



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA VEGETAL

**ANÁLISIS SOBRE LAS NUEVAS TÉCNICAS DE MEJORAMIENTO
GENÉTICO VEGETAL Y PROYECTOS RELACIONADOS, EN CHILE.**

Tesis presentada a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de
Concepción para optar al título profesional de Ingeniero/a en Biotecnología
Vegetal

POR: Rodrigo Ignacio Barraza Carvajal

Profesor Guía: Rodrigo Hasbún, Dr.

Adriana Ribeiro, Dr.

Marzo, 2025

Concepción, Chile

© 2025, Rodrigo Ignacio Barraza Carvajal

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

**ANÁLISIS SOBRE LAS NUEVAS TÉCNICAS DE SELECCIÓN VEGETAL Y
PROYECTOS RELACIONADOS, EN CHILE.**

Profesor Guía

Rodrigo Hasbún

Profesor Asociado

Ingeniero Forestal, Dr.

Profesor Guía

Adriana Ribeiro

Colaborador Externo

Abogada, Dr.

DEDICATORIA

Se lo dedico a mi esposa Fernanda, a mis hijos Pascual y Auri. A mi mamá Karina, mi papá Carlos, mi hermano Daniel y mis hermanas Valeria y Natalia.

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa por el apoyo brindado a través de estos años, a mis hijos, padres, hermano y hermanas y Dios.

Agradezco por la oportunidad que me brindaron para realizarles una entrevista a, PRODESAL, INDAP y Cis semillas

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	7
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCIÓN	13
II. METODOLOGÍA	23
2.1 Uso de la ley de transparencia	23
2.2 Datos de Campo.....	25
2.3 Entrevista cualitativa.....	26
III. RESULTADOS.....	29
3.1 Proyectos y organismos evaluados	29
3.2 Revisión de catálogos comerciales y variedades disponibles	43
3.3 Entrevistas con actores relevantes	44
IV. DISCUSIÓN	48
4.1 Importancia de las especies	48
4.2 Técnicas y fenotipos utilizados	51
4.3 Accesibilidad.....	53
4.4 Perspectiva empresarial e institucional.....	54
V. CONCLUSIONES	57
VI. GLOSARIO	59
VII. BIBLIOGRAFÍA	60
VIII. APÉNDICE	64
A.1 Consentimiento informado	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Preguntas dirigidas a las empresas solicitantes entregados por el SAG.	27
Tabla 2.2. Preguntas dirigidas a instituciones gubernamentales y de programas para el desarrollo de nuevas tecnologías	28
Tabla 3.1. Las evaluaciones realizadas por el SAG entre 2017 y 2023, de las especies: <i>Brassica napus</i> , <i>Camelina Sativa</i> , <i>Glycine max</i> y <i>Zea mays</i>	31
Tabla 3.2. Resumen de los proyectos sobre edición genética de la uva de mesa, manzano y plantas ornamentales (sin especificar) recibidos de CORFO y ANID. Clasificadas en Institución o empresa, título, objetivos, Año de solicitud, año de adjudicación y estado del proyecto.	33
Tabla 3.3. Resumen de los proyectos en los repositorios de ANID y FIA sobre fitomejoramiento en vides, cerezos, y papas. Se clasificaron en año de termino, Título, objetivo, encargado, institución y/o empresa y estado del proyecto.	37
Tabla 3.4. Artículos científicos publicados en Chile sobre edición genética y NBTs.....	40
Tabla 3.5. Resumen de las variedades de <i>Camelina sativa</i> , <i>Zea mays</i> , <i>Brassica napus</i> y <i>Glycine max</i> , disponibles en catálogos de Tuniche, Cis semillas, Pioneer y Cumimaris, indicando especie, numero de variedades (N°. V.) y principales características/fenotipo.	43

Índice de ilustraciones

Figura 3.1. Se observa un mapa de calor con las especies en el eje “y” y el año en el eje “x”, entre el año 2008 y 2023. La intensidad del color indica la cantidad de evaluaciones, donde el rojo más intenso refleja un mayor número.	30
Figura 3.2. Se observa un mapa de calor con las especies en el eje “y” y la técnica utilizada en el eje “x”. CRISPR/cas9 es la técnica más usada en contraste con CRISPR/cas12 y RTDS.	33
Figura 3.3. En el mapa de calor se observa en el eje “y” las empresas y en el eje “x” las especies y la cantidad de variedades por especie	40
Figura 3.4. Se observan las relaciones entre empresas e instituciones a través de las especies se forman cinco redes.	41

RESUMEN

Las Nuevas Técnicas de Mejoramiento Genético Vegetal (NPBTs, por sus siglas en inglés: *New Plant Breeding Techniques*, o NBTs) se han convertido en herramientas clave para aumentar la productividad, la resistencia a enfermedades y la adaptación al cambio climático en la agricultura. En Chile, este campo ha experimentado avances significativos en los últimos años, impulsado por la necesidad de enfrentar desafíos como la sequía, la salinización de los suelos y la demanda de alimentos de mayor cantidad y mejor calidad. Este trabajo analiza los proyectos que utilizan NBTs y que han sido evaluados y/o financiados a través de diversas instituciones en Chile, siendo estas el Servicio Agrícola Ganadero (SAG), la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID) y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA). Con este fin, se realizó un catastro de organismos vegetales desarrollados con NPBTs. Los resultados muestran que, si bien existe un creciente interés en el uso de NPBTs para la obtención de características deseables, la transición hacia su uso comercial es aún limitada en el mercado local. Del mismo modo, la información disponible acerca de estos

proyectos no siempre se encuentra de forma accesible o unificada, dificultando la comprensión y adopción de estas nuevas tecnologías. A nivel institucional, se constata una coordinación incipiente entre el sector público y privado, lo que evidencia la necesidad de ampliar la colaboración y la difusión para fomentar la innovación en el ámbito agrícola chileno. Este panorama refleja un escenario en evolución, en el que conviven prácticas tradicionales y enfoques biotecnológicos de vanguardia, por esto es necesario un mayor apoyo institucional y social para explotar plenamente el potencial de las nuevas técnicas de mejoramiento genético en beneficio de la agricultura nacional.

ABSTRACT

New Plant Breeding Techniques (NPBTs) have become essential tools for enhancing agricultural productivity, disease resistance, and adaptation to climate change. In Chile, this field has made significant progress in recent years, driven by the need to address challenges such as drought, soil salinization, and the increasing demand for higher quantity and quality food. This study analyzes projects employing NPBTs that have been evaluated and/or financed by various Chilean institutions, including the Servicio Agrícola Ganadero (SAG), Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID), and Fundación para la Innovación Agraria (FIA). For this purpose, an inventory of plant organisms developed using NPBTs was conducted. The results indicate that although there is growing interest in NPBTs for obtaining desirable traits, their transition to commercial use remains limited within the local market. Similarly, available information on these projects is not always accessible or unified, complicating the understanding and adoption of these new technologies. Institutionally, there is incipient coordination between the public and private sectors, highlighting the need to expand collaboration and dissemination to foster agricultural innovation in Chile. This scenario reflects an evolving landscape where traditional practices coexist with advanced biotechnological approaches, underscoring the necessity for increased

institutional and social support to fully exploit the potential of new plant breeding techniques for the benefit of national agriculture.

I. INTRODUCCIÓN

La tecnología avanza a pasos agigantados en varios casos, y la biotecnología no está exenta superando normalmente la capacidad legislativa. Esto provoca que ciertos hitos científicos y/o tecnológicos no cuenten con la regulación necesaria. Como consecuencia que la legislación llegue por medio de tratados internacionales y/o convenciones, esto insta a gobiernos a ponerse de acuerdo en temas complejos, donde las definiciones y significados no están del todo instaurados fuera del ámbito científico. Como símil, se puede observar en la evolución del *internet* y la democratización de este, la cual, debe ser equilibrada, debe resguardar la privacidad y seguridad de los usuarios, a la vez, no reprimir el desarrollo de nuevas tecnologías o avances. Por ejemplo, la inteligencia artificial, puesto que puede ayudarnos a realizar tareas con mayor facilidad, acortando tiempo en procesos de interpretación o redacción, pero su uso requiere ser regulado (Gómez, 2020).

Otro ejemplo, es la edición genética consiste en la aplicación de diversas herramientas de biología molecular para modificar con precisión el ADN de un organismo, ya sea insertando, sobre expresando un gen (en inglés, *gene over expression* o abreviado según el gen, "*gene*"-OE), sustituyendo o silenciando

secuencias específicas (en inglés, *gene knockout* o abreviado según el gen, “*gene*”-KO).

A diferencia de otros métodos de mejoramiento genético, como los transgénicos clásicos, la edición genética permite actuar directamente en regiones concretas del genoma sin agregar material foráneo, lo que reduce la posibilidad de alteraciones no deseadas. La edición genética, entendida como la modificación precisa y controlada del ADN (van der Oost & Patinios, 2023), sustentan las Nuevas Técnicas de Mejoramiento Genético (NBTs, *por sus siglas en inglés: New Breeding Techniques*), que a su vez se utilizan en las Nuevas Técnicas de Mejoramiento vegetal (NPBTs, *por sus siglas en inglés: New Plant Breeding Techniques*) que consisten en un conjunto de técnicas y métodos avanzados, utilizados para modificar el material genético de especies vegetales con el objetivo de mejorar sus características, como resistencia a enfermedades, tolerancia a condiciones ambientales adversas, mayor rendimiento o mejor calidad nutricional. Estas técnicas se diferencian de los métodos tradicionales de mejoramiento genético por su precisión y eficiencia, debido a que usan herramientas moleculares diseñadas para cortar el ADN en secuencias específicas, es decir, emplean nucleasas programables dirigidas o *site-directed nuclease* (SDN, *por sus siglas en inglés*).

Las nucleasas, dependiendo de la modificación genética que se realice al organismo, se las puede clasificar en, SDN- 1, 2 o 3, siendo SDN- 1 la introducción de mutaciones no dirigidas (aleatorias) en el genoma de la planta de interés; SDN- 2 la introducción de mutación dirigida (modificación específica) en el genoma de la planta de interés, y SDN- 3 la introducción de un gen o alelo de interés (inserción de ADN) al genoma de la planta objetivo (van de Wiel *et al.*, 2018).

