiento (NBT, por sus siglas en inglés) que define una “categoría 1” de plantas tratadas como equivalentes a las convencionales, con mandato de negociación del Consejo Europeo.

Además del potencial biotecnológico que representa la edición genética para el control de orobanche en tomate, existen antecedentes relevantes en el ámbito empresarial que demuestran la viabilidad técnica y comercial de esta herramienta en el cultivo. El tomate ha sido ampliamente utilizado como modelo en estudios genéticos [46], [47], lo que ha permitido una caracterización exhaustiva de su genoma y proporciona una base sólida para futuras intervenciones orientadas a mejorar la resistencia frente al estrés biótico.

Un caso destacado es el de la empresa japonesa Sanatech Seed, que ha desarrollado y comercializado tomates editados genéticamente con niveles del aminoácido GABA entre cuatro y cinco veces superiores a los de las variedades convencionales [48]. Aunque esta modificación está orientada a beneficios funcionales para el consumidor final, como la reducción del estrés y la mejora de la salud cardiovascular, representa una validación concreta del uso de edición genética en tomate con fines industriales. La empresa ha logrado escalar la producción y desarrollar

una línea de productos derivados, como pastas y extractos, lo que consolida un modelo de negocio basado en el valor agregado a partir de mejoras genéticas específicas.

En paralelo, compañías semilleras como Lark Seeds International están destinando esfuerzos a la investigación en edición genética con foco en el desarrollo de híbridos de alto rendimiento y mayor resistencia a enfermedades. En particular, mediante ensayos realizados junto a UC Davis en invernadero, lograron desarrollar una variedad resistente al orobanche, en comparación a su población de control. Esto genera especial interés considerando que la siguiente etapa declarada incluye pruebas de campo en Chile, gracias a su regulación por aprobar durante 2026 [49]. Si bien estas iniciativas aún se encuentran en etapa de exploración, revelan un creciente interés del sector privado por incorporar tecnologías de edición genética en sus programas de mejoramiento, con miras a aumentar la competitividad en mercados agrícolas altamente exigentes [50].

La edición genética, al crear una resistencia inherente dentro de la propia planta de tomate, representa la frontera más avanzada y sostenible en el control del orobanche. Esta solución “en planta” minimiza los insumos externos, reduce el impacto ambiental y ofrece una defensa duradera a largo plazo. El aumento de rendimiento de aproximadamente el 30% en campos infestados sin penalización de rendimiento en campos no infestados demuestra el doble

beneficio: protección donde se necesita y sin compromiso donde no. Esto posiciona a las variedades editadas genéticamente como un producto premium que ofrece beneficios tanto ambientales como económicos a los agricultores. La comercialización de tomates editados genéticamente por Sanatech Seed en Japón subraya que la aceptación regulatoria es un factor crítico para esta tecnología. Entidades regulatorias han avanzado de manera radical en los últimos 10 años, inclinándose a una política más aceptativa de tecnologías de edición genética y su aplicación en la agroindustria.

3.3. Uso de aminoácidos

En un estudio realizado por el Instituto de Genética, Medio Ambiente y Protección de Plantas de la Universidad de Rennes 1, se evaluó el efecto de 14 aminoácidos sobre la germinación de semillas de orobanche [34]. Los resultados mostraron que cuatro aminoácidos en particular (fenilalanina, arginina, lisina y triptófano) tuvieron una marcada capacidad inhibidora, reduciendo la germinación del parásito a tasas inferiores al 1% en condiciones experimentales in vitro. Se observó que el efecto inhibitorio de la arginina y lisina era transitorio, ya que la germinación se restablecía al retirar estos aminoácidos del medio. Sin embargo, la fenilalanina y el triptófano presentaron efectos permanentes, generando además una elevada mortalidad en las semillas de orobanche.

