



Odepa | Oficina de Estudios y Políticas Agrarias



Estudio

Fertilización sostenible y Gestión Integral de Nutrientes

Desarrollado por



Jefe de Proyecto: Marcelo Villena, PhD

Diciembre 2022

Fertilización sostenible y Gestión Integral de Nutrientes

Diciembre 2022

Publicación de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias del Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile

Andrea García Lizama

Directora Nacional y representante Legal

En la elaboración de esta publicación

participaron: Marcelo Villena, PhD (Jefe de Proyecto)

Claudia Pabón Pereira, PhD

Alejandra Mora, PhD

Horacio López, MSc

Contraparte Técnica:

Daniela Acuña

María José Pizarro

Gabriel Cartés Sánchez

Marcelo Muñoz Villagran

Jaime Giacomozzi Carrasco

El presente estudio se puede reproducir total o parcialmente, citando la fuente. Esta investigación fue encargada por la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA – por lo cual los comentarios y conclusiones emitidas en este documento no representan necesariamente la opinión de la institución contratante.

Resumen Ejecutivo

La agricultura chilena presenta desafíos de adaptación a los nuevos escenarios en materia ambiental y económica, uno de los más importantes es llevar la circularidad a los distintos sectores productivos del país. En el agro esto se traduce en implementar la agricultura regenerativa y ecológica adaptándola al entorno chileno. La política de fertilización en Chile debe responder a este desafío considerando la diversidad de su estructura productiva y su territorio y las implicaciones económicas y sociales de las intervenciones. El presente documento se constituye en un primer esfuerzo, que busca: 1. Caracterizar la agricultura chilena y sus prácticas de fertilización, 2. Revisar la experiencia internacional relevante en materia de política pública en agricultura sostenible, 3. Sintetizar los dos aspectos anteriores con una tipología de productores para los cuales se realiza un análisis económico de posibles intervenciones a nivel de prácticas de fertilización, 4. Elaborar propuestas de política pública basadas en todo lo anterior.

Considerando el gran impacto social de la agricultura como segundo pilar de la economía chilena, parte importante de su identidad y sustento de miles de familias, la política de fertilización sostenible y gestión integral de nutrientes es pilar fundamental para enfrentar con éxito el cambio climático y la volatilidad de precios internacionales. El análisis realizado muestra la particularidad de prácticas agrícolas sostenibles para cada tipo de productor (i.e. cereales, frutales, praderas ganaderas y horticultura), y las implicaciones económicas y ambientales de reemplazar con dichas prácticas las prácticas convencionales. Se encuentra a partir de dicho análisis la viabilidad de emprender este camino de la mano de políticas públicas que subsidien la transición acelerando su implementación. Para esto se plantean 10 acciones programáticas a saber:

Acción 1. Desarrollar un Programa de asistencia técnica de buenas prácticas de agricultura regenerativa, que utilice los recursos y mecanismos ya existentes del ministerio.

Acción 2. Desarrollar un Programa/taller de buenas prácticas de agricultura regenerativa, apoyado por instituciones de educación universitaria y profesional.

Acción 3. Implementación de un Programa que desarrolle pilotos locales, de manera de poder contar con una instancia experimental-demostrativa de los beneficios y desafíos de la agricultura regenerativa en las distintas comunidades agrícolas del país.

Acción 4. Implementación de un Programa de asistencia técnica y financiera para el desarrollo de prácticas de manejo/acceso al estiércol (sin digestor), lo que resultará en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Acción 5. Implementación de un Programa de asistencia técnica y financiera para el desarrollo de prácticas de pastoreo.

Acción 6. Implementación de un Programa de asistencia técnica y financiera para mejorar las rotaciones de cultivos, y el manejo de cultivos de cobertura.

Acción 7. Implementación de un Programa de asistencia técnica y financiera para el desarrollo de actividades de manejo de nutrientes y plagas.

Acción 8. Implementación de un Programa de certificación de productos generados con prácticas de agricultura regenerativa.

Acción 9. Implementación de un Programa de catastro/diagnóstico de las principales características del suelo y prácticas agrícolas de las principales comunidades agrícolas del país.

Acción 10. Implementación de un Programa que mejore la gestión de residuos para reutilizarlos como insumos para granjas o cadenas de suministro, y reducir así los efectos ambientales negativos impactos en el suelo, el aire y el agua.

Índice General

1. Introducción	12
2. Perspectiva Global de la Fertilidad Agrícola	13
2.1 Motivación para un nuevo manejo de la fertilidad en la agricultura	13
2.1.1 Suelos degradados	13
2.1.2 Pérdida de nutrientes	14
2.1.3 Contribución de la fertilización convencional al efecto invernadero	15
2.1.4 Altos costos de los fertilizantes convencionales	15
2.2 Hacia una fertilidad sostenible	16
3. Prácticas para el manejo de la fertilidad en la agricultura	21
3.1 Fertilización sostenible desde el enfoque convencional	21
3.2. Fertilización sostenible desde el enfoque integrado o sistémico	25
4. Políticas internacionales de agricultura sostenible	34
4.1 Unión Europea - From Farm to Fork Strategy	34
4.2 El caso de Francia	40
4.3 Las políticas para la agricultura sostenible en Estados Unidos (EEUU)	44
4.4 El caso de Colombia	53
5. Situación de la agricultura chilena	64
5.1 Principales suelos de Chile y zonificación de la producción agropecuaria	67
5.1 Fertilización y rendimientos para los principales sistemas agrícolas en Chile	73
5.2 Problemática de la agricultura chilena en relación con la fertilización	80
5.3 Panorama institucional y políticas agrícolas de fertilización	129
5.4 Complemento al diagnóstico a partir de las entrevistas a expertos chilenos	142
6. Modelamiento de escenarios de política pública para la fertilización sostenible en Chile	155
6.1 Marco conceptual para el modelamiento de la fertilización	155
6.2 Cálculos y supuestos para el modelamiento de la fertilización	158
6.3 Escenarios modelados	164
6.4 Resultados del Modelamiento	166
7. Propuestas de política para la fertilización sostenible en Chile	170
7.1 Diferentes formas de apoyo a la agricultura	171
7.2 Políticas de fertilización sustentable para Chile	172
7.3 Tipología de cultivos y la política pública de fertilización sostenible en Chile	176
7.4 Propuestas transversales de política pública para la fertilización sostenible en Chile	181
8. Referencias bibliográficas	186
ANEXO 1 . ENTREVISTAS	193

ANEXO 2 FLUJOS DE CAJA DE LOS ESCENARIOS MODELADOS	214
ANEXO 3 – Dípticos Agricultura Regenerativa	¡Error! Marcador no definido.

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Principales problemas de degradación de los suelos	14
Tabla 2.2. Criterios de calidad del suelo que determinan su fertilidad	18
Tabla 2.3. Indicadores de desempeño sostenible de la fertilización	21
Tabla 3.1. Principales tipos de agricultura sostenible, sus conceptos y prácticas asociadas	26
Tabla 3.2. Principales prácticas en la agricultura sostenible en relación a sus objetivos.	28
Tabla 4.1 Ejes de intervención y acciones de la Estrategia “Producir de otro modo”	42
Tabla 4.2. Programas específicos para mejorar la salud del suelo en California	48
Tabla 4.3. Principales programas e iniciativas para el mejoramiento de los suelos y su fertilidad en la agricultura administrados por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	50
Tabla 4.4. Análisis comparativo de políticas internacionales	59
Tabla 5.1. Número y superficie total de Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs) y Unidades de Autoconsumo a nivel nacional, según uso del suelo, para el año agrícola de referencia 2020 – 2021	65
Tabla 5.2. Consumo de fertilizantes en Chile por tipo de cultivo (Período 2014-2015).	66
Tabla 5.3 Superficie y participación según su capacidad de uso (En Universidad de Chile, 2018)	68
Tabla 5.4 Principales usos de suelo agrícola en Chile y zona de producción	73
Tabla 5.5. Síntesis de la producción y fertilización de las praderas mejoradas	74
Tabla 5.6. Síntesis de la producción y fertilización de los cereales en Chile	76
Tabla 5.7 Síntesis de la producción y fertilización de los frutales en Chile	78
Tabla 5.8. Síntesis de la producción y fertilización de las principales hortalizas en Chile	80
Tabla 5.9. Montos transados en exportaciones e importaciones de fertilizantes, período 2010-2021	82

Tabla 5.10. Costos de establecimiento y fertilización y rendimiento de las especies seleccionadas	83
Tabla 5.11. Barreras y facilitadores para que el agricultor adopte prácticas sostenibles	103
Tabla 5.12. Emisiones de Óxido Nitroso en distintos sistemas agrícolas	110
Tabla 5.13. Precipitación y percolación de Nitrógeno y Potasio durante cultivo de trigo en Valdivia en 1993	117
Tabla 5.14. Resumen de datos de pérdidas por fertilización en cultivos de trigo en Chile	118
Tabla 5.15. Resumen de datos de pérdidas por fertilización en cultivos de cereza en Chile	120
Tabla 5.16. Resumen de datos de pérdidas por fertilización en cultivos de lechuga en Chile	122
Tabla 5.17. Pérdidas de nitrógeno por emisiones de amonio y lixiviación en praderas mejoradas del sur de Chile	123
Tabla 5.18. Resumen de datos de pérdidas de nutrientes al ambiente en praderas mejoradas en Chile	124
Tabla 5.19. Resumen de normativas chilenas relacionadas con la fertilización	130
Tabla 5.20. Resumen de normas y leyes sobre la fertilización vigentes	134
Tabla 5.21. Iniciativas privadas presentadas al FIA en el ámbito de la fertilización	138
Tabla 5.22. Resumen de entrevistas a actores relevantes en tecnologías de agricultura sostenible	143
Tabla 6.1. Eficiencia de la fertilización Nitrogenada	159
Tabla 6.2. Capacidad de retención inicial de P (CP) en distintos grupos de suelos	159
Tabla 6.3. Eficiencia de la aplicación de K	160
Tabla 6.4. Eficiencia de la recuperación del nutriente según sistema de riego	160
Tabla 6.5. Solubilidad y fertilizantes más utilizados en agricultura	160
Tabla 7.1. Tipología de cultivos y desafíos de la fertilización sustentable	176
Tabla 7.2. Propuestas de política pública según tipología de productores en Chile	178
Tabla 7.3. Propuestas transversales de política para la fertilización sostenible	182

Índice de Figuras

Figura 2.1. Congruencia entre los tres pilares de la sostenibilidad, i.e. personas, ambiente y utilidad (People, Planet, Profit) y la salud del suelo como objetivo principal.	20
Figura 3.1. Evolución de la cobertura de suelo a través de año en el predio CET desde 1993 al 2013	31
Figura 4.1 Elementos que considera la estrategia From Farm to Fork.	35
Figura 4.2 Metas de la estrategia 4 por mil.	42
Figura 4.3. Metas del Pacto por la Sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo	58
Figura 5.1. Composición de categoría de cultivo según superficie en hectáreas para el año agrícola	64
Figura 5.2. Número de Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs) a nivel nacional según su actividad principal asociada para el año agrícola de referencia 2020 – 2022.	65
Figura 5.3 Evolución en el uso agrícola de fertilizantes en Chile. Fuente: MMA, 2020.	66
Figura 5.4. Superficie (ha) de uso agrícola por regiones y su evolución en tres décadas.	69
Figura 5.5. Distribución regional de forrajeras y praderas entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía.	69
Figura 5.6. Distribución regional de los cultivos anuales entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía.	70
Figura 5.7. Distribución regional de los frutales entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía	71
Figura 5.8. Distribución regional de hortalizas entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía.	72
Figura 5.9. Distribución regional del consumo de fertilizantes en Chile.	73
Figura 5.10. Número de personas productoras según sexo a nivel nacional y tramos de edad 2020/2021.	90
Figura 5.11. Número de personas productoras a nivel nacional según tramos de edad, 2020/2021	91
Figura 5.12 Superficie promedio (ha) de Unidades Productivas Agropecuarias a nivel regional, 2020/2021	92

Figura 5.13 Superficie promedio (ha) de Unidades de Autoconsumo (UAC) a nivel regional,2020/2021	93
Figura 5.14 Superficie (ha) y número de Unidades de Autoconsumo (UAC) a nivel regional 2020/2021	94
Figura 5.15 Distribución Ruralidad Regional en el País	95
Figura 5.16. Distribución Población Regional en el País	96
Figura 5.17 Distribución Superficie regional	97
Figura 5.18. Distribución población rural a nivel regional	98
Figura 5.19 Número de trabajadores permanentes a nivel regional según sexo y tramos de edad 2020/2021.	99
Figura 5.20. Número de trabajadores temporales a nivel regional según sexo y tramos de edad, 2020/2021	100
Figura 5.21. Número de personas productoras naturales según sexo y tipo de tenencia de la tierra a nivel nacional 2020/2021.	101
Figura 5.22 Número de personas productoras naturales propietarias exclusivas según sexo y a nivel nacional, 2020-2021	101
Figura 5.23 Número de personas productoras naturales con otros modos de tenencia según sexo y a nivel nacional, 2020/2021.	102
Figura 5.24. Emisiones de GEI por la agricultura en Chile 2018	107
Figura 5.25. Sumideros de GEI relacionados con el uso de la tierra en Chile 2018	108
Figura 5.26. Formación de Óxido Nitroso durante la nitrificación y desnitrificación	109
Figura 5.27. Relación hipotética entre el fósforo en el suelo y diversos servicios ecosistémicos	114
Figura 5.28. Hectáreas bajo microirrigación (arriba) y riego mecanizado (abajo)	117
Figura. 5.29. Principios para la Agricultura sostenible	138
Figura 6.1. Producción de un cultivo en función de las variables que lo afectan	154
Figura 6.2. La brecha de rendimiento en función del rendimiento explotable	155

Figura 6.3. Niveles de agregación posibles para el modelamiento de la relación entre salud del suelo y la provisión de los servicios ecosistémicos	155
Figura 6.4. Marco conceptual adoptado para el presente estudio	156
Figura 6.5. Esquema base del modelamiento a realizar	157
Figura 6.6. Emisiones de Óxido Nitroso en relación con el exceso de fertilización nitrogenada	164
Figura 6.7. Relación hipotética entre el fósforo en el suelo y diversos servicios ecosistémicos	165
Figura 6.8 a y b Evaluación de distintos escenarios para el Trigo en Chile	167
Figura 6.9 a y b Evaluación de distintos escenarios para el Cerezo en Chile	168
Figura 6.10 a y b Evaluación de distintos escenarios para la lechuga en Chile	170

1. Introducción

Una de las preguntas más importantes que enfrenta hoy en día el sector agropecuario es cómo viabilizar la alimentación de la creciente población mundial de manera sostenible. Si bien la especialización e intensificación de la agricultura convencional ha tenido logros importantes en cuanto al aumento de rendimientos productivos y económicos, también ha resultado en costos para el medio ambiente como son la contaminación del aire y agua, destrucción del suelo, erosión, pérdida de la biodiversidad, emisión de gases de efecto invernadero (GEI), entre otros. En este sentido, el desafío actual de la agricultura ya no es el aumento en la eficiencia de la producción en sí, sino que la optimización del uso de los recursos, pasando así de la lógica lineal de la producción a la circularidad.

El concepto de circularidad apunta a reducir el consumo de recursos y las emisiones al medio ambiente. En esta línea, la transformación hacia una producción circular de alimentos implica encontrar prácticas y tecnologías que minimicen el uso de recursos finitos, promuevan el uso de recursos regenerativos, impidan la pérdida de recursos naturales (por ejemplo, carbono, nitrógeno, fósforo y agua) y estimulen la reutilización y reciclaje de los recursos que inevitablemente se pierdan del sistema. De esta manera, debemos examinar el sistema de producción completo y preguntarnos ¿Cómo se generan los recursos? ¿Cómo se manejan las emisiones? ¿Cuáles son las mejores maneras de integrar los sistemas agrícolas y pecuarios?

Especialmente en lo que se refiere al ciclo de nutrientes, el sector agropecuario chileno debe avanzar hacia la incorporación de prácticas de manejo integrado, no solo para prevenir los efectos adversos de la fertilización inorgánica al medio ambiente, sino que también para restaurar aquellos sistemas degradados. Al respecto, se estima que un 33% de los suelos del planeta se encuentran degradados por la erosión, el agotamiento de nutrientes, acidificación, la salinización, la compactación y la contaminación química, lo cual afecta a los medios de vida, los servicios ecosistémicos, la seguridad alimentaria y el bienestar humano. Por otra parte, un mejor aprovechamiento de los recursos es importante para disminuir la dependencia de nutrientes importados que se ven fuertemente afectados por el contexto geopolítico y cuyas fluctuaciones en el mercado pueden afectar la seguridad y soberanía alimentaria nacional.

En este estudio se desarrollará un análisis de la sostenibilidad de los sistemas de fertilización agrícola chilenos para proponer políticas públicas que promuevan medidas para mejorar la sostenibilidad de la fertilización. De igual forma, se entrega una visión de la gestión integral de nutrientes en los sistemas productivos chilenos, la que considera una valoración de los costos y beneficios económicos, sociales y ambientales de las implicancias de mercado y las potenciales externalidades positivas de introducir prácticas verdes de fertilización de nuestros campos. Desde este punto de vista, el estudio propuesto implica el análisis de indicadores que integran el impacto económico y ambiental de las políticas actuales en Chile y el mundo.

2. Perspectiva Global de la Fertilidad Agrícola

2.1 Motivación para un nuevo manejo de la fertilidad en la agricultura

El aumento acelerado de la población y la creciente demanda por alimentos constituyen una gran presión sobre los sistemas agrícolas que, frente a una cada vez más limitada superficie cultivable, deben aumentar la producción y reducir las pérdidas para satisfacer las necesidades de las personas.

La producción agrícola depende en gran parte de la calidad del horizonte superficial del suelo, por lo que su cuidado y buen manejo es vital para la seguridad alimentaria del futuro. La agricultura en la actualidad se enfrenta al gran desafío de ajustar sus prácticas para mantener los suelos sanos y fértiles, y también recuperar aquellos suelos que estén degradados. Asimismo, la aplicación de fertilizantes debe abordar los efectos nocivos de las pérdidas de nutrientes al medio ambiente, incluyendo sus efectos en la contribución a los gases con efecto invernadero (GEI), como también la fuerte dependencia a las fluctuaciones en los costos internacionales de los insumos.

2.1.1 Suelos degradados

A nivel mundial, los sistemas de agricultura tradicional en las últimas décadas han sometido a los suelos a un estrés crónico que ha llevado a la pérdida de cerca de un 30% de la capa arable y a la desertificación de más de la mitad de la superficie del planeta. La degradación de los suelos se entiende como la pérdida y/o desequilibrio de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que limita la capacidad del suelo para brindar sus servicios ecosistémicos, incluyendo la productividad agropecuaria.

Hace ya 20 años se estimaba que casi 2 mil millones de hectáreas de recursos de suelo en el mundo (cerca del 22% del total de tierras de cultivo, pastos y bosques) habían sufrido algún tipo de degradación, con lo cual alrededor del 12-13% del suministro agrícola mundial se había perdido (Jie et al 2002). Si bien antiguamente estos problemas podían restringirse a situaciones particulares, actualmente el crecimiento de la población y un mundo fuertemente globalizado hacen que la degradación del suelo ya no sea un problema local y en consecuencia sus efectos negativos afectan el bienestar de al menos 3,200 millones de personas (IBPES, 2018). Se estima que para 2050 la degradación del suelo afectará al 90 % de los suelos del planeta, lo que significa que casi todos los ecosistemas y poblaciones se verán directamente perjudicados (FAO y ITPS, 2015).

La degradación de los suelos no solamente tiene un impacto sobre la seguridad alimentaria y en consecuencia en la estabilidad política y la resiliencia de las sociedades, sino que también está asociada con problemas externos de sedimentación, cambio climático, adaptación a los fenómenos meteorológicos extremos, funciones de las cuencas hidrográficas y cambios en los hábitats naturales que conducen a la pérdida de la biodiversidad. Por lo tanto, es fundamental combatir la degradación del suelo en diferentes

niveles y escalas a nivel mundial, no solo para la seguridad alimentaria y la salud ecológica, sino también para la garantía del desarrollo sostenible global (Jie et al, 2002).

Los procesos de degradación de los suelos ocurren por causas variadas siendo algunas de tipo permanente como el desarrollo y expansión de las zonas urbanas, las actividades extractivas, o la contaminación con metales pesados.

Por otra parte, en la agricultura, la combinación entre las características propias del suelo (material parental, textura, estructura, profundidad, pendiente, etc.), la cantidad e intensidad de lluvias y la adopción de malas prácticas por parte de los agricultores también puede llevar a procesos severos de degradación. En ese sentido, la peor agricultura es aquella que no favorece la acumulación de materia orgánica, y que incluye prácticas tales como labranza tradicional, inversión del suelo con maquinaria pesada, monocultivo, quema de rastrojo, uso excesivo de fertilizantes, etc. Los suelos degradados pierden las propiedades de regular los ciclos (agua, carbono, nitrógeno, fósforo, etc) y reduce su capacidad como fuente de nutrientes para las plantas. La degradación del suelo puede ser física, química o biológica (Tabla 2.1)

Tabla 2.1. Principales problemas de degradación de los suelos

Tipo de degradación	Sub-tipo de degradación
Física	Erosión Compactación y encostramiento Subsidencia Anegamiento
Química	Exceso y/o falta de nutrientes Acidificación/ Alcalinización Salinización Polución (metales pesados, pesticidas, desechos industriales)
Biológica	Pérdida de materia orgánica Pérdida de biodiversidad

Fuente: Universidad de Chile, 2018. Estado del Medio Ambiente en Chile, Informe País, Principales problemas de degradación de los Suelos

2.1.2 Pérdida de nutrientes

La aplicación de fertilizantes en el campo trae consigo riesgos relativos a su intrusión en el ambiente como resultados de un mal manejo en la aplicación ya sea por desconocimiento o por descuido de parte de quienes fertilizan el campo. Las pérdidas que se producen durante la fertilización, producen numerosos efectos perjudiciales en el ambiente.

Entre los efectos nocivos del exceso de nitrógeno (N) ambiental están la acidificación de los suelos y los recursos hídricos, la eutrofización de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad en ecosistemas terrestres y acuáticos, la invasión de malas hierbas o malezas, el aumento de gases de efecto invernadero debido a las emisiones de óxido nitroso (N₂O), el agotamiento del ozono estratosférico (debido a la presencia de óxidos de nitrógeno (NO, NO₂), el aumento del daño inducido por el ozono troposférico a los cultivos, bosques y otros ecosistemas, el aumento de neblina atmosférica y la producción de partículas suspendidas en el aire que contienen nitrógeno.

En el caso del fósforo, un nutriente fundamental para el desarrollo de los frutos en las plantas, sus impactos están principalmente dados por la aceleración del proceso de eutrofización en los cuerpos de agua dado que por lo general este es el nutriente limitante para el crecimiento de las algas. Las fuentes principales de este nutriente en el ambiente son la lixiviación de la producción agrícola y la mala disposición final de subproductos como los estiércoles.

Vale la pena resaltar que la problemática ambiental con respecto al uso de fertilizantes va más allá de la contaminación que produce su aplicación indiscriminada, pues incluye también problemas de escasez, como en el caso del fósforo que se prevé a fin de este siglo no esté disponible en su forma actual de explotación como roca fosfórica, y de emisiones asociadas a su producción, por ejemplo la producción de N mineral sintético está asociada a altas emisiones de GEI debido al uso de energía en su proceso de producción, la cual es generalmente de origen fósil.

2.1.3 Contribución de la fertilización convencional al efecto invernadero

En las actividades agrícolas, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son los relacionados con los ciclos globales de C y N. El impacto de la agricultura en las emisiones de GEI se ha convertido en un tema clave, pues actúa como emisor, pero también potencialmente como sumidero de emisiones. A nivel mundial, la agricultura es responsable de un séptimo de las emisiones totales de GEI, derivado de la producción ganadera y de la fertilización nitrogenada.

2.1.4 Altos costos de los fertilizantes convencionales

Debido a que ya se constata que la producción agrícola está siendo impactada por el incremento de los precios de los fertilizantes y la menor reserva de estos, se debe analizar la disponibilidad exportable de fertilizantes y la dependencia de las importaciones en relación con la superficie de los terrenos agrícolas. Se observa que existe una alta dependencia de las importaciones por hectárea en el caso de los países que son importadores netos de fertilizantes, con lo cual quedan vulnerables a riesgos latentes, los que se potencian en escenarios de incertidumbre internacional, y que llevan al incremento sostenido de los precios de los fertilizantes y a la contracción de su disponibilidad.

Por otra parte, el incremento y la volatilidad de los precios de la energía registrados en los últimos períodos ha condicionado la oferta de fertilizantes, dado que estos (en especial el gas natural) son insumos claves que intervienen en la producción de fertilizantes a base de nitrógeno. Uno de los factores significativos que intervinieron en las alteraciones de producción de la energía renovable y carbón, y que implican el alza de precio del gas natural el 2021, fueron las condiciones meteorológicas.

Las interrupciones del suministro de energía y los elevados costos de transporte acarreados por la imposición de restricciones a la exportación, así como a las fuertes subidas de los fletes a granel y de contenedores que se produjeron a causa de la pandemia de la COVID-19, también contribuyeron a ejercer presiones añadidas al incremento de los precios de los fertilizantes.

El incremento de los precios de los fertilizantes y de otros productos que requieren un uso intensivo de energía debido a la inestabilidad político-económica mundial, llevaría a que los precios de los insumos en general sufren una expansión significativa. Con ello, los precios más altos de esos insumos se traducirán primero en unos costos de producción más elevados y, a la larga, en una subida de los precios de los alimentos. Los impactos subyacentes podrían llevar a una contracción del nivel de insumos utilizados, lo que disminuiría los rendimientos y la calidad (por ejemplo, los niveles de proteínas del trigo para harina) de la cosecha 2022/23 y pondría aún en mayor riesgo los precios internacionales de los alimentos y la seguridad alimentaria y nutricional mundial en 2023 y los próximos años.

Estos vaivenes también han tenido un impacto en el precio del dólar, que ha presionado a la devaluación de las monedas de distintas economías que son fuertemente dependientes de la moneda estadounidense. Junto con las presiones internas, la volatilidad de la divisa, con una probable tendencia al alza en los próximos meses, solo contribuirá a la expansión de los precios de los fertilizantes importados. La producción nacional de fertilizantes igual sería afectada, al incrementarse los precios de los insumos importados.

2.2 Hacia una fertilidad sostenible

2.2.1 El concepto de fertilidad agrícola

En las ciencias agronómicas el concepto de fertilidad tiene un número infinito de definiciones y puntos de vista, por esto algunos investigadores sugieren abandonar el concepto mientras que otros prefieren abordarlo desde dos conceptos más concretos: la fertilidad del suelo y la calidad del suelo (Patel et al 2000). La *fertilidad del suelo* estaría asociada a cualidades de la disposición del suelo para fundamentalmente obtener altos rendimientos, y que éstas serían posibles de definir, mientras que la *calidad del suelo* sería un concepto más amplio, indefinido e intercambiable, y asociado con las características físicas, químicas y biológicas necesarias para obtener un determinado objetivo del suelo que ha sido socialmente definido. La *fertilidad del suelo* sería entonces un concepto más concreto que el de la calidad de suelos y con un enfoque más agronómico.

La *fertilidad del suelo* dista de ser solo la sumatoria de un conjunto de propiedades y más bien hace referencia a los procesos o fenómenos que permiten mantener su productividad. Así en el pasado y en su definición más convencional, la *fertilidad de los suelos* estaría asociada a su cualidad de ser una fuente de producción de nitrógeno y otros nutrientes necesarios para las plantas. Posteriormente, con el advenimiento de los fertilizantes químicos, la cantidad de nutrientes del suelo dio paso en importancia a otras propiedades físicas del suelo, como la capacidad de retener agua y de proporcionar calcio y cationes intercambiables para permitir la disponibilidad de los nutrientes en el momento adecuado para el crecimiento de las plantas.

Por otro lado, la *calidad del suelo* se definiría como la posibilidad del suelo de poder cumplir con determinadas funciones en un contexto específico a fin de poder soportar tanto la vida de plantas y animales, como contribuir a la calidad del aire, del agua, y promover la salud de los seres humanos y su hábitat. Dentro de las cualidades que definiría este estado del suelo se podrían incluir entonces tanto parámetros pedológicos medibles, como criterios de calidad no necesariamente agrícolas que variarán según las funciones directas e indirectas esperadas del suelo, como calidad ambiental, calidad y sanidad de los alimentos producidos.

Tanto si se estudia la agricultura desde una perspectiva de fertilidad o de calidad, está claro que el suelo es el elemento clave sobre el cual recae cualquiera de las aproximaciones.

2.2.2 El suelo como elemento clave de la fertilidad agrícola

El suelo es un recurso natural cuya composición varía según su origen y cuya formación - asociada a la interacción entre la matriz rocosa, el clima y la actividad biológica- toma millones de años, por lo que se le considera un recurso no renovable. El suelo es además un sistema abierto y su funcionamiento está determinado por la interacción entre sus subsistemas y los sistemas circundantes, reflejado en flujos de intercambio que están en constante evolución. Asimismo, el suelo cumple un papel fundamental en el equilibrio de los ecosistemas pues funciona como filtro y amortiguador al retener sustancias, proteger las aguas subterráneas y superficiales contra la penetración de agentes nocivos. Además, es clave en la transformación de compuestos orgánicos, descomponiéndolos o modificando su estructura de manera que se pueden mineralizar o convertir en compuestos más simples que puedan ser absorbidos por las plantas que sobre él crecen.

En este contexto, la fertilidad del suelo se puede definir como una propiedad emergente del sistema del suelo que proporciona las condiciones necesarias para sostener la vida vegetal. La fertilidad del suelo es la capacidad que tiene el terreno para sustentar el crecimiento de las plantas y optimizar el rendimiento de los cultivos. En respuesta al funcionamiento del sistema del suelo, la fertilidad surge en mayor o menor magnitud. La fertilidad se da de manera natural en muchos suelos que cuentan con las características clave para sostener un cultivo, tales como la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes, la disponibilidad de agentes vivos como microorganismos que faciliten el transporte y la mineralización de los nutrientes, entre otros (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Criterios de calidad del suelo que determinan su fertilidad

	Físicas	Químicas	Biológicas
Propiedades	<p>Profundidad suficiente para el crecimiento adecuado de las raíces y para la retención de humedad</p> <p>Buen drenaje interno, que permita suficiente aireación para el crecimiento óptimo de raíces</p>	<p>Habilidad de entregar nutrientes esenciales y agua en cantidades adecuadas para el crecimiento y reproducción de las plantas</p> <p>Ausencia de sustancias tóxicas que inhiben el crecimiento de las plantas</p> <p>pH en el rango 5.5-7.0 (algunas plantas toleran condiciones más ácidas o alcalinas)</p> <p>Concentraciones adecuadas de nutrientes esenciales en formas disponibles para las plantas</p>	<p>Horizonte superficial con suficiente materia orgánica para una adecuada estructura del suelo y retención de humedad</p> <p>Presencia de un rango de microorganismos que favorecen el crecimiento de las plantas</p>
Indicadores	<ul style="list-style-type: none"> ● suelos sueltos/ duros ● presencia de agregados ● presencia de raíces ● profundidad de raíces ● densidad aparente ● capacidad de infiltración ● cárcavas 	<ul style="list-style-type: none"> ● pH ● Contenido de nutrientes en la solución del suelo ● Presencia de plantas indicadoras ● Color de las hojas 	<ul style="list-style-type: none"> ● contenido de materia orgánica ● color ● presencia de cubierta vegetal ● presencia de lombrices y otros organismos

Fuente: Elaboración Propia

La manera en que las plantas perciben la magnitud de la fertilidad da como resultado su productividad. Esta concepción se aproxima entonces a la comprensión que se tiene donde las personas evalúan la fertilidad según lo que perciben respecto de la respuesta de las

plantas cuando son cultivadas en dicho suelo. Desde esta perspectiva sería posible evaluar la fertilidad del suelo sin importar si es manejado de manera convencional o bajo algún enfoque de agricultura sostenible (orgánica, labranza cero, regenerativo, u otro), puesto que la evolución de la productividad de las plantas en el tiempo sería un indicador objetivo de comparación. Sin embargo, esta definición no contempla los aspectos relacionados con la *sostenibilidad* y que tendrían que ser definidos en un contexto más amplio como se aborda a continuación.

2.2.3 La fertilidad agrícola en el contexto de la sostenibilidad

De acuerdo con la definición de la Sociedad Americana de Agronomía (ASA, 1989), una agricultura sostenible es aquella que, en el largo plazo, mejora la calidad ambiental y la base de recursos sobre la cual la agricultura depende, provee lo necesario para cubrir las necesidades de alimentación y fibra de la población, es viable económicamente, y promueve la calidad de vida de los agricultores y la sociedad como un todo.

Sin embargo, la producción de alimentos no siempre es sostenible pues trae consigo la intervención de los procesos naturales y en algunas ocasiones dichas intervenciones ocasionan la pérdida de la calidad ambiental y con esta la pérdida de los beneficios sociales y económicos que hacen parte de un sistema agrícola sostenible.

En el caso del suelo, la intervención tiene varias dimensiones; por un lado, se extraen nutrientes al cosechar los alimentos, pero también se simplifica la biodiversidad y se cambian sus propiedades físicas al momento de la siembra y cosecha. Por tanto, para lograr la sostenibilidad de un sistema agrícola desde la perspectiva de mantener la fertilidad del suelo es necesario que exista una adopción de prácticas que permitan mantenerla en el tiempo.

En este sentido, si bien la fertilidad del suelo sería la condición necesaria para la sostenibilidad, la calidad del suelo como concepto más amplio podría ser adoptada como parámetro de sostenibilidad, toda vez que incluye la capacidad del suelo de producir cultivos seguros y nutritivos de manera sostenida en el largo plazo, y mejorar la salud del ser humano y los animales, sin dañar la base productiva de recursos o dañar el medio ambiente.

Al considerar el suelo al centro de la sostenibilidad para los tres pilares fundamentales, i.e. personas, ambiente y utilidad (People, Planet, Profit) se puede identificar con facilidad como al cuidar su funcionamiento se pueden lograr los beneficios esperados de un sistema agrícola sostenible, tal y como lo identifican Schreefel et al (2022) al plantear su modelo integrado de agricultura regenerativa y sostenibilidad (ver Figura 2.1).

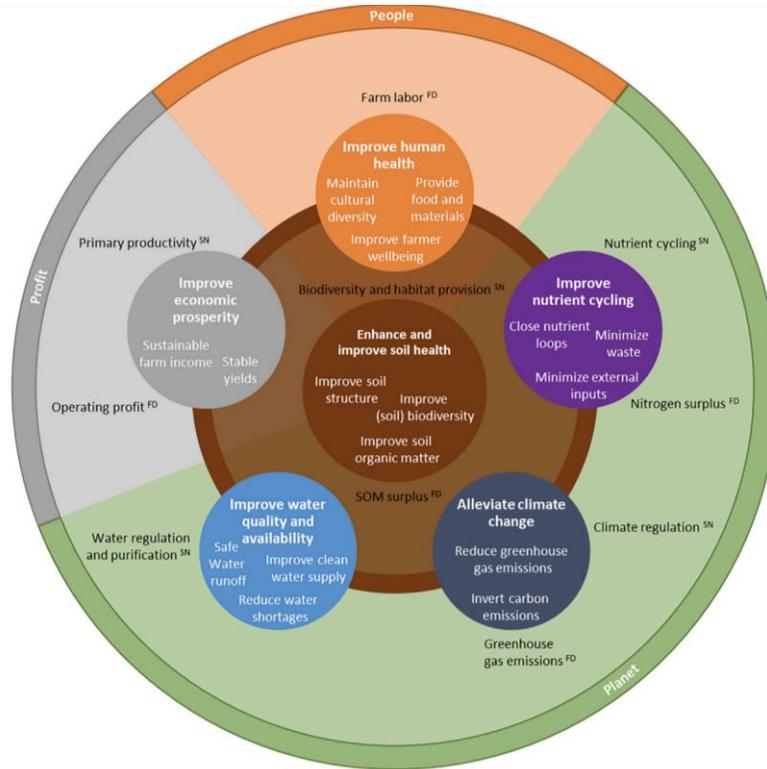


Figura 2.1. Congruencia entre los tres pilares de la sostenibilidad, i.e. personas, ambiente y utilidad (People, Planet, Profit) y la salud del suelo como objetivo principal. Fuente (Schreefel et al (2022))

Como se observa en la figura, al mantener la salud del suelo a través del cuidado de su estructura, biodiversidad y materia orgánica, se estarían garantizando sus funciones en términos de mantener el ciclo de nutrientes, mejorar la prosperidad económica, la calidad y disponibilidad de agua, la resiliencia frente al cambio climático, y la salud de las personas.