Las SDN más conocidas y utilizadas son: las meganucleasas, *Zinc Finger Nucleases* (ZFN), que son proteínas sintéticas que combinan dominios de dedos de zinc, que reconocen secuencias específicas de ADN, con un dominio de nucleasa que corta el ADN; *Transcription Activator-like Effector Nucleases* (TALENs), que utilizan dominios de proteínas TALE para reconocer secuencias específicas de ADN, acoplados a una nucleasa que realiza el corte, y Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR) (Gaj *et al.*, 2016), que es el sistema más conocido y utiliza una guía de ARN (ARN guía) para dirigir la enzima “Cas9” a una secuencia específica de ADN, donde realiza un corte.

Existen también otras nucleasas que se han desarrollado a partir de los sistemas ya mencionados, ampliando notablemente las posibilidades de la edición génica. Por ejemplo, variantes como “Cas12” (anteriormente conocida como “Cpf1”) y

“Cas13” permiten actuar no solo sobre ADN, sino también sobre ARN, ofreciendo enfoques más versátiles para modificar la expresión génica. Asimismo, nuevas familias como “CasX” y otras nucleasas de menor tamaño han aparecido en los últimos años, facilitando la entrega a la célula y reduciendo posibles efectos fuera de objetivo. Estas innovaciones amplían el repertorio de técnicas disponibles para el fitomejoramiento, al posibilitar ajustes más finos en funciones génicas específicas, optimizando así la eficacia y precisión de los cambios introducidos (van der Oost & Patinios, 2023).

Esta ha adquirido especial relevancia tras el trabajo de Emmanuelle Charpentier, de la Unidad Max Planck para la Ciencia de los Patógenos (Alemania) y Jennifer A. Doudna, de la Universidad de California en Berkeley (EE UU), acreedoras del Premio Nobel de Química 2020, quienes desarrollaron un método más sencillo y económico para editar genes con gran precisión, impulsando aplicaciones en la agricultura, en la medicina y otras múltiples áreas que contemplan estudios y usos de biotecnologías, con la herramienta CRISPR/Cas9, en investigación básica, terapia génica, agricultura y biotecnología, entre otros campos (Bertheau, 2019; Cao *et al.*, 2025; Salas, 2022). Su potencial para contribuir a la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria la ha convertido en gran interés científico y tecnológico, considerando que permiten acortar los plazos de desarrollo de variedades vegetales, incrementar la eficiencia productiva (Andersson *et al.*, 2018) y brindar resistencia a los cultivos frente a patógenos

(Zhou *et al.*, 2015). Sin embargo, la aplicación de las NBTs, también suscitan inquietudes sociales, políticas y ambientales, lo que demanda buscar un equilibrio entre los posibles beneficios de la investigación, de la innovación y desarrollo, y los potenciales riesgos que conllevan aspectos de bioseguridad.

Estas preocupaciones se reflejan en debates, a nivel global. Especialmente visibles en la Unión Europea (UE), que tradicionalmente ha adoptado una postura conservadora basada en la evaluación del proceso utilizado para generar los organismos modificados genéticamente (OGM). Originalmente, la UE estableció en 1990 normativas estrictas para evaluar y controlar cualquier organismo modificado mediante biotecnología, fundamentando estas medidas en los potenciales riesgos ambientales y sanitarios (Myskja & Myhr, 2020). Sin embargo, con la irrupción de tecnologías como CRISPR/Cas, se han incrementado las voces que plantean la necesidad de reconsiderar estas regulaciones, diferenciando claramente técnicas precisas como la edición genética de aquellas que implican inserción directa de material genético externo (Casacuberta & Puigdomènech, 2018; CE, 2023). En contraste con Europa, países del continente americano, como Estados Unidos, Canadá y Brasil, adoptan enfoques regulatorios más flexibles y centrados en las características del producto final, facilitando una adopción más acelerada de estas tecnologías (Romeo Lironcurti *et al.*, 2024).

Este contraste ha llevado a la Unión Europea a considerar modificaciones en su marco regulatorio actual, reconociendo la necesidad de actualizar la Directiva 2001/18/CE para establecer un equilibrio entre seguridad y fomento a la innovación. Esta eventual evolución normativa, actualmente en discusión y aún incierta, podría permitir en el futuro cercano una evaluación regulatoria más específica y proporcional al tipo de modificación genética realizada, impulsando la competitividad y armonización internacional sin comprometer la seguridad de los consumidores ni el medioambiente (Romeo Lironcurti *et al.*, 2023). sobre su necesaria regulación, especialmente en cuanto a si deben ser tratadas como organismos genéticamente modificados (OGM) o no, tema con significativo avance en la normativa de la Unión Europea.

En Chile, la regulación relacionada OGM sigue las directrices establecidas por el Protocolo de Cartagena sobre bioseguridad en la Biotecnología, enfocado en asegurar un uso seguro de los organismos vivos modificados (OVM) mediante la evaluación de riesgos para el ambiente y la salud humana ("Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica: texto y anexos," 2000). Dentro de este marco, Chile bajo el decreto de ley N.º 1523/2001 el Servicio agrícola y Ganadero (SAG) evalúa si una nueva variedad es OGM, o sea si fue insertado material recombinante, o es una variedad convencional.

Los OGM son organismos a los cuales se les inserta material recombinante es mediada generalmente por un sistema bacteriano como: *Agrobacterium tumefaciens* o *Escherichia coli*, además de la biolística, que es un método físico de inserción de un gen. Debido a esto, la regulación chilena en años recientes ha optado por un enfoque en el caso a caso y basado en el producto (SAG, 2025) y no en el proceso, como en el caso de Europa. En Chile, los cultivos que han sido editados genéticamente se tratan como cultivos convencionales, a menos que, se consideren como OGM. Los OGM, en nuestro país, los evalúa el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), el cual depende del Ministerio de Agricultura, a través del decreto de ley N.º 1523/2001. En el caso de clasificarse como OGM y que fuese para el consumo nacional, no estaría permitida su comercialización en los mercados de este territorio. Aunque, esté prohibido comercializar productos OGM en Chile para el consumo nacional, el país cumple un rol importante debido a la contraestación, pues muchas empresas externas requieren semillas listas para ser sembradas al término del invierno, a lo que empresas en Chile se dedican a producir semillas genéticamente modificadas (GM) para exportación (Sánchez, 2020).

La edición genética permite el mejoramiento genético con y sin insertar material genético mediante las SDN-1 y SDN-2, como en el tomate con alto contenido en

GABA (Ezura, 2022) y en la soya con un 80% más de ácidos grasos (Haun *et al.*, 2014), como también, permite el cambio en el fotoperiodo de las plantas (Aukerman & Sakai, 2003). Además de lo ya mencionado, otros beneficios podrían ser la domesticación de plantas con potencial en la agricultura, el aumento de la seguridad alimentaria diversificando alimentos, lo que a su vez podría generar nuevos mercados. En contraposición a los beneficios, el gran problema de las nuevas herramientas genéticas es la opinión popular y la desinformación que existe en las personas fuera del área sobre la importancia de ellas (Cacciatore, 2021), aun cuando se ha comprobado que las NBTs tienen una acción específica sobre el ADN, puesto que, herramientas como CRISPR tienen una gran fiabilidad a la hora de silenciar o sobre expresar un gen, e insertar un gen de interés (Gao, 2021; Gu *et al.*, 2018).

Gracias al avance en las NBTs es necesaria la inversión para apoyar las diferentes áreas de producción en Chile, principalmente el área de la agricultura el desarrollo de las nuevas técnicas de mejoramiento vegetal (NPBTs, por sus siglas en inglés). El Estado apoya la aplicación de nuevas tecnologías o procesos mediante tres organismos: La Corporación de Fomento para la Producción (CORFO), la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo de Chile (ANID) y la Fundación para la Innovación Agraria. Aun cuando, existen una institución el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), este se encarga de fomentar el desarrollo tecnológico de pequeños productores. Además, existe La ley que

específicamente apoya los proyectos I+D, Ley 20241 que fue promulgada y publicada el año 2008 y su última modificación fue realizada el año 2018. Esta ley incentiva monetariamente a la inversión en I+D, el incentivo es solo hasta completar su desarrollo. El repositorio de estos proyectos se puede encontrar en la página de CORFO "www.datainnovación.cl". También existen fundaciones, programas e instituciones que apoyan la investigación y desarrollo tecnológico, como: El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el Programa de Desarrollo Local (PRODESAL), la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), entre otros.

Objetivo general

Evaluar el estado de los proyectos de I+D+i en Nuevas Técnicas de Mejoramiento Vegetal (NPBTs) en Chile, mediante el análisis de su financiamiento, adopción, difusión y presencia en el mercado.

Objetivos específicos

1. Identificar cultivos o especies desarrolladas mediante NPBTs, en Chile, que han sido aprobados o evaluados por el SAG y financiados por organismos como ANID, CORFO y FIA, caracterizando las especies involucradas.
2. Analizar la producción científica y biotecnológica de las NPBTs a partir de publicaciones indexadas y repositorios públicos.
3. Evaluar la accesibilidad de los productos derivados de NPBTs en el mercado chileno, a través de entrevistas a actores clave del sector y realizar un catastro del catálogo de las empresas que solicitaron evaluación de sus líneas vegetales editadas genéticamente.

II. METODOLOGÍA

Las instituciones estatales que fueron escogidas son: SAG, CORFO, ANID y FIA. Esto es debido a que son instituciones que invierten en innovación en el área de la agricultura a través de concursos y programas públicos a pequeñas y grandes empresas.

Se realizó un catastro de los proyectos I+D+i que utilizaron NPBTs a nivel nacional y las variedades aprobadas por el SAG que hayan utilizado NPBTs en el proceso de mejoramiento genético. Además, se realizó un catastro de los proyectos, informes y publicaciones en los repositorios de la FIA y ANID. Por último, se realizó un catastro en Data Innovación de CORFO.

2.1 Uso de la ley de transparencia

Se solicitó en el portal de transparencia, los proyectos I+D+i que utilizan NBTs en su desarrollo, en formato Excel, a CORFO y ANID. Para la solicitud, se incluyeron las siguientes palabras clave: Biotecnología, Nuevas técnicas de mejoramiento genético y *new breeding techniques* en inglés (NBTs), Nuevas

técnicas de mejoramiento genético vegetal (NPBTs), Organismo genéticamente modificado (OGM) o *Genetically modified organism* (GMO), Edición genética, *Site-directed nuclease* (SDN), *Site-specific nuclease* (SSN), *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* (CRISPR), CRISPR/cas9, *RNA-guided nucleases*, *Transcription activator-like effector nucleases* (TALEN), *Zinc Finger Nuclease* (ZFN), *Oligonucleotide-mediated mutagénesis*, Meganucleasas.