A partir de estos resultados se plantean varias estrategias prometedoras para el control de esta plaga. Una primera opción es seleccionar o desarrollar variedades de cultivos capaces de exudar naturalmente estos aminoácidos al suelo, lo que podría incorporarse en esquemas de rotación de cultivos o intercalado estratégico de variedades resistentes. Otra estrategia interesante sería emplear hongos capaces de producir y liberar altas concentraciones de estos aminoácidos en el suelo, potenciando así un efecto biocida natural sobre las semillas del parásito. Finalmente, también se propone el desarrollo de formulaciones especializadas de liberación controlada, como encapsulados en matrices poliméricas, lo que permitiría una aplicación dirigida y sostenida de estos aminoácidos en campo, maximizando su eficacia dentro del manejo integrado del orobanche. Actualmente, la industria agroquímica utiliza principalmente aminoácidos como glicina, ácido glutámico y triptófano, destacándose por su uso general como bioestimulantes para fortalecer el crecimiento vegetal en etapas específicas del desarrollo del cultivo. Un claro ejemplo de esto son los productos de la línea Terra-Sorb de Bioibérica o Isabion de Syngenta, cuyas formulaciones se basan en un alto contenido de L- α -aminoácidos obtenidos por hidrólisis enzimática, donde la glicina y el ácido glutámico juegan un rol clave en la superación de estrés abiótico y la mejora metabólica de la planta [51], [52].

Sin embargo, aminoácidos como la fenilalanina, que en estudios científicos han demostrado un fuerte potencial inhibidor de la

germinación de semillas de plantas parásitas, están presentes en menor proporción o incluso ausentes en estas formulaciones comerciales comunes. Esto representa una oportunidad importante para la industria agroquímica, donde podría impulsarse el desarrollo

de productos especializados con estos aminoácidos, específicamente orientados a controlar esta plaga, ampliando así el espectro actual de aplicaciones y mejorando la sostenibilidad en los sistemas agrícolas.



4 .

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en este informe confirman que el orobanche constituye una amenaza crítica para la producción de tomate procesado en Chile, tanto por la severidad de sus impactos agronómicos como por las consecuencias económicas asociadas. Con pérdidas de rendimiento que pueden superar fácilmente el 50%, la presencia de esta maleza parásita compromete la competitividad del país en un mercado global altamente exigente.

En cuanto a las estrategias de control, los análisis realizados demuestran que ninguna tecnología, por sí sola, ofrece una solución definitiva frente al orobanche. Las herramientas químicas, mecánicas y biológicas analizadas

presentan ventajas puntuales, pero también limitaciones significativas en términos de eficacia, aplicabilidad y sostenibilidad. Una parte no menor de las soluciones se encuentran en etapa de laboratorio que, a pesar de presentar resultados optimistas, puede que no reflejen la misma efectividad en campo, enfatizando la necesidad de seguir optimizando soluciones basadas en I+D. Esto también obliga a adoptar un enfoque integral, basado en la combinación sinérgica de múltiples técnicas adaptadas al contexto agrícola nacional.

En este escenario, las soluciones biotecnológicas se perfilan como una oportunidad estratégica para el ecosistema nacional de innovación, al

ofrecer un espacio donde la ciencia chilena puede traducirse en productos con proyección comercial y diferenciación tecnológica. La capacidad de adaptar y escalar tecnologías emergentes bajo condiciones locales posiciona a los actores de I+D del país como potenciales generadores de soluciones de alto valor agregado. Consolidar estos desarrollos desde etapas de laboratorio hacia validaciones en campo permitiría no solo responder de forma más efectiva al desafío agronómico que plantea Phelipanche ramosa, sino también fortalecer la competitividad de Chile en el ámbito agrobiotecnológico global. Este tipo de innovación orientada al mercado abre la posibilidad de atraer inversión, crear propiedad intelectual nacional y establecer al país como un referente en tecnologías sostenibles para el control de malezas parásitas.

En este contexto, el CBT busca articular los desafíos actuales de la industria agrícola con desarrollos biotecnológicos avanzados, promoviendo

la colaboración público - privada incluyendo empresas, centros de investigación y universidades para acelerar la creación de soluciones locales. Este enfoque integra distintas líneas de innovación, entre ellas la edición génica, como ejemplos del tipo de tecnologías que el centro impulsa para fortalecer las capacidades nacionales y generar respuestas sostenibles y competitivas frente a problemáticas complejas como la del orobanche.