Bajo esta óptica de la sostenibilidad, la fertilidad del suelo, definida anteriormente como una propiedad emergente del sistema del suelo que proporciona las condiciones necesarias para sostener la vida vegetal haría parte de un objetivo más amplio, que es estaría vinculado al concepto de calidad del suelo o salud del suelo el cual, como se explicó anteriormente, aborda la multiplicidad de funciones que el suelo proporciona.

De acuerdo a lo anterior, los objetivos de una fertilización sostenible van más allá del ámbito productivo, e incluyen aspectos económicos, ambientales y sociales. Desde el punto de vista económico está el generar utilidades de manera estable, minimizando costos y procurando el retorno de la inversión, desde el punto de vista ambiental minimizar pérdidas o emisiones, minimizar la extracción y pérdidas de recursos, mantener la biodiversidad, y desde el punto de vista social, poder sostener la alimentación en acceso y precio, así como los ingresos de los agricultores y su calidad de vida, entre otros. La Tabla 2.3 muestra indicadores de desempeño por cada uno de estos criterios de sostenibilidad de acuerdo con el 4R Pocket Guide (nutrientstewardship.org).

Tabla 2.3 . Indicadores de desempeño sostenible de la fertilización

Indicadores Ambientales	Indicadores Económicos	Indicadores Sociales
<ul style="list-style-type: none"> ● Calidad del aire ● Calidad del agua ● Uso eficiente de recursos (energía, trabajo, nutrientes y agua) ● Biodiversidad ● Pérdida de nutrientes ● Erosión de suelos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Rendimiento ● Estabilidad de la producción ● Ganancia neta ● Retorno a la inversión ● Calidad del balance de nutrientes 	<ul style="list-style-type: none"> ● Acceso a alimentos ● Precio de los alimentos ● Servicios Ambientales ● Ganancia de la unidad de producción ● Condiciones de trabajo

Fuente: 4R Pocket Guide (nutrientstewardship.org)

3. Prácticas para el manejo de la fertilidad en la agricultura

3.1 Fertilización sostenible desde el enfoque convencional

La noción científica de la fertilidad de suelos tiene sus orígenes en 1840 cuando el químico alemán Justus von Liebig descubrió que las plantas se alimentan gracias al nitrógeno y al dióxido de carbono del aire en combinación con la actividad de los microorganismos y de los minerales del suelo. Fue también quien formuló la Ley del Mínimo que indica que el desarrollo de una planta se ve limitado por el mineral esencial relativamente más escaso, y cuyo concepto todavía es utilizado para determinar la aplicación de fertilizantes en la agricultura moderna. Desde la agricultura convencional, el enfoque de la fertilidad se plantea en gran medida como un reemplazo de los nutrientes que se extraen en la cosecha, el cual debe hacerse siguiendo pautas adecuadas que permitan maximizar rendimientos y minimizar pérdidas y costos.

En la fertilización convencional se debe atender las distintas necesidades de los cultivos de acuerdo con su ciclo vegetativo, donde normalmente en los estados iniciales se recomiendan altos contenidos de fósforo y nitrógeno, mientras que cerca de la cosecha el potasio es importante para el llenado de frutos y granos. El 4R Pocket Guide (nutrientstewardship.org), plantea 4 elementos de atención en la fertilización convencional, a saber: utilizar la fuente de fertilizante correcta, en la cantidad adecuada, en el periodo apropiado y en el lugar preciso. Para esto, en cada cultivo se debe elaborar un plan de fertilización que incluya el tipo de fertilizante más apropiado, la dosis de nutrientes que demanda el cultivo según su etapa de desarrollo, el momento de la aplicación justo y considerar la forma de incorporación. De estos factores, es probablemente la dosis la que recibe mayor atención, debido a que es relativamente fácil de calcular y tiene una relación directa con los costos. Por otra parte, el tipo de fertilizante, el momento y lugar de aplicación son casi siempre factores menos analizados y por lo tanto presentan una buena oportunidad

para introducir técnicas que mejoren el rendimiento. A continuación, se define en más detalle cada uno de éstos cuatro elementos:

- La **fuerza correcta de fertilizante** debe considerar que el nutriente aplicado esté disponible para las plantas o esté en una forma que se convierta oportunamente en disponible en el suelo. Además, debe adaptarse a las propiedades físicas y químicas del suelo, como por ejemplo evitar la aplicación de nitratos a suelos inundados o aplicaciones superficiales de urea en suelos de pH alto, etc. Por otra parte, debe considerarse la sinergia entre elementos y fuentes de nutrientes, como la interacción P-zinc, el aumento en la disponibilidad de P por disminución del pH en la nitrificación del amonio, etc. Por último, se debe tener cuidado con la compatibilidad de la mezcla, ya que ciertas combinaciones de fuentes atraen la humedad cuando se mezclan, el tamaño de los gránulos debe ser similar para evitar la segregación del producto, etc., reconocer los beneficios y sensibilidad a elementos asociados y controlar los efectos de elementos no nutritivos.
- Para establecer la **dosis adecuada** se debe evaluar la demanda de nutrientes de las plantas. El rendimiento estará directamente relacionado con la cantidad de nutrientes absorbidos por el cultivo hasta la madurez, por lo que se debe definir un objetivo de rendimiento alcanzable según el manejo óptimo de los cultivos. También se deberían usar métodos adecuados para evaluar el suministro de nutrientes del suelo, los que pueden incluir análisis de suelo, análisis foliar, experimentos de campo, etc. Como algunas pérdidas son inevitables, la dosis debe ser ajustada según la predicción de la eficiencia del uso de fertilizantes. En el cálculo de la dosis se deben evaluar todas las fuentes de nutrientes disponibles, como estiércol, compost, biosólidos, residuos de cultivos, deposición atmosférica y agua de riego, así como fertilizantes comerciales.
- El **momento de aplicación** debe igualar la demanda estacional de nutrientes del cultivo, la cual depende de la fecha de siembra, las características de crecimiento de la planta, la sensibilidad a las deficiencias en etapas particulares de crecimiento, etc. También se debe tomar en cuenta las dinámicas de suministro de nutrientes por parte del suelo, ya que la mineralización de la materia orgánica proporciona una gran cantidad de algunos nutrientes, pero no siempre están disponibles cuando el cultivo los necesita, así como también las pérdidas por lixiviación tienden a ser más frecuentes en primavera y otoño. Por último, deben coordinarse las aplicaciones de nutrientes con otras labores de campo.
- El **lugar correcto** significa aplicar estratégicamente los suministros de nutrientes a las plantas, de manera que se desarrollen adecuadamente alcanzando su rendimiento potencial. Este factor depende del crecimiento del sistema radicular, como también del espaciamiento entre plantas, sistemas de plantación, tecnologías de labranza, variabilidad climática, etc.

3.1.1 Buenas prácticas de la fertilización desde la perspectiva convencional

3.1.1.1 Buenas prácticas en análisis de suelos, foliares y balance nutricional

Para una buena fertilización es fundamental determinar el aporte que el suelo puede hacer a los cultivos. Idealmente el análisis de suelo debería realizarse al inicio de cada temporada; sin embargo, es posible efectuarlo cada tres años con buenos resultados; no obstante, anualmente debería al menos analizarse el nitrógeno residual ($N-NH_4 + N-NO_3$) para calcular el balance de N.

Un aspecto clave para el adecuado uso de análisis de suelo es el muestreo. Estadísticamente, a través de una muestra se estiman los parámetros de una población dada (huerto, cuarteles, volúmenes de suelo, etc.). Los parámetros de la población más conocidos son el promedio y la desviación estándar; por ejemplo, el promedio de fósforo disponible del suelo, el nivel de pH promedio del suelo, etc. El tamaño de una muestra (n) está determinado directamente por la variabilidad de la propiedad de interés; mientras más heterogénea sea ésta, mayor debe ser el tamaño de la muestra. Para la mayoría de las propiedades químicas del suelo, se requiere un tamaño de muestra mayor a 20, es decir, por ejemplo, si se desea estimar el nivel promedio de fósforo de un suelo cualquiera, se requerirían al menos 20 submuestras para hacer una muestra compuesta. Dicha muestra debe representar un máximo de 10 hectáreas. En términos de la profundidad de muestreo, para frutales y vides, la profundidad de diagnóstico es 30 cm, mientras que para cultivos la profundidad recomendada es 20 cm.

Antes de incorporar la fertilización mineral, la dosis de fertilización debiera hacerse mediante la elaboración de un balance nutricional completo, el cual depende en gran medida de otros antecedentes, tales como tipo de cultivo anterior y su fertilización, enmiendas orgánicas, incorporación de residuos, etc., además del clima y su influencia sobre la mineralización del nitrógeno (Villablanca y Villavicencio, 2010). En relación con esto, es importante considerar que el fósforo y el potasio permanecen en el suelo, mientras que el nitrógeno es un elemento móvil y, en caso de no ser absorbido, se pierde de un año a otro.

Asimismo, es importante realizar análisis foliares a tiempo. Por ejemplo, es inapropiado esperar el análisis foliar anual en enero-febrero para tomar decisiones, cuando ya ha pasado la floración y la cuaja, y nada más se puede hacer por ellas. La clave está en evaluar con frecuencia el agua de riego y el nivel nutricional de las hojas (Red Agrícola, 2022).

Por otra parte, modificar el tiempo y el método de aplicación de N puede conducir a una mejora en la eficiencia de absorción. Una de las principales causas de la baja eficiencia de absorción en las prácticas actuales de manejo de N es la escasa sincronía entre el aporte de N del suelo y la demanda del cultivo (Campillo, 2010).

3.1.1.2 El rol de las nuevas tecnologías en el manejo de la fertilidad

Los avances científicos están transformando la manera de gestionar las actividades agrícolas con nuevas tecnologías que pueden clasificarse en tres áreas principales:

robótica, Inteligencia Artificial (IA) e Internet de las Cosas (IoT). En la Agricultura de Precisión (AP) se pretende desarrollar una estrategia de gestión que combine información electrónica y otras tecnologías para recopilar, procesar y analizar datos espaciales y temporales con el fin de orientar acciones específicas que mejoren la eficiencia, la productividad, y la sostenibilidad de las operaciones agrícolas.

Si bien a lo largo de la historia los agricultores fueron adoptando tecnologías para alcanzar mayores rendimientos con la lógica de "cuanto más grande, mejor", hoy los avances en robótica y otras tecnologías de detección hacen que las operaciones a pequeña escala sean nuevamente una posibilidad interesante, lo que podrían alterar el actual modelo de agronegocios. En el presente se están probando dispositivos para monitorear el crecimiento de vegetales, así como cosechadoras robóticas, tecnologías de detección para salud y bienestar animal, e instrumentos para mejorar el monitoreo y mantenimiento de la calidad del suelo, eliminación de plagas y enfermedades, etc. En cuanto a la fertilización, se están utilizando drones para recopilar datos para una aplicación más inteligente de fertilizantes nitrogenados. Con análisis multiespectral se puede estimar la concentración de clorofila y mapear la biomasa, detectando dónde se necesitan intervenciones como la fertilización, especialmente después de un evento climático o de un ataque de plagas. Por ejemplo, cuando la empresa francesa de tecnología agrícola Airinov se asoció con una cooperativa agrícola francesa, los estudios revelaron que durante un período de 3 años, en 627 campos de colza (*Brassica napus*), los agricultores utilizaron una media de 34 kilogramos menos fertilizante nitrogenado por hectárea ahorrando en promedio € 107 (US \$ 115) por hectárea por año (King, 2017).

Por otra parte, el desarrollo de nuevos genotipos de plantas es una de las opciones clave para la adaptación de la agricultura. El mejoramiento, por ejemplo, puede contribuir a reducir los desequilibrios de nutrientes a través de la optimización de los sistemas radicales y el transporte de nutrientes. Asimismo, algunas plantas son colonizadas intracelularmente por bacterias fijadoras de nitrógeno, lo que puede satisfacer las necesidades completas de N del cultivo. Estas asociaciones se limitan a un grupo selecto de especies, pero la posibilidad de transmitir esta simbiosis a otros cultivos se presenta como una oportunidad para mejorar radicalmente la disponibilidad de N para las plantas. Por ejemplo, estudios de Wen et al (2021) describen la identificación, desarrollo y despliegue del primer producto microbiano optimizado utilizando herramientas de biología sintética para habilitar la fijación biológica del N (BNF) en maíz (*Zea mays*) en campos fertilizados, demostrando la comercialización exitosa y segura de diazotrofos asociados a raíces y dando cuenta del potencial de BNF para reemplazar y reducir el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos en la producción agrícola. Los experimentos de campo multianuales y multisitio en todo el cinturón de maíz de EEUU, exhibieron que los campos cultivados con el producto exhibieron rendimientos más altos ($0,35 \pm 0,092$ t/ha \pm SE) y menos variación intrapredial en un 25 % en 2018 y un 8 % en 2019 en comparación con los campos fertilizados sólo con fertilizantes nitrogenados sintéticos.

3.1.1.3 Buenas prácticas ante la escasez de agua

La escasez de agua trae consigo estrés hídrico, riesgo de salinización. Ante esta realidad que se vive en varias regiones del mundo y también en Chile, se plantea mantener la frecuencia óptima de riego en una proporción del campo, versus regar menos todo el campo, esto último es desaconsejable en zonas con problemas de sales por cuanto se producirán niveles altos de cloruro, generando calibres pequeños, caída de fruta y un deficiente rendimiento por hectárea. Los efectos de este mal manejo se mantienen al menos por dos a tres temporadas.

Tampoco se debe aplicar el programa de nutrición de manera muy concentrada o diluida. En el caso de la aplicación concentrada sin preocuparse de la salinidad, ésta puede redundar en una sequía fisiológica como consecuencia de una alta presión osmótica, esto suele darse cuando se quiere aplicar la dosis de un mes en una sola semana. Por otro lado, la aplicación de los nutrientes muy diluidos resulta inconveniente cuando hay concentraciones altas de Ca, Na, sulfatos y carbonatos, pues concentraciones bajas de Zn o de K, por ejemplo, no serán absorbidas por el árbol dada la abundancia de cationes que compiten con ellos (Red Agrícola, 2022).

Una práctica recomendada en el caso de sequía consiste en cubrir los cultivos. En el sur de Chile, se encontraron beneficios económicos directos en el caso de los cultivos frutícolas tanto por el impacto de eventos de lluvia como de heladas (Rojas et al 2021).

3.2. Fertilización sostenible desde el enfoque integrado o sistémico

Para definir de manera simple lo que significa la agricultura sostenible se puede decir que es aquella que puede satisfacer las necesidades del presente sin disminuir la capacidad de satisfacer las necesidades del futuro. De esta manera, la agricultura orgánica, la agricultura regenerativa, la agroecología, la cero labranza, la agricultura de conservación, la agricultura resiliente, etc. pueden verse como distintos medios o marcos conceptuales para alcanzar el objetivo de la agricultura sostenible. Incluso la agricultura regenerativa va más allá, apuntando no solo a mantener las condiciones para el futuro, sino también a mejorar constantemente el medio ambiente y la viabilidad económica de las tierras de cultivo (Tittonell et al, 2022).

Cada enfoque tiene sus propios principios y prácticas, muchos de los cuales coinciden entre sí. Por ejemplo, los pilares de la agricultura sostenible son aumentar la productividad biológica, conseguir la viabilidad económica, la protección de los recursos naturales, disminuir los niveles de riesgo y alcanzar la aceptación social. Por otra parte, la agricultura regenerativa se basa en minimizar la perturbación del suelo y aumentar su fertilidad, y lo hace mediante prácticas tales como el uso de cultivos de cobertura, rotaciones, diversificación de cultivos, cero labranza, uso de insumos biológicos e integración con animales. La Tabla 3.1 presenta un resumen de los principales conceptos y prácticas asociados a los distintos tipos de agricultura cuyo objetivo es la sostenibilidad.

Tabla 3.1. Principales tipos de agricultura sostenible, sus conceptos y prácticas asociadas

	Conceptos básicos	Prácticas
Agricultura sostenible	<p>Apunta a aumentar la productividad biológica, conseguir la viabilidad económica, la protección de los recursos naturales, disminuir los niveles de riesgo y alcanzar la aceptación social.</p> <p>Se trata de sostener suelos saludables, prevenir la erosión, hacer uso adecuado del agua y evitar su contaminación, almacenar carbono, promover la biodiversidad y aumentar la resiliencia a eventos extremos de clima</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación de cultivos y diversificación • Cultivos de cobertura y perennes • Reducir o eliminar la labranza • Utilizar manejo integrado de plagas • Integrar cultivos y ganadería • Adoptar prácticas de agroforestería • Manejar el sistema de manera integral (incluir corredores de praderas, proteger cursos de agua, evitar escurrimiento superficial, apoyar a las abejas y otros polinizadores, etc.)
Agricultura Orgánica	<p>Método de agricultura que evita el uso de fertilizantes o pesticidas sintéticos, o cultivos modificados genéticamente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rotación de cultivos y diversificación • Cultivos de cobertura y perennes para mantener los niveles de nutrientes en el suelo y reducir la erosión. • Aplicar estiércol u otras sustancias orgánicas certificadas para mejorar la salud del suelo • Realizar control mecánico de malezas regularmente • Usar semillas no modificadas genéticamente
Agricultura regenerativa	<p>Prácticas agrícolas y de pastoreo que revierten el cambio climático mediante la recuperación de la materia orgánica del suelo y la restauración de la biodiversidad del suelo degradada (reduce emisiones de carbono y mejora el ciclo del agua). Es una práctica holística de gestión de la tierra que aprovecha el poder de la</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Comprender el contexto de la operación de cada granja • Minimizar la perturbación del suelo • Maximizar la diversidad de cultivos • Mantener el suelo cubierto • Mantener raíces vivas durante todo el año

	Conceptos básicos	Prácticas
	fotosíntesis de las plantas para cerrar el ciclo del carbono y lograr suelos saludables, resiliencia de los cultivos y densidad de nutrientes.	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar la ganadería
Agroecología	Puede interpretarse como un movimiento, como una disciplina científica, y también como un conjunto de prácticas. Incorporan principios sociales y ecológicos, análisis paisajístico, con un enfoque de abajo hacia arriba que integra diferentes fuentes de conocimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar la participación, desarrollo local, equidad y justicia • Crear diversidad, resiliencia y sinergia • Lograr eficiencia en el uso de los recursos (radiación solar, agua, nutrientes, energía y mano de obra) • Reciclar • Integrar valores humanos y sociales, cultura gastronómica y tradiciones. • Co-crear intercambio de conocimientos. • Seguir los lineamientos de la Economía circular y solidaria • Demandar un gobierno responsable
Cero labranza o Siembra Directa	Técnica conservacionista de producción agrícola que combate la degradación del suelo y del ambiente. Cuestiona el uso indiscriminado de prácticas convencionales de laboreo (arados, rastras, subsoladores, roto-cultivador) que deterioran la capacidad productiva de los suelos, al causar erosión, contaminación con agroquímicos, y al agotar los niveles de materia orgánica.	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener los rastrojos • Minimizar perturbación del suelo • Almacenar el CO₂ en el suelo para conservar las propiedades físicas, químicas y biológicas • Minimizar o evitar la erosión del suelo • Mejorar la conservación del agua en el suelo y la recuperación de nutrientes

	Conceptos básicos	Prácticas
		<ul style="list-style-type: none"> • Reducir costos de producción para incrementar la productividad por unidad de superficie sembrada. • Control de malezas con herbicidas de translocación, no residuales y de amplio espectro

Fuente: Elaboración Propia

3.2.1 Buenas prácticas para mantener la fertilidad desde la perspectiva integrada o sistémica

Para lograr sistemas de fertilización sostenible y la gestión integral de los nutrientes, lo primero que debemos mirar es el suelo. Algunas de las prácticas más comunes que se rescatan de las distintas corrientes de agricultura sostenible se encuentran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Principales prácticas en la agricultura sostenible en relación a sus objetivos

Prácticas \ Objetivos	Aumento de material orgánica del suelo (C/N)	Control de erosión y escurrimiento superficial	Optimizar el uso de recursos evitando pérdidas
Incorporar residuos orgánicos (compost, estiércol, otros)	✓	✓	✓
Evitar quema de rastrojo	✓	✓	✓
Mantener suelos siempre cubiertos		✓	
Incorporar cultivos permanentes	✓	✓	
Incorporar leguminosas a la rotación de cultivos	✓		✓
Implementar sistemas de labranza de conservación	✓	✓	✓

Objetivos Prácticas	Aumento de material orgánica del suelo (C/N)	Control de erosión y escurrimiento superficial	Optimizar el uso de recursos evitando pérdidas
(terrazas, siembras en curvas de nivel)			
Cuidar el sistema de raíces del suelo y su microbiota	✓	✓	✓
Evitar el sobrepastoreo (ganadería holística)		✓	
Diversificar cultivos			✓
Integrar animales al sistema	✓		✓
Aplicar principios de agroecología, mezclando los cultivos en el tiempo y el espacio, además de mecanismos de cosecha de aguas	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se describen aquellas más relevantes para el logro de los objetivos de la fertilización sostenible

3.2.1.1 Incorporar materia orgánica por medio de residuos, estiércol u otros compuestos biológicos

Uno de los ejes de la agricultura sostenible es la recuperación de los suelos a través de la incorporación de materia orgánica. En biología del suelo, un principio es que para que exista formación de suelos, el suelo tiene que estar vivo, y para estar vivo, tiene que estar cubierto. La diversidad de la población de organismos del suelo y su compleja interrelación son factores que influyen directamente sobre las funciones del suelo como estructura, capacidad de retención de humedad y fertilidad. De esta manera, un manejo sostenible de la fertilidad de los suelos debe tender a aumentar el contenido de materia orgánica, a través de enmiendas orgánicas que le devuelven los nutrientes al suelo y que mejoren la estructura a través de la incorporación de residuos vegetales y animales. Esto también se conoce como secuestro de carbono y las cantidades de carbono que los suelos potencialmente pueden absorber son enormes, pudiendo compensar hasta un 25% de los GEI. Es así que

las buenas prácticas agrícolas también son una oportunidad para contribuir a la mitigación del cambio climático, con todos los beneficios que genera el aumento de la materia orgánica del suelo.

La práctica de las enmiendas orgánicas también favorece la estructura del suelo, mejorando la capacidad de infiltración y retención de humedad, resistencia a la compactación y erosión, y da un mejor hábitat para los microorganismos. Además, mejora la nutrición de los cultivos, incrementa la actividad biológica y mejora el pH del suelo.

Hay distintos tipos de enmiendas orgánicas. Están los guanos, purines y estiércol de distintos orígenes aplicados en estado crudo o semi maduro. También está el compost, bokashi y otros bio preparados de mezclas sólidas de residuos vegetales y animales estabilizados mediante un proceso de descomposición. Los térs de compost y ácidos húmicos aportan pocos nutrientes y carbono, pero estimulan el crecimiento de las raíces aumentando la eficiencia de absorción. Por otra parte, están los residuos de cultivos incorporados al suelo, los abonos verdes que se cultivan en otoño para ser incorporados en primavera y los residuos que se dejan en la superficie como rastrojos de cereales en cero labranza.

El uso correcto de las enmiendas orgánicas debe considerar aspectos como la composición nutricional, la presencia de microelementos o metales pesados, el contenido de humedad, la época de aplicación para evitar efectos negativos, entre otras. En general las enmiendas orgánicas contienen una variedad de elementos esenciales para las plantas, pero en cantidades diferentes a los requerimientos del cultivo. Por otra parte, la disponibilidad de los nutrientes no es inmediata y eso también debe tenerse en cuenta en el plan de fertilización (Ovalle y Quiroz, 2021).

Estudios realizados en un campo demostrativo (Infante, 2015) señalan que luego de 20 años de trabajar el sistema incorporando prácticas agroecológicas, las pérdidas por erosión bajaron desde casi 13 ton/ha/año a prácticamente cero. Asimismo, las aplicaciones constantes de abonos orgánicos al suelo, del orden de 35 t/ha en suelos hortícolas, 15 t/ha en suelos destinados a la rotación y 20 t/ha en frutales, resultaron en que la materia orgánica del suelo que inicialmente tenía un nivel inferior al 1%, subió a 10% en el caso de la huerta orgánica, 6% en los cultivos en rotación y 2% en la huerta frutal.

3.2.1.2 Uso de coberturas vegetales

Otra práctica de la agricultura sostenible que influye en la calidad del suelo es el uso de coberturas vegetales. Los cultivos de cobertura suelen ser asociaciones de gramíneas, leguminosas y brásicas.

Los cultivos de leguminosas (por ejemplo: porotos, vicia, soja, tréboles, alfalfa y arvejas) son una fuente importante de nitrógeno. Viviendo en simbiosis con la bacteria *Rhizobium*, ellos fijan el nitrógeno del aire (N₂) en los nódulos de las raíces de las plantas. Los cultivos de leguminosas suministran la energía necesaria, el agua y los nutrientes a los microorganismos y reciben el nitrógeno que los microorganismos producen. Bajo

condiciones favorables, las cantidades de nitrógeno fijadas a través de la bacteria *Rhizobium* varían entre 15 a 20 kg/ha N en promedio, con un máximo de hasta 200 kg/ha N. Un nivel promedio de 15 a 20 kg/ha N es muy bajo, pero puede ser de interés para los pequeños agricultores que no pueden permitirse comprar las cantidades necesarias de fertilizante nitrogenado o que no tienen acceso al crédito (FAO, 2002).

Adicionalmente, éstas no sólo mejoran los contenidos de materia orgánica y nutrientes, sino que también aumentan la diversidad funcional, promueven un mejor uso de los recursos (agua, luz y nutrientes), crece el número de especies asociadas mediante lo que se llama biodiversidad planificada, también disminuyen las plagas y enfermedades, controlan el escurrimiento superficial y por lo tanto reduce la degradación de los suelos. Su uso también presenta algunas desventajas como la competencia por el uso del agua, aumentan los riesgos de heladas, obstruyen el desarrollo normal de las labores convencionales, pueden ser hospederos de nemátodos e implican un costo extra en su establecimiento (Ovalle, 2020).

En la propuesta de manejo agroecológica (Infante, 2015) se pudo lograr casi un 90% de cobertura vegetal durante todo el año, donde los suelos, en los meses estivales permanecen cubiertos con rastrojos de los cultivos y de las praderas y conforme pasan los meses, se descomponen hasta que se prepara el suelo para los cultivos o comienzan a crecer los pastos invernales (Fig 3.1). Esto además produce un aumento sostenido en el índice de biodiversidad.

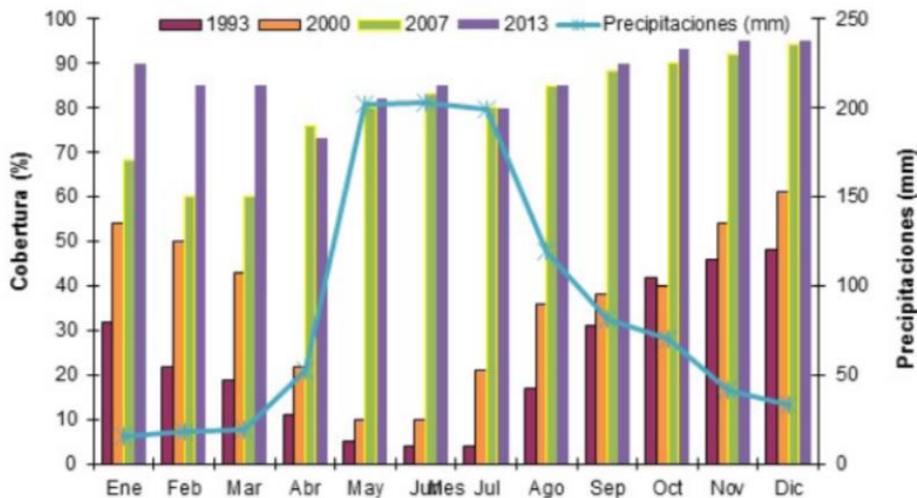


Figura 3.1. Evolución de la cobertura de suelo a través de año en el predio CET desde 1993 al 2013 (Infante, 2015).

3.2.1.3 Cero labranza

La cero labranza corresponde a una técnica utilizada en la agricultura de conservación, la cual permite establecer diferentes cultivos, sin remover, preparar y/o invertir el perfil del suelo. La siembra en cero labranza se hace sobre los rastrojos del cultivo anterior, con una

maquinaria especializada que tiene un ancho y profundidad suficiente para permitir el adecuado contacto de la semilla con el suelo y una cobertura que permita una rápida germinación y emergencia de las mismas. Con esta técnica se mantiene una cubierta orgánica permanente para proteger el suelo de la acción directa del sol, la lluvia y el viento. La poca alteración del suelo permite que los organismos (flora y fauna) se desarrollen para mantener el equilibrio integral del suelo, mejorando su fertilidad química, biológica y física.

El control de malezas es un aspecto fundamental para el éxito de este sistema. Como no se puede controlar las malezas a través del laboreo convencional el control de estas especies vegetales se debe hacer con herbicidas. Esto se hace normalmente con aplicaciones de glifosato y adicionalmente algún otro herbicida más específico para especies de hoja ancha más resistentes.

Las máquinas de cero labranza son similares a cerealeras u otras máquinas de siembra, con la diferencia que tienen un sistema de corte y micro preparación del surco más robusto y especializado que las anteriores, de manera que la siembra se puede hacer con una sola pasada sobre el suelo, reduciendo la compactación.

Diversas evidencias muestran que el sistema de labranza cero aumenta el contenido de C en el suelo, siendo una estrategia efectiva para la captura de CO₂. Bayer et al. (2006) evaluaron diferentes sistemas de labranza en sitios con más de 10 años de antigüedad y compararon labranza convencional, labranza reducida y labranza cero en dos Oxisoles brasileños. Concluyeron que las existencias de C en los sistemas sin labranza produjeron una tasa media de acumulación de C de 0,35 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (1 Mg = 1 x 10⁶ g) más alta que los otros sistemas evaluados en suelos tropicales. En los experimentos de labranza convencional, la rotación es un factor importante. Por ejemplo, en un experimento de largo plazo en un Andisol del centro-sur de Chile, Zagal y Córdova (2005) y Sandoval et al. (2007) informaron aumentos en el contenido de CO₂ y biomasa microbiana y su actividad. Esto fue el resultado de una menor intensidad de uso de la tierra agrícola que incluyó una rotación de cultivos de 8 años (3 años de cultivos anuales y 5 años de heno), en comparación con una rotación de cultivos convencional de 4 años (cultivos anuales continuos). (Nunez et al 2010)

3.2.1.4 Manejo holístico de las praderas

El Manejo Holístico (Holistic Management®) es una metodología de administración de las praderas, que se basa en un marco de toma de decisiones para el desarrollo de proyectos regenerativos, en lo económico, social y medioambiental.

Nació como una herramienta para mejorar la salud de la tierra y de manejo de ganado, y se puede aplicar en una amplia gama de proyectos agropecuarios, e incluso en gestión de políticas públicas. Fue creado por Allan Savory quien mostró con su investigación que el problema de la desertificación asociada al ganado residía en cómo se manejaba su solución consistía en imitar el comportamiento de los antiguos rebaños de animales de pastoreo salvajes. Entonces ideó un método simple que cualquier ganadero y agricultor puede usar para mejorar la salud del suelo, mejorar la utilización de lluvia y nutrientes, mejorar la

productividad del pasto y mover cantidades masivas de carbono y agua de la atmósfera al suelo y comenzar a revertir miles de años de desertificación.

Dentro del manejo holístico el pastoreo planificado cobra relevancia, éste se hace a través del pastoreo en manada, imitando la naturaleza, manejando a los animales como si fuera un rebaño denso de herbívoros interactuando y en constante migración. El impacto animal, que puede ser generado por la alta densidad de animales, alternado con períodos de recuperación, permite que plantas y microorganismos del suelo se recuperen, aumentando la actividad biológica y mejorando los ciclos del ecosistema. Se planifica el recorrido de los animales considerando variables como el tiempo de recuperación, el comportamiento de manada, la densidad de animales, aspectos sociales y del funcionamiento de cada campo lo que genera círculos virtuosos que conllevan al aumento de productividad, capacidad de carga y mayor rentabilidad por hectárea.

No es una receta que se pueda replicar, sino que son planificaciones que incluyen herramientas que serán utilizadas (o no) de acuerdo a cada contexto único. Se usa como una herramienta para mejorar la efectividad de los ciclos del ecosistema: agua, minerales, energía solar y dinámica de las comunidades.

En Chile se hicieron estudios (Larrain et al, 2022) con el objetivo de identificar y de evaluar indicadores de desempeño económico y productivo en campos ganaderos que cambiaron de un sistema convencional a uno regenerativo. El principal cambio económico observado fue la caída en los costos, principalmente a una disminución en el gasto en praderas y conservación de forrajes. Esto llevó a que todos los campos estudiados tuvieron un aumento en ingresos netos ($\$250.263 \pm 74.333/ha$, o USD 278/ha). La carga animal de los campos se redujo en promedio 24%, principalmente como una medida de precaución, ya que en el primer año de manejo regenerativo aún los productores no han tenido la oportunidad de ajustar su carga al crecimiento observado de las praderas. Ninguno de los productores llevaba un registro anterior de la productividad de sus praderas, sin embargo, ninguno declaró haber observado una disminución en la productividad y varios notaron un aumento en productividad total (todas las especies vegetales presentes) o en la cantidad de especies de mayor valor forrajero. El monto de la inversión necesaria para hacer el cambio de sistema fue bajo ($\$48.419 \pm 50.639/ha$, o USD \$53, 8), y menor al aumento de ingreso neto observado producto de esta inversión ($\$79.930 \pm 30.165/ha$, o USD \$88,8). El 29.4% de los campos no realizaron ninguna inversión. Otras variables estudiadas, como la superficie del campo, la ubicación geográfica, las etapas en la cadena de producción o los cambios realizados en estas etapas, no fueron significativas para explicar los cambios en el ingreso neto.

4. Políticas internacionales de agricultura sostenible

La agricultura mundial enfrenta en la actualidad enormes desafíos. No solo debe concentrar esfuerzos en aumentar la productividad para alcanzar las demandas alimenticias de la creciente población, sino que también debe incorporar superficie para la expansión de cultivos bioenergéticos, todo esto en un escenario de cambio climático y eventos extremos, sumado a los efectos económicos mundiales que recientemente ha desencadenado la pandemia y la guerra.

La situación es aún más grave si se considera que la agricultura también debe abordar enormes preocupaciones ambientales donde se ha observado que la producción agrícola convencional se ha constituido como una fuerza dominante que impulsa al medio ambiente más allá de los "límites planetarios". La agricultura hoy aporta un 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero, es responsable del 70 % de la pérdida de biodiversidad y del 80 % de la deforestación del planeta (Joy Kim en UNEP 2021).

Adicionalmente, las políticas en el sector generan resultados indeseados fortaleciendo la problemática. En el reporte de la ONU y FAO "A multi-billion-dollar opportunity – Repurposing agricultural support to transform food systems" (2021), se establece que casi el 90% de los 540.000 millones de dólares en subsidios globales otorgados a los agricultores cada año son perjudiciales. El apoyo agrícola daña la salud de las personas, alimenta la crisis climática, destruye la naturaleza e impulsa la desigualdad al excluir a los pequeños agricultores, muchos de los cuales son mujeres.