Para los archivos recibidos se utilizaron las funciones de filtrado y búsqueda de EXCEL para seleccionar solo los proyectos que contengan las palabras claves mencionadas en el párrafo anterior y sean enfocados en especies vegetales. De CORFO se recibieron en total son 9.774 proyectos. De ANID se recibió un total de 6 proyectos.

Segundo, se solicitó al SAG los organismos evaluados que utilizaron NBTs en su mejoramiento genético y si fueron o no aprobados para su comercialización en Chile de acuerdo con la regulación vigente.

Tercero, se utilizaron las siguientes palabras claves, en los repositorios públicos nacionales de FIA y ANID (Se encuentra en marcha blanca), NBTs, edición genética, mejoramiento genético, biotecnología y CRISPR. Además, se realizó una búsqueda de los proyectos apoyados a través de la ley I+D, CORFO, en la página web de Data Innovación. Se utilizó el buscador de la página y el API a través de Python siguiendo la referencia presente en la página. Igualmente, que

los proyectos entregados por CORFO y ANID, los proyectos presentaban códigos para su identificación.

2.2 Datos de Campo

Los proyectos seleccionados de CORFO y ANID que fueron entregados a través del portal de transparencia se clasificaron en: Institución o empresa, Título Objetivos, Año solicitud, Año adjudicación y estado del proyecto. La información entregada por el SAG fue ordenada y clasificada en: Organismo, Nueva característica, Técnica, Tipo de modificación, Año, Resultado, Institución o empresa y Publicación.

Además, se llevó a cabo una revisión de las empresas mencionadas en la información entregada por el SAG, ANID y CORFO. Con el objetivo de analizar su oferta y presencia de proyectos relacionados con las Nuevas Técnicas de Mejoramiento Genético Vegetal (NPBTs). Esta revisión incluyó la recopilación de los catálogos disponibles en las páginas web de: Tuniche, Semameris, Pioneer, Curimapu y Cis Semillas. Estos catálogos van desde el año 2018 al 2025. Luego, se organizó en especie, número de variedades y fenotipos.

Los proyectos seleccionados de los repositorios de FIA y ANID se organizaron y clasificaron en: año de inicio, año de término, objetivo, encargado, institución y/o empresa y estado del proyecto.

La producción científica se analizó a través de una revisión bibliográfica de la cual se utilizaron los siguientes motores de búsqueda: Scielo, Scopus y Sciencedirect. La búsqueda se realizó usando los términos “*genome editing*”, “NBTs”, “Chile”. Y a partir de la información otorgada por los proyectos I+D+i, se realizó una búsqueda de las publicaciones de las empresas, instituciones y encargados de los proyectos en los mismos buscadores utilizando la opción de búsqueda por autor. Para luego, clasificar los artículos y publicaciones en: título, autores y fecha.

2.3 Entrevista cualitativa

Se solicitó entrevistas de manera presencial y/o a través de correo electrónico a INDAP, Programa de Desarrollo Local (PRODESAL), Cis Semillas, Tuniche semillas, Semameris, Curimapu y Syngenta. Asimismo, Se les entregó a través de correo electrónico un consentimiento informado (ver apéndice A.1). Se logró

realizar una entrevista a PRODESAL, INDAP y Cis Semillas. PRODESAL E INDAP, firmaron el consentimiento informado presencialmente. Debido a que la reunión con Cis semillas fue de forma telemática se le reenvió el consentimiento informado mediante correo electrónico, pero no fue contestado.

Se idearon y formularon preguntas para las empresas e instituciones estatales respectivamente (ver tabla 2.1 y 2.2) con el objetivo de conocer la opinión de las empresas con respecto de la distribución e implementación de semillas mejoradas genéticamente a través de la edición genética.

Tabla 2.1 Preguntas dirigidas a las empresas solicitantes entregados por el SAG.

Preguntas a empresas
¿Se focalizan en el mercado extranjero o nacional? ¿por qué?
En su opinión, ¿cuál es la percepción del mercado respecto a los cultivos o productos desarrollados mediante NPBTs (nuevas técnicas de mejoramiento genético en plantas)?
¿Cómo han evolucionado las demandas del mercado en relación con organismos desarrollados con NPBTs (nuevas técnicas de mejoramiento genético en plantas) en los últimos años?
¿Cómo se comparan, en su experiencia, los productos de NPBTs con los productos convencionales o transgénicos en términos de demanda del mercado?
¿Cómo ve el futuro de la distribución de productos agrícolas desarrollados con NPBTs en Chile?

Tabla 2.2. Preguntas dirigidas a instituciones gubernamentales y de programas para el desarrollo de nuevas tecnologías

Preguntas a instituciones

¿Cuál es el papel de “la institución o programa” en el apoyo al desarrollo de tecnologías agrícolas innovadoras como las NBTs?

¿Cuáles son los principales desafíos que enfrentan los agricultores al adoptar NBTs en Chile?

¿Existe alguna colaboración entre “la institución o programa” y entidades privadas para impulsar la adopción de estas tecnologías?

III. RESULTADOS

La entrega de los proyectos y organismos evaluados, fueron dentro de los 20 días hábiles señalados por la ley de transparencia. Todos los documentos obtenidos fueron en formato Excel. En total son 26 variedades y ocho especies presentes en los proyectos y organismos evaluados (Tabla 3.1, 3.2 y 3.3). De los cuatro artículos seleccionados (Tabla 3.4) se identificaron cuatro especies.

3.1 Organismos evaluados

En los organismos evaluados por el SAG, la herramienta más usada es CRISPR/cas9. Además, se nombran, CRISPR/cas+RTDS, CRISPR/cas12 y Cisgenia. De las especies que solicitaron evaluación de mayor a menor cantidad son: *Brassica napus* (canola), *Zea mays* (maíz), *Glycine max* (soya) y *camelina Sativa* (camelina) (tabla 3.1). Los tipos de modificación de los organismos evaluados implican el silenciamiento o apagado de genes (FAD2_KO, Gene Off-IND, ZmZip1_KO), la sobreexpresión de uno o varios genes (CC9_OE), el aumento de la resistencia al estrés ambiental (PSR), la resistencia a la

enfermedad fúngica “*Northern Leaf Blight*” (NLB), modificación estructural del centrómero (cenh3-CM2) y el aumento de amilopectinas (Waxy corn) (Tabla 3.1). En el gráfico 3.1, la intensidad del color indica la cantidad de variedades utilizadas en los proyectos y evaluadas por el SAG (Tabla 3.1,3.2 y 3.3) por año, donde el rojo más intenso refleja un mayor número. Se observa que *Zea mays* y *Brassica napus* son las especies que se repitieron dos veces por lo menos en un año, mientras que *Vitis vinífera* es la que se mantuvo en el tiempo.

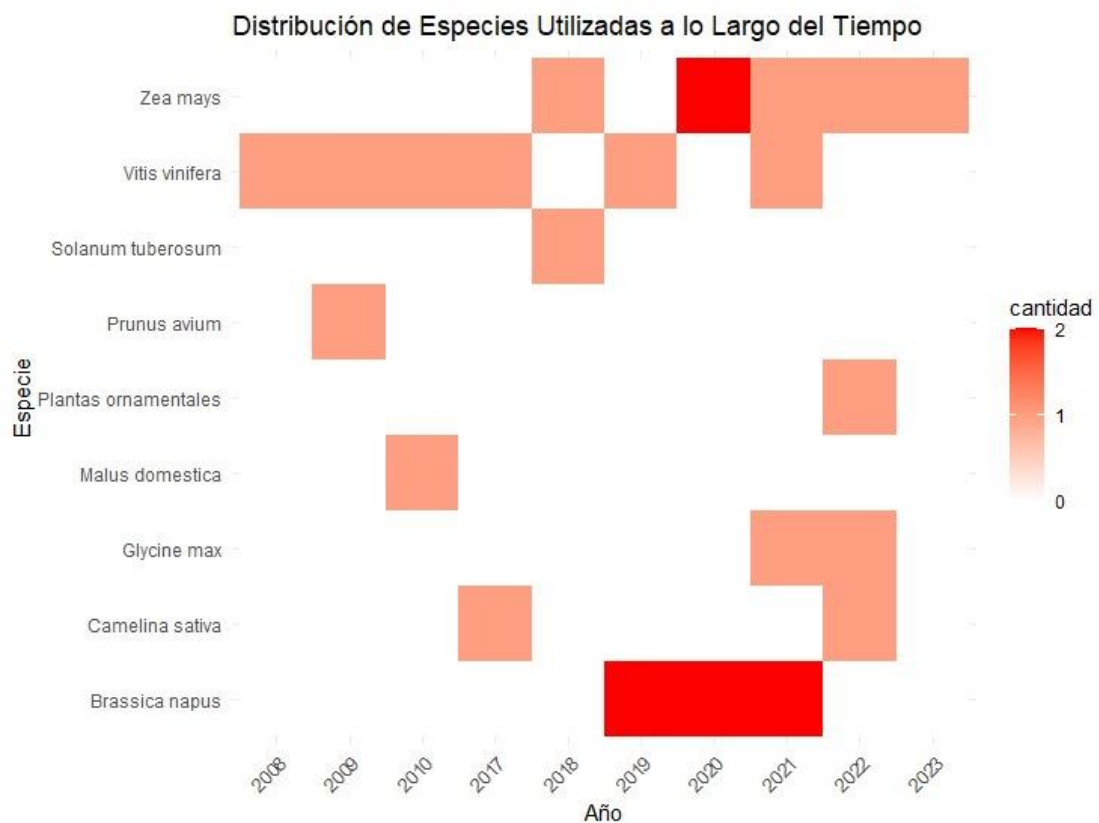


Figura 3.1. Se observa un mapa de calor con las especies en el eje “y” y el año en el eje “x”, entre el año 2008 y 2023. La intensidad del color indica la cantidad de evaluaciones, donde el rojo más intenso refleja un mayor número.

Tabla 3.1. Las evaluaciones realizadas por el SAG entre 2017 y 2023, de las especies: *Brassica napus*, *Camelina Sativa*, *Glycine max* y *Zea mays*.