En suma, avanzar hacia soluciones sostenibles para el control del orobanche en tomate procesado exige una estrategia de manejo integral, apoyada decididamente por la inversión en investigación biotecnológica. Solo así será posible mitigar las pérdidas actuales, anticipar escenarios futuros y fortalecer la seguridad y competitividad del sector agrícola chileno.

REFERENCIAS

- [1] "FAOSTAT". Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/>
- [2] International Trade Centre (ITC), "Trade statistics for international business development". Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.trademap.org/Index.aspx?nvpm=1%7c%-7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c%7c>
- [3] "Hortalizas", Default. Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <http://www.ine.gob.cl/estadisticas/economia/agricultura-agroindustria-y-pesca/hortalizas>
- [4] C. Parker, "Orobancha ramosa (branched broomrape)", CABI Compendium, vol. CABI Compendium, 2022.
- [5] M. Fernández-Aparicio, K. Yoneyama, y D. Rubiales, "The role of strigolactones in host specificity of Orobanchae and Phelipanche seed germination", Seed Sci. Res., vol. 21, no 1, pp. 55–61, mar. 2011, doi: [10.1017/S0960258510000371](https://doi.org/10.1017/S0960258510000371).
- [6] H. Eizenberg y Y. Goldwasser, "Control of Egyptian Broomrape in Processing Tomato: A Summary of 20 Years of Research and Successful Implementation", Plant Dis, vol. 102, no 8, pp. 1477–1488, ago. 2018, doi: [10.1094/PDIS-01-18-0020-FE](https://doi.org/10.1094/PDIS-01-18-0020-FE).

[7]J. Díaz S., H. Norambuena, y J. Alcalde R., "Orobanche Ramosa ``Maleza parasítica que ataca al Tomate"", Informativo INIA Carillanca, mar. 2000.

[8]J. Hershenhorn, H. Eizenberg, E. Dor, Y. Kapulnik, y Y. Goldwasser, "Phelipanche aegyptiacamanagement in tomato", Weed Res., vol. 49, pp. 34-47, 2009.

[9]I. Nosratti, A. Mobli, G. Mohammadi, A. R. Yousefi, P. Sabeti, y B. S. Chauhan, "The problem of Orobanche spp. and Phelipanche spp. and their management in Iran", Weed Sci., vol. 68, no 6, pp. 555-564, 2020.

[10]P. Hosseini, C. L. Swett, y B. D. Hanson, "Addressing challenges of field equipment sanitation to reduce the spread of branched broomrape (Phelipanche ramosa) seed among California processing tomato fields", Weed Sci., vol. 73, no 1, 2025, doi: [10.1017/wsc.2025.10028](https://doi.org/10.1017/wsc.2025.10028).

[11]M. Fernández-Aparicio, X. Reboud, y S. Gibot-Leclerc, "Broomrape weeds. Underground mechanisms of parasitism and associated strategies for their control: A review", Front. Plant Sci., vol. 7, p. 135, 2016.

[12]O. A. Osipitan, B. D. Hanson, Y. Goldwasser, M. Fatino, y M. B. Mesgaran, "The potential threat of branched broomrape for California processing tomato: A review", Calif. Agric. (Berkeley), vol. 75, no 2, pp. 64-73, 2021.

[13]J. Díaz y R. Galdames, "Seminario distribución, impacto y avances en el diagnóstico del orobanche", en Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Temuco, Chile, Dic, 2010.

[14]C. V. Testi, R. Delvago, R. Colla, F. Boselli, A. V. Tabaglio, y P. Montemurro, "Results of Phelipanche ramosa control trials on processing tomato", Giornate Fitopatologiche, vol. 1, pp. 573-578, mar. 2018.

[15]Z. Arslan, E. Aksoy, y F. Uygur, "Effect of solarization on weeds in greenhouse tomatoes and tomato yield in East Mediterranean region of Turkey", Plant Protection Bulletin, vol. 52, no 4, pp. 349-366, 2012.

[16]G. Disciglio, A. Tarantino, F. Lops, y L. Frabboni, "Field management of Phelipanche ramosa on tomatoes by plowing depth or resistance strategies", Agron. Colomb., vol. 41, no 1, feb. 2023.