Es por ello que es urgente revisar las políticas existentes, como también formular políticas públicas que realmente conduzcan los cambios necesarios hacia una nueva forma de producir alimentos de manera sostenible.

A continuación, se reseñan 4 casos de política internacional en materia de agricultura sostenible, haciendo énfasis en el aspecto de fertilización.

4.1 Unión Europea - From Farm to Fork Strategy

En Europa existen políticas para apoyar la agricultura orgánica, desde fines de la década de 1980 y principios de la de 1990, que incluyen regulaciones que definen los alimentos y la agricultura orgánicos, el apoyo financiero para la conversión y el mantenimiento de la agricultura orgánica, planes de acción para integrar políticas de impulso de la oferta (centradas en el productor) y de demanda (centrada en el consumidor), y programas de investigación e información (Lampkin et al., 1999; Stolze y Lampkin, 2009; Meredith et al., 2018). Estas políticas reconocen y abordan el papel dual de la agricultura orgánica al brindar oportunidades de mercado que satisfacen las necesidades de los consumidores y bienes públicos en beneficio de la sociedad en general.

Como parte de la implementación del Pacto Verde de la Comisión Europea, las Estrategias de Biodiversidad y de la Granja a la Mesa (Farm to Fork) (CE, 2020a, 2020b), pretenden

ser el punto de partida de un nuevo debate sobre la formulación de una política alimentaria más sostenible y respetuosa con la biodiversidad, alentando agroecología y, en estableciendo también objetivos ambiciosos para una mayor expansión de la agricultura ecológica al 25 % de la superficie terrestre de la UE para 2030.

La estrategia “From Farm to Fork” (F2F) o “De la Granja a la Mesa” es la estrategia de la Unión Europea (UE) que busca abordar de manera integral la sostenibilidad en la cadena de producción de alimentos. Tiene un enfoque de cadena, que abarca no sólo la producción sino también la distribución, el consumo, y las pérdidas en todo el proceso (Ver Figura 4.1).



Figura 4.1 Elementos que considera la estrategia From Farm to Fork (Fuente: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en#documents)

El objetivo general de la estrategia es garantizar que todos los alimentos que se distribuyen en el mercado de la UE sean cada vez más sostenibles. Esto implica construir una alimentación socialmente responsable, una cadena de valor que reduzca progresivamente la huella medioambiental y climática del sistema alimentario de la UE, y, en última instancia, transformar el sistema alimentario de la UE en un elemento positivo para la salud de las personas, de la economía y del planeta. Al lograr lo anterior se fortalecerá a su vez la resiliencia del sistema alimentario y se garantizarán alimentos menos perecederos, seguridad ante el cambio climático y la reducción en la pérdida de biodiversidad. Al considerar la cadena completa, se abordan además los patrones de consumo, los cuales se reconocen deben cambiar, al mismo tiempo que se mantienen o mejoran los altos estándares de salud humana, sanidad vegetal, sanidad y bienestar animal, así como se mejoran los ingresos de los productores primarios, favoreciendo las soluciones de base biológica y reforzando la competitividad de la UE.

4.1.1 Tipos de instrumentos

Para permitir y acelerar la transición, la estrategia F2F incluye acciones legislativas, así como servicios de asesoramiento, instrumentos financieros, inversión en investigación e innovación, en un proceso que busca desarrollar y probar soluciones, superar barreras y

descubrir nuevas oportunidades de mercado que viabilicen un nuevo tipo de sistema de aprovisionamiento de alimentos.

Dentro de dichos instrumentos está la propuesta legislativa denominada “Framework for Sustainable Food Systems” (FSFS) que tiene como objetivo facilitar y acelerar la transición a la alimentación sostenible y garantizar que todos los alimentos introducidos en el mercado de la Unión Europea (UE) sean cada vez más sostenibles. Su lanzamiento está previsto para fines del 2023. Dentro del proceso de su elaboración se han llevado a cabo varios procesos participativos. En septiembre de 2021 se validó el Inception Impact Assessment el cual señala los objetivos y escenarios alternativos de la propuesta legislativa a elaborar (EC 2022b). Por otro lado, se realizó una consulta abierta al público, la cual se cerró en julio de 2022 y se han realizado consultas específicas de expertos provenientes de distintos grupos de actores relevantes como organizaciones de la sociedad civil, expertos en legislación de sistemas de alimentos, en salud de plantas y animales, entre otros. (EC 2022c).

En dichas instancias se ha debatido el documento de evaluación de impacto de la política (Inception Impact Assessment-IIA) (EC 2022b), buscando generar definiciones comunes y principios generales y requisitos para sistemas alimentarios sostenibles. Dicho documento plantea las siguientes opciones de política a modo de escenarios:

- **Opción 1 – Línea base:** En este escenario, en ausencia de cualquier nueva política de intervención a nivel de la UE, el progreso continuo hacia un sistema alimentario sostenible de la UE se proseguirá en el contexto de la aplicación de la legislación existente. En particular, se evalúa si dicha implementación permitirá que el sistema alimentario de la UE alcance su pleno potencial de sostenibilidad consistente con los objetivos de la Estrategia F2F. Al igual que otras opciones, esta opción también evalúa los efectos sobre la seguridad alimentaria, el clima, el medio ambiente y los ingresos de los productores en caso de políticas de status quo.
- **Opción 2 – Enfoques voluntarios:** Este escenario evalúa en qué medida los enfoques que emplean instrumentos de derecho indicativo o voluntario pueden contribuir a largo plazo a la transición hacia un sistema alimentario sostenible de la Unión a la luz de los objetivos de la Estrategia F2F.
- **Opción 3 – Reforzar la legislación existente:** Este escenario considera si una transición hacia un sistema alimentario sostenible de la UE a la luz de los objetivos de F2F, puede lograrse mediante una serie de intervenciones sectoriales específicas a nivel de la UE.
- **Opción 4 - Nueva legislación marco global sobre la sostenibilidad de la Unión:** este escenario analiza el impacto de una nueva legislación marco integral de la UE, que podría servir como *lex generalis*, aplicable a todos los actores del sistema alimentario. Se establecería la base común compuesta por objetivos generales, definiciones, principios y requisitos para asegurar que se tomen consideraciones de sostenibilidad, más allá de los requisitos basados en la seguridad ya aplicables. Esta base común servirá como enfoque general integrado para la *lex specialis*, al considerarse la obligación de una adaptación progresiva del Derecho sectorial de la

UE. Esta nueva legislación marco también podría incluir una combinación de disposiciones de "impulso", que establecen requisitos mínimos para productos alimenticios y operaciones relacionadas, disposiciones de "extracción" e incentivos para que los actores de los sistemas alimentarios vayan más allá de los requisitos mínimos.

Tanto la estrategia F2F como la de biodiversidad de la UE, requieren coordinación entre las políticas agrícolas, alimentarias, medioambientales y de salud pública y la colaboración de las partes interesadas. a través de esos sectores. El desafío clave será cómo se llevan a cabo en la práctica y hasta qué punto los estados miembros y sus regiones están habilitados/requeridos para integrarlos en sus planes estratégicos de la PAC.

En este sentido Lampkin et al (2020) plantean que el potencial para una transición agroecológica sostenible de todo el sistema alimentario no solo dependerá de las políticas agrícolas, sino también de otras políticas que apoyen el establecimiento de cadenas alimentarias basadas en valores, un cambio en los sistemas de producción y la protección de los recursos naturales. Tal combinación sinérgica de acción y políticas para apoyar las transiciones agroecológicas abordaría la necesidad de reducir la pérdida y el desperdicio de alimentos y mejorar la resiliencia y solidez del sistema alimentario, en particular mediante la diversificación y sería coherente con las ambiciones de la nuevo Pacto Verde de la UE.

4.1.2 Aproximación a la fertilización integral

En la estrategia F2F (EU, 2020) se señalan las consecuencias del exceso de nutrientes en el medio ambiente -especialmente nitrógeno y fósforo-, influyendo en la contaminación del aire, del suelo, el agua y el clima, y en la reducción de la biodiversidad en ríos, lagos, humedales y mares, como una de las importantes motivaciones para establecer una nueva estrategia de política de sostenibilidad en la producción de alimentos.

A modo de meta de intervención se indica que la Comisión actuará para reducir las pérdidas de nutrientes al medio ambiente en al menos el 50%, asegurando además que no se deteriore la fertilidad del suelo. Esto implica una reducción en el uso de fertilizantes en al menos un 20% para 2030. Se indica que ésta meta se logrará implementando y haciendo cumplir las normas ambientales y la legislación climática en su totalidad, identificando en conjunto con los Estados miembros la carga de nutrientes y reducciones necesarias para lograr estos objetivos, aplicando *fertilización balanceada* y *gestión sostenible de nutrientes* y la *gestión mejorada de nitrógeno y fósforo a lo largo de su ciclo de vida*.

La Comisión desarrollará con los países miembros un Plan de Acción para la Gestión Integrada de Nutrientes a fin de abordar la contaminación en origen y aumentar la sostenibilidad del sector ganadero. La Comisión también trabajará con los Estados miembros para ampliar la aplicación de técnicas de fertilización y prácticas agrícolas sostenibles, especialmente en las áreas críticas de *ganadería intensiva* y de *reciclaje de residuos orgánicos en fertilizantes renovables*. Esto se hará a través de medidas que los Estados miembros incluirán en sus Planes Estratégicos (CAP), tales como la aplicación de

la Herramienta de Sostenibilidad Agrícola (Farm Sustainability Tool) para la gestión de nutrientes, así como a través de inversiones, servicios de asesoramiento y mejoras tecnológicas como las de georreferenciación Copérnico, Galileo.

4.1.3 Metas de política

Dentro de los documentos de política mencionados se plantean las siguientes metas en temas clave relacionados con la agricultura sostenible:

- Se plantea como objetivo que al menos el 25 % de las tierras agrícolas de la UE estén dedicadas a la agricultura ecológica para 2030 y un aumento significativo de la acuicultura ecológica
- La Comisión tomará acción para reducir las pérdidas de nutrientes en al menos un 50 %, garantizando al mismo tiempo que no se produzca un deterioro de la fertilidad del suelo. Esto reducirá el uso de fertilizantes en al menos un 20% para 2030.
- La Comisión tomará medidas para reducir las ventas totales en la UE de antibióticos para animales de granja y para la acuicultura en un 50 % para 2030.
- La Comisión tomará medidas adicionales para reducir el uso general y el riesgo de los pesticidas químicos en un 50 % y el uso de pesticidas más peligrosos en un 50 % para 2030.
- Para ayudar a reducir el impacto medioambiental y climático de la producción animal¹, evitar la fuga de carbono a través de las importaciones y apoyar la transición en curso hacia una ganadería más sostenible, la Comisión facilitará la comercialización de aditivos para piensos sostenibles e innovadores.
- La Comisión tiene como objetivo acelerar el despliegue de Internet de banda ancha rápida en las zonas rurales para lograr el objetivo del 100 % de acceso para 2025.

4.1.4 Acciones específicas

- Creación de una **Red de Datos de Sostenibilidad Agrícola** con miras a recopilar también datos sobre los objetivos de las Estrategias F2F y de Biodiversidad, así como también otros indicadores de sostenibilidad.
- Los nuevos conocimientos e innovaciones también ampliarán los enfoques agroecológicos en la producción primaria a través de una **Asociación dedicada a los laboratorios vivos de agroecología**. Esto contribuirá a reducir el uso de pesticidas, fertilizantes y antibióticos.
- Para acelerar la innovación y la transferencia de conocimientos, la Comisión trabajará con los Estados miembros para reforzar el papel de la **Agencia Europea para la Innovación Productividad y Sostenibilidad Agrícola (EIP-AGRI)** en los planes estratégicos.

¹ La agricultura es responsable del 10,3 % de las emisiones de GEI de la UE y casi el 70 % de ellas provienen del sector animal, las que se componen de GEI distintos del CO2 (metano y óxido nitroso). Además, el 68% del total de las tierras agrícolas se utiliza para la producción animal.

- Además, se consideran inversiones del **Fondo Europeo de Desarrollo Regional** a través de la especialización inteligente, en innovación y colaboración a lo largo de las cadenas de valor alimentarias. Se crea una nueva asociación **Horizonte Europa** para "Sistemas alimentarios seguros y sostenibles para las personas, el planeta y el clima" pondrá en marcha un mecanismo de gobernanza de I+D que involucre a los Estados miembros y a los actores de los sistemas alimentarios de la F2F para ofrecer soluciones innovadoras que proporcionen beneficios colaterales para nutrición, calidad de los alimentos, clima, circularidad y comunidades.
- Fuerte intervención a nivel de **tecnologías de la información**. Todos los agricultores y todas las áreas rurales deben estar conectados a Internet rápido y confiable. El acceso a Internet de banda ancha rápida también permitirá incorporar la agricultura de precisión y el uso de inteligencia artificial. Permitirá a la UE explotar plenamente su liderazgo mundial en tecnología de satélites. Se espera que esto dará como resultado una reducción de costos para los agricultores, mejorará la gestión del suelo y la calidad del agua, reducirá el uso de fertilizantes, pesticidas y las emisiones de GEI, mejorará la biodiversidad y creará un entorno más saludable para los agricultores y los ciudadanos.
- Serán necesarias inversiones para fomentar la innovación y crear sistemas alimentarios sostenibles. A través de las **garantías presupuestarias de la UE**, el **Fondo InvestEU** fomentará la inversión en el sector agroalimentario reduciendo el riesgo de las inversiones de las empresas europeas y facilitando el acceso a la financiación a las pymes y empresas de mediana capitalización. También se fortalece el marco de la UE para facilitar las inversiones sostenibles (taxonomía de la UE43) en el sector de la agricultura y la producción de alimentos.
- Como parte de la Estrategia Europea de Datos, el espacio común europeo de datos agrícolas mejorará la sostenibilidad competitiva de la agricultura de la UE a través del **procesamiento y análisis de datos de producción, uso de la tierra, medio ambiente y otros**, lo que permitirá la aplicación precisa y personalizada de enfoques de producción a nivel de explotación y el seguimiento del desempeño del sector.
- La Comisión también actualizará su **Agenda de Capacidades** para garantizar que la cadena alimentaria tenga acceso a mano de obra suficiente y debidamente calificada.
- La **Política comercial internacional** de la UE debe contribuir a mejorar la cooperación y obtener compromisos ambiciosos de terceros países en áreas clave como el *bienestar animal, el uso de plaguicidas y la lucha contra la resistencia a los antibióticos*.
- La UE centrará su **Cooperación internacional en la investigación e innovación alimentaria**, con especial referencia a la adaptación y mitigación del cambio climático; agroecología; gestión sostenible del paisaje y gobernanza de la tierra; conservación y uso sostenible de la biodiversidad; cadenas de valor inclusivas y justas; nutrición y dietas saludables; prevención y respuesta a crisis alimentarias, particularmente en contextos frágiles; resiliencia y preparación para el riesgo; manejo integrado de plagas; la sanidad y el bienestar animal y vegetal, y las normas

de inocuidad de los alimentos, la resistencia a los antimicrobianos y la sostenibilidad de sus intervenciones humanitarias y de desarrollo coordinadas.

4.2 El caso de Francia

Francia es reconocido por ser el país europeo que ha tomado la delantera en el desarrollo de la agroecología, tanto a nivel nacional como internacional, entendida ésta como la aplicación de principios y procesos ecológicos al diseño y gestión de sistemas agrícolas e incluyendo también la transformación de procesos socioeconómicos y técnicos en los sistemas agrícolas y alimentarios.

Entre 2012 y 2017, el ministro de Agricultura Francés Stéphane Le Foll, siguió una política pública destinada a cambiar significativamente la forma en que se lleva a cabo la producción agrícola en Francia. El plan "Produire autrement" (producir de otro modo) lanzado en junio de 2012, tenía por objetivo principal organizar cambios colectivos en las prácticas de los agricultores que incluyeran la rentabilidad económica y el desempeño ambiental. Las prácticas adoptadas combinaron aquellas de la agricultura ecológicamente intensiva y de conservación incluyendo técnicas de no labranza del suelo, cobertura permanente y diversificación de cultivos (Lampkin et al 2021).

Posteriormente el 1 de diciembre de 2015 durante la COP 21, Le Foll lanza la Iniciativa internacional "4 por 1000" con el objetivo de demostrar que la agricultura, y en particular los suelos agrícolas, pueden desempeñar un papel crucial en la seguridad alimentaria y el cambio climático (4p1000, 2022). La iniciativa consiste en involucrar, de forma voluntaria, a todos los actores públicos y privados en el marco del Plan de Acción Lima-París (LPAP), para la transición hacia una agricultura regenerativa, productiva y altamente resiliente, basada en una gestión adecuada de la tierra y el suelo, que genere puestos de trabajo e ingresos y, por tanto, conduzca a un desarrollo sostenible. La Secretaría Ejecutiva de la Iniciativa tiene su sede en la Alianza Bioersity International-CIAT, una organización internacional con sede en Montpellier (Francia).

Actualmente, la política del presidente Macron se está orientada principalmente a la autosuficiencia o independencia agrícola, priorizando la productividad sobre los objetivos de agricultura sostenible a fin de enfrentar la crisis post-Ucrania. Macron ha anunciado una tercera revolución agrícola basada en tecnología principalmente digitalización, robótica y genética. Existe un plan de inversión de €30 billones al 2030 para estimular la innovación. A pesar de lo anterior Macron mantiene el curso que marcó el Green Deal Europeo y la estrategia F2F, en particular las metas al 2030 que pretenden disminuir a la mitad el uso de pesticidas y en 20% el uso de fertilizantes.

4.2.1 Tipo de instrumentos

El plan de agroecología del ministro Le Foll se construyó en dos fases. En la primera se incluyeron subsidios a la agricultura ecológica y agroforestería, ayudas a la reducción del uso de fitosanitarios con el plan 'Ecophyto'. A este plan se le añadieron elementos nuevos

o en proceso de desarrollo en relación con la mecanización agrícola, la reducción del uso de antibióticos en la ganadería y la apicultura sostenible. La segunda fase, que permitió al Ministerio promover la acción colectiva, consistió en la constitución de Grupos de Interés Económico y Ambiental (GIEE). Estas agrupaciones constituidas tienen el acceso a los regímenes de ayuda franceses o europeos. Desde el 2015, 527 GIEE han sido reconocidos de los cuales 492 estaban activos en 2019. Estos reúnen alrededor de 8.000 explotaciones agrícolas y 9.500 agricultores, o casi el 2% de las explotaciones agrícolas francesas.

Algunos autores consideran la indeterminación performativa de los instrumentos de política como un activo para las transiciones agroecológicas. Estos instrumentos permiten a los grupos de agricultores apoyados construir su propia trayectoria de cambio, lo que también conlleva dificultades en términos de implementación y evaluación.

4.2.2 Aproximación a la fertilización integral

La iniciativa 4p1000 plantea la aplicación de prácticas agrícolas adaptadas a las condiciones locales: agroecología, agrosilvicultura, agricultura de conservación, gestión del paisaje, etc. cuyo centro es la salud del suelo adoptando una óptica de agricultura regenerativa. Esta se entiende como un sistema de principios y prácticas agrícolas que busca rehabilitar y mejorar todo el ecosistema agrícola desde el punto de vista de la sostenibilidad, incluida la mejora de la salud humana y la prosperidad económica con eje en la salud del suelo y la mejora de los recursos (suelo, agua, biodiversidad, etc.).

El éxito de este Plan de Agroecología se asocia a la apuesta por abarcar la gama más amplia posible de actores, así como a la indeterminación de los instrumentos lo que permite a los grupos de agricultores apoyados construir su propia trayectoria de cambio, aunque esto también conlleva dificultades en términos de implementación y evaluación. Aunque los efectos concretos de esta política siguen siendo difíciles de evaluar se ha logrado legitimar la agroecología en Francia y ayudar a ponerla en la agenda mundial a nivel de la FAO (Lampkin et al 2021).

4.2.3 Metas de política

La figura 4.2 muestra las metas de la estrategia 4 por mil, al momento han logrado 739 miembros o socios, pertenecientes a 104 países y 67 organizaciones de productores

Las objetivos son metas amplias a largo plazo que definen el logro de la visión.

6-7	A INICIO Y CONCEPTUALIZACIÓN	Facilitar la aparición y asegurar la viabilidad de metodologías, instrumentos y recomendaciones que fomenten la capacidad de los interesados para aplicar la Iniciativa sobre el terreno.
8-9	B IMPLEMENTACIÓN	Fomentar un entorno y/o un marco propicio (modelo de negocios, terceras partes dignas de confianza, tutoría, mentor, amplificar el impacto, escalado) para la aplicación sobre el terreno.
10-11	C PROMOCIÓN	Aumentar la sensibilización y la promoción, fomentar la confianza, alentar las asociaciones, los compromisos y la participación de todos los interesados.
12-13	D COLABORACIÓN	Poner en marcha una plataforma de colaboración en línea que facilite y apoye la interacción entre lossocios, con herramientas poderosas, un plan de negocio y una estrategia de gestión del conocimiento.
14-15	E SEGUIMIENTO	Establecer un marco internacional de base científica reconocido por todos los interesados para la evaluación del impacto mediante la vigilancia, la información y la verificación.
16-17	F ACCIONES TRANSVERSALES	Poner de relieve la pertinencia de la iniciativa «4 por 1000» iniciando y apoyando medidas concretas y orientadas a los resultados sobre el terreno y aumentar la movilización de recursos para garantizar la viabilidad a largo plazo de la iniciativa.

Figura 4.2 Metas de la estrategia 4 por mil

4.2.4 Acciones específicas

La estrategia “Producir de otro modo”, señala cuatro ejes de intervención y acciones en cada uno de ellos tal y como se muestra en la Tabla 4.1. Como se puede apreciar las actividades están orientadas principalmente a debatir prácticas, educar, movilizar la población y fortalecer la innovación en torno a la agricultura agroecológica.

Tabla 4.1 Ejes de intervención y acciones de la Estrategia “Producir de otro modo”

Eje temático	Acciones
Eje 1. Renovar los repositorios diplomados y prácticas educativas	<p><i>Acción 1.</i> Renovación la especialidad del Certificado de Competencia Profesional agricultura (CAPA) del sector producción de agricultura</p> <p><i>Acción 2.</i> Renovación del bachillerato Conducta profesional y gestión granja (CGEA) y el Certificado de Profesional Responsable empresa agropecuaria (REA)</p> <p><i>Acción 3.</i> Renovación de patentes Técnico Superior de Análisis y manejo de sistemas operativos (ACSE) y Fomento y Agricultura en regiones cálidas (DARC)</p>

Eje temático	Acciones
Eje 2. Movilizar a través de talleres agrícolas y tecnológicos	<p><i>Acción 1.</i> Construir y animar un programa agrícola regional talleres agrícolas y tecnológicos Instituciones educacionales en agricultura fortaleciendo su participación en la transición agroecológica</p> <p><i>Acción 2.</i> Implementación de un innovador proyecto piloto experimental-demostrativo de agroecología en una finca en cada región, con asociaciones externas, y seleccionados como parte de una convocatoria de propuestas financiado por CASDAR</p> <p><i>Acción 3.</i> Estudiar la posibilidad de formar grupos operativos en el marco de la asociación europea de Innovación (PEI) y financiación FEADER, a nivel de cada región</p>
Eje 3. Fortalecer gobernanza regional	<p><i>Acción 1.</i> Conducción del programa regional Agricultura y Bosques por las Direcciones Regionales de alimentación, agricultura y direcciones forestales y alimentarias</p> <p><i>Acción 2.</i> Animación y coordinación iniciativas regionales en instituciones educacionales agrícolas</p> <p><i>Acción 3.</i> Seguimiento y evaluación</p>
Eje 4. Capacitar al personal e instituciones de apoyo para la formulación de los proyectos "Enseñar a Producir de otro modo"	<p><i>Acción 1.</i> Identificar y capacitar referentes regionales</p> <p><i>Acción 2.</i> Acompañar a la comunidad educativa a "Producir de otro modo"</p> <p><i>Acción 3.</i> Realizar el inventario de acciones y habilidades internas a la enseñanza y la investigación agrícola sobre el tema "Produzcamos diferente"</p> <p><i>Acción 4.</i> Crear un dispositivo información y comunicación de programa "Producir de otro modo"</p>

Fuente: Traducido del Programa Original "Enseigner a produire autrement"²

Por otra parte, a continuación, se listan las prácticas de manejo agroecológico que incentiva la iniciativa 4p1000, se señalan en negrita aquellas que directamente impactan la fertilización integrada:

1. Minimizar o eliminar la labranza para evitar la perturbación del suelo y la erosión, junto con otras prácticas que reducen la oxidación del carbono del suelo, lo que conduce a

² https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/enseigner_a_produire_autrement.pdf

un mayor contenido de carbono en el suelo y mayor capacidad de retención de agua y nutrientes.

2. Uso de cultivos de cobertura y abono verde, retención de residuos y reducción o eliminación del uso de quema a cielo abierto para mantener una cobertura permanente del suelo, reducir la erosión, aumentar la producción de materia seca, lo que permite el secuestro de carbono y ciclo de nutrientes mejorado.

3. Aplicar compost y estiércol animal para restaurar el microbioma de la planta/suelo y aumentar la fertilidad del suelo biológicamente a través de la liberación, transferencia, y el ciclo de los nutrientes esenciales del suelo.

4. Uso de rotaciones de cultivos, plantación de cultivos múltiples, cultivos intercalados, cultivos de cobertura de múltiples especies, y plantar bordes con arbustos y árboles para promover la diversidad de plantas, hábitat para insectos benéficos, incluidas las abejas y fomentar la riqueza del suelo comunidades microbianas para mejorar el ecosistema diversidad y función.

5. Uso de la inoculación con microorganismos para mejorar los procesos y regulaciones biológicas del suelo.

6. Garantizar buenas prácticas de pastoreo para mejorar la productividad de los pastos y las tierras de pastoreo mediante mejora el crecimiento de las plantas, la fertilidad del suelo, insectos y biodiversidad vegetal y secuestro de carbono en el suelo.

7. Minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero para cumplir con los objetivos de reducción del cambio climático de no más de 1.5 grados C para el 2100.

8. Evitar la deforestación y conversión de turberas o áreas de conservación de alto valor para retener carbono en el suelo y la biomasa para la mitigación del cambio climático.

9. Gestionar los residuos para reutilizarlos como insumos para granjas o cadenas de suministro y reducir los efectos ambientales negativos impactos en el suelo, el aire y el agua.

10. Reinvertir el tiempo de trabajo ahorrado, en observación de campo y reflexión sobre el sistema, aprendizaje/intercambio con pares y expertos, e involucramiento en la vida social del territorio.

4.3 Las políticas para la agricultura sostenible en Estados Unidos (EEUU)

En Estados Unidos en 2020 la industria agrícola y alimentaria representó en conjunto el 5% de la economía del país, empleando a cerca de 20 millones de personas a tiempo completo y parcial, lo que constituye el 10,3% del empleo total nacional.

Las políticas agrícolas en EE. UU. se basan en subsidios y programas cuyo financiamiento proviene de la Corporación de Crédito para Productos Básicos (Commodity Credit Corporation, CCC) que es una corporación gubernamental de propiedad absoluta creada

en 1933 bajo el estatuto de Delaware. Los fondos de la CCC se utilizan para implementar programas específicos establecidos por el Congreso, donde es el Departamento de Agricultura (USDA) quien ejecuta los más de 60 programas de ayuda directa e indirecta para agricultores. Los subsidios agrícolas se pueden clasificar en ocho tipos: Seguro; Cobertura de Riesgo Agropecuario (ARC); Cobertura de pérdida de precio (PLC); Programas de Conservación; Préstamos de comercialización; Ayuda en casos de desastre; Comercialización y Promoción de Exportaciones; y Investigación y otros apoyos.

Los subsidios agrícolas son beneficios financieros que el gobierno entrega a la industria agrícola para reducir el riesgo que enfrentan los agricultores por eventos climáticos, problemas con los intermediarios de productos básicos y las interrupciones en la demanda. Muchos de estos subsidios tienen como objetivo estabilizar los precios y la oferta de alimentos, y no necesariamente están enfocados a hacer de la agricultura una actividad más sostenible, por lo que pueden tener efectos encontrados con aquellos recursos que se entregan para establecer programas y prácticas de conservación y buen manejo de los recursos.

En esta sección se resumen los más importantes.

4.3.1 Tipos de instrumentos

Actualmente los principales programas establecidos por el Congreso que son financiados por CCC incluyen:

- Programas de Conservación, mantenimiento de precios y de ingresos agrícolas nacionales, bajo varios estatutos incluida la Ley Agrícola de 2014;
- Desarrollo de mercados extranjeros y otras actividades internacionales del Departamento de Agricultura bajo varios estatutos, incluida la Ley de Comercio Agrícola de 1978;
- Actividades de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional bajo el Título II de la Ley de Alimentos para la Paz.

Principalmente, la CCC tiene programas de apoyo a productos básicos (*commodities*) y programas de conservación.

4.3.1.1 Programas de productos básicos (*commodities*)

1. Cobertura de riesgo agrícola/cobertura de pérdida de precio, proporciona una red de seguridad a los productores agrícolas cuando hay una caída sustancial en los precios o los ingresos de los productos básicos cubiertos.
2. Préstamos de Asistencia de Comercialización y Préstamos de Azúcar para dar flexibilidad entre la cosecha y la comercialización de un producto.

En Estados Unidos hay 2,02 millones de granjas de las cuales el 98 % son de propiedad familiar. Las granjas familiares de gran escala (con ingresos de \$1 millón o más), representan solo el 3 % de las granjas, pero tienen el 46 % del valor de la producción. De todos los cultivos, el gobierno norteamericano subsidia solo cinco de ellos: **maíz**, **soya**,

trigo, algodón y arroz. También hay subsidios más pequeños para maní, sorgo y mohair, pero los productores de carne, frutas y verduras no reciben subsidios y solo pueden beneficiarse del seguro de cosechas y el socorro en casos de desastre. Los estados que han recibido la mayor cantidad de subsidios agrícolas entre 1995 y 2020 son Iowa, Texas, Illinois, Nebraska y Minnesota. Estos estados han recibido el 38,2 % de los 240,500 millones entregados entre 1995 y 2020. Durante este período, el 10 % de los principales receptores de pagos por productos básicos recibieron el 78 % de los pagos. Por otra parte, el 62% de las granjas estadounidenses no recibió ningún subsidio (Amadeo, 2022).

Los subsidios agrícolas afectan de diversas maneras a la economía y al medio ambiente. Por ejemplo, causan sobreproducción, lo que atrae tierras agrícolas de menor calidad a la producción activa. Las áreas que podrían haber sido utilizadas para parques, bosques, pastizales y humedales quedan atrapadas en el uso agrícola y de alguna manera esto incluso alienta a los agricultores a expandir la producción de cultivos en tierras altamente erosionables. Los subsidios pueden inducir al uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas ya que los productores que se encuentran en tierras marginales con suelos y clima más pobres tienden a usar más fertilizantes y pesticidas. El programa federal de seguro de cosechas estimula a los agricultores a sembrar los mismos cultivos año tras año, independientemente del rendimiento que obtengan, incluso alentando a los agricultores a sembrar cultivos que no sean resistentes a las sequías, que cada vez son más frecuentes. Esta práctica no solamente se constituye como una forma ineficiente de producción, sino que además obliga a drenar el agua subterránea de los acuíferos para riego, con el consiguiente daño ambiental que eso implica. Los subsidios pueden también desalentar la rotación de cultivos a favor de sembrar solo un cultivo subsidiado, lo que a su vez puede conducir a un mayor uso de fertilizantes. Por último, algunos subsidios desalientan a los agricultores a innovar, reducir costos, diversificar el uso de la tierra y tomar otras medidas necesarias para prosperar en la economía competitiva.

Por otra parte, los cereales son los cultivos más subvencionados, lo que los hace más baratos que las verduras y frutas. Como resultado, los granos constituyen una cuarta parte de la dieta estadounidense promedio, mientras que las frutas y verduras son menos del 10%. De esta manera un porcentaje de los subsidios agrícolas se destina a importantes componentes de la "comida chatarra", por lo que de alguna manera el gobierno federal subsidia los alimentos que contribuyen al problema de la obesidad.

En contraste, California es el estado donde se produce la mayor cantidad de alimentos por valor. Más de un tercio de las verduras y las tres cuartas partes de las frutas y nueces del país se cultivan en California, donde los productos con mayores retornos son lácteos, uvas, almendras, vino, carnes, berries, nueces y pistachos. Estos no están subvencionados, y se constituyen como un ejemplo de producción agrícola moderna y en armonía con el medio ambiente.

4.3.1.2 Programas de conservación

Por su parte, el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) tiene diversos programas que apuntan a mejorar

las condiciones de los suelos. Además, el NRCS ofrece asistencia técnica sin costo alguno, donde los productores pueden utilizar asesoramiento e información personalizados para tomar decisiones informadas sobre sus tierras, con base en la ciencia y las investigaciones más recientes.

1. El Programa de Servidumbres de Conservación Agrícola (Agricultural Conservation Easement Program, ACEP) tiene dos componentes: servidumbres de tierras agrícolas para proteger las tierras agrícolas limitando los usos no agrícolas de la tierra; y servidumbres de reserva de humedales para restaurar, proteger y mejorar los humedales mediante la compra de servidumbres de reserva de humedales.
2. El Programa de Reserva de Conservación (Conservation Reserve Program, CRP) ayuda a los propietarios y operadores de granjas a conservar y mejorar los recursos del suelo, el agua, el aire y la vida silvestre mediante la conversión de acres altamente erosionables y otros sensibles al medio ambiente en una cubierta que conserva los recursos a largo plazo.
3. El Programa de Administración para la Conservación (Conservation Stewardship Program, CSP) alienta a los participantes a emprender nuevas actividades de conservación además de mantener y administrar las actividades de conservación existentes.
4. El Programa de incentivos para la calidad ambiental (Environmental Quality Incentives Program, EQIP) brinda asistencia a los propietarios de tierras que se enfrentan a graves desafíos relacionados con los recursos naturales (como la erosión del suelo, la calidad del aire, la calidad y la cantidad del agua y la sostenibilidad del hábitat de los peces y la vida silvestre) que afectan el suelo, el agua y los recursos naturales relacionados, incluidas las tierras de cultivo, pastoreo, forestales no industriales, humedales y hábitat de vida silvestre.
5. Bajo el Programa de Asociación de Conservación Regional (Regional Conservation Partnership Program, RCPP), los productores reciben asistencia técnica y financiera, en cooperación con los socios del USDA, para abordar la calidad y cantidad del agua, la erosión del suelo, el hábitat de la vida silvestre, la mitigación de sequías, el control de inundaciones y otras prioridades regionales.

A esto se le suman programas de apoyo a la Producción de Lácteos; Ganadería y Desastres; Exportación y Asistencia Exterior y otros programas domésticos, como también asistencia para agricultores afectados por represalias injustificadas, estimaciones presupuestarias de la Corporación de Crédito para *commodities* e informes.