Organismo	Nueva característica	Técnica	Tipo de modificación	Año	Resultado	Institución o empresa
<i>Camelina sativa</i>	acumulación de ácido oleico	CRISPR/Cas9	FAD2_KO	2017	no son OGM	Semameris
<i>Zea mays</i>	Cambio en el contenido polisacáridos	CRISPR/Cas9	Waxy corn	2018	no son OGM	Pioneer
<i>Brassica napus</i>	Mayor resistencia al rompimiento de silicuas.	CRISPR/Cas9	Gene Off - IND	2019	no son OGM	Pioneer
<i>Brassica napus</i>	Mayor resistencia al rompimiento de silicuas.	CRISPR/Cas9 +RTDS	PSR	2019	no son OGM	Tuniche
<i>Brassica napus</i>	Mayor resistencia al rompimiento de silicuas.	CRISPR/Cas9	Gene Off - IND	2020	no son OGM	Pioneer
<i>Brassica napus</i>	Mayor resistencia al rompimiento de silicuas.	CRISPR/Cas9 +RTDS	PSR	2020	no son OGM	Tuniche
<i>Zea mays</i>	Delección de gen prozip1	CRISPR/Cas9	ZmZip1_KO	2020	OGM. Posee la secuencia de CRISPR/Cas9.	Tuniche

<i>Zea mays</i>	Sobreexpresión de proteína CC9	de	Cisgenia	CC9_OE		2020	OGM	Tuniche
<i>Glycine max</i>	Aumento de rendimiento	de	CRISPR/Cas9			2021	no son OGM	CIS Semillas
<i>Brassica napus</i>	Mayor resistencia al rompimiento de silículas.	al	CRISPR/Cas9	Gene Off - IND		2021	no son OGM	Corteva
<i>Zea mays</i>	Mejora en la resistencia a la enfermedad NBL.		CRISPR/Cas9	CRISPR-Cas9 NLB		2021	no son OGM	Corteva
<i>Brassica napus</i>	Mayor resistencia al rompimiento de silículas.	al	CRISPR/Cas + RTDS	Canola (270 líneas)	PSR	2021	no son OGM	Tuniche
<i>Zea mays</i>	Aumento de rendimiento	de	CRISPR/Cas9			2022	no son OGM	Tuniche
<i>Glycine max</i>	Aumento de rendimiento	de	CRISPR/Cas9			2022	no son OGM	Tuniche
<i>Camelina sativa</i>	Incremento de contenido de ácidos grasos	del	CRISPR/Cas9			2022	no son OGM	Curimapu
<i>Zea mays</i>	Obtención de híbridos haploides		CRISPR/Cas12	cenh3-CM2		2023	no son OGM	Syngenta

De la base de datos del SAG ^a

^a Información obtenida través del portal de transparencias del Servicio agrícola Ganadero.

El gráfico 3.2, permite visualizar cómo las distintas técnicas de edición genética se han aplicado en especies específicas, destacando la predominancia de CRISPR/cas9 en la evaluación del SAG.

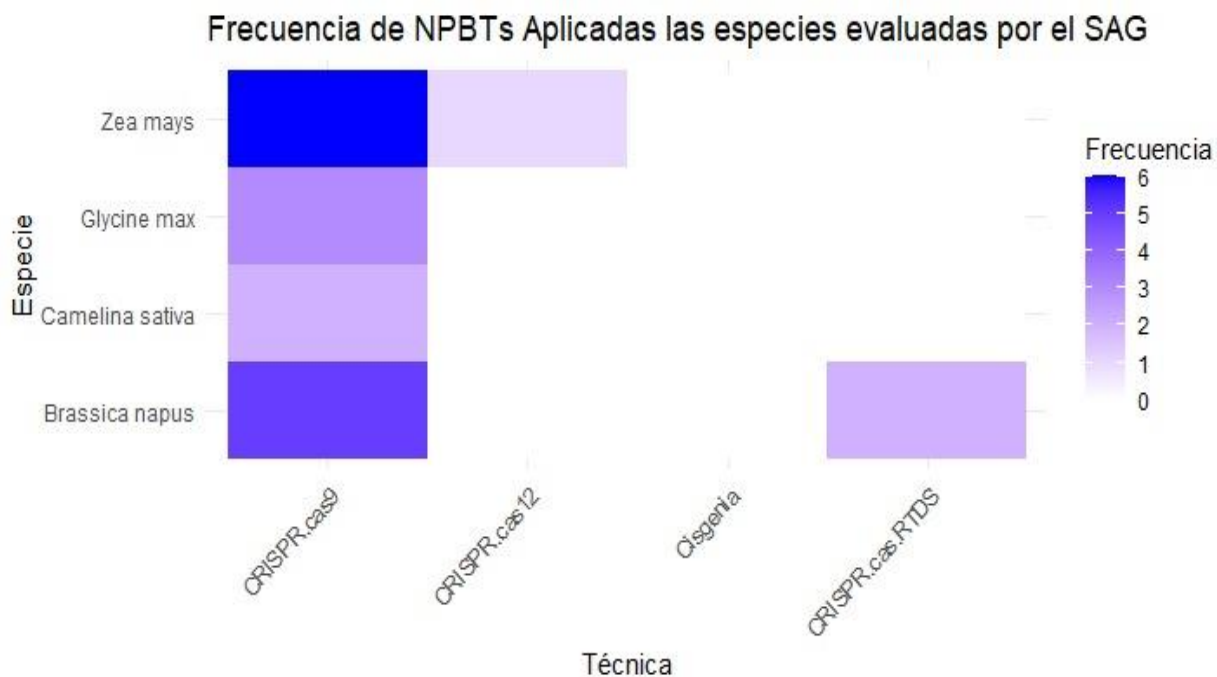


Figura 3.2. Se observa un mapa de calor con las especies en el eje “y” y la técnica utilizada en el eje “x”. CRISPR/cas9 es la técnica más usada en contraste con CRISPR/cas12 y RTDS.

3.2 Proyectos recibidos por la ley de transparencia

Se recibieron tres archivos EXCEL de CORFO el primero de Innova Chile, el segundo de Data Innovación y el tercero son proyectos adjudicados y listado de beneficiario-participante del año 2010 al 2021. Además, se recibió un archivo

EXCEL de ANID. Los proyectos recibidos presentan códigos. (Tabla 3.2). Los proyectos recibidos de ANID y CORFO, resumen el desarrollo de dos especies mencionadas que son *Vitis vinífera* (vid), *Malus doméstica* (manzano) y plantas ornamentales sin especificar (Tabla 3.2). Se observa, además, un único proyecto con objetivo y dos proyectos indicando que el proyecto aún está vigente.

Tabla 3.2. Resumen de los proyectos sobre edición genética de la uva de mesa, manzano y plantas ornamentales (sin especificar) recibidos de CORFO y ANID. Clasificadas en Institución o empresa, título, objetivos, Año de solicitud, año de adjudicación y estado del proyecto.

Institución o empresa	Título	Objetivos ^b	Año solicitud	Año adjudicación	Estado ^c
INIA	Desarrollo De Nuevas Variedades De Uva De Mesa Sin Semillas Mediante Ingeniería Genética		2010	2010	
Biotecnología Frutícola S.A.	Desarrollo De Nuevas Variedades De Uva De Mesa Sin Semillas Mediante Ingeniería Genética		2010	2010	

^b Los objetivos fueron entregados incompletos o aludiendo que información no es pública.

^c El estado de los proyectos fueron entregados incompletos.

Bioteología Frutícola S.A.	Creación de nuevos genotipos de manzano con propiedades funcionales especialmente adaptadas para el consumo fresco y procesado.	Desarrollar una plataforma de edición génica para producir nuevas variedades de manzanas funcionales con mayor contenido en pro-vitamina a y con oxidación reducida, aptas para al consumo fresco, proceso cuarta gama, pulpa concentrada y jugos, mediante nuevas tecnologías de mejoramiento (NBT) aceptadas por la regulación y el mercado.	2017	
Viña Concha y Toro S.A.	desarrollo de variedades de <i>vitis vinifera</i> l. resistentes a estrés biótico y abiótico mediante NBT	Información no pública	2021	vigente
Pinto Piga Seeds S.A.	Obtención de nuevas variedades comerciales de plantas ornamentales mediante edición génica	Información no pública	2022	vigente

De la base de datos de la ANID y CORFO^d

^d Información obtenida a través de la ley de transparencia de la Corporación de Fomento de la Producción y la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo.

3.3 Proyectos repositorios

Se exponen en la Tabla 3.3, los proyectos hallados en los repositorios de FIA y ANID. La totalidad de los proyectos son de INIA y las especies utilizadas son la *vitis vinífera*, *Prunus avium* y *Solanum tuberosum*. Cabe recalcar que solo hay dos proyectos indicando el estado de “finalizado” y solo uno fue entregado con objetivo. Los proyectos hallados en los repositorios de FIA y ANID, la vid es la única que participa en más de un proyecto.

Tabla 3.3. Resumen de los proyectos en los repositorios de ANID y FIA sobre fitomejoramiento en vides, cerezos, y papas. Se clasificaron en año de termino, Titulo, objetivo, encargado, institución y/o empresa y estado del proyecto.

Año de inicio	Año de termino	Titulo	Objetivo	Encargado	Institución y/o empresa	Estado
2008		Desarrollo y aplicación de herramientas de genómica e ingeniería genética para potenciar el fitomejoramiento de vides de mesa.		Mejía, Nilo	INIA	
2009		Desarrollo y aplicación de técnicas de ingeniería genética para potenciar el fitomejoramiento del cerezo (<i>Prunus avium</i>).		Prieto, Humberto	INIA	
2009		Desarrollo de Nuevas Variedades de Uva de Mesa Sin Semillas Mediante Ingeniería Genética.		Mejía, Nilo	INIA	

2018	2021	Mejoramiento genético de las características postcosecha relacionadas con el endulzamiento inducido por frío en tubérculos de papa, mediante el uso de la tecnología de edición de genoma CRSPR/cas9.		Vergara González, Ricardo Alejandro	INIA	Finalizado
2019	2021	Nuevos prototipos de vid resistentes a enfermedades fungosas desarrollados por edición génica.	Caracterizar e identificar individuos con mayor tolerancia o resistencia a patógenos en poblaciones de vid que han sido obtenidos a través de un proceso de edición génica de genes de susceptibilidad.	Prieto, Humberto	INIA	Finalizado

De los repositorios de la ANID y FIA^e

^e Información obtenida a través de la búsqueda por palabras clave en los repositorios del FIA y ANID.