[17]M. Fatino, J. C. Galaz, y B. D. Hanson, "Evaluating the safety and efficacy of chemigation alternatives for branched broomrape (Phelipanche ramosa) control in processing tomatoes", HortScience, vol. 60, no 7, pp. 1058-1064, 2025.

[18]B. Hanson, "Rimsulfuron: new 24c label for branched broomrape control", UC Agriculture and Natural Resources. Accedido: 15 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://ucanr.edu/blog/uc-weed-science-weed-control-management-ecology-and-minutia/article/rimsulfuron-new-24c-label>

[19]K. Yoneyama y P. B. Brewer, "Strigolactones, how are they synthesized to regulate plant growth and development?", Curr. Opin. Plant Biol., vol. 63, no 102072, p. 102072, 2021.

[20]S. Al-Babili, S. T. Arold, y U. F. S. Hameed, "Methods for controlling root parasitic weeds: inhibitors of seed germination in striga", marzo de 2023

[21]J. G. Zorrilla et al., "Sesquiterpene Lactones Isolated from Centaurea cineraria L. subsp. cineraria Inhibit the Radicle Growth of Broomrape Weeds", Plants, vol. 13, no 2, p. 178, 2024.

[22]M. J. Fatino y B. D. Hanson, "Evaluating Branched Broomrape (Phelipanche ramosa) Management Strategies in California Processing Tomato (Solanum lycopersicum)", Plants, vol. 11, no 3, p. 438, 2022.

[23]A. Okazawa, H. Samejima, S. Kitani, Y. Sugimoto, y D. Ohta, "Germination stimulatory activity of bacterial butenolide hormones from Streptomyces albus J1074 on seeds of the root parasitic weed Orobanche minor", J. Pestic. Sci., vol. 46, no 2, pp. 242–247, 2021.

[24]D. M. Joel, J. Gressel, y L. J. Musselman, Eds., Parasitic Orobancheaceae: Parasitic mechanisms and control strategies. Berlin, Germany: Springer, 2015.

[25]"Banned pesticides still in use in the EU", PAN Europe. Accedido: 15 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.pan-europe.info/resources/reports/2023/01/banned-pesticides-still-use-eu>

[26]Y. Chen et al., "Synthesis and evaluation of new halogenated GR24 analogs as germination promoters for Orobanche cumana", Front. Plant Sci., vol. 12, p. 725949, 2021.

[27]Z. Ahmed, D. Gui, G. Murtaza, M. Shareef, y A. Tariq, "From roots to resilience: Strigolactones for boosting crop resilience and productivity under stressful environments", J. Environ. Manage., vol. 394, no 127629, p. 127629, nov. 2025, doi: [10.1016/j.jenvman.2025.127629](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127629).

[28]H. Zhu, C. Li, y C. Gao, "Applications of CRISPR-Cas in agriculture and plant biotechnology", Nat. Rev. Mol. Cell Biol., vol. 21, no 11, pp. 661–677, 2020.

[29]J. K. Tiwari, A. K. Singh, y T. K. Behera, "CRISPR/Cas genome editing in tomato improvement: Advances and applications", Front. Plant Sci., vol. 14, 2023.

[30]V. K. Bari, J. A. Nassar, y R. Aly, "CRISPR/Cas9 mediated mutagenesis of MORE AXILLARY GROWTH 1 in tomato confers resistance to root parasitic weed Phelipanche aegyptiaca", Sci. Rep., vol. 11, no 1, 2021.

[31]C. Bulbul, N. Mutlu, H. Pinar, y I. Soylu, "Developing orobanche (orobanche spp., phelipanche spp.) resistance in tomato (solanum lycopersicum), using gene editing technology (crispr)", julio de 2023

[32]J.-P. Combier, P. Delavault, y S. Tourneur, "Micropeptides and use of the same for inhibiting the growth of parasitic plants", septiembre de 2024

[33]S. Gibot-Leclerc et al., "Screening for potential mycoherbicides within the endophyte community of Phelipanche ramosa parasitizing tobacco", FEMS Microbiol. Ecol., vol. 98, no 3, 2022.