4.3.2 Aproximación a la fertilización integral - El caso de California

Las 69,000 granjas y ranchos de California producen más del 50% de las frutas, nueces y verduras de EEUU; 18% de la leche; y más de 400 productos agrícolas diferentes. La producción se conduce por los programas de la Farm Bill 2018 que apoyan la competitividad agrícola, ayudan a revitalizar las comunidades rurales, garantizan alimentos asequibles y saludables para quienes más los necesitan y promueven la conservación y la administración ambiental en las tierras de trabajo. La Oficina de Innovación y Agricultura Ambiental de California apoya la producción agrícola e incentiva prácticas que resulten en un beneficio

neto para el medio ambiente a través de la innovación, la gestión eficiente y la ciencia. Algunos programas específicos en el área de la salud del suelo se detallan a continuación en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Programas específicos para mejorar la salud del suelo en California

Programa	¿Cómo funciona?	¿Qué prácticas específicas son elegibles para financiamiento?	¿Cómo se financia?
<p>Programa de Suelos Saludables (HSP) surge de la Iniciativa de Suelos Saludables de California, una colaboración de agencias y departamentos estatales para promover el desarrollo de suelos saludables en las tierras agrícolas y ganaderas de California</p>	<p>El HSP tiene 2 componentes: - Programa de Incentivos: brinda asistencia financiera para la implementación de la gestión de la conservación que mejoran la salud del suelo, secuestran carbono y reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). - Proyectos de Demostración: muestran la implementación de las prácticas de HSP por parte de los granjeros y ganaderos de California.</p>	<p>Prácticas de manejo que incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● cultivos de cobertura ● labranza cero ● labranza reducida ● mantillo ● aplicación de compost ● plantaciones de conservación. 	<p>Se financia con los ingresos de los fondos de Inversiones Climáticas de California (CCI) (2016-2019). También recibió fondos de la Ley de sequía, agua, parques, clima, protección costera y acceso al aire libre para todos de California (2018)</p>
<p>Programa de manejo alternativo de estiércol (AMMP)</p>	<p>Brinda asistencia financiera para la implementación de prácticas de manejo de estiércol sin digestor en California, lo que resultará en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.</p>	<p>Implican la manipulación y el almacenamiento del estiércol en formas que no incluyen el uso de un digestor anaeróbico y el apoyo a la gestión del estiércol en forma seca. Actualmente, las prácticas elegibles incluyen: manejo basado en pastos; almacenamiento y tratamiento de</p>	<p>CDFR recibe fondos del programa de Inversiones Climáticas de California para reducir las emisiones de metano de las operaciones lecheras y ganaderas</p>

Programa	¿Cómo funciona?	¿Qué prácticas específicas son elegibles para financiamiento?	¿Cómo se financia?
		estiércol alternativos (como graneros con base de compost); y separación sólida o conversión de lavado a raspado junto con alguna forma de secado o compostaje del estiércol recolectado	

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 Metas de política

El USDA está comprometido a trabajar hacia la sostenibilidad de los diversos sistemas agrícolas y alimentarios, donde la sostenibilidad de un sistema se juzgue por el avance en los objetivos relacionados con las dimensiones **sociales**, **económicas** y **ambientales** de la sostenibilidad. Estos objetivos incluyen proporcionar alimentos seguros y nutritivos para todos; proporcionar ingresos y salarios suficientes para los agricultores y trabajadores del sistema; y conservar los recursos naturales en beneficio de las poblaciones actuales y futuras. Sin embargo, no existe todavía una estrategia nacional de agricultura sostenible donde se establezcan claramente las metas e indicadores para evaluar la adopción de nuevas prácticas o la implementación de políticas públicas.

4.3.4 Acciones específicas para la agricultura sostenible

A continuación, se resumen las principales prácticas relacionadas con la fertilización sostenible para los programas más relevantes en lo que se refiere a este estudio (Tabla 4.3)

Tabla 4.3. Principales programas e iniciativas para el mejoramiento de los suelos y su fertilidad en la agricultura administrados por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)

Programas e Iniciativas	Descripción	Beneficios y prácticas
<p>Programa de Incentivos a la Calidad Ambiental (EQIP)</p>	<p>El EQIP brinda asistencia técnica y financiera a productores agrícolas y propietarios de tierras forestales para abordar problemas de recursos naturales, tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Mejorar la calidad del agua y del aire; ● Conservar de aguas subterráneas y superficiales; ● Mejorar la salud del suelo; ● Reducir la erosión y sedimentación del suelo; ● Mejorar o crear el hábitat para la vida silvestre; ● Mitigación contra la sequía y el aumento de la volatilidad climática 	<ul style="list-style-type: none"> ● Reducción de la contaminación de fuentes agrícolas, como las operaciones de alimentación de animales. ● Uso eficiente de nutrientes, reducción de costos de insumos y reducción de la contaminación de fuentes no puntuales. ● Implementación de prácticas climáticamente inteligentes que mejoren la captura de carbono y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero mientras se construyen paisajes resilientes.
<p>Iniciativa Orgánica Nacional (financiada a través del EQIP)</p>	<p>Programa de conservación voluntario que proporciona asistencia técnica y financiera para agricultores y ganaderos orgánicos, o aquellos interesados en hacer la transición a la agricultura orgánica.</p> <p>La asistencia comienza con el desarrollo de un plan de conservación basado en una evaluación de necesidades y las metas únicas de cada agricultor. El plan incluye prácticas, sistemas o actividades de conservación y las preocupaciones sobre los recursos identificados en la evaluación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Mejorar la eficiencia del riego; ● Desarrollar un Plan de Actividades de Conservación para la Transición; ● Establecimiento de zonas buffer; ● Crear hábitat para polinizadores; ● Mejorar la salud del suelo y controlar la erosión; ● Desarrollar un plan de pastoreo y prácticas ganaderas de apoyo; ● Mejorar las rotaciones de cultivos; ● actividades de manejo de nutrientes y plagas; ● Manejo de cultivos de cobertura; y

Programas e Iniciativas	Descripción	Beneficios y prácticas
		<ul style="list-style-type: none"> ● Instalación de un sistema de túnel alto.
Programa de Administración para la Conservación (CSP)	<p>Es el programa de conservación más grande de los Estados Unidos. Ayuda a desarrollar sus esfuerzos de conservación existentes mientras fortalece su operación. Trabaja con los productores para desarrollar un plan de conservación que describa y mejore los esfuerzos existentes, utilizando nuevas prácticas o actividades de conservación, con base en los objetivos de manejo para su operación. Por ejemplo, pasar de cultivo de cobertura, a un cultivo de cobertura multi-especie o de raíces profundas)</p> <p>Los productores implementan prácticas y actividades en su plan de conservación que amplían los beneficios de agua y aire más limpios, suelos más saludables y un mejor hábitat para la vida silvestre, todo mientras mejoran sus operaciones agrícolas.</p> <p>El CSP ofrece pagos anuales por implementar estas prácticas en su terreno y operar y mantener los esfuerzos de conservación existentes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Resistencia mejorada al clima y la volatilidad del mercado ● Disminución de la necesidad de insumos agrícolas. ● Condiciones mejoradas del hábitat de la vida silvestre.
Iniciativa de Conservación de Tierras de	Se desarrolló como un esfuerzo coordinado para identificar problemas prioritarios, encontrar soluciones y	<ul style="list-style-type: none"> ● Apoya a la Coalición Nacional de Tierras de Pastoreo para ayudar a las

Programas e Iniciativas	Descripción	Beneficios y prácticas
Pastoreo (GLCI)	<p>efectuar cambios en las tierras de pastoreo privadas, mejorando los programas de conservación existentes.</p> <p>En 2022, el USDA anunció planes para invertir hasta \$12 millones de dólares en asociaciones que amplíen el acceso a la asistencia técnica de conservación para los productores ganaderos y aumenten el uso de prácticas de conservación en las tierras de pastoreo.</p>	<p>coaliciones estatales de pastoreo a impulsar la participación de productores desatendidos;</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Organiza una Conferencia Nacional Trienal de Tierras de Pastoreo ● Persigue recursos adicionales para los ganaderos
Asistencia de Gestión Agrícola (AMA)	<p>Ayuda a los productores agrícolas a gestionar el riesgo financiero a través de prácticas de diversificación, comercialización o conservación de recursos naturales</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Construir o mejorar estructuras de gestión del agua o de riego; ● Plantar árboles para cortavientos o para mejorar la calidad del agua; ● Mitigar el riesgo a través de la diversificación de la producción; ● Prácticas de conservación de recursos, incluido el control de la erosión del suelo, el manejo integrado de plagas o la transición a la agricultura orgánica
Planificación Integral de Gestión de Nutrientes (CNMP) Pensilvania.	<p>Gestiona la cantidad, forma, ubicación, momento y la aplicación de estiércol animal, fertilizantes comerciales, biosólidos y otros nutrientes vegetales utilizados en la producción de productos agrícolas para mantener la productividad del suelo, lograr objetivos de rendimiento óptimos y evitar pérdidas en el medio ambiente.</p>	<p>La práctica incluye</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollar un balance de nutrientes para nitrógeno, fósforo y potasio para cada cultivo de la rotación ● El balance de nutrientes incluye nutrientes aplicados y residuales. ● Los resultados de las pruebas de suelo y de estiércol se utilizarán para desarrollar

Programas e Iniciativas	Descripción	Beneficios y prácticas
		<p>recomendaciones de nutrientes específicas para cada sitio.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● El índice de fósforo (Índice P) se utilizará, cuando sea necesario, para identificar áreas de potencial pérdida al ambiente y desarrollar tácticas apropiadas para reducir el riesgo.

Fuente: Soil Conservation Service

<https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/programs/>

Por otra parte, el crecimiento sostenible de la productividad agrícola es un elemento fundamental en la construcción de sistemas agrícolas y alimentarios para el futuro. El USDA declara que la innovación es fundamental para impulsar este desarrollo, incluidas las innovaciones tecnológicas y de gestión, las soluciones innovadoras basadas en la naturaleza y los nuevos acuerdos e infraestructuras institucionales. Eso se logra con inversiones públicas y privadas en I+D y la experiencia en evolución de agricultores, ganaderos, administradores de recursos naturales y actores de los sistemas alimentarios.

Algunos puntos clave son:

- Inversión en capital de conocimiento para estimular la innovación
- Inversión en divulgación para aumentar la adopción de la innovación
- Evaluación y gestión holísticas de los impactos previstos y no previstos del crecimiento de la productividad en los resultados sociales, ambientales y económicos
- Inversión en divulgación y difusión de enfoques innovadores y mejores prácticas
- Formular estrategias específicas para diferentes geografías, cultivos, tipos de fincas, mercados y condiciones socioeconómicas
- Estimular la colaboración para aprovechar diversos tipos de conocimiento y ayudar a difundir ampliamente y aumentar la adopción de las mejores prácticas.
- Promover la sostenibilidad ambiental, social y económica a través de servicios ecosistémicos mejorados, mano de obra mejor educada y saludable, y mercados y comunidades estables.

4.4 El caso de Colombia

Colombia, como uno de los primeros países de América Latina que ha desarrollado una Estrategia Nacional de Economía Circular de la cual la agricultura es una parte crucial. En Colombia ya hay varios ejemplos de “buenas prácticas” en relación con la agricultura

circular. Por ejemplo, el programa RedES-CAR de la Universidad de Los Andes en el departamento de Cundinamarca, que es un excelente ejemplo de cooperación entre el sector privado, académico y público que resulta en prácticas comerciales más sostenibles.

4.4.1 Tipo de instrumentos

Desde hace varios años Colombia viene realizando esfuerzos sistemáticos y planificados en torno a la agricultura, temas de interés comunes son la tenencia de tierra en conexión con el bienestar económico y social del agricultor, pero también de su apropiación del bienestar del territorio que ocupa. A continuación, se describen los alcances de los principales instrumentos utilizados.

- **Planes de Desarrollo:** En el Gobierno anterior al actual, el Plan Nacional de Desarrollo (2018-2022): Pacto por Colombia, pacto por la equidad, estableció las directrices estratégicas, en relación con la agricultura, el plan tenía varias áreas de enfoque, a saber:
 - Planificación social rural, en la que las claves fueron la inclusión de las mujeres en el proceso de formalización de la tierra y la consolidación de los planes de Planificación de la Propiedad Social;
 - El ordenamiento productivo del campo, y en este sentido, las estrategias tienen como objetivo fomentar el uso eficiente de la tierra rural y promover modelos de agricultura climáticamente inteligentes;
 - El desarrollo de bienes públicos en el sector rural, donde existen estrategias para mejorar la calidad y cobertura de conectividad y comercialización en las zonas rurales y fortalecer el servicio público de adaptación de tierras. En este aspecto, el gobierno estimaba que la adaptación de la tierra haría viable el 46% de la frontera agrícola, pero hoy solo se alcanza el 6% de la tierra potencial; Mejorar los esquemas de financiamiento y gestión de riesgos para las actividades agrícolas.
 - Mejoramiento de las actividades rurales no relacionadas con el sector, tales como las actividades de turismo, industriales y comerciales en las zonas rurales. Reforma institucional del sector, así como la implementación de un sistema nacional de información agrícola.
 - Aumento de la cantidad de tierra en el país que estará bajo riego con al menos 150,000 hectáreas. El país cuenta con 18 millones de hectáreas que requieren riego, mientras que solo el 6% están actualmente bajo riego. Además, se contemplan asociaciones público-privadas para hacer que los esquemas de riego existentes sean más productivos y eficientes.
- **Leyes relevantes:** Decreto Ley 2811 de 1974 se señala que el uso de los suelos debe realizarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos y que se debe determinar el uso potencial y clasificación de los suelos según los factores físicos, ecológicos, y socioeconómicos de la región. Igualmente, en esta norma se señaló que el aprovechamiento de los suelos debe efectuarse en forma tal que se mantenga su integridad física y su capacidad productora. La Resolución 0170 de 2009 del MADS declaró el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio

como Día Nacional de los Suelos; además se le asigna al Ministerio, entre otras la obligación de formular políticas y expedir normas, directrices e impulsar planes, programas y proyectos dirigidos a la conservación, protección, restauración, recuperación y rehabilitación de los suelos. La Ley 388 de 1997, establece que, el ordenamiento del territorio se fundamenta en los siguientes principios: la función social y ecológica de la propiedad, la prevalencia del interés general sobre el particular y la distribución equitativa de las cargas y los beneficios. Se recopilan otros esfuerzos que se realizaron en los años anteriores desde la Presidencia de la República en (Colección de legislación colombiana, 2022)

- **Esquemas de certificación voluntaria:** varios sectores en Colombia utilizan esquemas de certificación voluntarios para asegurar la calidad, la sostenibilidad y la inclusión social. Entre otros, el aceite de palma, el banano, el café, las flores y el cacao utilizan estos esquemas. Los esquemas más utilizados en Colombia son Global G.A.P., Rainforest Alliance, Fair Trade y RSPO
- **Estrategia para la gestión integral de riesgos agropecuarios³:** Enfocado en minimizar los riesgos de las personas más vulnerables en el campo, este plan se plantea 5 objetivos a saber:
 - OE1. Fortalecer la gestión de información para la gestión de riesgos agropecuarios;
 - OE2. Mejorar el marco institucional y coordinación para la implementación de una política de gestión integral de los riesgos agropecuarios;
 - OE3. Impulsar la productividad y competitividad del sector agropecuario;
 - OE4. Contribuir al acceso y la formalización de tierras;
 - OE5. Mejorar las condiciones de comercialización de los productos agropecuarios.
- **Proyecto” Desarrollo Rural con Enfoque Territorial DRET II: para producir conservando y conservar produciendo”.** El DRET II es un proyecto cofinanciado por la Unión Europea (UE), la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y busca, entre otras, brindar asistencia técnica al Ministerio de Ambiente y al Ministerio de Agricultura para que Colombia logre un sistema agrícola sostenible y fortalecer a los productores para que transiten hacia unos procesos más limpios, apoyado, por ejemplo, en la economía circular.
- **Ley de Acción Climática⁴:** busca crear unas medidas mínimas a corto, mediano y largo plazo que le permitan al país alcanzar la carbono neutralidad a 2050; Al 2030 plantea: Reducir a cero la deforestación; Reducir las emisiones de carbono

³ <https://www.minagricultura.gov.co/Documents/LIBRO%20ESTRATEGIA%20VERSION%20FINAL.pdf>

⁴ <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/20211130-Abc-Accion-Climatica.pdf>

negro en un 40 %; Refrendar la meta de disminuir en un 51 % las emisiones de GEI; Y dictar medidas para lograr la resiliencia climática; El proyecto de ley crea herramientas para el seguimiento de las metas y medidas en materia climática y expone de forma explícita la manera de divulgación de la información a la ciudadanía sobre los avances, con el fin de ofrecer acceso y transparencia a la información.

- **Política Nacional para la Gestión Integral Ambiental Del Suelo (GIAS):** Promueve la gestión integral ambiental del suelo en Colombia, en un contexto en el que confluyen la conservación de la biodiversidad, el agua y el aire, el ordenamiento del territorio y la gestión de riesgo, contribuyendo al desarrollo sostenible y al mejoramiento de la calidad de vida de los colombianos. El proceso de formulación de esta política inició en el año 2011 mediante convenio MADS - IDEAM, el cual arrojó como resultados, entre otros, el Diagnóstico Nacional del Estado del Recurso Suelo y una Propuesta de Estructuración de Lineamientos Estratégicos para el Diseño de la Política para la Gestión Integral Ambiental del Recurso Suelo en Colombia (GIARS). Posteriormente a través mediante convenio MADS - Universidad Nacional (2013) se elaboró el primer borrador de política el cual fue ajustado teniendo en cuenta los aportes de actores del orden nacional, regional y local⁵. Dicho documento plantea 6 líneas de trabajo:
 - Línea 1: Fortalecimiento Institucional y Armonización de Normas y Políticas para el Uso y Manejo Sostenible del Suelo
 - Línea 2: Educación, Capacitación Y Sensibilización para la GIAS
 - Línea 3: Fortalecimiento de Instrumentos de Planificación Ambiental y Sectorial para la Gias
 - Línea 4: Monitoreo y Seguimiento a la Calidad de los Suelos
 - Línea 5: Investigación, Innovación Y Transferencia de Tecnología para la GIAS
 - Línea 6: Preservación, Restauración y Uso Sostenible del Suelo
- **Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo:** El pacto por la sostenibilidad busca consolidar procesos que

⁵ Comité Técnico Interinstitucional el cual está conformado por entidades como Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Transporte, Cortolima, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, Unidad de Planificación Rural Agropecuaria, Instituto Colombiano Agropecuario, Parques Nacionales Naturales de Colombia, Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, Instituto Colombiano de Desarrollo Rural, Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, Colciencias, Asociación Colombiana de Agrólogos, Servicio Geológico Colombiano, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Piloto de Colombia, entre otras; además se contó con la participación de la FAO, el IICA, expertos de la Unión Europea, autoridades ambientales, representantes institucionales de ministerios, gobernaciones, y alcaldías, entidades nacionales e institutos descentralizados, la academia, representantes de gremios de la producción, de comunidades étnicas y campesinas, entre otros

faciliten un equilibrio entre la conservación del capital natural, su uso responsable y la producción nacional, de forma tal que la riqueza natural del país sea apropiada como un activo estratégico de la Nación. El pacto es transversal al desarrollo, por lo que potenciará las acciones integrales y coordinadas entre el sector privado, los territorios, las instituciones públicas, la cooperación internacional y la sociedad civil para adoptar prácticas sostenibles, adaptadas al cambio climático y bajas en carbono.⁶

4.4.2 Aproximación a la fertilización integral

Colombia de manera similar a Chile importa la mayoría de sus nutrientes, el 75% de las importaciones de fertilizantes del país se concentran en Urea, Fosfato Diamónico (DAP), Fosfato Monoamónico (MAP) y Cloruro de Potasio (KCL). Entre 2000 y 2007 el país importó en promedio 445.000 toneladas de Urea al año, 365.000 toneladas de KCL y 250.000 toneladas de fuentes de fósforo DAP y MAP. Si bien existe alta dependencia de materia prima importada para la elaboración de fertilizantes en Colombia, lo que lleva a una tendencia volátil en los precios, afectando los costos de producción de las actividades agropecuarias, no existe una política específica en materia de fertilización sostenible y en las políticas investigadas no adquiere protagonismo específico si bien existen políticas que apuntan de manera tangencial al tema como la GIAS.

En general, los agricultores del país hacen un uso ineficiente e insostenible de los fertilizantes en la medida en que su uso excesivo causa desbalances nutricionales, incluso llegando a niveles de toxicidad en el suelo, y aumentando innecesariamente los costos de producción. Se ha calculado que un 70% de las aplicaciones de nitrógeno se pierden y el 75% del fósforo se fija en el suelo y se pierde su aplicación.

Existe en la actualidad un creciente interés en el uso de microorganismos como biofertilizantes; los cuales son productos elaborados con base en una o más cepas de microorganismos benéficos, que al aplicarse al suelo o a las semillas promueven el crecimiento vegetal o incrementan el aprovechamiento de los nutrientes en asociación con la planta o su rizósfera. Ejemplos de estos productos son: hongos formadores de micorrizas, bacterias fijadoras del nitrógeno y microorganismos solubilizadores de fósforo. Empresas como bioabonos lo ofrecen y desarrollan nuevos productos en asocio con importantes Universidades del país.

4.4.3 Metas de política

De las estrategias estudiadas, el Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo plantea metas con relación a distintos ODS, en relación con aquellos

⁶https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_0766182a690b4167901d3fa801d099f9/coleccion-de-legislacion-colombiana/iv.-pacto-por-la-sostenibilidad%3a-producir-conservando-y-conservar-produciendo

relacionados con la fertilización sostenible destacan aquellos relacionados con la ganadería bovina sostenible, el aumento en la utilización de residuos y la reducción de gases efecto invernadero. (Figura 4.3)

Indicadores de resultado					
Sector	Indicador	Línea base	Meta del cuatrienio	ODS asociado (primario)	ODS asociado (secundario)
Agricultura y Desarrollo Rural	Áreas con sistemas de producción ganadera bovina sostenible	72.000 ha	147.000 ha		
Transporte	Vehículos eléctricos registrados en el RUNT	1.695 (2016)	6.600		
Minas y Energía	Intensidad energética	3,70 (terajulios/mil millones de pesos 2005)	3,43 (terajulios/mil millones de pesos 2005)		
Ambiente y Desarrollo Sostenible	Tasa de reciclaje y nueva utilización de residuos	8,7 %	12 %		
Ambiente y Desarrollo Sostenible	Residuos peligrosos y especiales sujetos a gestión posconsumo	218.427 ton	565.995 ton		
Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reducción acumulada de las emisiones de Gases Efecto Invernadero, con respecto al escenario de referencia nacional*(T)	0 millones de tCO2eq	36 millones de tCO2eq		
Ambiente y Desarrollo Sostenible	Puntos de monitoreo con Índice de Calidad de Agua (ICA) malo**	29	20		
Ambiente y Desarrollo Sostenible	Porcentaje de estaciones de calidad del aire que registran concentraciones anuales por debajo de 30 µg/m³ de partículas inferiores a 10 micras (PM10)***	22 %	35 %		

Figura 4.3. Metas del Pacto por la Sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo

Por otro lado, la **Ley de acción climática** plantea metas relacionadas con la fertilización integrada

- Lograr la restauración ecológica de al menos 1 millón de hectáreas.
- Lograr que en 135 cuencas hidrográficas se incorpore el cambio climático, como parte de su ordenación ambiental.
- Manejo sostenible de 2,5 millones de hectáreas mediante contratos de conservación para estabilizar la Frontera Agropecuaria
- Reusar el 10 % de las aguas residuales domésticas.

4.4.4 Acciones específicas

La Política Nacional para la Gestión Integral del Suelo-GIAS plantea acciones como sigue:

- Generar acciones para la conservación de los suelos con el fin de mantener sus funciones y servicios ecosistémicos
- Fortalecer instrumentos de planificación ambiental y sectorial para la GIAS.
- Promover la investigación, innovación y transferencia de tecnología para el conocimiento de los suelos, su conservación, recuperación, uso y manejo sostenible.
- Fortalecer y articular políticas e instrumentos relacionados con la GIAS.
- Fortalecer la institucionalidad y promover la articulación interinstitucional e intersectorial para mejorar la efectividad y orientación en la toma de decisiones relacionadas con la GIAS.
- Desarrollar procesos de educación, capacitación y divulgación con el fin de fortalecer la participación social y la gestión ambiental para la conservación y uso sostenible del suelo. Adelantar procesos de monitoreo y seguimiento a la calidad de los suelos.

Así mismo, el GIAS busca impulsar un programa para la promoción de sistemas sostenibles de producción que incluyan prácticas de conservación de suelos enfocadas a preservar los ecosistemas y la estructura ecológica principal, en donde se visualice la importancia de la biodiversidad edáfica y la valoración de sus funciones y servicios ecosistémicos. Dicho programa requerirá constituir alianzas entre actores en distintas instancias. De otro lado, se esperan generar directrices y guías metodológicas para fortalecer los instrumentos de restauración ecológica existentes en los componentes relacionados con el suelo e incorporar dichas directrices en los procesos de compensación por pérdida de la biodiversidad.

4.5 Análisis comparado de las políticas agrícolas internacionales

Tabla 4.4. Análisis comparativo de políticas internacionales

Aspectos clave	EU F2F	Francia	EEUU	Colombia
Objetivo	La estrategia from Farm to Fork tiene por objetivo lograr una cadena de alimentación sostenible europea	El plan "Produire autrement" (producir de otro modo) tiene por objetivo organizar cambios colectivos en las prácticas de los agricultores que incluyan	Estabilizar los precios y la oferta de alimentos, y crecimiento sostenible de la productividad agrícola	Distintos tipos de instrumentos con diversos objetivos con énfasis en mejorar la situación del campesino

Aspectos clave	EU F2F	Francia	EEUU	Colombia
		rentabilidad económica, desempeño ambiental y fortalecimiento social.		minimizando su riesgo, cambio climático y política ambiental de suelos
Estado del arte	La propuesta legislativa denominada "Framework for Sustainable Food Systems" (FSFS) está en elaboración, ha sido validada con stakeholders y su lanzamiento está previsto para fines de 2023.	El plan del gobierno anterior ha sido adoptado sólo parcialmente por el nuevo gobierno, el cual prioriza productividad e independencia agroalimentaria basada en tecnología. Se mantienen las metas de rebajar al 50% pesticidas y al 20% fertilizantes al 2030.	Existe apoyo a la agricultura en forma de subsidios y programas, pero no existe una estrategia nacional de agricultura sostenible con metas claras e indicadores.	Iniciativas distintas y dispersas, aún no se conoce en detalle el rumbo que tomará la política en el nuevo gobierno si bien se prevén intervenciones para reducir uso de pesticidas y favorecer algunos cultivos en pro del autoabastecimiento de productos que hoy se importan (como cereales)
Tipos de políticas	Incluye acciones legislativas, así como servicios de	Las políticas consistieron principalmente en	Subsidios, programas de apoyo	No existe una política específica de

Aspectos clave	EU F2F	Francia	EEUU	Colombia
	asesoramiento, instrumentos financieros, inversión en investigación e innovación, en un proceso que busca desarrollar y probar soluciones, superar barreras y descubrir nuevas oportunidades de mercado	incentivos o subsidios a prácticas de agroecología y la innovación, cooperación y organización apostando a cambios colectivos en las prácticas de los agricultores con un impacto esperado en la rentabilidad económica, el desempeño ambiental y la cohesión social.	financiados por el departamento de agricultura, pero también por fondos para mitigar el cambio climático	fertilización. Las políticas existentes son genéricas y apuntan en general a educar, investigar, mejorar sistemas de información, reutilizar residuos y aguas, ganadería sostenible.
Prácticas agrícolas que promueve	No se establecen a priori, se deben establecer país a país a nivel de Planes Estratégicos (CAP), y se deben aplicar herramientas como la Herramienta de Sostenibilidad Agrícola (Farm Sustainability Tool) para la gestión de nutrientes y el sistema de georeferenciación Galileo.	Las prácticas adoptadas combinaron aquellas de la agricultura ecológicamente intensiva y de conservación incluyendo técnicas de no labranza del suelo, cobertura permanente y diversificación de cultivos	Mejorar la salud del suelo Disminuir la necesidad de insumos agrícolas, uso eficiente de nutrientes, reducción de costos de insumos y reducción de la contaminación Prácticas de conservación de recursos, incluido el control de la erosión del suelo, el manejo integrado de	Ninguna en particular, las acciones son genéricas hacia la productividad, comercialización, transferencia tecnológica.

Aspectos clave	EU F2F	Francia	EEUU	Colombia
			<p>plagas o la transición a la agricultura orgánica Mejorar las rotaciones de cultivos; Manejo de cultivos de cobertura; y Desarrollar un plan de pastoreo y prácticas ganaderas de apoyo.</p>	
Instrumentos de política	<p>Se plantean escenarios voluntarios y command and control que se encuentran en evaluación. En el caso de la nueva legislación se contempla que ésta puede ser de tipo sectorial o tener un marco general con precisiones por sector.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Subsidios a la agricultura ecológica y agroforestería, ● Subsidios para la reducción del uso de fitosanitarios ● Ayudas de mecanización agrícola, reducción del uso de antibióticos en la ganadería y la apicultura sostenible. ● Constitución de Grupos de Interés Económico y Ambiental (GIEE) con acceso a los regímenes de ayuda franceses o 	<p>Transición voluntaria a la agricultura orgánica Programas de transferencia tecnológica</p>	<p>Planes, Programas, Leyes</p>

Aspectos clave	EU F2F	Francia	EEUU	Colombia
		Europeos.		
Temas priorizados a nivel de fertilización sostenible	<ul style="list-style-type: none"> ● Fertilización balanceada y gestión sostenible de nutrientes conducente a la gestión mejorada de nitrógeno y fósforo a lo largo de su ciclo de vida ● Recuperación de nutrientes de residuos orgánicos ● Ganadería intensiva 	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimizar o eliminar la labranza ● Uso de cultivos de cobertura y abono verde, retención de residuos y reducción o eliminación del uso de quema a cielo abierto ● Aplicar compost y estiércol animal para restaurar el microbioma de la planta/suelo ● Uso de rotaciones de cultivos, plantación de cultivos múltiples, cultivos intercalados, cultivos de cobertura de múltiples especies ● Uso de la inoculación con microorganismos para mejorar los procesos y regulaciones biológicas del suelo. 	Eficiencia en el uso de recursos	Ninguno en particular

Fuente: Elaboración Propia

5. Situación de la agricultura chilena

La combinación entre los 4,200 km de extensión y especial geografía de Chile, sumado a las particulares corrientes marinas subtropicales en el norte y polares desde el sur, resultan en una amplia variedad de climas a lo largo y ancho del territorio, lo que ha permitido un desarrollo agrícola y forestal altamente diversificado del país.

Según los resultados preliminares del CENSO 2021 (ODEPA, 2022^a), de los 47,5 millones de hectáreas de superficie nacional, sólo **el 3,8% (1.819.118 ha) son actualmente destinadas a cultivos**, mientras que el resto es ocupado por plantaciones forestales, formaciones naturales, terrenos no productivos y terrenos productivos no trabajados. Por otra parte, dentro de la superficie de cultivos, el 48,7 % pertenece a la categoría de riego y el 50,4% a secano. En cuanto al uso de suelos para cultivos, podemos ver que **aproximadamente el 75% de la superficie total cultivada se destina a praderas mejoradas, cereales y frutales** (Fig. 5.1).

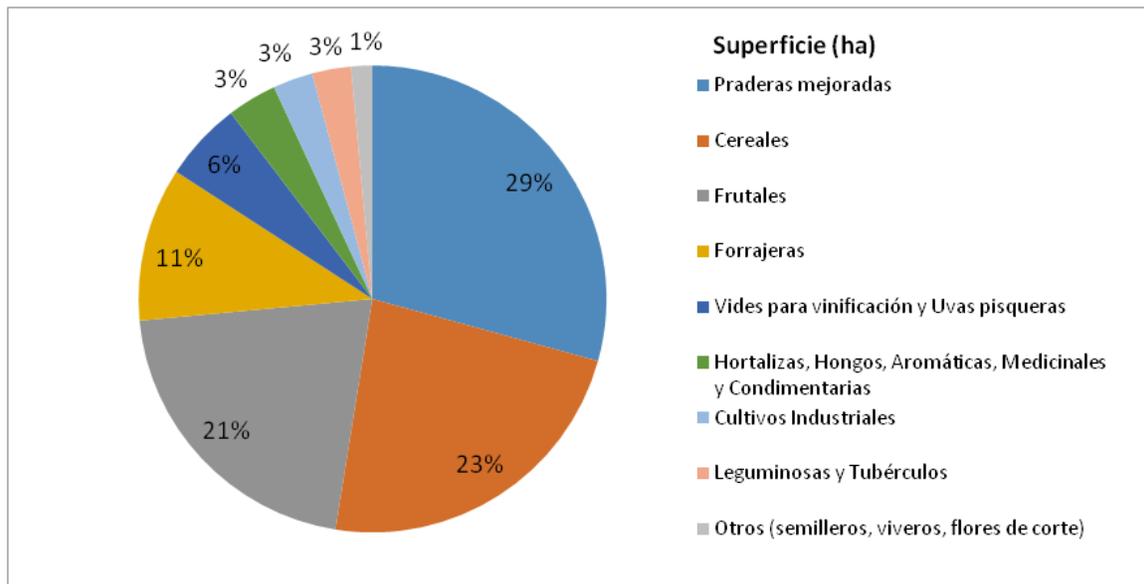


Figura 5.1. Composición de categoría de cultivo según superficie en hectáreas para el año agrícola de referencia 2020 – 2022. Fuente: ODEPA 2022a.

Asimismo, esta distribución coincide al examinar el número de Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs) a nivel nacional según su actividad principal asociada, donde tenemos que **el mayor número de UPAs se dedica a la ganadería (36%), luego a cultivos (31%) y después a frutales (15%)** (Fig. 5.2). El número y superficie total de UPAs y Unidades de Autoconsumo a nivel nacional, según uso del suelo (año agrícola de referencia 2020 - 2021) se muestran en la Tabla 5.1.

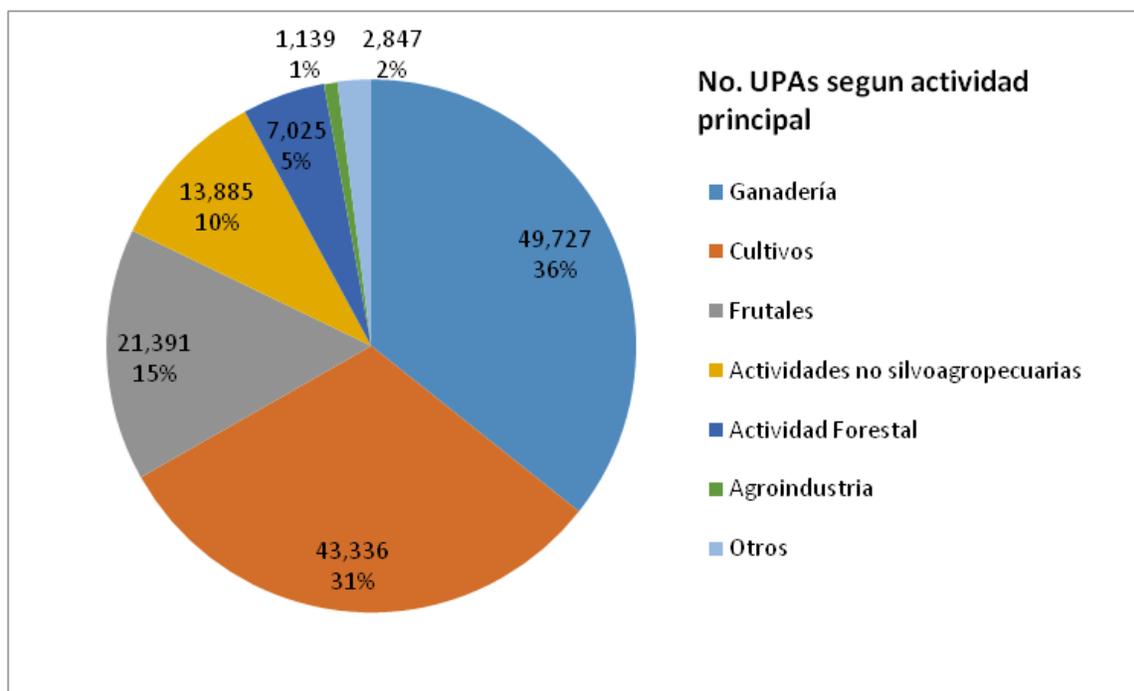


Figura 5.2. Número de Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs) a nivel nacional según su actividad principal asociada para el año agrícola de referencia 2020 – 2022.

Fuente: ODEPA 2022a.