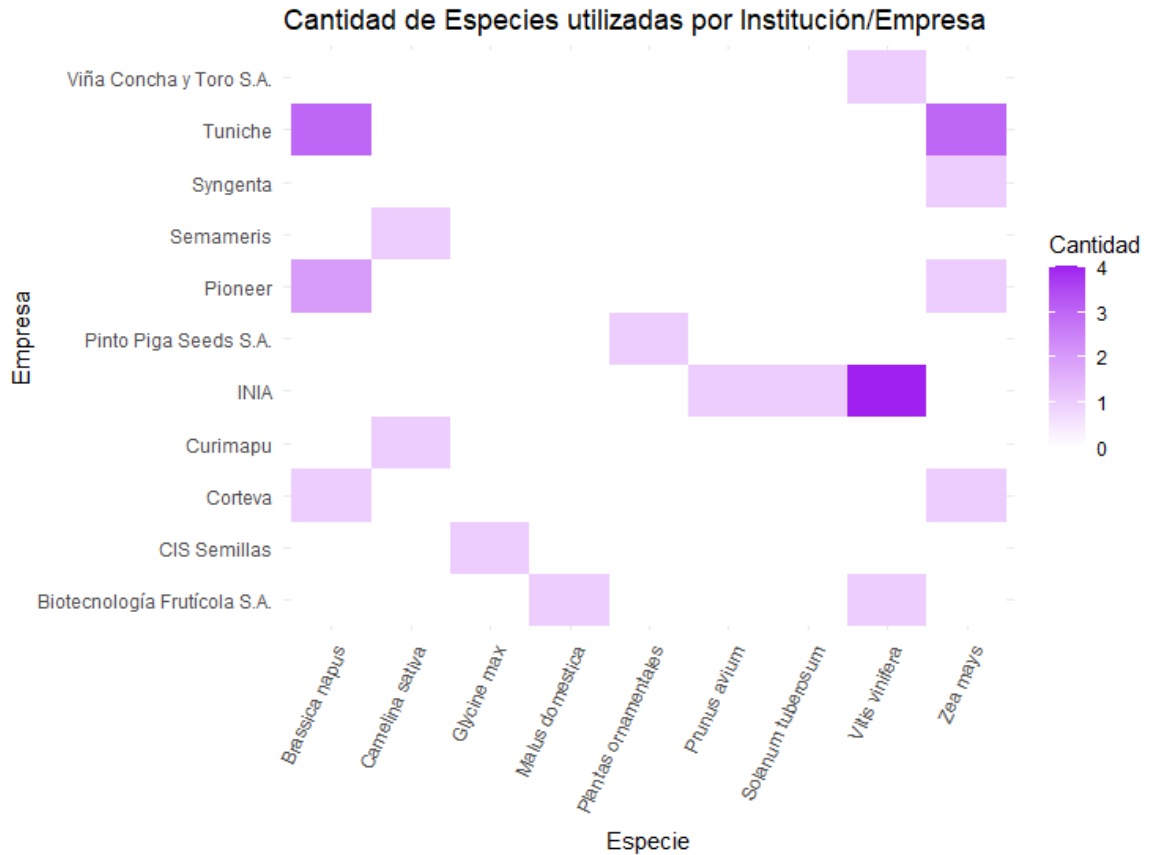


Figura 3.3. En el mapa de calor se observa en el eje “y” las empresas y en el eje “x” las especies y la cantidad de variedades por especie

Luego, se identificaron cuatro artículos científicos en Chile que abordan la aplicación de la edición genética en 3 cultivos: *Vitis vinífera*, *Solanum tuberosum*, y *Prunus sp.* tal como se muestra en la Tabla 3.4. Destacan enfoques con CRISPR/Cas9 para mejorar la resistencia a patógenos en *Vitis vinífera* y optimizar rasgos postcosecha en *Solanum tuberosum*, además de analizar los desafíos en la edición de *Prunus sp.*

El gráfico de redes (Figura 3.4) representa la relación entre instituciones/empresas y las especies evaluadas en proyectos de edición

genética. Cada nodo azul representa una institución/empresa o una especie, y las conexiones entre ellos indican que una determinada institución ha trabajado con esa especie en sus investigaciones o evaluaciones. INIA y Zea mays, son los principales nodos debido a que forman tres conexiones.

Red de Relación entre Instituciones/Empresas y Especies utilizadas

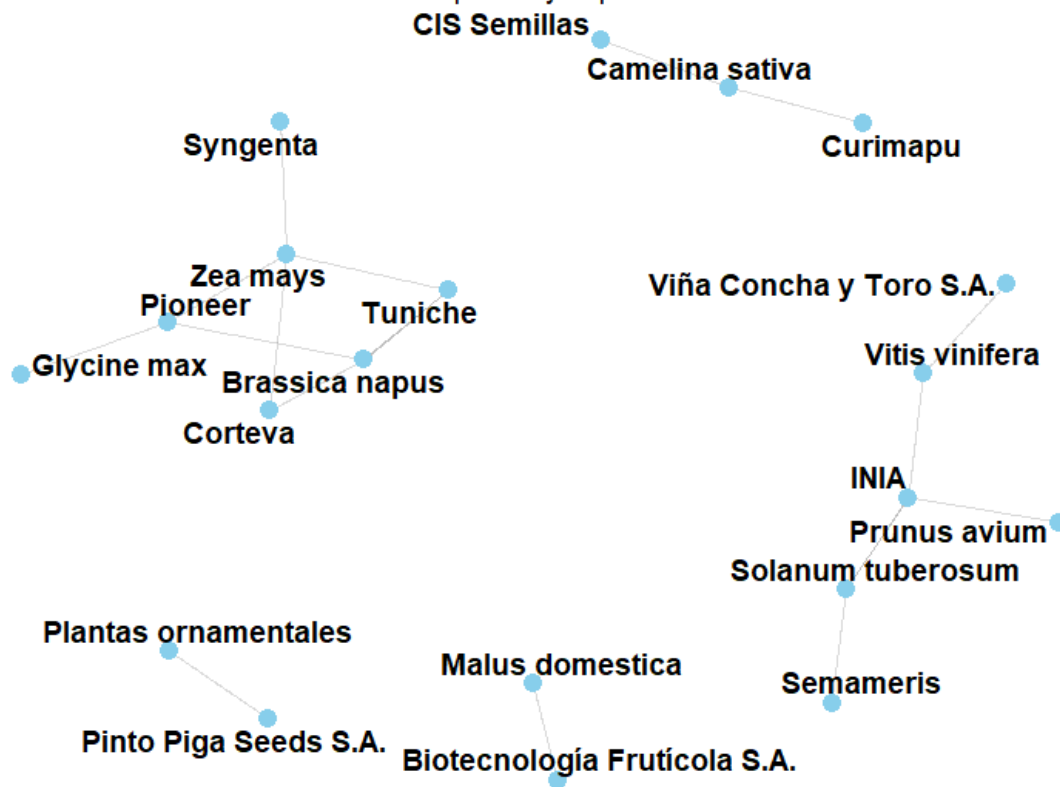


Figura 3.4. Se observan las relaciones entre empresas e instituciones a través de las especies se forman cinco redes.

Tabla 3.4. Artículos científicos publicados en Chile sobre edición genética y NBTs.

Titulo	Autores	Fecha
Novel breeding strategies for tackling present and future challenges in Prunus species: the case of peach.	Cecilia Miccoli, Gianluca Gambacorta, Gaia Urbinati, M. Santiago-Reyes, Adele Gentile, Simona Monticelli, Emilia Caboni, Humberto Prieto, Ignazio Verde, V. Decroocq, Elisa Vendramin y Sabrina Micali.	2022
CRISPR/Cas9 Targeted Editing of Genes Associated with Fungal Susceptibility in Vitis vinifera L. cv. Thompson Seedless Using Geminivirus-Derived Replicons.	Felipe Olivares, Rodrigo Loyola, Blanca Olmedo, María de los Ángeles Miccono, Carlos Aguirre, Ricardo Vergara, Danae Riquelme, Gabriela Madrid, Philippe Plantat, Roxana Mora, Daniel Espinoza y Humberto Prieto.	2021
A Traceable DNA-Replicon Derived Vector to Speed Up Gene Editing in Potato: Interrupting Genes Related to Undesirable Postharvest Tuber Traits as an Example.	Giovana Acha, Ricardo Vergara, Marisol Muñoz, Roxana Mora, Carlos Aguirre, Manuel Muñoz, Julio Kalazich y Humberto Prieto.	2021
Gene Editing in Prunus Spp.: The Challenge of Adapting Regular Gene Transfer Procedures for Precision Breeding.	Ricardo Vergara, Felipe Olivares, Blanca Olmedo, Carolina Toro, Marisol Muñoz, Carolina Zúñiga, Roxana Mora, Philippe Plantat, María Miccono, Rodrigo Loyola, Carlos Aguirre y Humberto Prieto.	2021

3.4 Revisión de catálogos comerciales y variedades disponibles

Se hallaron en sus páginas web respectivas, los catálogos de Syngenta, Tuniche, Pioneer (www.corteva.cl), Curimapu y Cis semillas. Los catálogos de Semameris son los mismos que los de Cis semillas debido a la adquisición de la tecnología de Semameris, por parte de Cis semillas el año 2018 (tabla 3.5).

Tabla 3.5. Resumen de las variedades de *Camelina sativa*, *Zea mays*, *Brassica napus* y *Glycine max*, disponibles en catálogos de Tuniche, Cis semillas, Pioneer y Cumimaris, indicando especie, número de variedades (N.º V.) y principales características/fenotipo.

Especie	N.º V	Fenotipo
Brassica napus (Canola/Raps)	12	Mayor resistencia al rompimiento de silicuas, alto contenido oleico, alto rendimiento, estabilidad y vigor inicial
Camelina sativa	1	Alto contenido de aceite
Glycine max (Soya)	2	Aumento de rendimiento, alto contenido proteico
Zea mays (Maíz)	31	Alto rendimiento, resistencia a sequía, mejora en el contenido de carbohidratos, rápida cosecha, adaptabilidad a distintos tipos de suelo, resistencia a factores adversos, equilibrio entre ciclo y rendimiento
Zea mays (Choclo)	5	Buena postcosecha, alto rendimiento, excelente sabor

3.5 Entrevistas con actores relevantes

Con respecto a las empresas, las preguntas solo fueron contestadas por Cis semillas. Las preguntas y respuestas son las siguientes (Tabla 2.1 y 2.2):

1. ¿Se focalizan en el mercado extranjero o nacional? ¿Por qué?