[34]S. Gibot-Leclerc, F. Dessaint, M. Connault, y R. Perronne, "Can amino acids be used to inhibit germination or deplete the soil seedbank of Phelipanche ramosa (L.) Pomel?", J. Plant Dis. Prot. (2006), vol. 131, no 1, pp. 91–99, 2024.

[35]"Regulation - 1143/2014 - EN - EUR-Lex", Europa.eu. Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/1143/oj/eng>

[36]"Directiva - 2001/18 - EN - EUR-Lex", Europa.eu. Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=celex%3A32001L0018>

[37]J. Shi et al., "Resistance to Striga parasitism through reduction of strigolactone exudation", Cell, vol. 188, no 7, pp. 1955–1966.e13, 2025.

[38]X. Ban et al., "Manipulation of a strigolactone transporter in tomato confers resistance to the parasitic weed broomrape", Innovation (Camb.), vol. 6, no 3, p. 100815, 2025.

[39]U. Karniel, A. Koch, N. Bar Nun, D. Zamir, y J. Hirschberg, "Tomato mutants reveal root and shoot strigolactone involvement in branching and broomrape resistance", Plants, vol. 13, no 11, p. 1554, 2024.

[40]S. Tourneur, J.-P. Combier, S. Plaza, S. Muños, y P. Delavault, "microRNA encoded peptides inhibit seed germination of the root parasitic plant *Orobancha cumana*", Plants People Planet, vol. 7, no 2, pp. 436–447, 2025.

[41]M. Vurro, A. Boari, A. L. Pilgeram, y D. C. Sands, "Exogenous amino acids inhibit seed germination and tubercle formation by *Orobancha ramosa* (Broomrape): Potential application for management of parasitic weeds", Biol. Control, vol. 36, no 2, pp. 258–265, 2006.

[42]"Corteva y Pairwise se unen para impulsar soluciones agrícolas de edición genética". Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.corteva.com/es/notas-de-prensa/Corteva-y-Pairwise-se-unen-para-impulsar-soluciones-agricolas-de-edicion-genetica.html>

[43]Chilebio, "Bayer avanza en iniciativas de edición del genoma para mejorar la nutrición y sabor de las verduras", ChileBIO. Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://chilebio.cl/2024/05/28/bayer-avanza-en-iniciativas-de-edicion-del-genoma-para-mejorar-la-nutricion-y-sabor-de-las-verduras/>

[44]"Micropep and cortevea announce multi-year research collaboration to advance sustainable biocontrol solutions -- micropep", Micro-pep.com. Accedido: 16 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://micro-pep.com/micropep-media/mpcortevea/>

[45]E. S. P. Reddy, "Inhibition of aortic medial calcification: miPEP-200b and miRNA-200b as potential mediators", LOJ Pharmacology and Clinical Research, vol. 2, no 5, ago. 2021, [doi: 10.32474/lojpcr.2021.02.000147](https://doi.org/10.32474/lojpcr.2021.02.000147).

[46]T. Lin et al., "Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding", Nat. Genet., vol. 46, no 11, pp. 1220-1226, 2014.

[47]Tomato Genome Consortium, "The tomato genome sequence provides insights into fleshy fruit evolution", Nature, vol. 485, no 7400, pp. 635-641, 2012.

[48]"Sanatech Seed Co.,Ltd", Sanatech Seed Co.,Ltd. Accedido: 10 de noviembre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://sanatech-seed.co.jp/en>

[49]"Promising high broomrape resistance in the first trial", Lark Seeds International. Accedido: 9 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://larkseeds.com/news/promising-high-broomrape-resistance-in-the-first-trial>

[50]"Lark Seeds International", Larkseeds.com. Accedido: 16 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://larkseeds.com/research>

[51]"ISABION®", Syngenta Biologicals. Accedido: 16 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.syngentabiologicals.com/en/products/farm/plant-biostimulants/isabion/>

[52]"Terra-Sorb® complex", Bioiberica. Accedido: 16 de octubre de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.bioiberica.com/es/productos/salud-vegetal/terra-sorb-complex>



SOFOFA HUB