Tabla 5.1. Número y superficie total de Unidades Productivas Agropecuarias (UPAs) y Unidades de Autoconsumo a nivel nacional, según uso del suelo, para el año agrícola de referencia 2020 - 2021

Usos del suelo	UPAs ²		Unidades de Autoconsumo ³		Total	
	Unidades ⁴	Superficie (ha)	Unidades ⁴	Superficie (ha)	Unidades ⁴	Superficie (ha)
Nivel Nacional	139,350	47,515,610	37,220	32,119	176,570	47,547,729
Cereales	33,043	420,628	4,614	2,405	37,657	423,033
Leguminosas y Tubérculos	8,169	47,836	4,302	939	32,471	48,775
Cultivos Industriales	1,713	50,090	146	54	1,859	50,144
Hortalizas, Hongos, Aromáticas, Medicinales y Condimentarias	45,564	60,862	14,559	1,762	60,123	62,624
Frutales	45,662	379,034	11,534	2,657	57,196	381,691
Vides para vinificación y Uvas pisqueras	6,085	99,386	625	213	6,710	99,599
Flores de corte	1,568	1,153	431	55	1,999	1,208
Semilleros	1,038	18,829	55	18	1,093	18,847
Viveros y Césped Alfombra	1,615	6,657	274	44	1,889	6,701
Forrajeras	24,111	192,268	3,036	1,554	27,147	193,822
Plantaciones forestales	30,499	2,055,374	2,631	1,014	33,130	2,056,389
Bosque nativo	39,995	10,105,806	2,351	883	42,346	10,106,689
Praderas mejoradas	18,715	532,026	1,071	649	19,786	532,675
Praderas naturales	80,377	9,647,589	13,758	8,416	94,135	9,656,005
Terrenos productivos no trabajados en el año agrícola	27,626	1,110,934	6,907	3,259	34,533	1,114,193
Matorrales	27,182	2,181,283	2,366	631	29,548	2,181,914
Terrenos no productivos	25,705	20,341,668	4,321	1,490	30,026	20,343,158
Infraestructura	106,083	264,186	28,159	6,077	134,242	270,263

FUENTE: VIII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, año agrícola 2020 - 2021, INE-Chile.

Por su parte, en la producción pecuaria el mayor número de existencias lo tiene la categoría pollos (incluye gallos, gallinas, pollas y pollos) con cerca de 60 millones de existencias, lo que corresponde a un 84% del total nacional. Le siguen ovinos y porcinos con cerca de 2,7 millones de existencias respectivamente, 2,5 millones bovinos y 2,2 millones de pavos.

El rendimiento de los cultivos está fuertemente asociado al uso de fertilizantes químicos. En la Figura 5.3 se puede ver la evolución en el uso de fertilizante en Chile para el período 2001-2018 según nutriente (N, P, K) correspondiente a los minerales solubles, donde se observa que el consumo estuvo en alza hasta alcanzar un máximo en el año 2008 y luego presenta una tendencia a la baja hasta la época actual.

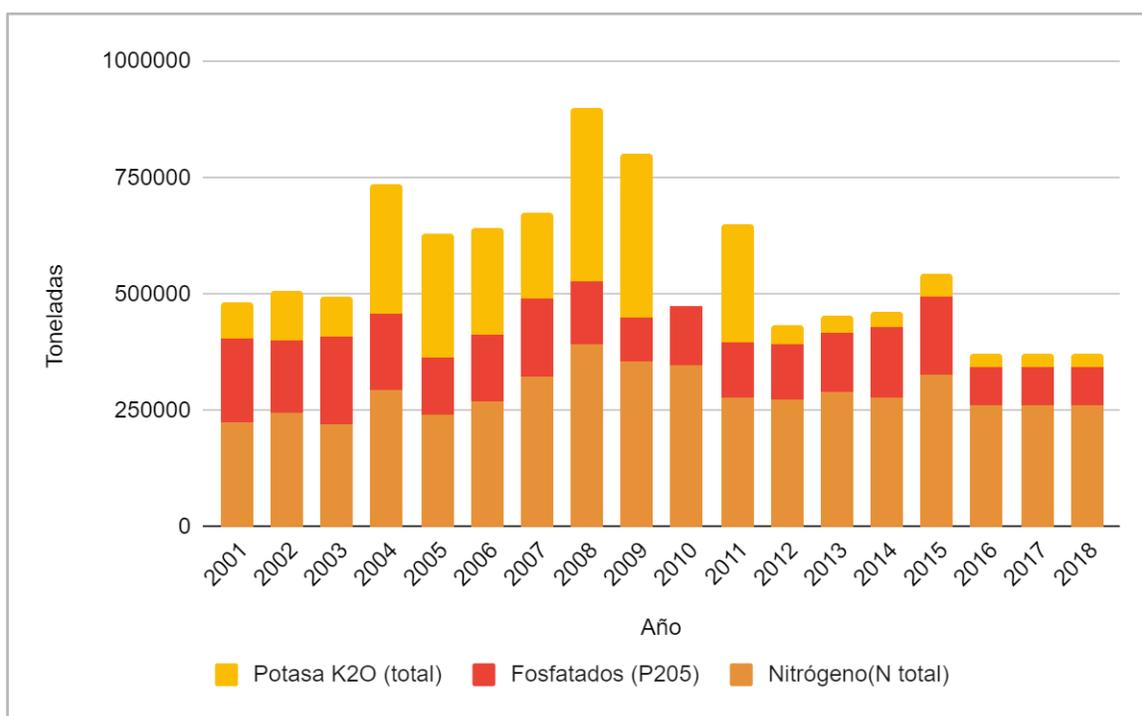


Figura 5.3 Evolución en el uso agrícola de fertilizantes en Chile. Fuente: MMA, 2020

Por otra parte, al analizar el uso de fertilizantes por cultivos (Tabla 5.2), son los cereales donde se destina la mayor cantidad de fertilizantes, seguidos por praderas y frutales. Estos últimos son los que consumen mayor cantidad de fertilizantes potásicos.

Tabla 5.2. Consumo de fertilizantes en Chile por tipo de cultivo (Período 2014-2015)

Cultivo	Total (kt)	Participación	Kt métrica		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cereales	138	32,5%	77	43	18

Pastizales	96	22,6%	39	42	15
Frutales	79	18,8%	33	10	36
Residuos	55	13,1%	29	19	7
Raíces y tubérculos	24	5,6%	6	9	9
Hortalizas	19	4,4%	7	4	8
Azúcar	10	2,0%	3	2	5
Oleaginosas	4	0,8%	2	1	1
Fibra	<1	0,2%	0	0	0

Fuente: IFA 2017 en González, P. 2019.

5.1 Principales suelos de Chile y zonificación de la producción agropecuaria

El suelo es el resultado natural a la interacción de sus cinco factores de formación: material parental, clima, topografía, biota y tiempo. En el caso de Chile, la formación de suelos está fuertemente influenciada por el gradiente climático que existe de norte a sur (principalmente en la disponibilidad de precipitaciones) y por la particular fisiografía de este a oeste originada por el movimiento de las placas tectónicas, como son la Cordillera de la Costa, la Depresión Intermedia y la Cordillera de los Andes. La combinación de estas condiciones ha permitido el desarrollo de una gran diversidad de suelos en el país, los que se distinguen según cuatro zonas: Norte Grande, Norte Chico, Zona Central y Zona Austral. (Universidad de Chile, 2018).

Son los suelos de la Zona Central (Lat 33° - 43°S) donde se concentra la actividad agrícola nacional ya que se combina la presencia de suelos fértiles, clima propicio y disponibilidad de agua. En el relieve ondulado de la Cordillera de la Costa, que es la unidad fisiográfica más antigua, es donde predominan los suelos rojos arcillosos. Estos suelos hacia el norte son altos en bases de intercambio (Alfisoles), las que disminuyen hacia el sur ya que en zonas más lluviosas se produce mayor lavado durante su desarrollo y también se generan suelos de más profundidad (Ultisoles). En la parte norte de la depresión intermedia se encuentran suelos bajo agricultura de riego de alta intensidad que destacan por ser de reacción alcalina y tener un horizonte superficial oscuro rico en materia orgánica (Mollisoles). Entre las regiones de Valparaíso y Maule existen sectores con presencia de suelos ricos en arcillas expansibles (Vertisoles) que provienen de ambientes lacustres. Hacia el sur se encuentran los suelos volcánicos (Andisoles), conocidos localmente como Ñadis y Trumaos. También se pueden encontrar dentro de la Depresión Intermedia suelos rojos arcillosos en zonas como cerros isla o en depósitos muy antiguos (Alfisoles y Ultisoles). Los suelos de la Cordillera de los Andes bajo los 2.000 msnm presentan un

gradiente similar, con una distribución de norte a sur de Mollisoles, Inceptisoles y Andisoles (Universidad de Chile, 2018).

Cabe señalar que no existe una cartografía de suelos detallada para el país, por lo que la información disponible debe ser ocupada con cuidado ya que proviene de datos con alto grado de incertidumbre. Sin embargo, al revisar la distribución de las clases de capacidad de uso de suelos en el país (Tabla 5.4) tenemos que solo el 1% de la superficie nacional no presenta limitaciones (Clases I y II) lo que equivale a 764.164 ha, mientras que los suelos con limitaciones (Clases III y IV) son cerca del 5,12% (3.869.178 ha).

Tabla 5.3 Superficie y participación según su capacidad de uso (En Universidad de Chile, 2018)

Tipo de uso	Aptitud de uso	Capacidad de uso	Superficie (ha)	Participación (%)
Suelos agrícolas arables	Sin limitaciones	I	111.346	0,15
		II	652.818	0,86
	Con limitaciones	III	1.762.559	2,33
		IV	2.106.619	2,79
Subtotal (1)			4.633.342	6,13
Suelos agrícolas no arables	Ganadera	V	2.271.144	3,00
	Ganadero - Forestal	VI	6.219.736	8,22
	Bosques	VII	13.430.602	17,76
Subtotal			21.921.482	28,99
Suelos no agrícolas	Conservación	VIII	14.200.000	18,78
Suelos improductivos			34.869.936	46,11
TOTAL			75.624.760	100

FUENTE: IREN, 1966; Santibáñez et al., 1996 y CONAF.CONAMA, 1999.

Esto da cuenta de la necesidad urgente de impulsar la adopción de medidas que permitan el uso sostenible de estos suelos, protegiendo los suelos de mejor calidad de la sobreexplotación y de la expansión urbana (Universidad de Chile, 2018).

Si bien en todas las regiones del país existe actividad agropecuaria, la mayor superficie de uso agrícola en las últimas décadas se ha concentrado en la zona centro-sur (Fig. 5.5), actualmente con un 34% de participación entre las regiones de Coquimbo a O'Higgins y un 61% entre el Maule y La Araucanía. Por su parte, en los extremos norte y sur del país la superficie de cultivos no supera el 3% y el 2% respectivamente.

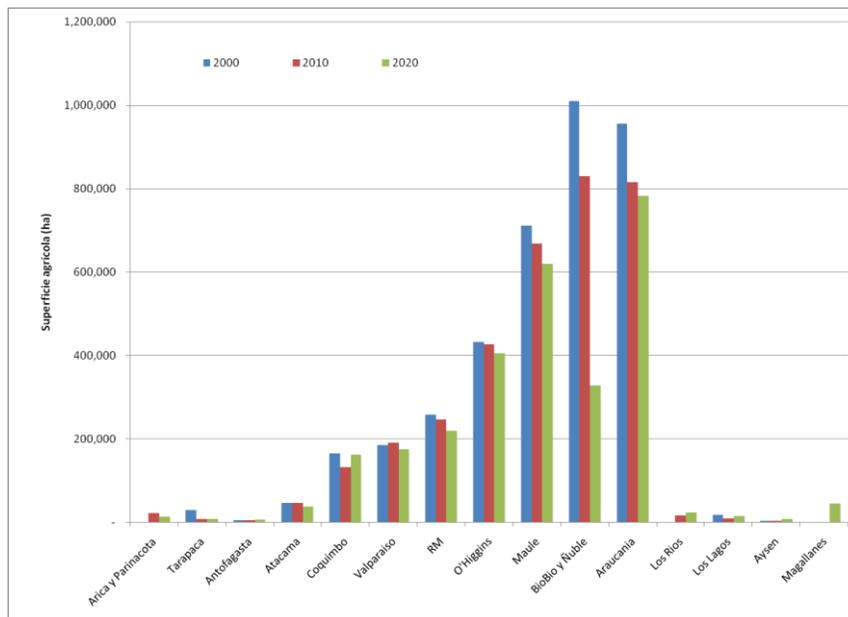


Figura 5.4. Superficie (ha) de uso agrícola por regiones y su evolución en tres décadas.
Fuente stat.ine.cl agosto 2022

Al examinar la información anual por rubro y por regiones (ODEPA, 2022^b) tenemos que, en la categoría de praderas mejoradas, las mayores superficies se encuentran en las regiones del sur, particularmente en la región de Los Lagos (Fig. 5.5).

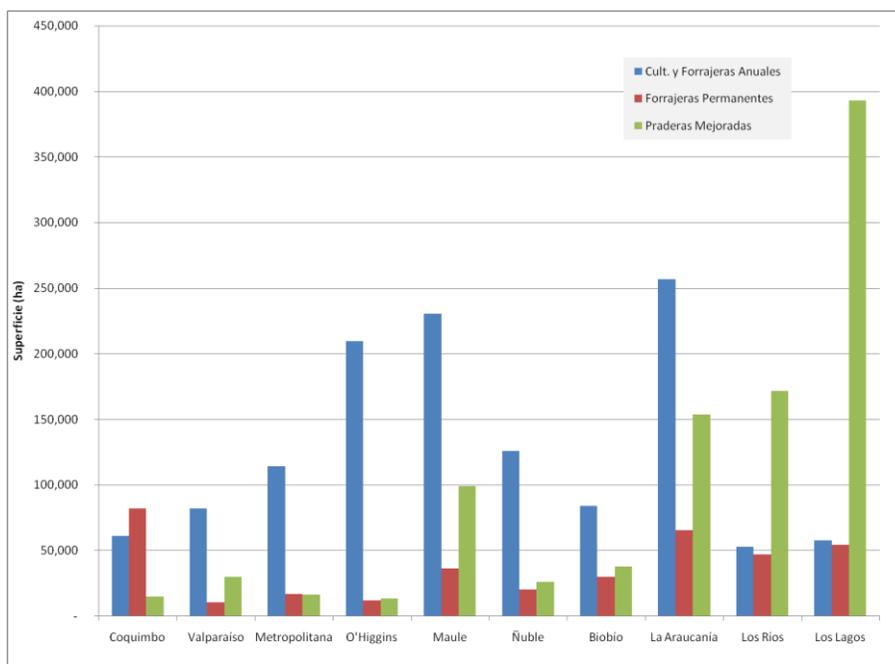


Figura 5.5. Distribución regional de forrajes y praderas entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía. Fuente: ODEPA, 2022^b.

En la categoría de cultivos anuales, tenemos que los cultivos más importantes en el país son el trigo, la avena y el maíz, donde la región de la Araucanía es por excelencia la productora de trigo y avena, seguida por Ñuble y Biobío (Fig. 5.6).

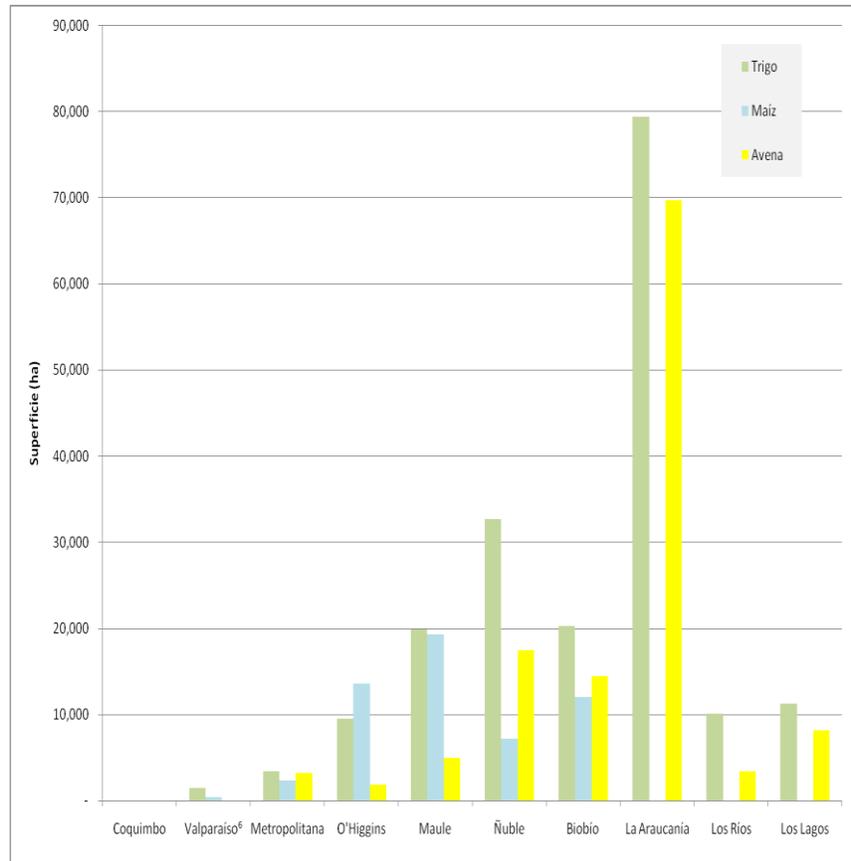


Figura 5.6. Distribución regional de los cultivos anuales más importantes entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía. Fuente: ODEPA, 2022^b.

Asimismo, los frutales más importantes en el país son el cerezo, el nogal, la vid de mesa, el palto, la manzana roja y recientemente ha crecido la superficie destinada a avellanos (Fig. 5.7).

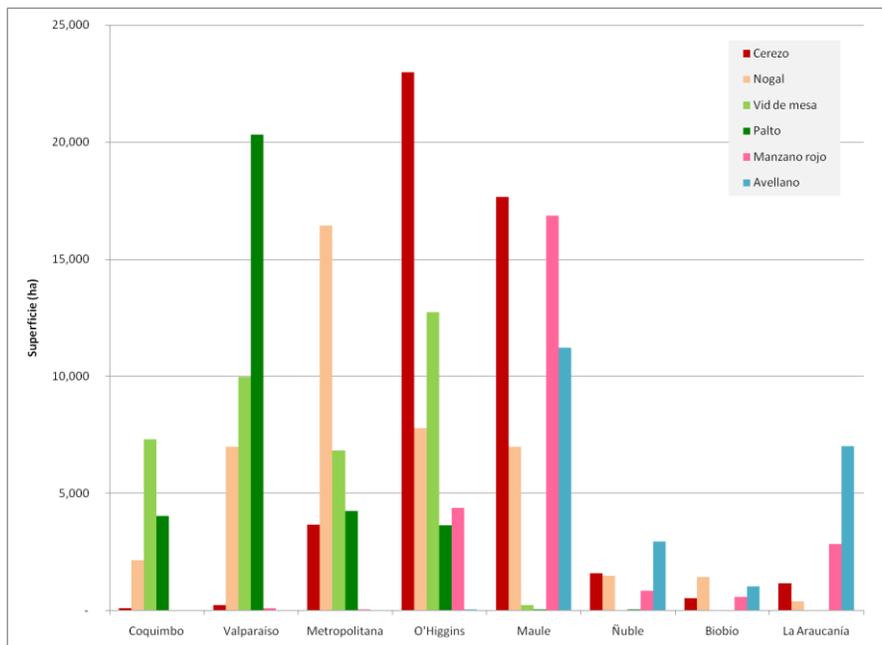


Figura 5.7. Distribución regional de los frutales más importantes entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía. Fuente: ODEPA, 2022^b.

La producción de cerezos se concentra en la región de O'Higgins y el Maule, mientras que las mayores plantaciones de nogales están en la Región Metropolitana. La vid de mesa es importante desde la IV región a la VI, mientras que el palto es por excelencia un cultivo de la región de Valparaíso.

En todo el país anualmente se cultivan una gran variedad de hortalizas, tanto al aire libre como en invernaderos. La producción se destina para consumo fresco como también para la agroindustria (congelados, deshidratados, conservas y jugos), tanto para el mercado interno como internacional. Entre las regiones de Coquimbo y Maule se concentra el 85% de la superficie hortícola nacional (Fig. 5.8) y los cultivos más relevantes para el consumo fresco son el choclo, la lechuga, la cebolla de guarda y el tomate.

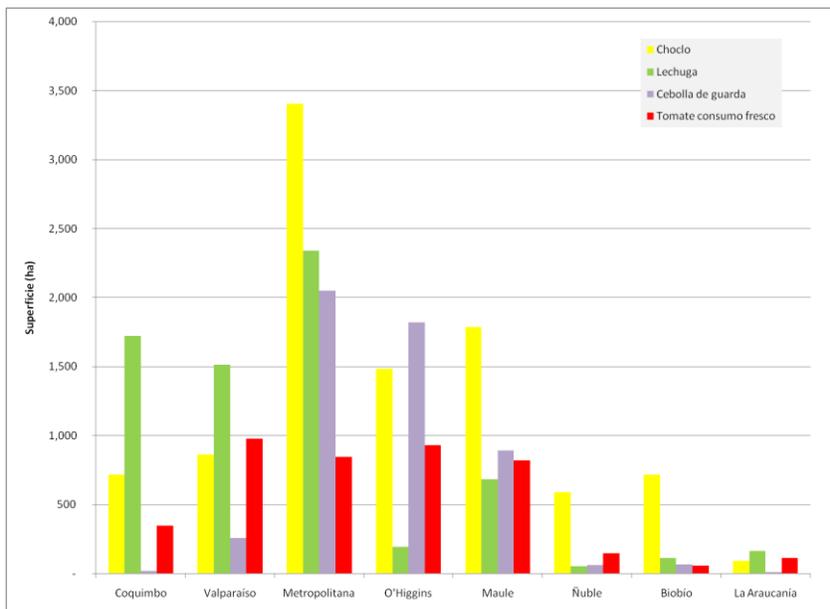


Figura 5.8. Distribución regional de hortalizas más importantes entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía. Fuente: ODEPA, 2022^b.

Por último, si se observa el uso de fertilizantes por región (Fig. 5.9) se puede apreciar que la región con mayor consumo es la Araucanía, donde se concentra el cultivo de cereales que son los también los cultivos de mayor demanda.

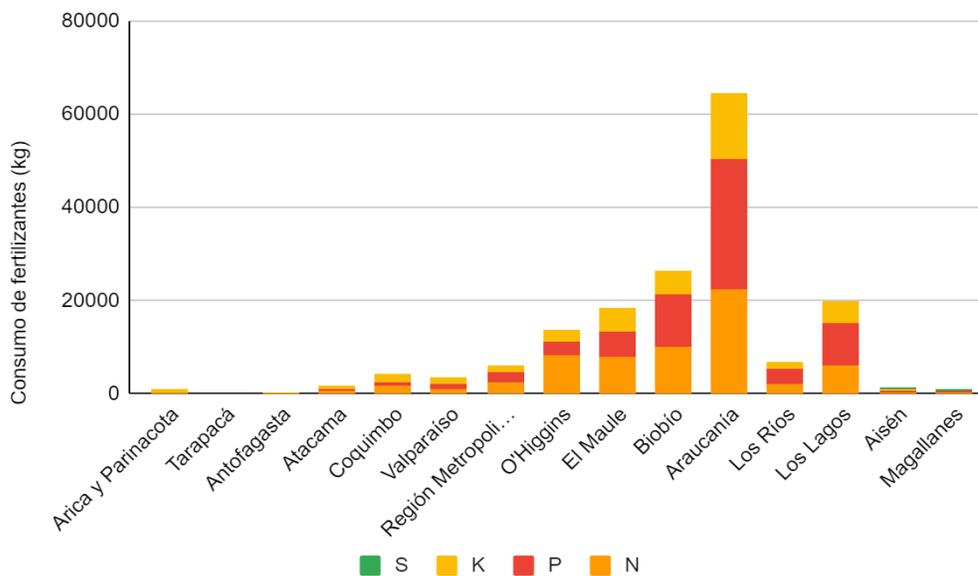


Figura 5.9. Distribución regional del consumo de fertilizantes en Chile. Fuente: MMA, 2020

5.1 Fertilización y rendimientos para los principales sistemas agrícolas en Chile

Del punto anterior se puede desprender cuáles son los principales cultivos en Chile y la zona donde su producción es más relevante (Tabla 5.4). La selección de las zonas homogéneas agropecuarias se hizo utilizando un trabajo previo de la Comisión Nacional de Riego (CNR, 2014) donde se identificaron las áreas con características productivas y edafoclimáticas similares para cada región y se determinaron el conjunto de las especies agropecuarias que representan el 70% de la superficie cultivada de las distintas zonas definidas dentro de cada región, clasificado por nivel tecnológico (alto, medio y bajo) y posteriormente para estos cultivos se elaboraron fichas técnicas con estándares productivos de las principales especies para zonas específicas. A continuación, se presenta una caracterización de los sistemas de praderas, cereales, frutales y hortalizas basados en esta selección, con especial énfasis en los aspectos que tienen relación con la fertilización.

Tabla 5.4. Principales usos de suelo agrícola en Chile y zona de producción

Uso del suelo	Región	Zona homogénea agropecuaria	Régimen Hídrico
Praderas mejoradas	Los Lagos (1)	Osorno y Llanquihue	Secano
Trigo	Araucanía (1) Ñuble (2)	Cautín y Toltén Ñuble	Secano
Avena	Araucanía (1) Ñuble (2)	Cautín y Toltén Ñuble	Secano
Maíz	Maule (1) O'Higgins (2)	Maule Cachapoal	Riego
Cerezo	O'Higgins (1) Maule (2)	Colchagua Maule	Riego
Nogal	Región Metropolitana (1) Maule (2)	Mapocho, Maipo (1-4)	Riego
Vid de mesa	O'Higgins (1) Valparaíso(2)	Cachapoal y Colchagua Aconcagua (1-2)	Riego
Palto	Valparaíso (1)	Petorca	Riego
Choclo	región Metropolitana (1) Maule (2)	Mapocho Mataquito y Maule	Riego
Lechuga	región Metropolitana (1) Coquimbo (2)	Mapocho Elqui	Riego
Cebolla de guarda	región Metropolitana (1) O'Higgins (2)	Maipo (3-4) Cachapoal	Riego
Tomate consumo fresco	Valparaíso (1) O'Higgins (2)	Aconcagua (3-4) Cachapoal y Colchagua*	Riego

Fuente: Elaboración Propia

5.1.1 Praderas

En Chile las praderas mejoradas ocupan una superficie de 1.062.352 hectáreas lo que corresponde a 29% de la superficie productiva agrícola nacional (ODEPA, 2022b). Son las regiones de Los Ríos y Los Lagos las que concentran la mayor superficie de praderas en el país, donde las precipitaciones fluctúan entre 1.400 mm y 2.400 mm al año, con una alta concentración entre los meses de abril y septiembre. En el período estival, normalmente, se registra entre un 10 y un 18% de las precipitaciones anuales (Leiva et al, 2021). De la totalidad de superficie dedicada al rubro, un 50% corresponde a praderas mejoradas, un 26% a praderas sembradas (normalmente en suelos sin limitaciones), un 15% a praderas naturalizadas y un 9% a cultivos suplementarios. En la región de Los Lagos, coexisten los tres grandes tipos de praderas. El tipo que presenta el mayor porcentaje es la pradera mejorada, que corresponde a una pradera mixta con un contenido equilibrado de gramíneas y leguminosas, con algún tipo de mejoramiento como fertilización y enmiendas. Este tipo de praderas poseen una composición botánica similar a la observada en las praderas naturalizadas, pero se incrementa la proporción de especies de mayor valor forrajero, como trébol blanco (*Trifolium repens*), ballica (*Lolium perenne*) y pasto ovilla (*Dactylis glomerata*). Los suelos de las provincias de Osorno y Llanquihue son derivados de cenizas volcánicas, profundos, con altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de retención de agua y velocidad de infiltración. La principal limitante es la deficiencia de fósforo, los niveles de pH y conductividad eléctrica, así como la saturación de aluminio. Por ello, se recomienda que el plan de fertilización deba corregir estas limitaciones, por ejemplo, con aplicaciones de cal antes de fertilizar para elevar el pH y aportes constantes de fósforo (Leiva et al, 2021). En la Tabla 5.5 se sintetiza el modelo de producción de las praderas mejoradas (tecnología media en seco).

Tabla 5.5. Síntesis de la producción y fertilización de las praderas mejoradas

Tipo de pradera	Rend (MS/ha)	Insumos fert	Dosis (kg/ha)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Pradera mixta (establecimiento)	8	Urea	100	40		
		SFT	160		74	
		Muriato de K	120			72
Pradera mixta (2o al 6o año)	12	SFT	120		55	
Pradera Natural (Rend. Sin fertilizar de 4 ton MS/ha)	10	Urea	120	48		
		SFT	110		51	
		Muriato de K	100			60

Elaborado a partir de las Fichas Productivas y Económicas Unitarias Zona Homogénea Maullín X Región (CNR, 2014)

5.1.2 Cereales

Los cereales (trigo, avena y maíz) ocupan un total de 423.033 hectáreas de la superficie nacional, equivalente a un 23% de la superficie de uso de suelo agrícola (ODEPA, 2022^a). Es el trigo el que ocupa la mayor superficie con 116.547 ha, seguido por la avena con 111.523 ha y después el maíz para grano con 54.686 ha (ODEPA, 2022b)

Trigo. La zona por excelencia de producción de trigo es la región de la Araucanía con rendimientos promedio de 60 qqm/ha, y con máximos alcanzados de 100 qqm/ha en productores de mayor nivel. El trigo se cultiva en suelos derivados de cenizas volcánicas que de acuerdo con su edad se clasifican como rojos arcillosos (los más antiguos) y trumaos (los más jóvenes). Estos suelos se caracterizan por su alta capacidad de retención de fósforo, que puede llegar por sobre el 90% en los trumaos y 60% en los suelos rojos arcillosos. Es por ello que se debe aplicar el fósforo al momento de la siembra. Por otra parte, las altas precipitaciones, la gran extracción de nutrientes por parte de los cultivos y el uso de fertilizantes minerales ha generado la acidificación de los suelos, caracterizada por la pérdida de bases, pH por bajo 5,5 y alta saturación de aluminio, lo que limita el desarrollo del cultivo. Para paliar esos efectos pueden usarse dos estrategias: la primera es usar variedades tolerantes a la acidez y a la toxicidad del aluminio, la segunda es corregir el pH mediante la aplicación de enmiendas calcáreas. Actualmente los productores están obligados a utilizar fórmulas de fertilización cada vez más complejas, que incluyen no solamente N, P, K, y S y si no que también Mg y micronutrientes como Bo y Zn, con lo que los costos de fertilización en el año 2012 alcanzaron hasta el 50% de los costos de totales (Jobet et al, 2013). Hoy por hoy se estima una proporción aún mayor. Por ejemplo, en una siembra de cereales en sistema de labranza cero el 2021 los costos por hectárea, incluyendo la siembra, fertilización, químicos, cosecha, etc. eran de \$600.000+IVA/ ha. El 2022 con el alza de los insumos los costos subieron a \$1.100.000+IVA (Ver Anexo 1). Es por ello que se recomienda hacer los análisis de suelo correspondientes para evitar gastos innecesarios. El rendimiento del trigo tiene una gran respuesta a la nutrición mineral y las necesidades de nutrientes dependen del cultivar, época de siembra (los trigos de invierno tienen mayores requerimientos que los de primavera), las reservas de materia orgánica y la tasa de mineralización de los residuos para que estén disponibles para el cultivo. En la fertilización el nitrógeno es el nutriente cuantitativamente más importante y el que logra mayor retorno económico. Si bien existen técnicas agronómicas para aumentar la Eficiencia en el Uso de Nitrógeno (EUN), una de las principales causas de la baja EUN es la poca sincronía entre la aplicación y las necesidades del cultivo. Es por ello que la parcialización de la dosis es la base de un manejo eficiente, siendo la recomendación para la zona sur aplicar en tres épocas: siembra, inicio y fin de macolla. En el caso del P la dosis se establece considerando la demanda del cultivo, el suministro de P del suelo y la eficiencia de la fertilización (Jobet et al, 2013).

Avena. La mayor superficie del país cultivada con avena se encuentra en la Araucanía, siendo este un cereal que se encuentra en auge debido al aumento de su rendimiento promedio, sus ventajas como producto alimenticio y su creciente posición en el mercado. La avena tiene la cualidad de cortar el ciclo del desarrollo de mal del pie en trigo (*Gaeumannomyces graminis*), por lo que se recomienda usarla en la rotación antes o después de este cereal. Por otra parte, la avena tolera bien pHs más bajos que el trigo (hasta 5). La época de siembra varía de marzo a agosto dependiendo del uso que se le va a dar (forraje o grano) y de la zona de cultivo. Es siempre recomendable hacer un análisis de suelo antes de la siembra, pero en general en los suelos de la Araucanía dosis de 120-150 kg/ha de N se pueden obtener buenos rendimientos. Por costos, generalmente se utiliza urea, pero por su efecto acidificante en el suelo se recomienda usar otras fuentes. En

siembras invernales se recomienda parcializar la aplicación de nitrógeno a 1/3 en la siembra y 2/3 en plena macolla. En el caso del fósforo, la dosis en la zona es de cerca de 90 kg/ha a menos que se trate de suelos con problemas serios de acidez y que presenten problemas de fijación de P. La dosis de potasio recomendada es de 50-75 kg/ha aunque hay suelos que pueden no necesitarlo (Rivas, R. 2010)

Maíz. En Chile el maíz es cultivado para consumo humano, animal y para la multiplicación de semillas. Es un cultivo de rápido crecimiento por lo que es muy sensible a las condiciones de suelo y clima. Por su gran desarrollo radicular necesita suelos planos y profundos, de buen drenaje y que puedan retener suficientes nutrientes y humedad. El plan de fertilización debiera hacerse contando inicialmente con un análisis de suelo, donde la dosis de fertilizante esté definida por la extracción de nutrientes del cultivo y el contenido de nutrientes que aporta el suelo. En el momento de la siembra, la mezcla de fertilizantes se incorpora con la máquina de precisión localizando la mezcla fertilizante a 5-6 cm al costado de la línea de siembra y 1 cm bajo la profundidad de las semillas. La fertilización nitrogenada (220 a 260 kg N/ha), se aplica en forma secuencial: 35% en pre-siembra incorporado, 30% en el momento de la siembra y 35% en la aporca o cuando las plantas tienen entre tres y cuatro hojas expandidas (Fauguenbaum, 2019; Demanet y Canales, 2020). En la Tabla 5.6 se sintetizan los principales aspectos de la producción para cereales más importantes en Chile.

Tabla 5.6. Síntesis de la producción y fertilización de los cereales en Chile

Tipo de cereal	Rend (qgm/ha)	Insumos fert	Dosis (kg/ha)	N	P205	K20
Trigo blanco seco nivel bajo	35	Mezcla NPK	180	31	36	36
		Salitre K	150	23		21
Trigo blanco seco nivel medio	45	Mezcla NPK	250	43	50	50
		Urea	280	112		
Trigo blanco seco nivel medio-alto	60	Mezcla NPK	270	46	54	54
		Urea	270	108		
Avena seco nivel bajo	35	Mezcla NPK	100	17	20	20
		Salitre K	100	15		14
Avena seco nivel medio	45	Mezcla NPK	150	26	30	30
		Urea	200	80		
Avena seco nivel alto	60	Mezcla NPK	180	31	36	36
		Urea	240	96		
Maíz riego nivel bajo	60	Mezcla NPK	300	51	60	60
Maíz riego nivel medio	100	Mezcla NPK	500	85	100	100
		Urea	250	100		
Maíz riego nivel alto	150	Mezcla NPK	600	102	120	120
		Urea	500	200		

Elaborado a partir de las Fichas Productivas y Económicas Unitarias Zona Homogénea Cautín para trigo y avena y Maule para maíz (CNR, 2014); se considera mezcla NPK 17-20-20

5.1.3 Frutales

Los frutales ocupan un total de 379.034 hectáreas de la superficie nacional, equivalente a un 21% de la superficie de uso de suelo agrícola (ODEPA, 2022^a). Son los cerezos los que ocupan la mayor superficie con 48.961 ha, seguido por los nogales 43.735 ha, la uva de

mesa con 43.104 ha y luego los paltos con 32.364 ha (ODEPA, 2022b). Las características de producción se describen a continuación y su esquema de fertilización se resume en la Tabla 5.8.