Se enfocan más en el mercado internacional porque allí hay mayor interés en semillas con nuevas tecnologías.

El mercado chileno aún está rezagado en la adopción de NPBTs.

2. En su opinión, ¿Cuál es la percepción del mercado respecto a cultivos desarrollados con NPBTs?

Persisten dudas y confusiones, ya que muchos asocian NPBTs a transgénicos. Hay grupos de productores más grandes o especializados que sí se interesan, si ven beneficios claros.

3. ¿Cómo han evolucionado las demandas del mercado en relación con NPBTs?

Han crecido de manera lenta, sin ser masivas. Hay un poco más de curiosidad e interés, sobre todo en productores jóvenes o exportadores.

4. ¿Cómo se comparan los productos de NPBTs con los convencionales o transgénicos en términos de demanda?

Los convencionales siguen siendo los más vendidos. Las NPBTs generan menos rechazo que los transgénicos, pero todavía no alcanzan gran popularidad.

5. ¿Cómo ve el futuro de la distribución de productos agrícolas desarrollados con NPBTs en Chile?

Se cree que mejorará a mediano o largo plazo si se aclaran los aspectos regulatorios y se informa mejor a la gente. Además, se consideran importante la educación del público para diferenciar NPBTs de transgénicos y así ganar más aceptación.

Las instituciones y/o programas que respondieron las preguntas fueron INDAP y PRODESAL. Las preguntas y respuestas son las siguientes:

1. ¿Cuál es el papel de “la institución o programa” en el apoyo al desarrollo de tecnologías agrícolas innovadoras como las NBTs?

INDAP: No promueve directamente semillas modificadas o edición genética. Principalmente apoya a los agricultores para que usen semillas y técnicas que consideren convenientes, poniendo énfasis en mejoras tradicionales (cruzamientos, selección) y en prácticas como los injertos. Fomenta el rescate de germoplasma nativo y la reducción de agroquímicos.

PRODESAL: Su meta principal es que los pequeños agricultores puedan vivir de su campo. Brinda subsidios e incentivos para maquinarias y mejoras productivas. No tiene un foco específico en edición genética, pero sí impulsa la adopción de cualquier innovación que mejore la calidad de vida y la producción de sus usuarios.

2. ¿Cuáles son los principales desafíos que enfrentan los agricultores al adoptar NBTs en Chile?

INDAP: Hay confusión y temor sobre las técnicas genéticas (edición vs transgénicos). Falta información clara y capacitación. Algunas leyes y la opinión pública restringen o dificultan la aceptación de semillas con intervenciones genéticas.

PRODESAL: Muchos productores son mayores y prefieren lo que conocen, por lo que cuesta cambiar prácticas tradicionales. Falta capacitación especializada en nuevas herramientas biotecnológicas. Se teme invertir en semillas o métodos nuevos si no se sabe si el mercado las aceptará.

3. ¿Existe alguna colaboración entre la institución o programa y entidades privadas para impulsar la adopción de estas tecnologías?

INDAP No hace convenios comerciales directos, pero los agricultores pueden comprar libremente en el mercado. A veces se organizan capacitaciones o días de campo con ayuda de universidades o técnicos externos.

PRODESAL Tampoco tiene acuerdos formales con empresas. Cuando el agricultor recibe subsidios para maquinarias o insumos, suele haber asesoría de la empresa que provee esos productos. La relación es puntual, no una colaboración fija.

4. DISCUSIÓN

4.1 Importancia de las especies

Chile destaca principalmente por su producción agrícola enfocada a la exportación, resaltando especies como la vid, cerezas y papas. Esto es consistente con los proyectos evaluados (Lepe, 2020). Esto es consistente con los proyectos, dos de las especies mencionadas son parte de los proyectos e investigaciones (Tabla 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4), lo que fundamenta la importancia de estos cultivos dentro del marco de fitomejoramiento del país. Un factor clave para el avance genético de estas especies, es la amplia disponibilidad de datos genómicos, derivada de su relevancia comercial mundial, permitiendo el conocimiento suficiente para la aplicación de NPBTs (Kersey, 2019; Nussbaumer *et al.*, 2012). Sin embargo, la agricultura nacional prioriza la exportación de frutas ,debido a su alto retorno económico, de acuerdo al Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN, 2024), en la región de O'Higgins, el 21% de la fruta permanece en el mercado interno y el 51.77% es destinado a la exportación. Esto puede explicar la ausencia o limitación en el desarrollo de proyectos destinados al mercado interno. Este enfoque en la exportación podría explicar por qué especies como *Vitis vinífera* y *Solanum tuberosum* reciben mayor atención en investigación, mientras que otras especies

destinadas al mercado interno quedan relegadas por desconocimiento o costumbre (Boza *et al.*, 2018)

Como expuesto, la vid, es clave para Chile debido que es uno de los principales exportadores de uva a nivel internacional. De la uva se produce, jugo, Vino, aceite de las semillas, entre otros derivados. (Martin *et al.*, 2020). Según el Observatorio de Complejidad Económica (OEC), Chile se ubica en el segundo puesto de exportación de uva (OEC, 2024), por otro lado, Tridge lo ubicó en el primer puesto (Tridge, 2023). Este liderazgo podría explicar porque *Vitis vinífera* es la especie más empleada en proyectos de mejoramiento vegetal (Tabla 3.1 y 3.2). Por esto, la resistencia a estrés biótico y abiótico (Tabla 3.2) es crucial para su prevalencia en lugares con escasos recursos hídricos debido a la sequía generalizada de los últimos años (Garreaud *et al.*, 2020), en especial contra enfermedades fungosas como el oídio (Puelles, 2012).

No obstante, pese al uso de Nuevas Técnicas de Mejoramiento (NBTs) en cultivos como la vid, duraznero, manzano y papa, estos no han sido evaluados por el SAG para su comercialización (Tabla 3.1), posiblemente debido a ciclos de producción más extensos o estrategias empresariales.

En el ámbito de investigación frutícola, existe un programa vigente desde el año 2013 mediado por Biofrutales, el cual busca generar avances en el área frutícola. Una de las líneas de desarrollo es la ingeniería genética (Programa Consorcio 2.0 CORFO). Este programa tiene vigente el desarrollo de un plan de mejoramiento en el manzano, palto, vides y carozos (Biofrutales, 2023). Este programa contribuye al avance del uso de NBTs y es una prueba de la continua investigación en Chile sobre la edición genética. Adicionalmente, el INIA, un organismo público con participación privada también desempeña un papel clave en la investigación y desarrollo de nuevas variedades frutícolas, tal como lo evidencian múltiples proyectos financiados por ANID y FIA (ver Tablas 3.2 y 3.3). Estas acciones confirman el impulso que las instituciones estatales y mixtas están dando a la edición genética, reforzando la colaboración público-privada para potenciar la competitividad de la agricultura chilena.

Por otro lado, los catálogos de las empresas semilleras (ver Tabla 3.5), prevalecen: *Zea mays*, *Brassica napus*, *Glycine max* y *Camelina sativa*. Curiosamente, no aparecen variedades de *Vitis vinífera* o frutales, lo cual refleja que el mayor dinamismo comercial (al menos en catálogos de semillas) está en cultivos anuales de rápido recambio (maíz, canola, soya, camelina). Esto se complementa con la idea de que la evaluación comercial en frutales es más lenta (ciclos perennes más largos). Por ello, aunque la fruticultura sea un foco

importante de proyectos de investigación (ver Tablas 3.2, 3.3 y 3.4), el impacto comercial todavía es limitado.

La horticultura en Chile se basa en la pequeña agricultura que contrasta a la agricultura de exportación (Arenas Charlín, 2015) debido al grupo socioeconómico y etario, la pequeña agricultura es reticente en la adopción de tecnologías o productos innovadores (Boza *et al.*, 2018). Las entrevistas con INDAP y PRODESAL revelan que el enfoque del sector público en pequeños agricultores prioriza métodos tradicionales, injertos, rescate de variedades nativas, entre otros. Ellos no cuentan con programas concretos de NPBTs, lo cual deja un vacío entre la investigación de vanguardia (financiada por CORFO/ANID) y la transferencia tecnológica al agricultor local.

4.2 Técnicas y fenotipos utilizados

Las técnicas evaluadas por el SAG (Tabla 3.1), CRISPR/cas+RTDS y CRISPR/cas9 varían en el tipo y cantidad de ARN utilizado, el lugar de anclaje dentro de la secuencia de ADN es distinto, estas características en general dan mayor precisión a CRISPR/cas12, pero aumentan los costos (Zaman *et al.*, 2023).

Por ello, la NPBT más utilizada es CRISPR/cas9 (Figura 3.2). Con respecto a la cisgenia, es una técnica de inserción de material genético, desde un organismo genéticamente cercano hacia el organismo a editar (Hu *et al.*, 2023; Vasudevan *et al.*, 2023). Para realizar Cisgenia no existe una única herramienta de edición genética, es decir, no se especifica el tipo de NPBT utilizada.

Los fenotipos deseados dan cuenta de la legislación vigente, puesto que, son modificaciones que no añaden nuevo material genético, es decir, la disminución de la tasa de pérdida del producto por estrés, aumento de la resistencia a patógenos, cambio en la concentración de factores nutricionales y la eficiencia en el mejoramiento genético son cambios en la sobre expresión o inhibición de uno o varios genes (Tabla 3.1).

Asimismo, Las modificaciones genéticas realizadas hasta ahora no generan fenotipos significativamente novedosos o disruptivos respecto a la oferta tradicional (Tabla 3.5), sino que apuntan a mejorar características ya existentes como resistencia a estrés ambiental o enfermedades, lo cual sugiere un alineamiento con las regulaciones actuales del SAG.