Cerezo. El cerezo tiene una gran importancia en la agricultura nacional. Según cifras del Banco Central (Portal frutícola), entre el 93 y 95% de las cerezas que se exportan desde el hemisferio sur provienen de Chile, lo que para la temporada 2018/19 correspondió a 180.572 toneladas. Casi un 50% de la superficie nacional de cerezo se encuentra en la Región de O'Higgins. Si bien necesita suelos de profundidad media (<90 cm), con pendiente <6%, no calcáreos, desarrollándose mejor en suelos ligeramente ácidos, con drenaje moderado y una napa freática a más de 1 m de profundidad, estos aspectos pueden ser manejados si se hacen las labores de preparación de suelos correctas que le otorguen al cultivo la condiciones físico-químicas adecuadas. El tipo de suelo también puede influir en la elección de los portainjertos, distancia de plantación, diseño del riego tecnificado, entre otras. La preparación del suelo se debe separar en dos partes: entre los 0 y los 30 centímetros de profundidad (capa arable) y entre los 30 cm al 1,2 m (subsuelo) donde se usa maquinaria pesada para darle las mejores condiciones a las raíces en toda época del año. Es muy importante también tener un análisis de suelo para corregir los niveles de insuficiencia en la CIC (Morales, 2020; CIREN, 2020).

Nogal. El nogal es la frutal estrella de la Región Metropolitana. Uno de los suelos principales donde se cultiva son los de la zona Mapocho, que son suelos planos o casi planos, de texturas medias a moderadamente finas, predominantemente bien drenados, moderadamente profundos a profundos y de fertilidad natural alta. Derivados de sedimentos aluviales mezclados, descansan sobre un sustrato de gravas y piedras con matriz moderadamente gruesa y donde pueden penetrar las raíces e infiltrar el agua en profundidad. En la fertilización del nogal se debe considerar que es una especie de altos requerimientos nutricionales debido a que produce mucho aceite, lo que implica procesos fisiológicos con mayor gasto energético. Este alto gasto puede producir problemas de añerismo, ya que la fruta consume las reservas nutricionales de la inducción floral de la temporada siguiente. El añerismo puede darse también por el nivel de emboscamiento, tipo e intensidad de poda, manejo incorrecto de reguladores de crecimiento, y un inadecuado manejo del riego. Bajos niveles nutricionales generan también una reducción del calibre potencial y una baja relación pulpa/cáscara de las nueces. En el plan de fertilización deben considerarse factores de suelo como textura, composición química (pH, CIC, etc.), además, del método de riego (superficial, goteo o aspersión), la variedad/ portainjerto, edad fisiológica y nivel nutricional en los árboles, periodos de demanda estacional de los nutrientes, localización de las raíces de absorción en el perfil del suelo (superficiales, medias o profundas), el tipo y costo de la fuente a utilizar. Los nutrientes de importancia son N, P, K, Ca, Mg, Zn y B. De ellos, el N es el de mayor importancia. En árboles adultos, el cálculo de la dosis de N se hace con un balance entre demanda del huerto menos el suministro o aporte del agua y suelo, corregido por la eficiencia del fertilizante a utilizar. La demanda del huerto se estima en N, P y K es de 35 unidades de N, 15 unidades de P, y 40 - 50 unidades de K por tonelada de fruta (cáscara). (Chilenut, 2010).

Uva de mesa. En Chile, las deficiencias nutricionales más frecuentes en uva de mesa ocurren por falta de nitrógeno, potasio, magnesio, zinc y hierro, por lo que éstos y otros nutrientes deben ser monitoreados de forma frecuente, existiendo diversas herramientas para realizar esta labor. Al respecto, es siempre recomendable realizar un análisis de suelo al menos una vez al año. En general, la vid presenta en sus frutos concentraciones de 80-90 mg/100g fruto de N; 30-40 mg/100g fruto de P₂O₅; 190-200 mg/100g fruto de K₂O; 10-12 mg/100g fruto de CaO; y 9-10 mg/100g fruto de MgO. Con estos valores y el volumen producido por el huerto, se puede calcular el volumen de nutrientes extraído por temporada por el fruto, los que deberán corregirse para la planta completa, incluyendo el crecimiento de raíces, madera y hojas. Esto se hace con factores de reparto, los que son 4, 2, 3, 10 y 8 para N, P, K, Ca y Mg respectivamente. Para los agricultores que cuenten con sistemas de fertirriego, los nutrientes deben ser entregados en forma parcial. Los sistemas de fertirriego permiten aumentar la eficiencia de aplicación de los fertilizantes, ya que, distribuyen los nutrientes de forma homogénea en el suelo y mantienen concentraciones constantes de nutrientes en solución. (INIA, 2017a).

Tabla 5.7 Síntesis de la producción y fertilización de los frutales en Chile

Frutales (full producción, riego por goteo, nivel alto)	Rend (ton/ha)	Insumos fert	Dosis (kg/ha)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Cerezo (año 8-20)	14	Urea	300	120		
		Muriato de K	150			90
		Entec 26	265	69		
		Acido Fosfórico	30		19	
		Sulfato de Mg	100			
		Bortrac 150	3			
		Zinc	2			
		Oxicloruro de Cobre	22			
Nogal (año 9-25)	3.6	Urea	320	128		
		Nitrato de K	250	32.50		10
		Guano Compostado	20	0		
		Acido Fosfórico	60		37	
Vid de mesa (año 7 -20)	22	Nitrato de K	450	58.50		198
		Novatec	200	24	16	32
		Acido Fosfórico	100		62	
		Nutri Mg	3			
		Stoppit (calcio)	4			

Elaborado a partir de las Fichas Productivas y Económicas Unitarias Zona Homogénea de Colchagua para cerezos, Mapocho para nogal y Cachapoal para vid de mesa (CNR, 2014).

5.1.4 Hortalizas

El principal polo de producción de hortalizas en Chile se encuentra en la Región Metropolitana donde los productores se caracterizan por tener una superficie productiva promedio de 7,7 ha, con una alta dispersión y limitado uso de tecnologías como invernaderos, agricultura orgánica e hidroponía. Cerca del 85% del riego se hace por surco, mientras que el resto se riega por cinta o goteo (Boza et al, 2018). Los principales cultivos

son choclo, lechuga, cebolla, tomate, cuyas características de producción se describen a continuación y se resumen en la Tabla 5.8.

Choclo. El maíz es una planta de tipo C4, por lo que tiene la capacidad de utilizar el carbono muy eficientemente, facilitando su gran crecimiento y desarrollo. Como tiene raíces profundas las mejores producciones se obtienen en suelos que le permitan desarrollar al máximo su sistema radicular, acompañado de un medio ambiente favorable en temperatura del aire y del suelo. Este cultivo se presta para cualquier tipo de rotación y resulta muy favorable después de praderas, porque compite bien con las malezas. En suelos sometidos a una rotación o monocultivo, es importante realizar cada cinco años a lo menos una aradura profunda con arado cincel (25 a 30 cm). El maíz tiene gran capacidad de absorción de nutrientes y requiere de una fertilización alta, sobre todo en nitrógeno, para producir una cosecha abundante. El plan de fertilización se debe hacer considerando las características del suelo, la rotación de cultivos que ha tenido el potrero, la fertilización aplicada anteriormente y los rendimientos históricos (Saavedra, 2014).

Lechuga. El sistema más utilizado para el cultivo de la lechuga es la producción al aire libre, el cual suele ser iniciado en almácigos para posterior trasplante. Requiere un buen suelo y bastante riego. Una innovación importante es el uso de “mulch” o coberturas de plástico que permiten aumentar la eficiencia del uso de agua por riego, así como también realizar riegos menos frecuentes (reducción de la evaporación). Además, mejora la temperatura a nivel de raíces lo que permite un mejor desarrollo y mejor eficiencia en el uso de fertilizantes (disminuye la lixiviación). Igualmente controla el crecimiento de malezas y reduce la incidencia de plagas y enfermedades, cuidando también el suelo de la erosión y endurecimiento. Para realizar una buena fertilización es siempre recomendable identificar las características del suelo y los rendimientos esperados para ajustar la dosis. En los ciclos cortos de cultivo típicos de la temporada estival, el nitrógeno puede ser aplicado en una sola oportunidad al momento del trasplante. Sin embargo, durante el invierno, cuando el riesgo de lixiviación es mayor producto de las lluvias y el ciclo de cultivo más largo, es recomendable parcializar la dosis, realizando una aplicación localizada (INIA, 2017b).

Cebolla. Se adapta a una gran gama de suelos, desde aquellos con un considerable contenido de arena, hasta suelos muy pesados, aunque el mejor rendimiento se logra con un suelo de tipo franco arcilloso, con buen contenido de materia orgánica y pH cercano a la neutralidad. La cebolla presenta un sistema radicular muy poco eficiente, por lo que requiere suelos con una buena retención de humedad y un manejo cuidadoso del riego y la fertilización. El cultivo necesita altas concentraciones de fertilizante en la solución suelo para dirigir la difusión hacia la superficie radical, a una tasa suficiente que satisfaga la demanda potencial, teniendo en cuenta que la planta de cebolla aprovecha sólo entre un 30 y 40% de lo aplicado. Respecto de la fertilización fosfatada y potásica, ensayos exploratorios indican que existe respuesta hasta 90 kg/ha de P₂O₅. En cuanto al potasio, las indicaciones son que si el análisis de suelo muestra valores <100 ppm, debiera aplicarse una dosis de 100-150 kg/ ha de K₂O, considerando una eficiencia de 50-60% para los fertilizantes potásicos. La demanda de N es muy difícil de satisfacer en la cebolla por lo que las dosis que deben aplicarse para lograr un alto rendimiento dejan una considerable

cantidad de N residual en el suelo a la cosecha. El N se debe entregar en forma parcializada, de 30% en pre-plantación, un 30% 40 días después del trasplante y el 40 % restante, 20 días después (INIA, 2017c).

Tabla 5.8. Síntesis de la producción y fertilización de las principales hortalizas en Chile

Hortalizas	Rend /ha	Insumos fert	Dosis (kg/ha)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Choclo nivel bajo	30 mil unidades	Mezcla NPK	400	68	80	80
Choclo nivel medio-alto	45 mil unidades	Mezcla NPK	600	102	120	120
Lechuga nivel bajo	20 mil unidades	Urea	120	48		
		SFT	100		46	
Lechuga nivel medio	30 mil unidades	Urea	200	80		
		SFT	120		55	
		Sulfato de K	120			60
Lechuga nivel alto	45 mil unidades	Urea	240	96		
		SFT	180		83	
		Muriato de K	150			90
Cebolla nivel bajo	10 mil kg	Urea	120	48		
		SFT	120		55	
Cebolla nivel medio	40 mil kg	Urea	350	140		
		SFT	220		101	
		Muriato de K	150			90
Cebolla nivel alto	50 mil kg	Mezcla NPK	180	31	36	36
		Urea	500	200		

Elaborado a partir de las Fichas Productivas y Económicas Unitarias Zona Homogénea Mapocho (CNR, 2014). Se considera mezcla NPK 17-20-20

5.2 Problemática de la agricultura chilena en relación con la fertilización

5.2.1 Aspectos Económicos

La Economía Circular (EC) es un modelo económico de producción y consumo, en el que las materias primas permanecen en circulación el mayor tiempo posible (reutilizando, reparando, renovando y reciclando materiales y productos existentes todas las veces que sea posible) y que a la vez minimice la generación de residuos, creando un valor agregado y extendiendo el ciclo de vida de los productos.

En el caso de la agricultura, la aplicación de fertilizantes debería implicar que sus residuos con una alta carga de nutrientes sean reutilizados directamente en otros fines agrícolas, reduciendo de esta manera los impactos en el suelo y cursos de agua. Esto dentro de un contexto en que los impactos ambientales del sector agrícola a menudo se ven potenciados tanto por el cambio climático como por el entorno ecológico local, por lo que se manifiesta en el sector agrícola la imperiosa necesidad de reducir dichos impactos ambientales de los

cultivos, junto con la reducción de los costos de producción y el uso equilibrado de la fertilización. Con ello se haría posible satisfacer eficientemente la demanda de agua y nutrientes requeridos por los cultivos, mediante su reutilización y reciclaje para consolidarse como un sistema sostenible de producción de alimentos y conservación de recursos.

El manejo de la fertilización enfrenta actualmente muchos desafíos bajo la figura de la sostenibilidad, que posibilite el logro de objetivos tales como rendimientos suficientes por hectárea, o incremento en la productividad de los factores, por ejemplo. Además de la identificación de la propensión del agricultor frente al uso de los fertilizantes, en cuanto a tipo, cantidad, frecuencia, etc.

5.2.1.1 El mercado de fertilizantes en Chile

El mercado mundial de fertilizantes ha experimentado durante el 2021 una fuerte y acelerada expansión en los precios internacionales de referencia, llegando a máximos históricos, en el caso de los fertilizantes nitrogenados. Por ejemplo, los precios de la urea han aumentado en un 268% entre noviembre del 2020 y noviembre del 2021, pasando las cotizaciones nominales de los precios al contado (a granel) en el Mar Negro de 245 USD por tonelada en a 901 USD por tonelada, respectivamente, en donde gran parte del incremento se produjo durante el segundo semestre del último año.

En los factores que explicarían este crecimiento están por el lado de la oferta los altos y crecientes precios de la energía y las distorsiones en el comercio y los altos costos del transporte. Por el lado de la demanda están los elevados precios de los alimentos, por lo que la relación entre los precios de los insumos (por ejemplo, los fertilizantes) y los precios de los productos (por ejemplo, el índice de precios de los alimentos) se incrementa en muchos casos, dependiendo del cultivo.

Todo lo anterior ha llevado a que la oferta internacional de fertilizantes se encuentre limitada, además que las existencias están consumidas y las incertidumbres geopolíticas (invasión de Ucrania, tensiones China – Taiwán, sanciones económicas a Rusia) ya han originado restricciones agregadas del suministro que no se vislumbra que finalicen en corto plazo, lo cual ya está teniendo efectos en la producción y la seguridad alimentarias.

Dado ese contexto presente, se expondrá para el caso nacional el comportamiento de las exportaciones, importaciones de los fertilizantes, de acuerdo con la data disponible, para al menos los últimos 10 años. De manera desagregada por años, las transacciones agregadas se aprecian en la tabla 5.9.

Tabla 5.9. Montos transados en exportaciones e importaciones de fertilizantes, período 2010-2021

Año	Exportaciones Valor (Miles US\$)	Importaciones Valor (Miles US\$)	Superávit o Déficit Valor (Miles US\$)
2010	648.600	400.384	-248.216
2011	742.260	575.682	-166.578
2012	996.154	558.396	-437.758
2013	822.466	517.043	-305.423
2014	765.828	460.952	-304.876
2015	747.316	520.426	-226.890
2016	666.947	326.642	-340.306
2017	558.945	360.205	-198.740
2018	549.218	449.072	-100.146
2019	411.506	443.697	32.192
2020	432.113	394.297	-37.815
2021	638.919	652.079	13.161
Total general	7.331.672	5.658.876	- 1.672.796

Fuente: Elaboración propia basado en <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/balanza-comercial/comercio-exterior-por-origen-o-destino>

El superávit comercial es mayor en los años 2013, 2014 y 2016, en donde se superan los US\$ 300.000 millones de excedentes de ventas, respectivamente. A partir del 2017 se aprecia una reducción de la brecha de la balanza comercial, en donde las importaciones comienzan a crecer, encontrando el caso del 2019 y 2021 en que ya son mayores que las exportaciones. Hay que notar que en el 2021 los precios internacionales de referencia de los fertilizantes llegaron en varias cotizaciones a máximos históricos, sobresaliendo las de los fertilizantes nitrogenados.

En efecto, los precios de un fertilizante nitrogenado esencial como la urea se multiplicaron casi por tres en los últimos 12 meses, mientras que en el mismo período los precios de los fertilizantes a base de fósforo presentaron un aumento análogo. Dado este contexto, se valida la dinámica del país en la consolidación de acuerdos comerciales, y dentro de ellos, con los países productores de fertilizantes, de manera de garantizar el adecuado suministro al país, aun en periodos de incertidumbre.

En efecto, al 2022 Chile tiene 28 acuerdos comerciales vigentes con 64 países, distribuidos alrededor del mundo (ver tabla siguiente), los cuales no pagan el arancel del 6% al ingresar las mercaderías al país, al considerar la existencia de listas de liberación inmediata y listas rápidas que agrupan los productos de menor sensibilidad o con patrimonio histórico importante.

En lo referente a la importación de fertilizantes, existe regulación sobre la información de la composición de los productos que ingresan al país, los cuales son muestreados para

verificar que sus componentes y porcentajes, sean consistentes con los informados preliminarmente. Con ello se asegura que no existan compuestos o mezclas prohibidas que afecten el medio una vez sean aplicados los fertilizantes.

En ese contexto, al SAG le preocupa el ingreso que pueda existir de productos por pasos irregulares al país, que les impiden tener control de los compuestos y/o elementos, que pudiesen afectar la agricultura, animales, medioambiente y a las personas. De todas maneras, es esperado, que, con la nueva ley de fertilizantes, recientemente entrada en vigor en septiembre del 2022, que considera entre algunos aspectos; registro de fertilizantes y bio-fertilizantes, tolerancias a metales pesados, regulación de biofertilizantes y otros similares, se fortalezca la mitigación de los riesgos y/o problemáticas que pudieran estar generando con la actual normativa.

5.2.1.2 Impacto de los fertilizantes en los costos de producción de la agricultura chilena

A nivel nacional, el sector agrícola ha enfrentado durante varias temporadas contextos que han provocado fluctuaciones de precios de sus productos y alteraciones de los rendimientos o a una combinación de ambos (que genera finalmente la volatilidad de los ingresos de los agricultores).

Sin embargo, no había sido algo común el hecho de que se produjeran (o se estuviese en un riesgo latente) reducciones de los ingresos netos de las explotaciones debido al aumento de los costos de producción, debido principalmente al aumento de los costos de los fertilizantes, y a las interrupciones de la cadena de suministro inducidas en gran parte por los conflictos políticos en Europa. Independientemente de los factores que impulsen el alza de los precios y escasez de fertilizantes, la realidad es que los productores ya se enfrentan a la perspectiva de un enorme aumento de los costos de los fertilizantes de cara a la futura temporada de siembra de primavera – verano de 2022-2023. El impacto dependerá, entre otros, del cultivo y de los esquemas de manejo que se le apliquen, pero el riesgo estará presente durante toda la temporada.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los principales ítems de costos asociados a la fertilización, para las especies seleccionadas.

Tabla 5.10. Costos de establecimiento y fertilización y rendimiento de las especies seleccionadas⁷

Cultivo	Costo total promedio	Costo fertilizante N	Costo otros fertilizantes	Otros costos	Rendimiento
	Pesos/Ha/año	Pesos/Ha/año	Pesos/Ha/año	Pesos/Ha/año	ton/Ha/año

⁷ Todos los precios están actualizados a Agosto del 2022

		o	o		
Trigo	1.132.534	406.331	40.256	72.123	5,933
Cerezos	15.909.866	515.674	108.216	4.154.456	8,500
Pastizales	569.388	207.901	12.104	28.469	5,000
Lechuga	5.310.868	415.517	133.408	295.848	18,025

Fuente: Elaboración propia basado en fichas de costo de ODEPA

El porcentaje de costos de la fertilización, el cual incluye los aspectos específicamente declarados de mano de obra y maquinaria (es decir, que se aplicaban exclusivamente a los aspectos de fertilización) ha variado según la especie y año, y las zonas geográficas seleccionadas.

Para el trigo cultivado en la Araucanía, se constata un promedio de 39% de costo sobre los costos totales (entre el 2018 y 2021), lo cual contrasta con la lechuga de la región metropolitana, la cual tiene un promedio de 10% según lo declarado en las fichas de los años 2014 y 2020. En el caso del cerezo de la región de O'Higgins, se constatan los menores porcentajes (4% sobre el costo total, según lo declarado en las fichas de los años 2013 y 2017) ya que es una especie establecida que no requiere insumos de fertilización en la proporción que lo requieren las especies anuales. En el caso de pastizales, la información disponible correspondía a fichas del año 2012, y resultó en que el costo promedio de fertilización estaba en el orden del 39%.

5.2.1.3 Costos económicos relacionados con las externalidades positivas y negativas de la fertilización

Dado lo anterior, es interesante y necesario evaluar el impacto de las prácticas en la fertilización tradicional, sometida a la legislación y normativa ambiental vigente. También es interesante reportar la cuantificación de los beneficios ambientales y el rendimiento de la producción de la agricultura orgánica a escala nacional debería ayudar a desarrollar sistemas de producción agrícola sostenibles de alto rendimiento con impactos mínimos en el medio ambiente. Así mismo, los métodos monetarios son herramientas efectivas para investigar los impactos ambientales totales.

Un aspecto relevante en evitar las externalidades negativas del uso de los fertilizantes es conocer con certeza la composición de los productos, la adecuada aplicación y otros aspectos atinentes a su manejo y disposición final. En el caso de que las técnicas agrícolas actuales que puedan ser consideradas responsables de la contaminación ambiental, será exigible un cambio en las prácticas agrícolas para aliviar los efectos de este tipo de externalidad. La selección de los instrumentos de política correctiva debe hacerse en el contexto de la estructura actual de la legislación vigente.

De esta forma, procedemos a reportar los hallazgos en la literatura referidos a la cuantificación de las externalidades de la fertilización, tanto tradicional como de la orgánica.

Es interesante considerar el trabajo de Jayet y Petel. (2015), quienes estimaron en la Región Parisina, Francia, que la valoración por tonelada de residuos orgánicos urbanos en bruto para uso en el sistema agrícola oscila entre 1,5 y 7 euros, con lo que la demanda de fertilizantes minerales disminuye en un 18 % en el caso de una distribución óptima de los residuos orgánicos urbanos entre los sistemas agrícolas regionales, lo que lleva a una reducción del 8,7 % en las emisiones de N₂O agrícolas. Añaden que la producción marginal bruta por hectárea aumenta en 39 euros para la superficie agrícola útil de la región. Esto se valida en el sentido de que es posible reducir el consumo tradicional de fertilizantes, mediante la reutilización de desechos de otros procesos, disminuyendo las emisiones de nitrógenos en términos globales.

Meng et al (2017) cuantificaron e integraron los valores económicos monetarios de los insumos agrícolas, la producción de cultivos y los beneficios ambientales individuales, para comparar el rendimiento general de la agricultura orgánica frente a la convencional. Para ello asumieron que los rendimientos de los cultivos orgánicos son entre un 10 % y un 15 % más bajos que los rendimientos convencionales. Encontraron que los beneficios ambientales de la agricultura orgánica (es decir, una disminución de la lixiviación de nitratos, un aumento de la biodiversidad de las tierras de cultivo, un aumento de la captura de carbono y una disminución de las emisiones de los gases de efecto invernadero) se valoraron en 276,5 USD⁸ por hectárea. Al reducir los insumos agrícolas, los costos ahorrados fueron de 447,7 USD por hectárea. La disminución de los rendimientos de los cultivos de la agricultura orgánica se valoró como una pérdida de 1.019,2 millones de USD, o en 880 USD por hectárea, pero los beneficios ambientales de la agricultura orgánica representaron el 31% del valor económico total de la disminución del rendimiento del cultivo.

Esto indica que la agricultura orgánica podría compensar sustancialmente la pérdida de valor económico causada por la disminución del rendimiento de los cultivos. Además, los autores indican que los costos de producción ahorrados (por no comprar los fertilizantes tradicionales) representaron cerca del 52% de las pérdidas económicas totales debido a la

⁸ Todos valores del año 2017

disminución del rendimiento de los cultivos⁹. Lamentablemente, algunos de los beneficios para la salud de la agricultura orgánica, incluida la menor contaminación del agua potable por plaguicidas y alimentos más seguros debido al uso prohibido de productos químicos, no se consideraron debido a la complicada relación entre la salud y las aplicaciones de plaguicidas y la falta de métodos apropiados para la cuantificación (Tuomisto et al., 2012), con lo que también se subestimaron dichos beneficios.

Esto está en línea con los hallazgos de Pretty et al. (2000), quienes indican que las estimaciones de los beneficios ambientales probablemente se subestimaron en la mayoría de los estudios comparativos (Schader et al., 2012). La otra incertidumbre es la disminución del rendimiento de los cultivos de agricultura orgánica, dado que, en la agricultura orgánica, el uso de fertilizantes químicos sintéticos (por ejemplo, Nitrógeno) no está permitido (IFOAM, 2014).

El encontrar métodos apropiados para comparar y evaluar los sistemas agrícolas es más difícil que para muchos otros bienes y servicios, ya que dependen de varios factores, como del objetivo del estudio y de la zona geográfica, con lo que las opciones metodológicas pueden ser muy diferentes (Hospido et al. 2010). Sin embargo, tres métodos de monetización existentes, Stepwise 2006, Eco-cost 2012 y EPS 2000, podrían usarse para agregar diferentes impactos ambientales en unidades monetarias, y proporcionar una idea para evaluar políticas públicas relacionadas con el desempeño ambiental total (Chen y Holden, 2018).

Un aspecto interesante a indagar es el relacionado con el porcentaje de la producción atribuible a la fertilización. En el país, no existen estadísticas oficiales respecto al porcentaje de la producción agrícola que es atribuible a la fertilización. Dada la falta de antecedentes de porcentajes de cuánto influyen los fertilizantes en la producción agrícola, sólo podemos mencionar lo que se ha reportado en la literatura internacional, además de comunicaciones personales de expertos.

El porcentaje de cómo se vería mermada la producción, si es que no se aplicaran fertilizantes, depende de múltiples factores tales como los niveles de nutrientes existentes en cada suelo, la capacidad de absorción de las raíces de cada cultivo, presencia de estratas impermeables, etc., por lo que dicho porcentaje es muy variable, pudiendo estar de acuerdo con la comunicación personal de expertos del SAG¹⁰, en rangos promedio del 20%.

Una forma de inferir lo que no se podría producir si es que no se fertilizaron adecuadamente los cultivos, es a través de estimaciones mencionadas por Smil (1999), respecto a la ingesta

⁹ Es posible que los valores de las pérdidas estimadas se hayan subestimado debido a las complejas relaciones entre las operaciones agrícolas, los ecosistemas y las personas, aunque los beneficios ambientales de la agricultura orgánica que se cuantifican en el estudio compensan sustancialmente las pérdidas económicas asociadas con la disminución de la producción de cultivos.

¹⁰ Claudio Moore, Encargado Agrícola Regional O'Higgins

de alimentos. Se estimó a mediados de la década de los noventa que, a escala mundial, aproximadamente el 40 por ciento (un intervalo entre el 37 por ciento al 43 por ciento) del suministro proteico de la dieta tuvo su origen en el nitrógeno sintético producido por el proceso de síntesis de amoníaco.

Además, a fines de dicha década, los países de bajos ingresos que en ese entonces alcanzaban los 2.900 millones de personas tendrían que haber utilizado un 85% más de fertilizantes nitrogenados que lo que utilizaron en promedio en esa década, para producir más alimentos (tanto para las personas como para animales destinados a consumo humano), y con ello alcanzar un nivel de nutrición adecuado. De esto podría inferirse las consecuencias de no utilizar fertilizantes en la alimentación humana.

Por otro lado, durante el 2022, en Filipinas el precio de la urea triplicó el precio de 2021, lo que podría provocar una caída aproximada del 10% en el rendimiento de la producción. En tanto, en Perú se esperan una disminución de hasta el 40% en la producción de alimentos como el arroz, las papas y el maíz debido al déficit de 180.000 toneladas métricas de urea¹¹. En este último país, de acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIGRADI), se estima que en la siguiente temporada dejarán de sembrarse 20 mil hectáreas de arroz, papa y cebolla¹².

En el país se han llevado a cabo estudios que dan cuenta del efecto del Nitrógeno en el rendimiento de cultivos y sus componentes, y las dosis que optimizan la productividad y calidad de trigo (Campillo et al., 2010) y arroz (Hirzel et al., 2011), así como el rendimiento del trigo en los Balcanes (Mandic et al., 2015). En relación al nivel referencial de no fertilizar, los rendimientos en la primera temporada aumentaron entre un 7% y 9% para el caso del arroz en Chile, bajo una combinación parcializada de 120 y 140 kg de N por hectárea.

Para el trigo en el caso chileno, con las dosis óptimas se obtuvieron rendimientos entre 10,2 y 10,1 toneladas por hectárea, mientras que en el caso de Serbia, se encontró que la dosis intermedia provocaba la menor pérdida mínima de N en el ecosistema, así como la menor costo de producción de trigo, e incrementos de peso del grano de entre un 6% y 8%.

En todos los casos, los niveles mayores de nitrógeno generan rendimientos menores o no significativos en relación a menores dosis (o incluso al nivel referencial), y también los efectos climatológicos estacionales influyen en los rendimientos de la temporada.

De acuerdo con lo anterior, el porcentaje de la producción que se le adjudica a la fertilización depende de múltiples factores, dependiendo de las condiciones del contexto, aunque es preciso levantar mayores antecedentes en los territorios para estimaciones precisas por zona geográfica, tipo de cultivo, entre otras. Un hecho adicional que se debe destacar es que DIPRES (2011) establece como una de las causas que provocan la erosión en el país,

¹¹ <https://www.redagricola.com/cl/escasez-de-fertilizantes-amenaza-la-produccion-de-alimentos-a-nivel-mundial/>

¹² <https://www.terram.cl/2022/09/09/crisis-de-fertilizantes-los-problemas-en-peru-para-satisfacer-su-demanda/>

corresponde a la adopción de malas prácticas por parte de los agricultores tales como cultivos en pendientes, exceso de laboreo del suelo, escasa fertilización, uso de fertilizantes acidificantes y exceso de plaguicidas, entre otras.

5.2.1.4 Resumen

Como aspectos a destacar del presente capítulo se tiene lo siguiente:

- De manera de establecer la participación de los fertilizantes en la producción, es preciso recopilar y unificar centralizadamente la información existente respecto a los estudios de análisis de suelo y de los factores relacionados con el manejo del agua, de manera de establecer los parámetros adecuados por tipo de suelo, y zona geográfica, entre otros. Esto igual determina la necesidad de elaborar nuevos estudios en los territorios o zonas en que sean deficitarios.
- Es necesario afianzar los acuerdos comerciales con países productores de fertilizantes de manera de facilitar el intercambio y garantizar el adecuado suministro, aún en tiempos de crisis.
- Existe alguna evidencia en la literatura de que la agricultura orgánica podría compensar sustancialmente la pérdida de valor económico causada por la disminución del rendimiento de los cultivos. Los costos de producción ahorrados (por no comprar los fertilizantes tradicionales) representaron cerca del 52% de las pérdidas económicas totales debido a la disminución del rendimiento de los cultivos.
- Para el trigo cultivado en la Araucanía, se constata un promedio de 39% de costo sobre los costos totales (entre el 2018 y 2021), lo cual contrasta con la lechuga de la región metropolitana, la cual tiene un promedio de 10% según lo declarado en las fichas de los años 2014 y 2020.
- En el caso del cerezo de la región de O'Higgins, se constatan los menores porcentajes (4% sobre el costo total, según lo declarado en las fichas de los años 2013 y 2017) ya que es una especie establecida que no requiere insumos de fertilización en la proporción que lo requieren las especies anuales.
- En el caso de pastizales, la información disponible correspondía a fichas del año 2012, y resultó en que el costo promedio de fertilización estaba en el orden del 39%.
- Sería posible reducir el consumo tradicional de fertilizantes, mediante la reutilización de desechos de otros procesos, disminuyendo las emisiones de nitrógenos en términos globales. Por ejemplo, mediante el uso de desechos orgánicos urbanos, por lo que podría evaluarse su implementación.
- Es esperado, que, con la nueva ley de fertilizantes, recientemente entrada en vigor en septiembre del 2022, que considera entre algunos aspectos; registro de fertilizantes y bio-fertilizantes, tolerancias a metales pesados, regulación de biofertilizantes y otros similares, se fortalezca la mitigación de los riesgos y/o problemáticas que pudiesen estar generando con la actual normativa.
- Dado lo anterior, es interesante y necesario evaluar el impacto de las prácticas en la fertilización tradicional, sometida a la legislación y normativa ambiental vigente. También es interesante reportar la cuantificación de los beneficios ambientales y el rendimiento de la producción de la agricultura orgánica a escala nacional debería

ayudar a desarrollar sistemas de producción agrícola sostenibles de alto rendimiento con impactos mínimos en el medio ambiente.

5.2.2 Aspectos Sociales

La transición hacia la sostenibilidad en la agricultura requeriría de un cambio desde un actual régimen de manejo orientado hacia el aumento de la productividad agrícola, hacia un sistema en el que se consideren relevantes los efectos ambientales y sociales de la producción. Sin embargo, la magnitud de dicho cambio, su orientación y sentido enfrenta barreras sociales para la adopción de prácticas más sostenibles.

En efecto, las barreras sociales actúan como una limitante en la adopción de prácticas más sostenibles o diferentes a las tradicionales en materia de fertilización por parte de los agricultores. Dichas barreras se insertan dentro de un complejo de factores interrelacionados que tienden a restringir la adopción de prácticas más sostenibles en la agricultura en relación con el máximo potencial que pudiese alcanzarse. Por ello, es preciso además indagar sobre todos los factores potenciales (barreras y facilitadores) que determinan el comportamiento de los agricultores con relación a su decisión de adoptar prácticas más sostenibles.

5.2.2.1 Características demográficas de los agricultores en Chile

Hay que hacer presente que de acuerdo al censo agropecuario del 2021, el 37,7% de los productores naturales tenían más de 65 años, y el 39,4% estaba en el rango de entre 50 y 64 años. Además el 68% del total son hombres, y el 70% del total son propietarios exclusivos de la unidad de producción agrícola (con o sin título inscrito en el CBR) . Esta situación puede implicar una resistencia al cambio en la adopción de prácticas más sostenibles, dado el alto promedio de edad de los agricultores, en que también el experimentar nuevas prácticas no les entrega un beneficio directo y apreciable, cuando la agricultura se trata de su única fuente de ingresos.

El gráfico siguiente (Fig. 5.10) presenta el perfil etario y de sexo de personas productoras según sexo y tramos de edad a nivel nacional, para el año agrícola de referencia 2020/2021.

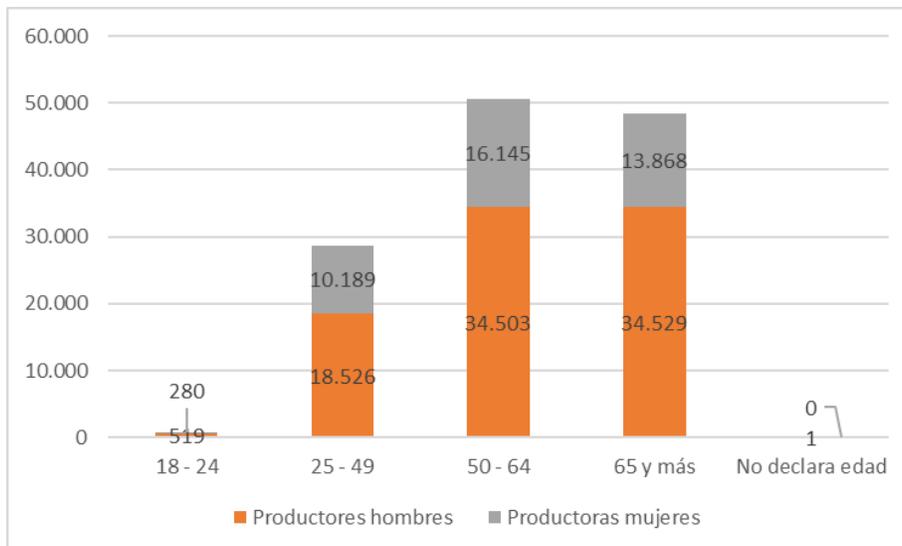


Figura 5.10. Número de personas productoras según sexo a nivel nacional y tramos de edad, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

En todos los tramos de edad, los hombres constituyen más del 50% del total, diferencia que es mayor en los tramos de edad más altos (del total de productores, y desde los 50 años hacia arriba, el 53,3% son hombres y el 23,2% son mujeres). Sin embargo, la diferencia porcentual es menor en los tramos más jóvenes de edad (del total de productores en los tramos de menores de 25 años, el 14,7% son hombres y el 8,1% son mujeres).

5.2.2.2 Distribución geográfica, ruralidad y tamaño de la unidad productiva de los agricultores en Chile

En cuanto a la distribución geográfica de los productores, el siguiente gráfico (Fig. 5.11) muestra dicha información.

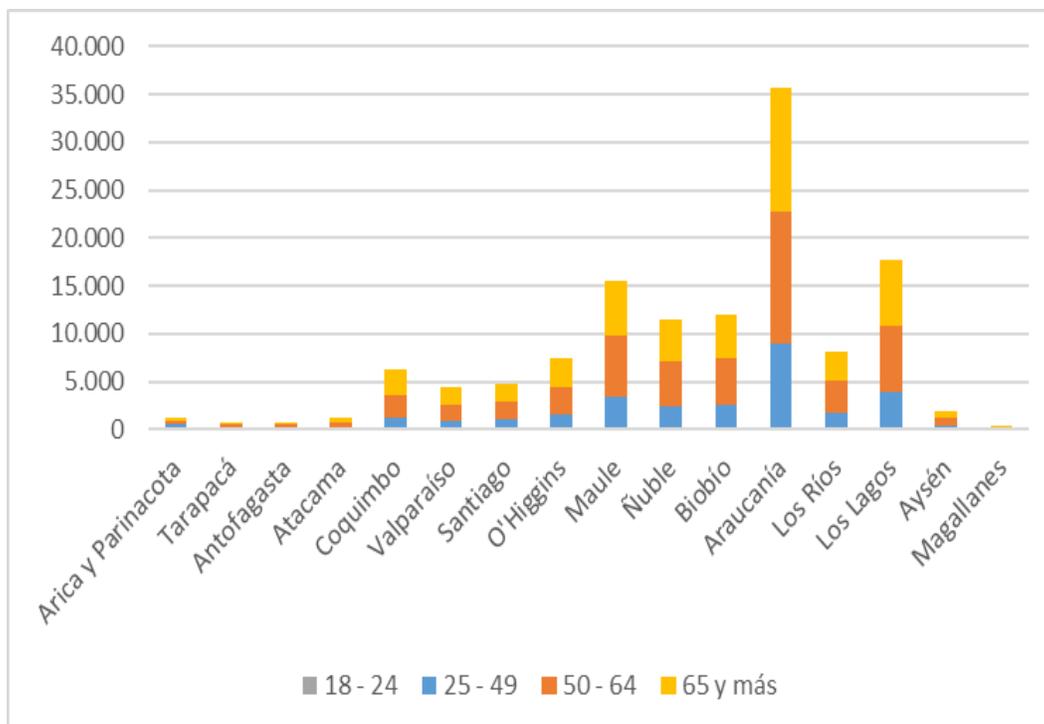


Figura 5.11. Número de personas productoras a nivel nacional según tramos de edad, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

La mayor parte de los productores se ubica en las regiones de la Araucanía, con un 28% del total nacional (equivalentes a 35.692 personas), seguido de Los Lagos con un 14% (17.671 personas) y Maule con un 12% (15.514 personas).

Finalmente, una medición respecto a la distribución regional de la superficie promedio de cada predio, tanto de las unidades productoras, como de las de autoconsumo, se presentan en las siguientes figuras (Fig. 5.12- Fig. 5.15). Se excluyeron en el caso de las unidades productivas agropecuarias las regiones extremas, debido a que por un lado no son representativas de los cultivos relevantes atingentes al presente estudio, como también debido a las extensas superficies y escaso número de productos, generan indicadores fuera de alcance de las regiones productoras de los cultivos bajo análisis .

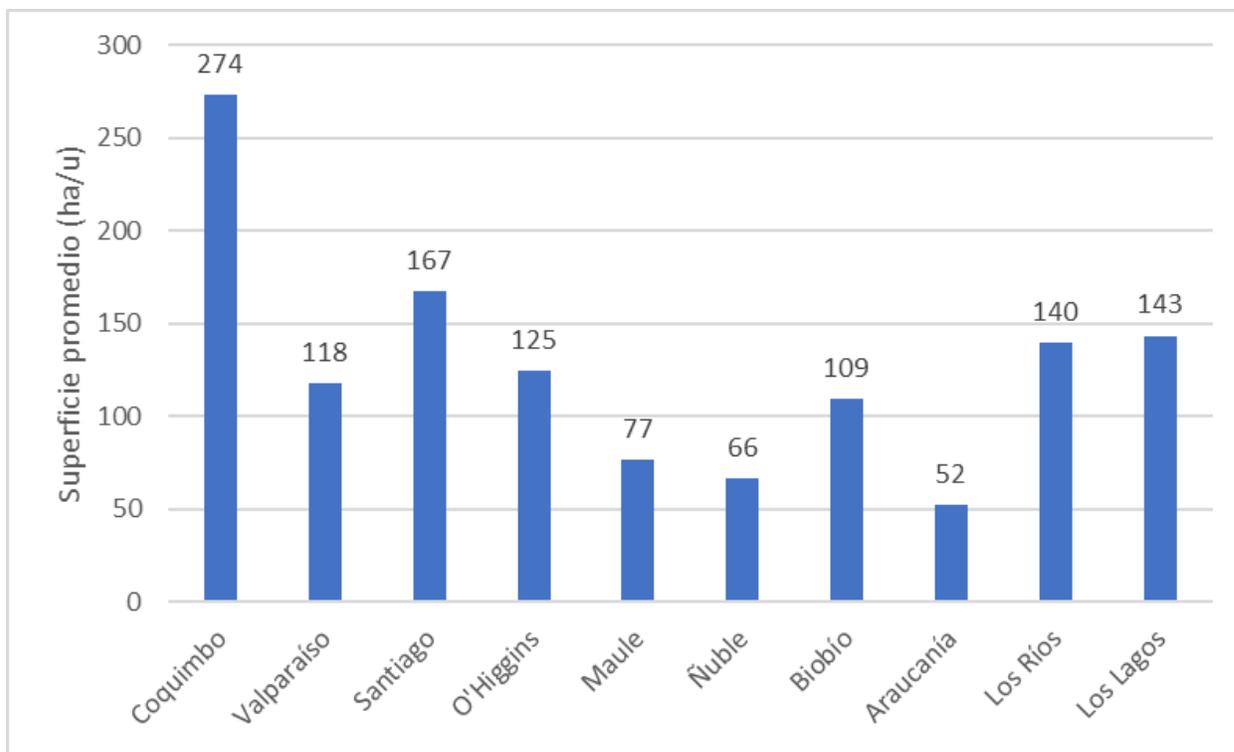


Figura 5.12 Superficie promedio (ha) de Unidades Productivas Agropecuarias (UPA) a nivel regional, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

Se constata en la región de Coquimbo la mayor superficie promedio por Unidad Productiva Agropecuaria (274 ha/UPA), mientras que en Araucanía ocurre lo contrario (52 ha/UPA). Ñuble (66 ha/UPA), Maule (77 ha/UPA) y Biobío (109 ha/UPA) presentan también los más bajos valores de superficie por UPA dentro de las regiones seleccionadas.

En cuanto a las unidades de autoconsumo UAC, y que corresponde a terrenos con superficie menor a 2 ha y que no realizaron ventas en el año agrícola 2020/2021, se presenta la distribución regional de la superficie promedio por unidad.

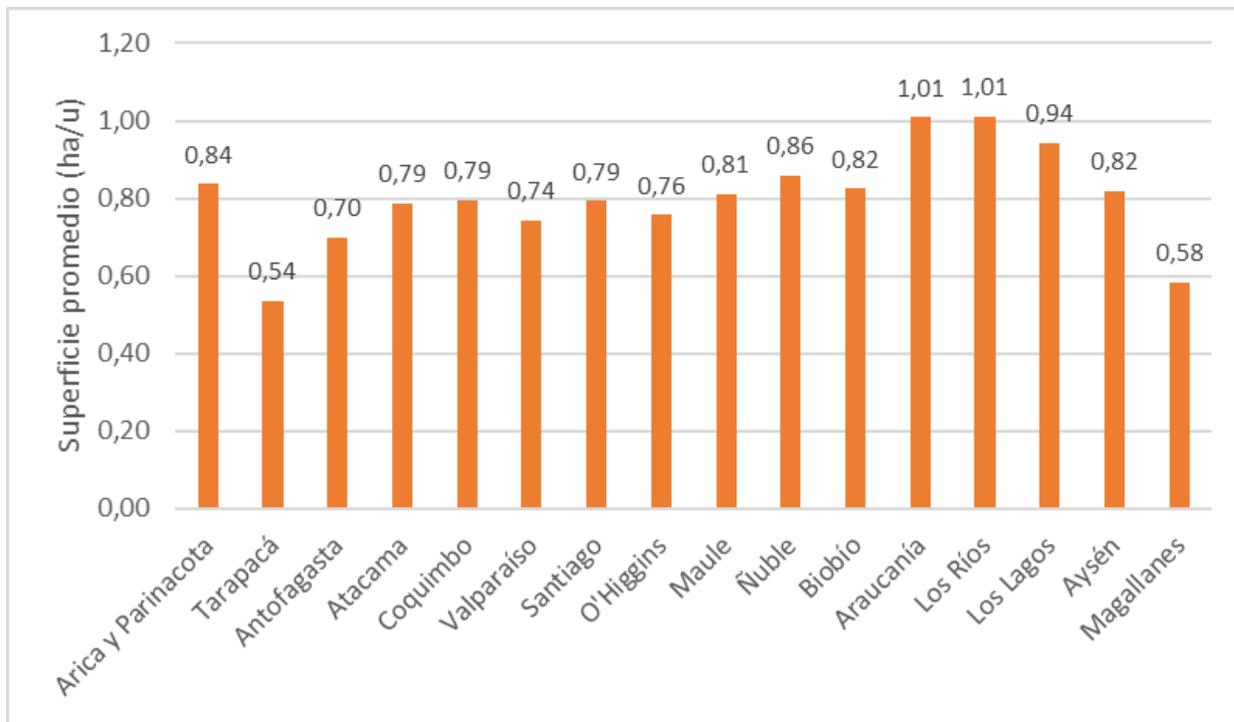


Figura 5.13 Superficie promedio (ha) de Unidades de Autoconsumo (UAC) a nivel regional, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

En este caso se consideraron todas las regiones, ya que los valores del indicador son más homogéneos. Las regiones de La Araucanía y Los Ríos presentan los mayores valores promedio a nivel nacional, por lo que la cantidad de unidades de autoconsumo equivalen en casi su totalidad a la sumatoria de la superficie en cada caso, lo cual se aprecia en la siguiente figura, que sólo considera las regiones relevantes.

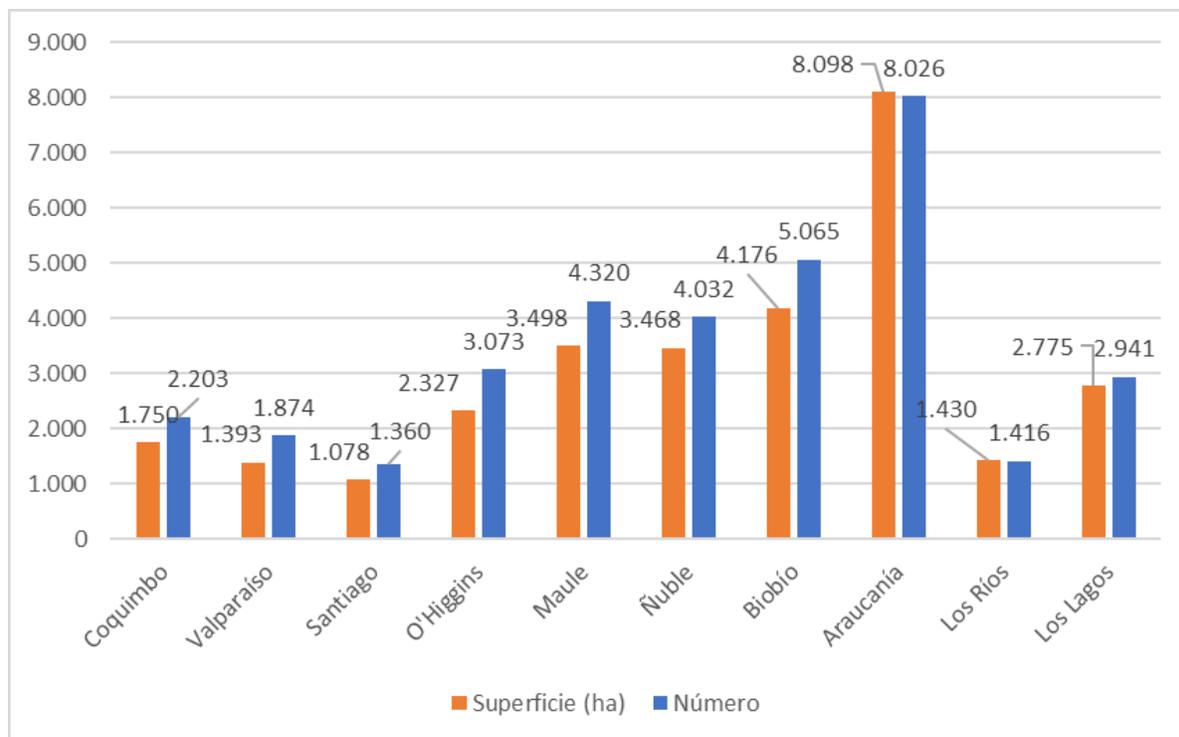


Figura 5.14 Superficie (ha) y número de Unidades de Autoconsumo (UAC) a nivel regional, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

De esta forma, se aprecia que la mayor cantidad de unidades de autoconsumo se presentan en Araucanía (8.026), Biobío (5.065), Maule (4.320), y Ñuble (4.032). Por el contrario, la región Metropolitana presenta la menor cantidad de UAC (1.360) y de superficie promedio (1.078 ha). Por otro lado, es interesante describir otras variables demográficas, tales como la ruralidad en el país, o la distribución de la población a nivel regional.

Se presenta la ruralidad a nivel regional estimada tanto por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) como por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

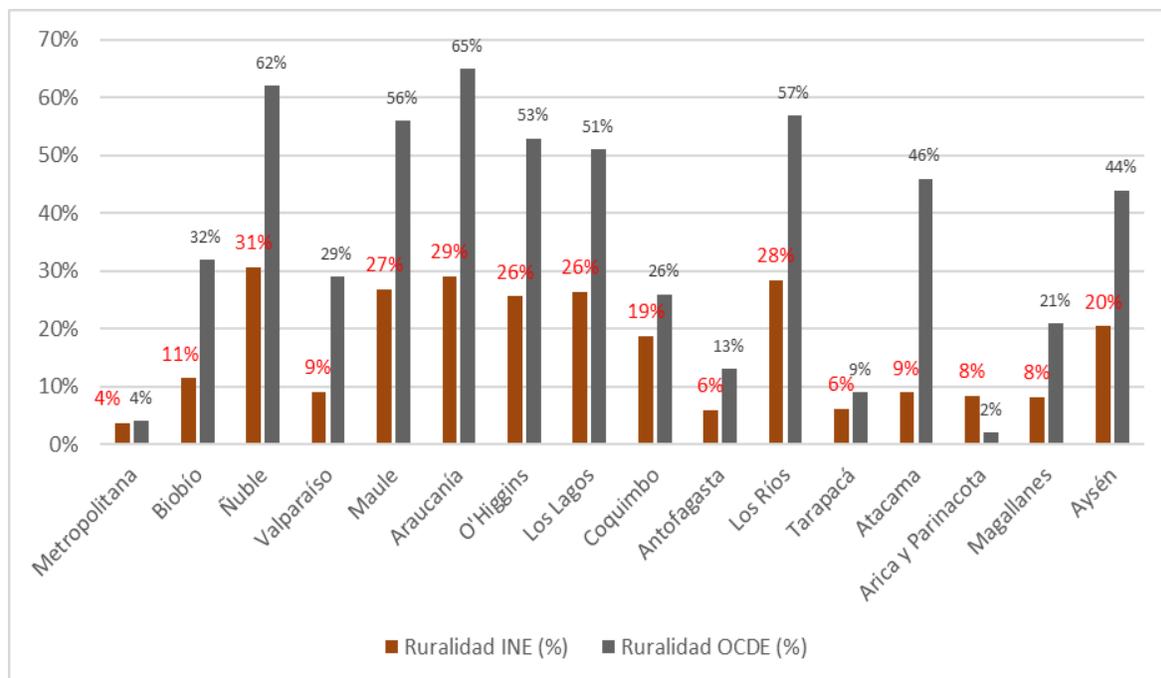


Figura 5.15 Distribución Ruralidad Regional en el País
Fuente: Elaborado por ODEPA con información del INE Censo 2017

Para todas las regiones, excepto para Arica y Parinacota, las estimaciones de la OCDE son mayores que las estimaciones del INE, alcanzando más de 30 puntos porcentuales de diferencia para la región de la Araucanía, Atacama y Ñuble.¹³ Independientemente de las estimaciones de cada institución, se presenta un importante porcentaje de población rural, mayor al 25%, entre las regiones de O'Higgins y Los Lagos, con excepción del Biobío. La distribución regional de la población se presenta en la figura siguiente:

¹³ Zona rural INE: Asentamiento humano que posee 1.000 o menos habitantes, o entre 1.001 o 2.000 habitantes, con menos del 50% de su población económicamente activa dedicada a actividades secundarias y/o terciarias.

Zona rural OCDE: Se analiza la densidad de población a nivel de distrito censal y luego se agrega a nivel de comuna, clasificando las comunas como rurales, mixtas o urbanas de acuerdo con el porcentaje de su población que vive en distritos censales de baja densidad. (Densidad menor a 150 hab./km²).

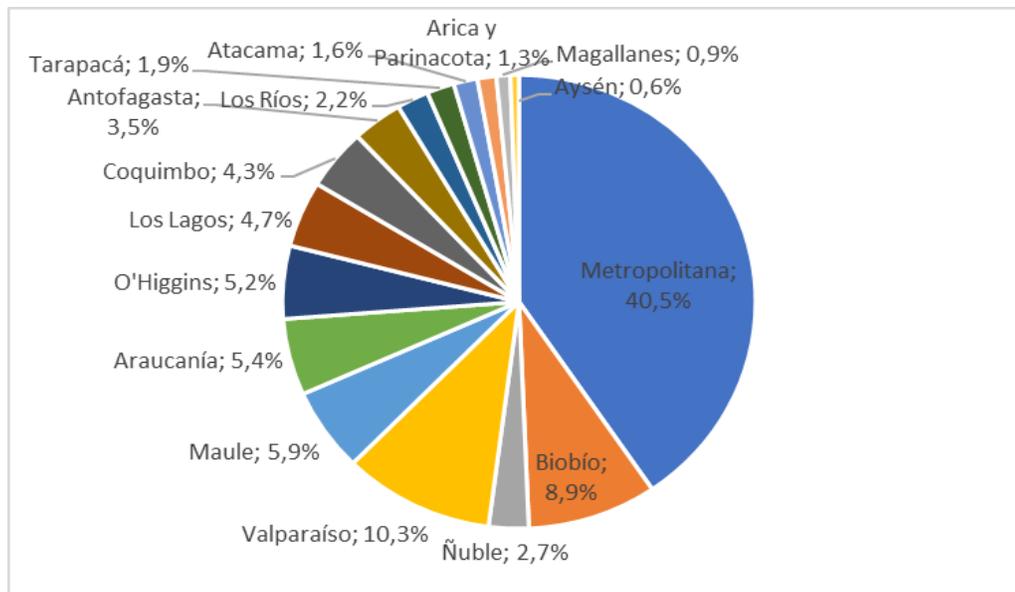


Figura 5.16. Distribución Población Regional en el País
Fuente: Elaborado por ODEPA con información del INE Censo 2017

Entre Coquimbo y La Araucanía se concentra el 83,3% de la población nacional, y en las regiones contiguas de Valparaíso, Metropolitana, y O'Higgins se ha establecido el 56% del total nacional. En cuanto a la distribución de la superficie regional, la figura siguiente presenta su conformación:

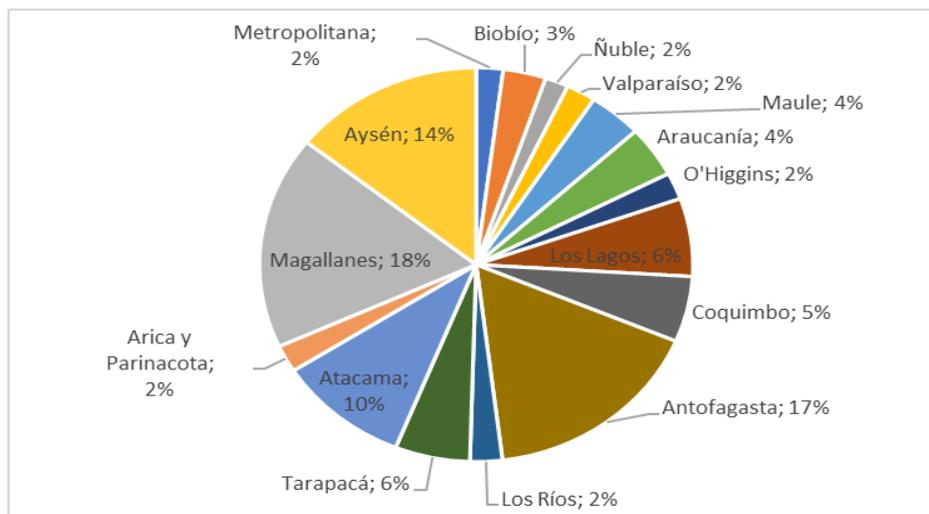


Figura 5.17 Distribución Superficie regional
Fuente: Elaborado por ODEPA con información del INE Censo 2017

Se ve que la región Metropolitana que solo dispone del 2% de la superficie nacional, concentra más del 40% de la población total nacional, y que las regiones de entre Coquimbo y Araucanía disponen del 25% de la superficie total. Por el contrario, las regiones extremas del país, entre Arica y Parinacota y Antofagasta por el norte, y Aysén y Magallanes en la

zona austral, cuentan con el 56% del total del territorio. La distribución de población rural regional, de acuerdo con las estimaciones del INE y la OCDE se presentan en la figura 5.18.

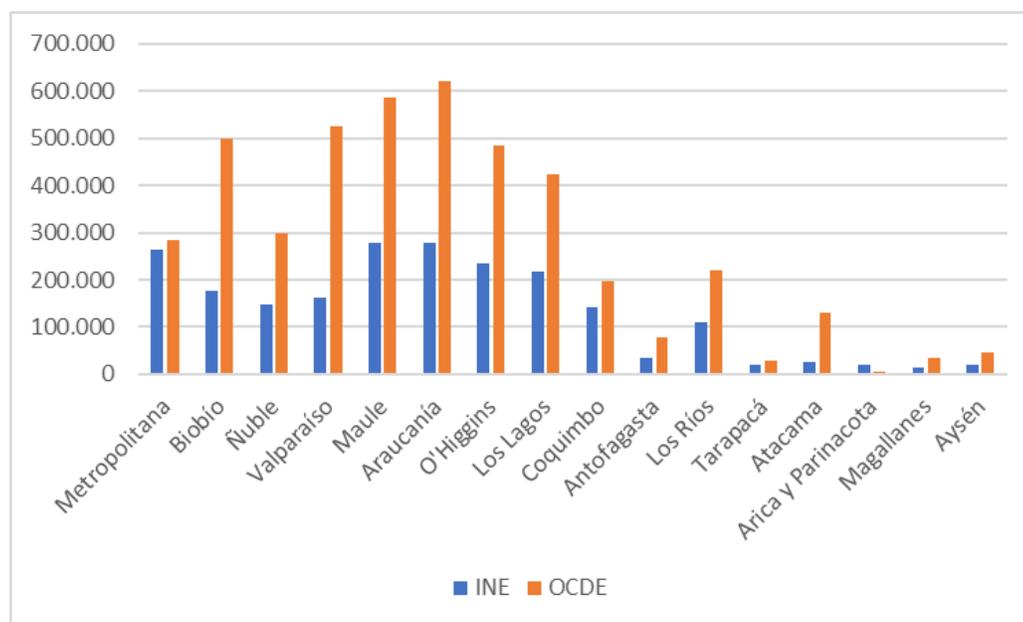


Figura 5.18. Distribución población rural a nivel regional

Fuente: Elaboración propia basado en ODEPA con información del INE Censo 2017

De acuerdo con las estimaciones de porcentajes de ruralidad del INE, la mayoría de la población rural reside en las regiones de Maule, Araucanía y Metropolitana, conformando el 38% de los habitantes rurales del país. Entre Coquimbo y Araucanía reside el 78% de la población rural. Si se atienden las cifras de la OCDE, las regiones con mayor población rural son Araucanía, Maule y Valparaíso, quienes concentran el 39% del total rural del país. Al igual que en las estimaciones de la OCDE, reside igual porcentaje del total rural nacional entre Coquimbo y Araucanía.

Además, dados los datos anteriores, se aprecia la gran cantidad de pequeñas unidades productoras y de autoconsumo, concentradas en regiones como Araucanía, Maule y Los Lagos, cuyos propietarios al igual que en el resto del país se concentran preferentemente en el tramo de edad de 50 años y más, es esperado que tengan una alta propensión a no adoptar prácticas más sostenibles e innovativas, que sean diferentes a lo que tradicionalmente han utilizado en sus cultivos. Estos son factores que contribuyen a crear resistencia al cambio y se erigen como barreras sociales en la adopción de prácticas sostenibles.

5.2.2.3 Calidad del trabajo agrícola y tenencia de la tierra

En cuanto al trabajo agrícola¹⁴, referido a las labores de campo que considera las actividades productivas agrícolas primarias, la desagregación por sexo y región se presenta en la siguiente figura (Fig 5.19), considerando la modalidad permanente y temporal, respectivamente.

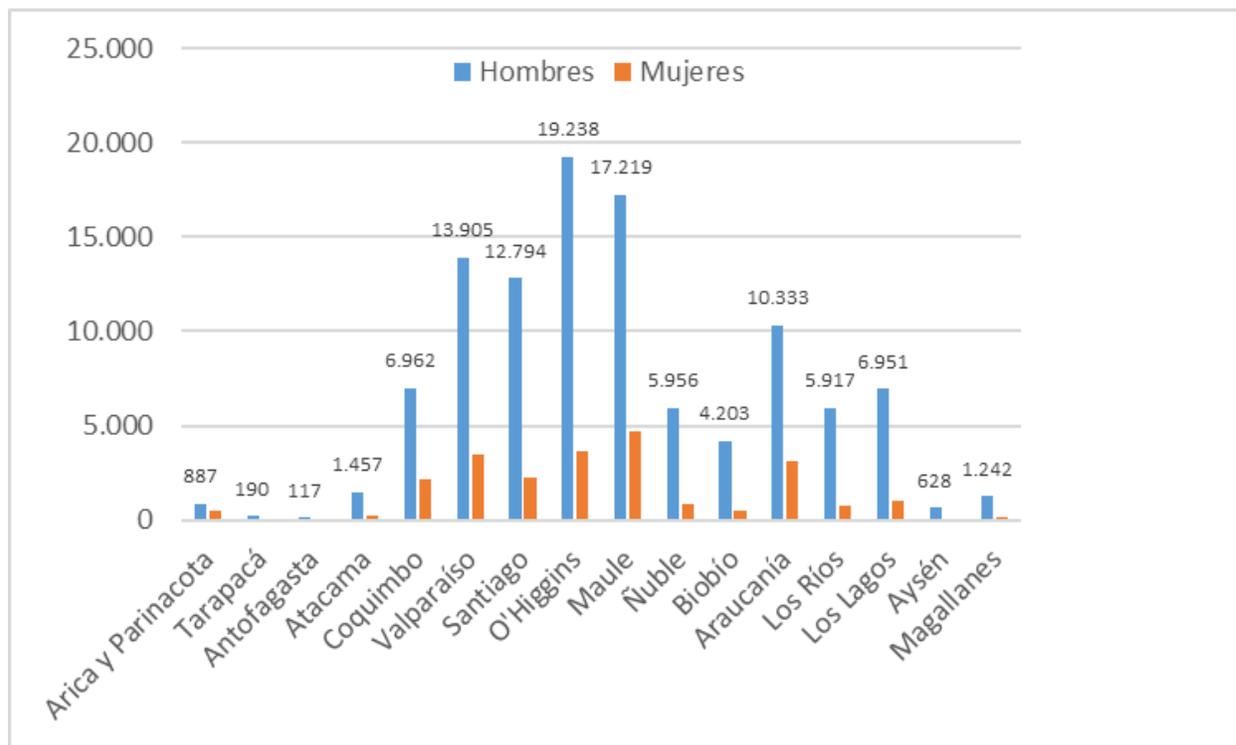


Figura 5.19 Número de trabajadores permanentes a nivel regional según sexo y tramos de edad, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

El 82,2% del total nacional de trabajadores permanentes agrícolas es hombre y el restante 17,8% son mujeres. Se aprecia en el gráfico anterior que la mayor concentración de trabajadores permanentes está en la región de O'Higgins, con 19.238 personas, equivalente al 14,6% del total de hombres, seguidos de Maule con 17.219 personas (13,1% de los hombres) y por Valparaíso con 13.905 personas (10,6% de los hombres). En relación a las trabajadoras, la distribución geográfica de la cantidad de trabajadoras permanentes es similar a la de los hombres, por lo que las mayores concentraciones de mujeres se dan en las mismas regiones que las de los varones.

¹⁴ Se hace notar que acuerdo al censo, estas cifras incluyen el personal con un acuerdo o contrato con la UPA, no incluyen a los miembros del hogar que trabajan en la UPA, como tampoco el personal contratado a través de servicios externos de contratistas. También se incluyen las personas trabajadoras nacidas dentro y fuera del territorio nacional.

En cuanto al trabajo agrícola temporal, el gráfico siguiente (Fig. 5.20) proporciona información respecto a su distribución geográfica por sexo.

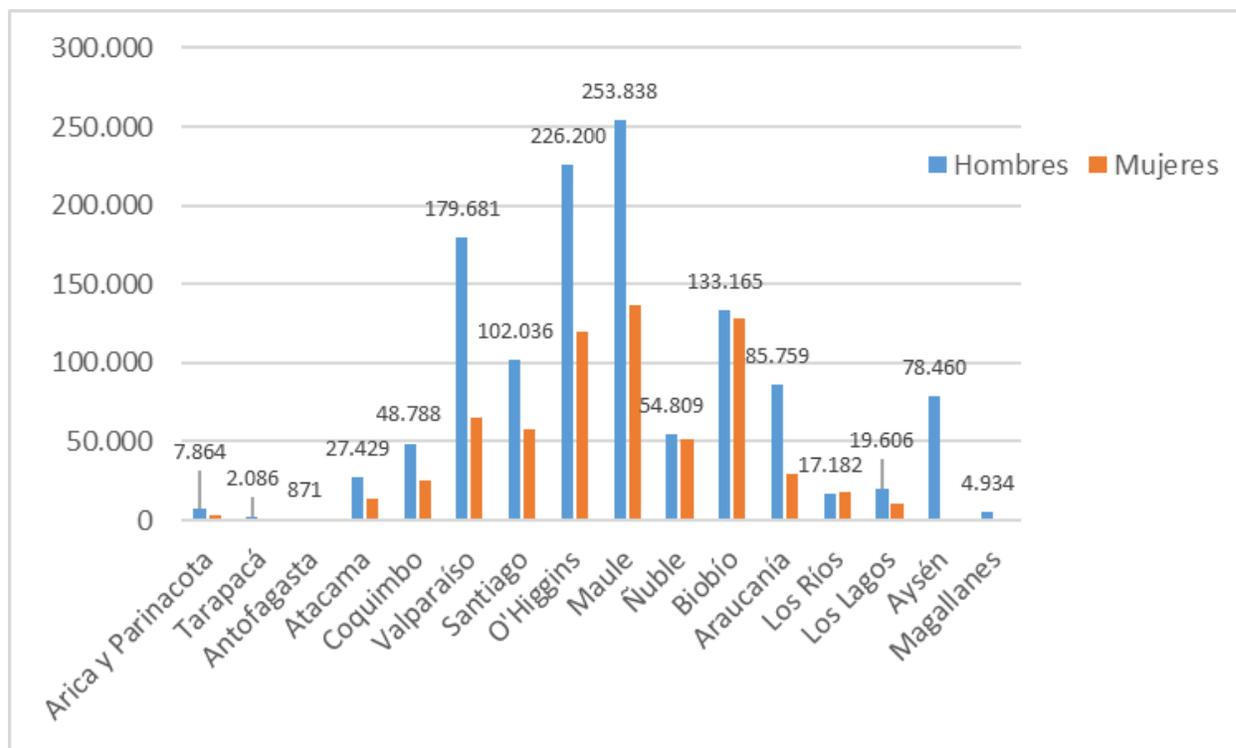


Figura 5.20. Número de trabajadores temporales a nivel regional según sexo y tramos de edad, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

El 65,2% del total nacional de trabajadores temporales agrícolas es hombre y el restante 34,8% son mujeres, por lo que se constata una mayor participación femenina en relación al trabajo permanente. De la misma manera que en el caso anterior, la mayor concentración de trabajadores permanentes está en las mismas regiones, aunque el orden de prioridad cambia, ya que la región del Maule posee la mayor cantidad de trabajadores temporales, con 253.838 personas, equivalente al 20,4% del total de hombres, seguidos de O'Higgins con 226.200 personas (18,2% del total de hombres) y por Valparaíso con 179.681 personas (14,5% del total de hombres).

En relación con las trabajadoras, la distribución geográfica de la cantidad de trabajadoras permanentes es muy similar a la de los hombres, donde las mayores concentraciones de mujeres se dan en Maule con 137.018 trabajadoras (20,7% del total de mujeres), Biobío con 128.167 (19,4% del total de mujeres) y O'Higgins con 120.013 (18,1% del total de mujeres).

De acuerdo con la información anterior, los trabajadores permanentes del sector agrícola representan casi el 7% del total de trabajadores temporales. Esto puede ser un indicador de los niveles de vulnerabilidad existentes en el rubro.

En relación a la propiedad de las unidades productoras, la cantidad de personas productoras naturales según tipo de tenencia de la tierra se presenta en la siguiente figura (Fig. 5.21).

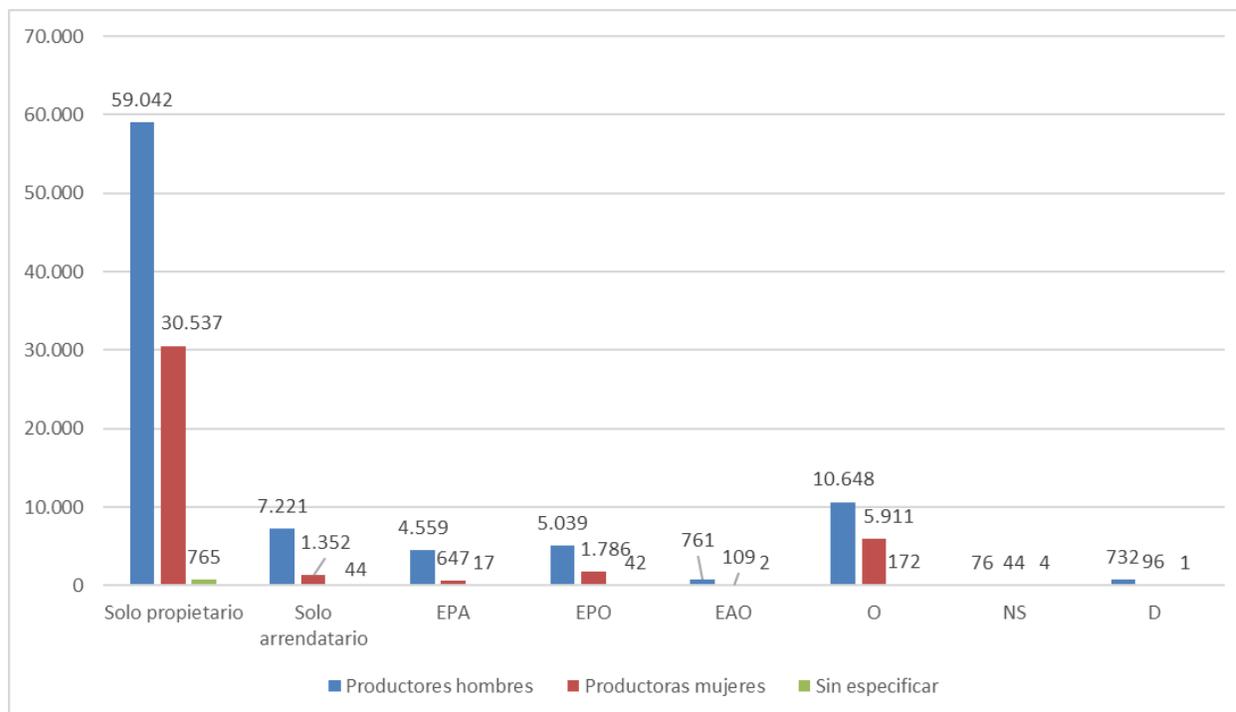


Figura 5.21. Número de personas productoras naturales según sexo y tipo de tenencia de la tierra a nivel nacional, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021¹⁵

La gran mayoría de los productores son propietarios de la unidad, ya sea con o sin título inscrito en el Conservador de Bienes Raíces, siendo a nivel nacional, el 69,7% de las personas productoras naturales perteneciente a esta categoría, equivalentes a 90.344 personas. En el caso de las mujeres, 34% del total nacional es propietaria de la unidad (30.537 personas), mientras que del total de hombres a nivel nacional, el 65% es exclusivo propietario (59.042 personas).