4.3 Accesibilidad a la información

La brecha entre la investigación institucional y la divulgación pública es significativa, debido principalmente a la fragmentación, escasa accesibilidad de la información en los repositorios, la falta de unificación de los datos, la falta de objetivos y estados de los proyectos recibidos. Las plataformas existentes carecen de integración, dificultando el acceso a los resultados. Una mejora importante sería crear un repositorio centralizado y accesible mediante API pública con acceso directo a la base de datos de ANID, CORFO, SAG entre otros. Similar a lo propuesto en DataInnovacion, esto disminuiría el tiempo de espera y eliminaría la necesidad de realizar una solicitud. Aunque, hasta esta fecha el repositorio de ANID aún se encuentra en marcha blanca (17/03/2025), luego de esta marcha blanca podría convertirse en una forma sencilla de acceder a los proyectos de ANID si incorporan la búsqueda Booleana (ej. “Chile” AND “Sequía”).

4.4 Perspectiva académica, empresarial e institucional.

A partir del análisis bibliográfico de los encargados de los proyectos (ver Tabla 3.2, 3.3 y 3.4) Estos artículos ofrecen aplicaciones concretas en Chile. El primero (Olivares et al., 2021) profundiza en los desafíos de adaptar procedimientos de transferencia génica para la edición de *Prunus* sp., subrayando la necesidad de protocolos precisos en especies leñosas. El segundo (Prieto et al., 2021) detalla la edición de genes asociados con susceptibilidad fúngica en *Vitis vinifera* mediante replicones derivados de geminivirus, evidenciando el potencial de CRISPR/Cas9 para reforzar la resistencia a patógenos. El tercero (Acha et al., 2021) describe el uso de vectores de replicón de ADN para agilizar la edición en papa, enfocándose en rasgos postcosecha y resaltando la oportunidad de acelerar el mejoramiento de tubérculos. Finalmente, el cuarto (Miccoli et al., 2022) analiza estrategias de mejoramiento en *Prunus* sp., con énfasis en duraznero, enfatizando tanto la aplicación de la edición génica como la importancia de datos genómicos. En conjunto, estos artículos muestran la evolución de la investigación chilena hacia la incorporación de herramientas biotecnológicas de vanguardia, destacando el rol de grupos científicos que abordan problemas prácticos, como la resistencia a enfermedades y la optimización de la calidad postcosecha, en cultivos de alto valor económico como la vid

Según el diagrama de redes (Figura 3.4) existe un grado de diversificación de las especies utilizadas para la investigación o agricultura. Lo que facilita la financiación estatal a la innovación biotecnológica, principalmente enfocada en vides, manzano, cereza, durazno y papa, evidencia el interés en impulsar la fruticultura y horticultura. Sin embargo, la escasa información disponible, por ejemplo, la ausencia de objetivos detallados sugiere una limitada divulgación de resultados, un posible desinterés en difundir los proyectos o restricciones asociadas a su carácter comercial (tabla 3.2 y 3.3).

Por parte de INDAP y PRODESAL, coinciden en promover la adopción de tecnologías agrícolas (equipos, semillas mejoradas, injertos) de forma compatible con la realidad local, respetando la identidad y experiencia de los agricultores. Por un lado, INDAP enfatiza el rescate de variedades tradicionales y las mejoras genéticas no transgénicas, así como la importancia de capacitar a productores en prácticas más eficientes, mientras que PRODESAL se centra en facilitar la permanencia de los pequeños agricultores en el campo, promoviendo la adopción de maquinaria e innovaciones cuando éstas responden a la demanda y habilidades de las comunidades rurales, y ofreciendo subsidios y asesorías que reduzcan la resistencia al cambio y mejoren su competitividad.

La visión de CIS Semillas se alinea con los comentarios de INDAP y PRODESAL en el sentido de que las NBTs no han logrado un arraigo masivo en el mercado nacional y dependen, en gran medida, de la demanda y percepción que tengan los productores y consumidores. Además, CIS Semillas confirma que la exportación sigue siendo un destino relevante para las tecnologías más avanzadas, lo cual coincide con la postura de INDAP y PRODESAL de que en Chile el mercado interno aún no está plenamente abierto a la producción masiva de organismos editados.

IV. CONCLUSIONES

El análisis de los proyectos I+D+i sobre NPBTs en Chile revela avances significativos en investigación y financiamiento, particularmente enfocados en especies de alto valor comercial para exportación, como vid, manzano y papa. Se identificaron claramente especies y técnicas específicas evaluadas por el SAG.

La accesibilidad a la información continúa siendo un desafío relevante debido a la fragmentación existente en diferentes repositorios institucionales. La implementación de una API pública en plataformas como DataInnovacion se presenta como una solución concreta para facilitar el acceso, alineándose con el espíritu de la Ley de Transparencia.

La revisión bibliográfica muestra un crecimiento sostenido en estudios científicos sobre NPBTs en Chile, sin embargo, su divulgación fuera del ámbito académico es reducida. Las entrevistas realizadas destacan un claro interés por parte de Cis Semillas para aprovechar o adquirir estas tecnologías, aunque persiste una limitada divulgación al público general.

Las entrevistas con representantes del sector destacan un interés creciente en las NBTs, aunque evidencian falta de estrategias específicas para su adopción comercial.

Finalmente, se concluye la necesidad urgente de implementar medidas concretas como la creación de un repositorio centralizado y accesible mediante una API pública, campañas educativas dirigidas a agricultores y consumidores, estrategias coordinadas entre sector público y privado, y promover la adopción efectiva de NPBTs en la agricultura nacional. Además, se destaca que el SAG permite la comercialización de variedades editadas sin ADN foráneo, mientras que la inserción de material genético exógeno no permite su comercialización nacional. lo que establece una regulación clara, distinta a la normativa más estricta y centrada en el proceso utilizada por la Unión Europea.

V. GLOSARIO

NBTs: *new breeding techniques* (nuevas técnicas de mejoramiento genético)

NGTs: *new genomic techniques* (nuevas técnicas genómicas)

NPBTs: *new plants breeding techniques* (nuevas técnicas de mejoramiento vegetal)

OGM: Organismo genéticamente modificado.

GMO: *Genetically modified organism.*

“Gene”-KO: *Gene knockout* (del inglés, silenciamiento de un gen).

“Gene”-OE: *Gene overexpression* (del inglés, sobreexpresión de un gen).

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acha, G., Vergara, R., Muñoz, M., Mora, R., Aguirre, C., Muñoz, M., Kalazich, J., & Prieto, H. (2021). A Traceable DNA-Replicon Derived Vector to Speed Up Gene Editing in Potato: Interrupting Genes Related to Undesirable Postharvest Tuber Traits as an Example. *Plants (Basel)*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/plants10091882>
- Andersson, M., Turesson, H., Olsson, N., Fält, A.-S., Ohlsson, P., Gonzalez, M. N., Samuelsson, M., & Hofvander, P. (2018). Genome editing in potato via CRISPR-Cas9 ribonucleoprotein delivery. *Physiologia Plantarum*, 164(4), 378-384. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ppl.12731>
- Arenas Charlín, J. (2015). Pequeña agricultura, desarrollo tecnológico y universidades regionales. *Idesia (Arica)*, 33, 3-7. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292015000300001&nrm=iso
- Aukerman, M. J., & Sakai, H. (2003). Regulation of Flowering Time and Floral Organ Identity by a MicroRNA and Its APETALA2-Like Target Genes. *The Plant Cell*, 15(11), 2730-2741. <https://doi.org/10.1105/tpc.016238>
- Bertheau, Y. (2019). New Breeding Techniques: Detection and Identification of the Techniques and Derived Products. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 320-336). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21834-9>
- Biofrutales. (2023). *Ingeniería Genética*. Retrieved 21/03/2024 from <https://biofrutales.cl/proyectos/proyectos/por-area-de-trabajo/ingenieria-genetica/>
- Boza, S., Cortés, M., Prieto, C., & Muñoz, T. (2018). Caracterización y actitudes de los horticultores de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. *Idesia (Arica)*, 36, 99-107. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292018000400099&nrm=iso
- Cacciatore, M. A. (2021). Misinformation and public opinion of science and health: Approaches, findings, and future directions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(15), e1912437117. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.1912437117>
- Cao, X., Wang, X., Chen, R., Chen, L., Liu, Y., & Wang, M. (2025). Improving *Bacillus subtilis* as Biological Chassis Performance by the CRISPR Genetic Toolkit. *ACS Synthetic Biology*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/acssynbio.4c00844>
- Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica: texto y anexos. (2000). In *Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica*.
- Casacuberta, J. M., & Puigdomènech, P. (2018). Proportionate and scientifically sound risk assessment of gene-edited plants. *EMBO Rep*, 19(10). <https://doi.org/10.15252/embr.201846907>
- CE, C. E. (2023). *Preguntas frecuentes: Propuesta sobre nuevas técnicas genómicas*. Retrieved 16/03/2025 from https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/qanda_23_3568

- CIREN, C. d. I. d. R. N. (2024). *Catastro Fruticola, 2024, Principales Resultados Región de O'higgins*.
<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/73638/RegionO'Higgins.pdf>
- Ezura, H. (2022). Letter to the Editor: The World's First CRISPR Tomato Launched to a Japanese Market: The Social-Economic Impact of its Implementation on Crop Genome Editing. *Plant and Cell Physiology*, 63(6), 731-733. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcac048>
- Gaj, T., Sirk, S. J., Shui, S. L., & Liu, J. (2016). Genome-Editing Technologies: Principles and Applications. *Cold Spring Harb Perspect Biol*, 8(12).
<https://doi.org/10.1101/cshperspect.a023754>
- Gao, C. (2021). Genome engineering for crop improvement and future agriculture. *Cell*, 184(6), 1621-1635. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.01.005>
- Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2020). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, 40(1), 421-439.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/joc.6219>
- Gómez, F. G. (2020). DERECHO Y TECNOLOGÍA: UNA VISIÓN SINÓPTICA. *Actualidad Juridica*(42), 30. <https://derecho.udd.cl/actualidad-juridica/files/2021/01/AJ42-P127.pdf>
- Gu, B., Posfai, E., & Rossant, J. (2018). Efficient generation of targeted large insertions by microinjection into two-cell-stage mouse embryos. *Nature Biotechnology*, 36(7), 632-637. <https://doi.org/10.1038/nbt.4166>
- Haun, W., Coffman, A., Clasen, B. M., Demorest, Z. L., Lowy, A., Ray, E., Retterath, A., Stoddard, T., Juillerat, A., Cedrone, F., Mathis, L., Voytas, D. F., & Zhang, F. (2014). Improved soybean oil quality by targeted mutagenesis of the fatty acid desaturase 2 gene family. *Plant Biotechnology Journal*, 12(7), 934-940.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/pbi.12201>
- Hu, H., Zhang, Y., & Yu, F. (2023). A CRISPR/Cas9-based vector system enables the fast breeding of selection-marker-free canola with Rcr1-rendered clubroot resistance. *Journal of Experimental Botany*, 75(5), 1347-1363. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad471>
- Kersey, P. J. (2019). Plant genome sequences: past, present, future. *Current Opinion in Plant Biology*, 48, 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.11.001>
- Lepe, J. P. (2020). *Evolución de la Fruticultura Chilena en los Últimos 20 Años*.
<https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70234/evolucionFruticulturachilena.pdf>
- Martin, M. E., Grao-Cruces, E., Millan-Linares, M. C., & Montserrat-de la Paz, S. (2020). Grape (*Vitis vinifera* L.) Seed Oil: A Functional Food from the Winemaking Industry. *Foods*, 9(10), 1360. <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/10/1360>
- Micoli, C., Gambacorta, G., Urbinati, G., Santiago-Reyes, M., Gentile, A., Monticelli, S., Caboni, E., Prieto, H., Verde, I., Decroocq, V., Vendramin, E., & Micali, S. (2022). Novel breeding strategies for tackling present and future challenges in *Prunus* species: the case of peach.

- Nussbaumer, T., Martis, M. M., Roessner, S. K., Pfeifer, M., Bader, K. C., Sharma, S., Gundlach, H., & Spannagl, M. (2012). MIPS PlantsDB: a database framework for comparative plant genome research. *Nucleic Acids Research*, 41(D1), D1144-D1151.
<https://doi.org/10.1093/nar/gks1153>
- OEC, O. d. C. E. (2024). *Uvas en Chile*. Retrieved 25/03/2024 from
<https://oec.world/es/profile/bilateral-product/grapes/reporter/chl?redirect=true>
- Olivares, F., Loyola, R., Olmedo, B., Miccono, M., Aguirre, C., Vergara, R., Riquelme, D., Madrid, G., Plantat, P., Mora, R., Espinoza, D., & Prieto, H. (2021). CRISPR/Cas9 Targeted Editing of Genes Associated With Fungal Susceptibility in *Vitis vinifera* L. cv. Thompson Seedless Using Geminivirus-Derived Replicons. *Front Plant Sci*, 12, 791030.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.791030>
- Prieto, H., Loyola, R., Vergara, R., Olivares, F., Olmedo, B., Toro, C., Muñoz, M., Mora, R., Plantat, P., Miccono, M., Aguirre, C., & Zúñiga, C. (2021). Gene Editing in *Prunus* Spp.: The Challenge of Adapting Regular Gene Transfer Procedures for Precision Breeding. In A. B. Küden & A. Kuden (Eds.), *Prunus - Recent Advances*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98843>
- Puelles, J. S.-R., P. (2012). Oídio de la vid
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/c89046b6-23ee-445d-9a56-322e64db1864/content>
- Romeo Lironcurti, S., Demaria, F., Quarto, A., & Solazzo, R. (2024). The ongoing debate on NBTs and possible roads for the future. *Frontiers in Political Science*, 5.
<https://doi.org/10.3389/fpos.2023.1284527>
- SAG. (2025). *Aplicabilidad de Resolución N° 1.523/2001 en material de propagación desarrollado por nuevas técnicas de fitomejoramiento*. Retrieved 16/03/2025 from
<https://www.sag.gob.cl/ambitos-de-accion/aplicabilidad-de-resolucion-ndeg-15232001-en-material-de-propagacion-desarrollado-por-nuevas-tecnicas-de-fitomejoramiento>
- Salas, S. P. (2022). Edición genética humana: análisis de algunos desafíos éticos [10.1016/j.rmclc.2022.03.004]. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 33(2), 140-147.
<https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2022.03.004>
- Sánchez, M. A. (2020). Chile as a key enabler country for global plant breeding, agricultural innovation, and biotechnology. *GM Crops & Food*, 11(3), 130-139.
<https://doi.org/10.1080/21645698.2020.1761757>
- Tridge. (2023). *Uva fresca*. Retrieved 25/03/2024 from
<https://www.tridge.com/es/intelligences/grape>
- van de Wiel, C. C. M., Schaart, J. G., Lotz, L. A. P., & Smulders, M. J. M. (2018). Correction to: New traits in crops produced by genome editing techniques based on deletions. *Plant Biotechnology Reports*, 12(5), 375-375. <https://doi.org/10.1007/s11816-018-0498-3>
- van der Oost, J., & Patinios, C. (2023). The genome editing revolution. *Trends in Biotechnology*, 41(3), 396-409. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.12.022>
- Vasudevan, S. N., Pooja, S. K., Raju, T. J., & Damini, C. S. (2023). Cisgenics and intragenics: boon or bane for crop improvement [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1275145.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1275145>
- Zaman, Q. U., Raza, A., Lozano-Juste, J., Chao, L., Jones, M. G. K., Wang, H.-F., & Varshney, R. K. (2023). Engineering plants using diverse CRISPR-associated proteins and deregulation

of genome-edited crops. *Trends in Biotechnology*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2023.10.007>

Zhou, J., Peng, Z., Long, J., Sosso, D., Liu, B., Eom, J.-S., Huang, S., Liu, S., Vera Cruz, C., Frommer, W. B., White, F. F., & Yang, B. (2015). Gene targeting by the TAL effector PthXo2 reveals cryptic resistance gene for bacterial blight of rice. *The Plant Journal*, 82(4), 632-643. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/tpj.12838>

VII. APÉNDICE

A.1 Consentimiento informado



CÓDIGO

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Usted ha sido invitado(a) a participar en el estudio "ANÁLISIS SOBRE LAS NUEVAS TÉCNICAS DE SELECCIÓN GENÉTICA VEGETAL Y PROYECTOS RELACIONADOS, EN CHILE", que se enmarca en un Proyecto de Tesis para la obtención del título de Licenciado en Ingeniería en Biotecnología Vegetal del tesista Sr. Rodrigo Barraza, guiado por los docentes Dr. Rodrigo Hasbún y Dra. Adriana Ribeiro Alves, como ambos adscritos a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Concepción.

OBJETIVO DEL ESTUDIO:

El objetivo de esta investigación será Evaluar el estado de los proyectos I+D+i+E relacionados con las NBTs en Chile a través de un catastro y clasificación de estos, mediante la ley de transparencia y repositorios públicos de CORFO (Data Innovación), ANID y FIA.

Para cumplir con este objetivo se realizará una entrevista semi-estructurada, que buscará:

1. Contrastar las perspectivas de los principales organismos públicos y privados asociados a la obtención de nuevas variedades vegetales en Chile.
2. Identificar los riesgos que revisten determinadas prácticas para el uso en la obtención de nuevas variedades vegetales realizadas por pequeños agricultores y
3. Construir un protocolo de manejo de riesgos que serán identificados o identificables.

PARTICIPACIÓN:

Esta invitación consiste en que acceda a participar de una entrevista semi-estructurada que busca reunir información suficiente para realizar análisis y presentar conclusiones del estudio en el marco del Proyecto de Tesis antes indicado.

El tiempo que Ud. tomará para responder será de aproximadamente 20 minutos. Si estima Ud. que no debe o no corresponde responder a una de las preguntas, esta decisión no interrumpe en definitiva su participación, es decir, podrá continuar con la próxima pregunta.

Su participación en este estudio es totalmente libre y voluntaria. Usted tiene el derecho a no aceptar participar y retirarse del estudio en el momento que estime conveniente. Al hacerlo, no pierde ningún derecho, ni habrá sanción. Si retira su consentimiento, sus datos serán eliminados y la información obtenida no será utilizada en la investigación propuesta en el Proyecto de Tesis.

POSIBLES BENEFICIOS:

Su participación en este estudio ayudará a acceder a información para conocer y construir un protocolo permita realizar un análisis de riesgo asociado a la obtención de nuevas variedades vegetales.

POSIBLES RIESGOS:

Si bien la entrevista busca identificar riesgos inherentes al uso y prácticas agrícolas no adecuadas que puede ser de su conocimiento para la obtención y uso de estas nuevas variedades vegetales, el acceso a la información entregada será restringido al equipo de investigación (docentes y tesista). Esta información será custodiada por la Investigadora Responsable y será eliminada al finalizar el estudio.

Toda la información recopilada será tratada de manera completamente CONFIDENCIAL y anonimizada mediante uso de códigos para proteger su identidad y en base de datos de acceso restringido.

Esta información será de uso exclusivo en el marco del Proyecto de Tesis.



Participar de esta entrevista no conlleva riesgos identificables para usted, sin embargo si se siente incómodo(a) mientras responde, podrá dejar el estudio en cualquier momento, sin necesidad de dar ningún tipo de explicación.

COSTOS:

Su participación no tendrá costo alguno para Ud. Así también, no habrá compensación económica por participar.

PUBLICACIÓN:

Los resultados de este estudio pueden ser publicados, pero su identidad y datos personales serán mantenidos en forma confidencial. Además, tendrá Ud. el derecho a conocer los resultados del estudio, en la ceremonia de defensa de la tesis o posteriormente, en contacto directo con el tesista.

Por último, en caso de cualquier consulta o de requerir alguna información con respecto a la investigación, puede contactarse mediante correo electrónico con la Dra. Adriana Ribeiro Alves, al correo adribeiro@udec.cl o con el tesista Sr. Rodrigo Barraza, al correo electrónico robarraza@udec.cl.

Desde ya agradecemos su participación.

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO

Declaro que he leído y comprendido toda la información que me ha sido entregada en este documento. Estoy de acuerdo con los términos presentados acerca de mi participación LIBRE Y VOLUNTARIA en la investigación "ANÁLISIS SOBRE LAS NUEVAS TÉCNICAS DE SELECCIÓN GENÉTICA VEGETAL Y PROYECTOS RELACIONADOS, EN CHILE".

Entiendo que, en cualquier momento de mi participación, puedo realizar preguntas adicionales a los responsables por esta la investigación. A su vez, comprendo que tengo el derecho de retirarme de la misma, en el momento que estime, sin que haya consecuencias negativas para mí.

En atención a estas consideraciones, LIBREMENTE marque lo que corresponda a su VOLUNTAD:

Yo ACEPTO participar

Yo NO ACEPTO participar

Firma Participante

Firma Tesista

Firma Profesora Guía

Firma Director/
Ministro de Fe