¹⁵ Los acrónimos son los siguientes:

EPA: Exclusivamente propietario y arrendatario

EPO: Exclusivamente propietario y además tiene otros tipos de tenencia (excluye arrendatario)

EAO: Exclusivamente arrendatario y además tiene otros tipos de tenencia (excluye propietarios con o sin título CBR)

O: Exclusivamente otros tipos de tenencia, tales como mediería, goce o regalía, terreno cedido y terreno ocupado

NS: Exclusivamente No sabe. No responde

D: Considera diferentes combinaciones de tipo de tenencia de las categorías expuestas

Llama la atención el porcentaje de la categoría O (exclusivamente otros tipos de tenencia, tales como mediería, goce o regalía, terreno cedido y terreno ocupado), ya que a nivel nacional es del 12,9% de los productores censados (16.731 personas). En el caso de los hombres, este porcentaje alcanza el 12,1% (10.648 personas) y en las mujeres el 14,6% (5.911 personas).

La distribución regional de la categoría de propietario se presenta en la figura siguiente (Fig 5.22)



Figura 5.22 Número de personas productoras naturales propietarias exclusivas según sexo y a nivel nacional, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

La distribución de los propietarios exclusivos sigue la manifestada por los productores, por lo que destacan las regiones de Araucanía con 14.264 propietarios (24,2% del total de hombres de la categoría), Los Lagos con 8.615 propietarios (14,6% del total de hombres de la categoría), y Maule con 7.716 propietarios (13,1% del total de hombres de la categoría). Para las mujeres, destacan Biobío con 3.390 propietarias (11,1% del total de propietarias), Araucanía con 8.463 propietarias (27,7%) y Los Lagos 5.466 propietarias (17,9%).

Por otro lado, dada la importante participación de la categoría de exclusivamente otros tipos de tenencia, tales como mediería, goce o regalía, terreno cedido y terreno ocupado, que a nivel nacional es del 12,9% , se presenta figura con la distribución regional por sexo (Fig 5.23).

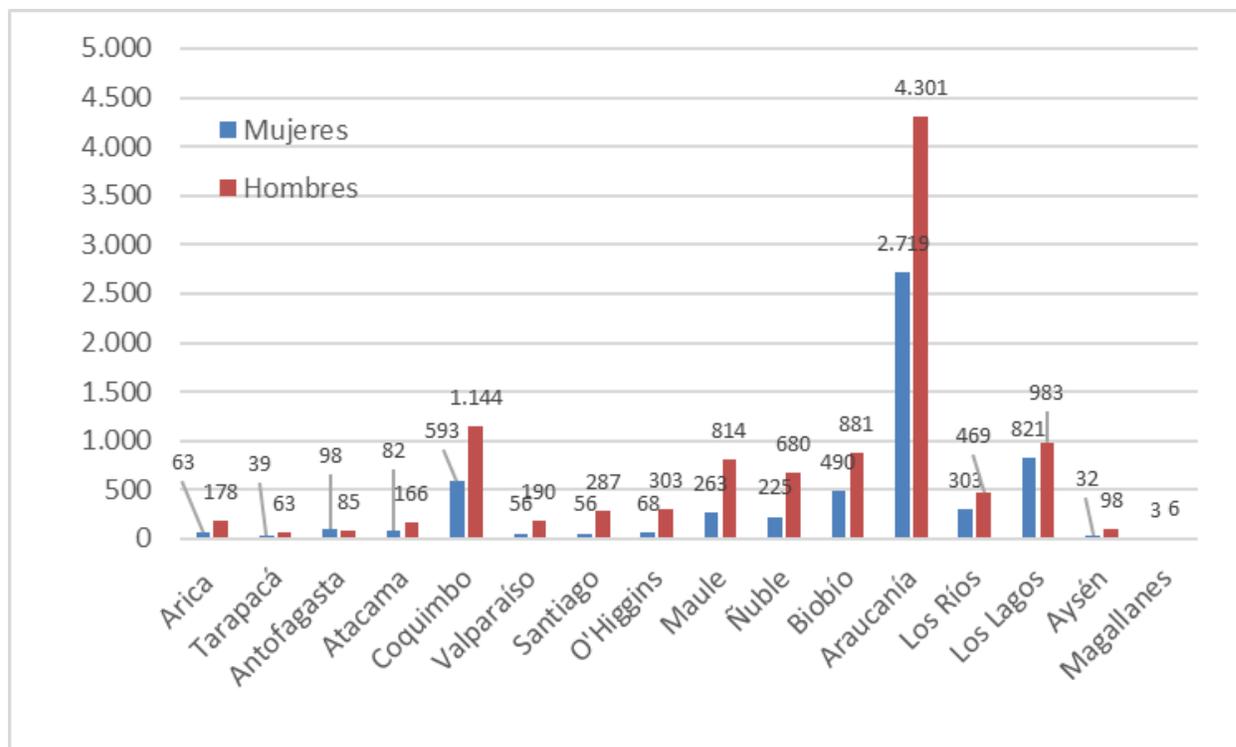


Figura 5.23 Número de personas productoras naturales con otros modos de tenencia según sexo y a nivel nacional, para el año agrícola de referencia 2020/2021. Fuente: Elaboración Propia basada en datos del Censo Agropecuario 2021

Dada la distribución regional de los productores agregados a nivel nacional, es esperable que las categorías se comporten de similar forma, por lo que Araucanía, Los Lagos, Biobío y Maule poseen las mayores cantidades de productores dentro de la categoría especificada. Sin embargo, destaca Coquimbo como la segunda región en mayor cantidad de hombres productores bajo la modalidad de otras tenencias de la tierra (1.144 productores, equivalentes al 10,7% del total de hombres en la categoría). En las mujeres de la IV región, el número de productoras en esa categoría es de 593, equivalentes al 10%.

5.2.2.4 Otros aspectos sociales relacionados con la adopción de nuevas prácticas agrícolas

A pesar de que el alcance y profundidad de esta tarea escapa al objetivo de este estudio, podemos entregar algunas perspectivas al respecto. El asunto de dilucidar cuáles serían los factores que limitan la adopción de prácticas más sostenibles en la agricultura respecto a la fertilización ha sido tratada en la literatura por diferentes autores (Hill et al, 1996, Rodríguez et al, 2008, Cerf et al, 2011, Kassie et al, 2013, Stringer et al, 2020, Melchior, et al, 2021). En general, a pesar de la información existente, y de los años transcurridos con distintos esquemas de manejo de fertilización, parecería existir una compleja interpretación de la comunicación entre las partes involucradas, que lleva a conclusiones erradas y acciones contraproducentes en el manejo agrícola. Estas partes consideran por un lado a los agricultores, por otro a los ejecutivos de empresas proveedoras de insumos agrícolas (entre los que se cuentan los fertilizantes), y también están las autoridades que representan

la institucionalidad, a través de sus equipos técnicos, operadores, ejecutivos del SAG, INDAP, CONAF, INFOR, etc. Igualmente, habría que considerar a universidades, centros de investigación, y otras instituciones privadas relacionadas al rubro agrícola.

Los agricultores utilizan fertilizantes químicos y orgánicos, para abonar sus cultivos, cuyas prácticas de manejo pueden devenir en un exceso de nutrientes que pueden perderse en los campos agrícolas y afectar negativamente la calidad del aire y de las aguas del suelo o continentales. Se ha demostrado que la contaminación por lixiviación de fertilizantes es también un problema importante en muchos países desarrollados y en desarrollo, tales como Países Bajos, Nueva Zelanda y China (Liu et al, 2018).

Esos insumos agrícolas son obtenidos de los agentes de venta de los fertilizantes, cuya asistencia técnica para los agricultores en cuanto al uso, cantidad, oportunidad u otra variable de aplicación, difiere ampliamente entre cada vendedor, los cuales también prestan apoyo técnico en la utilización. Esto principalmente debido al hecho de que el incentivo de las empresas del rubro es la venta del producto. Es decir, a pesar de contar con el apoyo de los proveedores de asistencia técnica, los agricultores no siempre adoptan prácticas sostenibles, debido a que estos agentes a menudo pueden no estar capacitados adecuadamente para atender las necesidades de los agricultores con respecto a las prácticas de agricultura sostenible, particularmente las necesidades de situaciones agrícolas específicas.

Por otro lado, la asistencia técnica de los representantes de la institucionalidad ha sido permanente en el país desde hace décadas, pero los programas de apoyo del gobierno a menudo no han logrado fomentar la adopción de prácticas sostenibles debido a la falta de financiación, el diseño inadecuado y la orientación ineficaz de los incentivos. Con ello, los agricultores suelen tener dificultades para obtener información precisa sobre los beneficios de adoptar prácticas de agricultura sostenible. Las barreras sociales, la propiedad de la tierra, y la infraestructura son otros impedimentos significativos para la adopción. Estrategias como una mejor gestión de la información existente, un diseño adecuado de los programas de apoyo económico y esfuerzos de extensión dirigidos a todos los actores involucrados podrían ayudar a superar algunas de las barreras mencionadas para la adopción de prácticas agrícolas sostenibles.

Por otro lado, Aznar-Sánchez et al (2020) identificaron y jerarquizaron las barreras y facilitadores para la adopción de prácticas sostenibles en agricultura, encontrando que las principales barreras y facilitadores son los que se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 5.11. Barreras y facilitadores para que el agricultor adopte prácticas sostenibles

Factor	Nivel
Barreras	<ul style="list-style-type: none"> ● Carencia de información sobre las prácticas ● Ausencia de un sistema de control del cumplimiento de la normativa legal

	<ul style="list-style-type: none"> ● Costos de implantación y mantenimiento de las prácticas ● Aspectos culturales ● Incertidumbre con respecto al riesgo ● Desventajas relacionadas con el tamaño del predio ● Ciertas características de las prácticas sostenibles propuestas
Facilitadores	<ul style="list-style-type: none"> ● Existencia y accesibilidad a la tecnología necesaria ● Mejora de la formación de los agricultores ● Nivel de conocimiento de las diferentes partes interesadas ● Influencia de las normas sociales ● Existencia de incentivos para la adopción de prácticas sostenibles.

Fuente: Aznar-Sánchez et al (2020) Barriers and Facilitators for Adopting Sustainable Soil Management Practices in Mediterranean Olive Groves

Estos factores condicionan la adopción de prácticas sostenibles de manera diferente. Debe considerarse que el 26% de los chilenos viven en zonas rurales, que presentan importantes brechas respecto a las comunas urbanas, especialmente en cuanto a niveles de pobreza, infraestructura, acceso a educación y salud de calidad, entre otros.

5.2.2.5 Resumen

Como aspectos a destacar del capítulo se tiene lo siguiente:

- Para los productores naturales, en todos los tramos de edad, los hombres constituyen más del 50% del total, diferencia que es mayor en los tramos de edad más altos (del total de productores, y desde los 50 años hacia arriba, el 53,3% son hombres y el 23,2% son mujeres).
- La mayor parte de los productores naturales se ubica en las regiones de la Araucanía, con un 28% del total nacional (equivalentes a 35.692 personas), seguido de Los Lagos con un 14% (17.671 personas) y Maule con un 12% (15.514 personas).
- El 82,2% del total nacional de trabajadores permanentes agrícolas es hombre y el restante 17,8% son mujeres. La mayor concentración de trabajadores permanentes está en la región de O'Higgins, con 19.238 personas, equivalente al 14,6% del total de hombres, seguidos de Maule con 17.219 personas (13,1% de los hombres) y por Valparaíso con 13.905 personas (10,6%) de los hombres.
- En relación con las trabajadoras, la distribución geográfica de la cantidad de trabajadoras permanentes es similar a la de los hombres, por lo que las mayores concentraciones de mujeres se dan en las mismas regiones que las de los varones.
- De manera de mitigar las barreras sociales existentes en la adopción de los agricultores de prácticas más sostenibles, es preciso entregar alternativas que

combinen tanto la fertilización tradicional, como esquemas de manejo sostenibles, que les aseguren al menos los márgenes que obtenían bajo el régimen tradicional.

- Un nivel alto de dificultad, de costos directos, o de incertidumbre sobre las consecuencias de la adopción por parte de los agricultores de prácticas más sostenibles, hará más difícil su implementación. Por ello, a pesar de que existe un permanente contacto entre los equipos técnicos de los organismos de promoción relacionados a la agricultura y los agricultores, es necesaria la capacitación permanente en los aspectos relacionados con la transmisión adecuada de la información correspondiente a los agricultores.
- Si el diseño e implementación de la iniciativa es complejo y exigente en términos de coordinación interinstitucional e intersectorial, procesos administrativos y costos de transacción, provisión de asistencia técnica y acompañamiento, y financiamiento, será más complejo y costoso la adopción de los agricultores de prácticas más sostenibles por parte de los agricultores.
- La complejidad de adaptar la innovación a cambios de contexto, de mercado o de la propia tecnología, hará menos conveniente para el agricultor invertir recursos en aplicarla. Las dificultades para financiar prácticas más sostenibles debido a un insuficiente o incierto flujo de dinero como resultado de la iniciativa, o a que la innovación o tecnología no está madura (probada) aún, o porque el agricultor no es sujeto de crédito.
- Si no existe un reconocimiento o diferenciación de mercado para los productos generados a través de prácticas más sostenibles (por ejemplo, un mayor precio de venta), hará menos atractivo hacer el cambio.
- Cuando la iniciativa evita o retrasa la generación de beneficios, ya sea para el agricultor objetivo u otros actores, debido a que interfiere o impide una actividad o bloquea alguna fuente de ingreso diferente, su adopción será menos rentable o factible.
- Si la iniciativa define una innovación o forma de trabajo que no recoge las particularidades culturales de los beneficiarios, su implementación generará resistencia al cambio.

5.2.3 Aspectos Ambientales de la fertilización en Chile

La aplicación de fertilizantes en el campo trae consigo riesgos relativos a su intrusión en el ambiente como resultados de malos manejos de fertilización ya sea por desconocimiento o por descuido de parte de quienes fertilizan el campo. A continuación, se especifican estos riesgos ambientales y como están presentes en el caso chileno.

Entre los efectos nocivos del exceso de N ambiental están la acidificación de los suelos y los recursos hídricos, la eutrofización de ecosistemas, la pérdida de biodiversidad en ecosistemas terrestres y acuáticos, la invasión de malas hierbas o malezas, el aumento de gases de efecto invernadero debido a las emisiones de óxido nitroso (N_2O), el agotamiento del ozono estratosférico (debido a la presencia de óxidos de nitrógeno (NO , NO_2)), el aumento del daño inducido por el ozono troposférico a los cultivos, bosques y otros

ecosistemas, y el aumento de neblina atmosférica y la producción de partículas suspendidas en el aire que contienen Nitrógeno.

Se considera que entre el 40 y el 50% de la superficie terrestre está destinada a la agricultura (Smith et al 2017) y que debido a las prácticas relacionadas con el tipo de agricultura practicada, incluyendo la ruptura de los suelos por el arado, la disminución de la cobertura vegetal y el escaso retorno de los restos vegetales propios de los suelos agrícolas se ha disminuido el carbono orgánico en dichos suelos (Lal et al 2004).

A continuación, se analizan las principales externalidades ambientales de la fertilización en Chile.

5.2.3.1 Externalidades ambientales de la fertilización en Chile

Como consecuencia de las pérdidas que se producen durante la fertilización, se producen numerosos efectos perjudiciales de las crecientes cantidades de nutrientes en el ambiente.

A. Emisiones de GEI

En las actividades agrícolas, los principales gases de efecto invernadero (GEI) son los relacionados con los ciclos globales de C y N. El impacto de la agricultura en las emisiones de GEI se ha convertido en un tema clave, pues actúa como emisor, pero también potencialmente como sumidero de emisiones. Según el IPCC en su informe 6 de 2022, el sector Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU) en promedio, representó del 13 al 21 % del total mundial de GEI antropogénico en el periodo 2010-2019. Las emisiones antropogénicas netas de CO₂ estimadas de AFOLU (basadas en modelos contables) resultaron en $+5,9 \pm 4,1$ GtCO₂ año⁻¹ entre 2010 y 2019. La tasa de deforestación representa el 45% de las emisiones totales de AFOLU, en general ha disminuido. Las emisiones agrícolas de CH₄ y N₂O se estiman en un promedio de $157 \pm 47,1$ MtCH₄ año⁻¹ y $6,6 \pm 4,0$ MtN₂O año⁻¹ o $4,2 \pm 1,3$ y $1,8 \pm 1,1$ GtCO_{2-eq} año⁻¹. Las emisiones AFOLU de metano continúan aumentando, la principal fuente de la cual es la fermentación entérica de los animales rumiantes. Las emisiones de AFOLU de óxido nitroso también están aumentando, dominadas por la agricultura, especialmente por la aplicación de estiércol.¹⁶ Las posibilidades de mitigación de emisiones GEI que se estiman como viables son el manejo más eficiente de los fertilizantes y el aumento de los destinos de carbono, a través de manejos apropiados que promuevan la acumulación de carbono en los suelos.

En Chile, las emisiones de GEI provienen principalmente del sector energía, y en segundo lugar aparece la Agricultura. Dentro de ésta las dos fuentes principales son las emisiones de metano por fermentación entérica de rumiantes y las de óxido nitroso por la aplicación de fertilizantes. En el año 2018 la agricultura en Chile representó un 7 % del balance de GEI con 11.789 kt CO_{2-eq}, disminuyendo en un 0,4 % desde 1990 y en un 0,8 % desde 2016. La tendencia a la disminución de estas emisiones es debido mayormente a la baja de la

¹⁶ https://report.ipcc.ch/ar6/wg2/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf

población del ganado bovino y ovino que se ha registrado durante la última década por la baja en la rentabilidad del sector (SNI Chile).

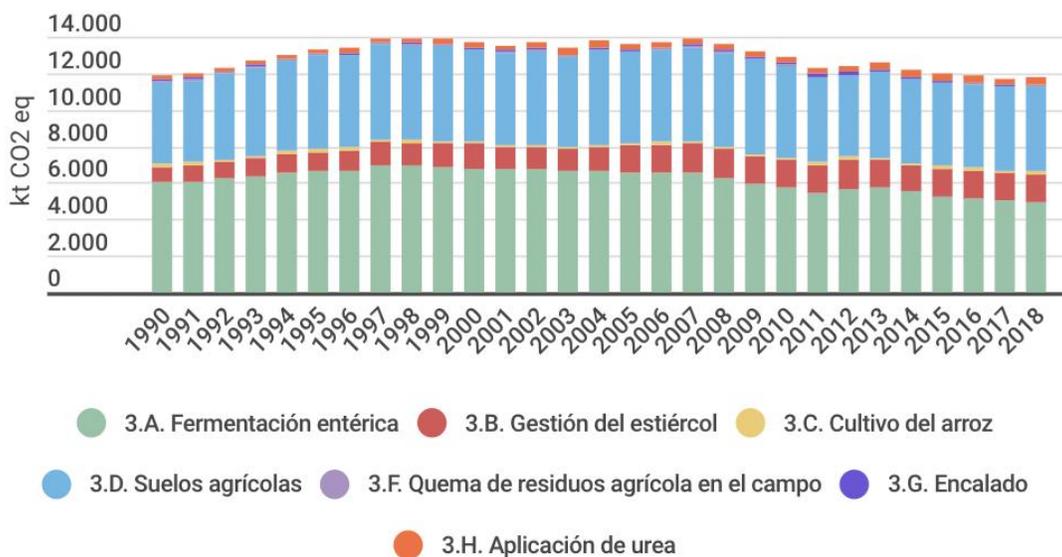


Figura 5.24. Emisiones de GEI por la agricultura en Chile 2018 (SNI Chile¹⁷)

La figura 5.24 muestra la distribución de las emisiones GEI por la agricultura en Chile. Se aprecia que en segundo lugar después de la fermentación entérica, se encuentran las emisiones por uso del suelo agrícola. En 2018, las emisiones de GEI de esta categoría contabilizaron 4.697 kt CO₂ eq, incrementándose en un 5 % desde 1990 y en un 3 % desde 2016. Esta categoría incluye emisiones directas e indirectas de N₂O generadas desde la superficie de los suelos producto de procesos microbianos asociados a la aplicación de nitrógeno en forma de fertilizantes sintético y orgánico; orina y de estiércol depositado por animales en pastoreo; residuos de cultivos; mineralización/inmovilización de nitrógeno vinculada a la ganancia/pérdida de materia orgánica del suelo resultante del cambio del uso de la tierra o de la gestión de suelos minerales; y el drenaje/gestión de suelos orgánicos. Al igual que las fuentes de emisión que tienen relación con el ganado, ha existido una disminución y mantención en las emisiones debido a la baja en la población del ganado vacuno y la menor deposición de nitrógeno en tierras bajo pastoreo. Esta disminución en las emisiones ha sido compensada por el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Dentro de la categoría, las emisiones directas de N₂O de suelos agrícolas representan un 83 % de las emisiones mientras que las emisiones indirectas de N₂O de suelos agrícolas representan el 17 % restante.

En tercer lugar, dentro de las emisiones GEI agrícolas están las emisiones de metano y de óxido nitroso producto de la descomposición del estiércol en condiciones de poco oxígeno o anaeróbicas. Estas condiciones ocurren a menudo cuando el sistema de producción

¹⁷<https://snichile.mma.gob.cl/sector-agricultura-silvicultura-y-otros-usos-de-la-tierra/>

maneja grandes cantidades de animales en confinamiento, en las que habitualmente el estiércol es almacenado en lagunas (líquido), pilas (sólido) o en otros tipos de sistemas de gestión del estiércol. En 2018, las emisiones de GEI de esta categoría contabilizaron 1.498 kt CO₂ eq, incrementándose en un 76 % desde 1990 y disminuyendo en un 0,3 % desde 2016. Dentro de la categoría, los porcinos acumulan la mayoría de las emisiones, representando un 70 %, siguen ganado vacuno con un 14 %, 11% de emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol, un 5 % de otras especies y un 0,7 % de ovinos (SNI Chile).

Por otro lado, respecto de los sumideros de GEI relacionados con la agricultura, los pastizales representan el 4,5 % y las tierras de cultivo el 1,3 % del total de emisiones capturadas por el sector de cambio de uso de suelo y silvicultura (Ver Figura 5.25) (SNI Chile)

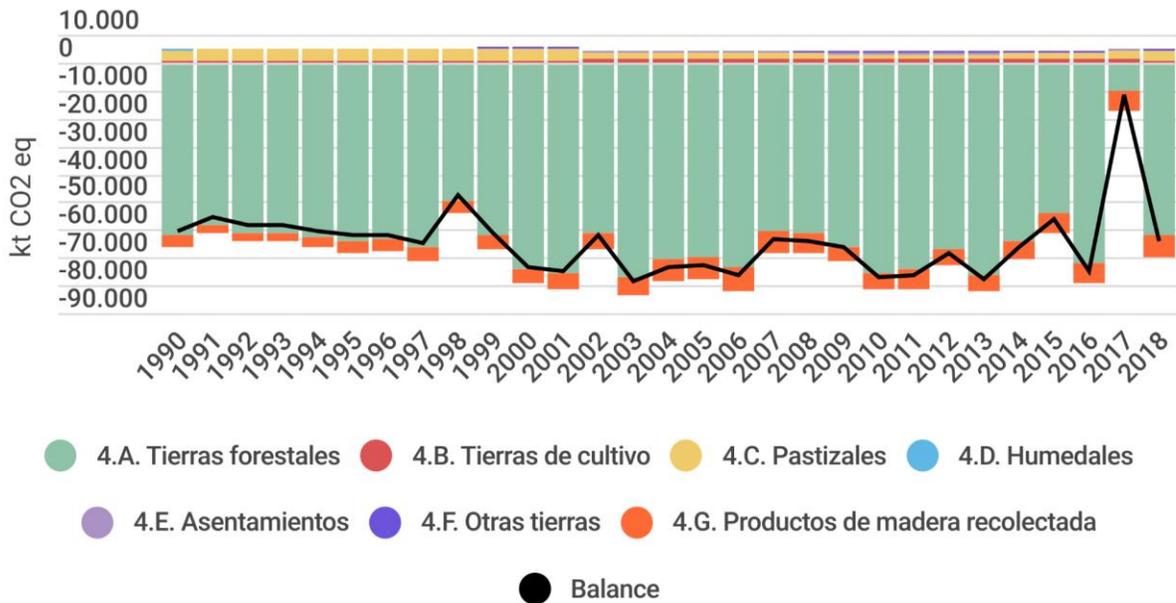


Figura 5.25. Sumideros de GEI relacionados con el uso de la tierra en Chile 2018 (SNI Chile¹⁸)

Emisiones de N₂O

El óxido nitroso (N₂O) es el gas de efecto invernadero (GEI) más potente generado por la agricultura en el mundo. La relevancia del N₂O para el calentamiento global se atribuye principalmente a dos características fisicoquímicas: (1) el N₂O es estable y permanece en la atmósfera aproximadamente 120 años, y (2) el N₂O tiene un gran potencial de calentamiento global que es 296 veces mayor que el CO₂ en un período de 100 años, lo

¹⁸<https://snichile.mma.gob.cl/sector-agricultura-silvicultura-y-otros-usos-de-la-tierra/>

que está relacionado con la destrucción catalítica del ozono estratosférico. El N_2O se considera responsable del 4 al 5% del calentamiento global.

Las emisiones de este GEI son parte del ciclo del nitrógeno, y se originan como consecuencia de procesos microbiológicos naturales que ocurren en el suelo durante la nitrificación y desnitrificación de fuentes nitrogenadas como el estiércol, la biomasa vegetal y los fertilizantes nitrogenados sintéticos. Las reacciones que tienen lugar se pueden ver en la Figura 5.26. En la figura, la primera reacción corresponde a la nitrificación que consiste en la oxidación del amonio en el suelo. Dicha oxidación es primero a nitrito (NO_2^-) asociada a bacterias del género *Nitrosomonas* con producción del óxido nitroso y luego a nitrato (NO_3^-) la realiza un grupo distinto de bacterias llamadas *Nitrobacter*, sin emisión de N_2O . Ambas etapas ocurren en condiciones aeróbicas y, por tratarse de reacciones biológicas, son fuertemente dependientes de la temperatura y humedad del suelo. La segunda reacción muestra la desnitrificación en la cual se produce nuevamente el óxido nitroso durante el proceso de reducción del nitrato a nitrógeno molecular. Esta reducción ocurre en condiciones de anaerobiosis (sin requerimiento de oxígeno), por lo que se trata de un proceso microbiológico frecuente durante otoño e invierno y que es particularmente intenso en suelos agrícolas posterior a la ocurrencia de lluvias. Durante la desnitrificación también se libera óxido nítrico (NO), un gas que puede reaccionar con el ozono (O_3) estratosférico para formar oxígeno (O_2) y óxido nitroso.

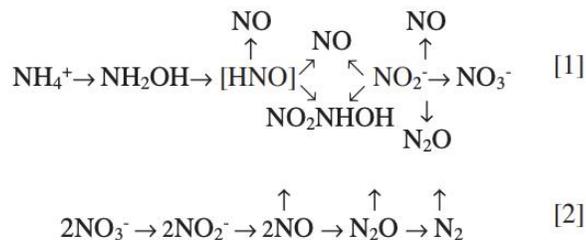


Figura 5.26. Formación de Óxido Nitroso durante la nitrificación y desnitrificación.

El uso del suelo y el cambio de uso del suelo tienen un papel importante en el aumento de las emisiones de N_2O , donde la producción de este gas a partir de los suelos responde generalmente a procesos naturales o antrópicos y a condiciones ambientales específicas. Por otro lado, entre las fuentes nitrogenadas que participan como sustrato de la nitrificación y desnitrificación, los fertilizantes nitrogenados sintéticos son la fuente de emisión de N_2O de mayor impacto a nivel global. En la Tabla 5.12 se muestra la emisión de N_2O de diferentes sistemas de cultivo con características similares a Chile, donde los valores de emisión se encuentran en el rango de 0 a 47 kg N_2O -N ha^{-1} año $^{-1}$. Se debe prestar especial atención a los eventos que se caracterizan por emisiones potencialmente altas de N_2O , donde el efecto combinado de orina, estiércol, compactación y otros impactos en la estructura del suelo, favorecen altas tasas de nitrificación/desnitrificación. En este contexto, es posible observar un rango de 0 a 183 kg N_2O -N ha^{-1} año $^{-1}$ en sistemas de pastoreo con aplicaciones de desechos animales en diferentes países (Muñoz et al 2010).

Tabla 5.12. Emisiones de Óxido Nitroso en distintos sistemas agrícolas (Muñoz et al 2010)

Sistema	Rango de flujo de N ₂ O (kgN ₂ O-N/ha /año)	País	Referencia
Cultivo continuo y rotación de cultivos	0-44	Brasil, Canadá, Dinamarca, Nueva Zelandia	Wagner-Riddle and Thurtell (1998); Greorich et al (2005); Metay et al (2007), Saggar et al (2008), Chirinda et al (2010); Allen et al (2010)
Leguminosas	0.3-47	Canadá	Greorich et al (2005)
Arroz	0-36	Australia, EEUU, Japón, China, Filipinas, Indonesia, Taiwán, India	Majumdar (2009)
Arbustos y paisaje natural	0-21	Nueva Zelandia, Finlandia	Maljanen et al (2006); Saggar et al (2008)
Pradera con aplicaciones de estiércol	0-156	Canadá, Nueva Zelandia, Inglaterra, Países Bajos, Japón, Canadá, Dinamarca, EEUU	Greorich et al (2005); Saggar et al (2008)
Pradera en pastoreo	0.1-183	Reino Unido, Nueva Zelandia, Australia	Saggar et al (2008); Matthews et al (2010); Cardenas et al (2010), Galbally et al (2010)

Fuente: Elaboración Propia

B. Lixiviación de nutrientes

Una de las principales causas de la presencia en exceso de nutrientes en el suelo y cuerpos acuáticos es la sobre fertilización con Nitrógeno. En los monocultivos de cereales, se presenta este grave problema con frecuencia lo cual se debe generalmente a que las metas que se plantean en los modelos de recomendación de N se basan en la meta de rendimiento y el contenido de nitrato-N previo a la siembra en el perfil del suelo. Cuando se sobrestiman los objetivos de rendimiento o no se mide o se subestima el perfil de nitrato-N, la tasa de N pronosticada es mayor que la requerida para un rendimiento óptimo, lo que reduce los rendimientos económicos y puede aumentar drásticamente el N residual del fertilizante en el perfil del suelo.

En el centro sur de Chile, la incertidumbre tanto en la demanda de N de las plantas en relación con su potencial de crecimiento como en el suministro de N del suelo lleva a algunos agricultores a adoptar estrategias de alta fertilización. Los agroecosistemas del sur de Chile manejados intensivamente se fertilizan típicamente con dosis de N en el rango de 100–300 kg N ha⁻¹ año⁻¹. A través de distintos estudios y experiencias realizadas en terreno acerca de la lixiviación con nitratos se ha definido que los factores más relevantes que determinan la tasa de lixiviación son: la tasa de aplicación de N, los suelos, las precipitaciones y la proporción de las distintas formas de N en el purín (Collao, 2008).

En muchos países industrializados, el aumento del uso de fertilizantes nitrogenados también ha provocado una serie de problemas ambientales y con frecuencia se han documentado una mayor lixiviación de N, la pérdida asociada de nutrientes del suelo, la acidificación de los suelos y cuerpos de agua, las emisiones elevadas de gases de efecto invernadero, la contaminación de las aguas subterráneas y la transferencia de N a los estuarios y océanos costeros. También en el centro sur de Chile ya se han documentado efectos adversos en los ecosistemas indicando pérdidas por lixiviación de hasta 261 kg N ha⁻¹ año⁻¹ después de la adición de fertilizantes inorgánicos en ecosistemas de pastizales manejados intensivamente. También se han documentado disminuciones significativas en el pH del suelo como resultado de las aplicaciones de fertilizantes con urea.

Huygens et al (2011) reportó que la contribución de NO₃⁻ a las concentraciones totales de N de la corriente fue mayor en las cuencas dedicadas a la agricultura (73 %) que en las cuencas cubiertas por vegetación de bosque nativo (50 %). Perakis et al. (2005) observaron que cuando los aportes externos de N se incrementan a niveles superiores a 160 kg N ha⁻¹ año⁻¹, la retención de N en la matriz del suelo de uso forestal disminuyó considerablemente, lo que provocó pérdidas sustanciales por lixiviación de NO₃⁻. Este efecto se atribuyó a una menor asimilación de N inorgánico por parte de la biomasa microbiana y/o una disminución de las reacciones abióticas entre el N inorgánico y la MOS. Todo esto indica el potencial de los suelos volcánicos del sur de Chile como una fuente importante de suministro de N vegetal para los agroecosistemas, pero también el riesgo de pérdidas significativas de N cuando se incrementan los aportes externos de N.

Las pérdidas por lixiviación no se limitan al Nitrógeno si bien este es el nutriente más importante desde este punto de vista. Se reporta por ejemplo que durante la aplicación de digestado producto de la digestión anaerobia, el nitrógeno total fue mucho más propenso a lixiviación que el fosfato, con rangos que van de 0 a 9 y 0,00 a 0,01 (Fernandez, 2019). Por otro lado, Irurtia et al (2004) reportan que en condiciones controladas de erosión, las pérdidas de nutrientes por escurrimiento son bajas, produciéndose principalmente pérdidas de potasio y calcio. Las mayores pérdidas por lixiviación son de Ca>S>K en suelos franco arenosos, de Ca>Mg>K>S en suelos franco- limosos y de los oligoelementos Mn>Fe=Zn para ambos suelos. La lixiviación hasta los 25 cm no debe considerarse pérdida absoluta, ya que los nutrientes se acumulan en las capas subyacentes.

C. Pérdidas de fósforo

El fósforo, es un nutriente fundamental para el desarrollo de los frutos en las plantas, sus impactos en el ambiente están principalmente dados por la aceleración del proceso de eutrofización en los cuerpos de agua dado que por lo general este es el nutriente que está en déficit en el medio acuático. Las fuentes principales de este nutriente en el ambiente son la lixiviación de la producción agrícola, la erosión y la mala disposición final de subproductos como los estiércoles.

La relación entre el fósforo y el rendimiento del cultivo generalmente se describe por un rápido aumento en el rendimiento con aumentos modestos en la concentración de fósforo encontrada en el suelo, seguido de una meseta en el rendimiento a medida que las concentraciones de fósforo en el suelo aumentan aún más. Los consejos típicos de fertilidad del suelo abogan por lograr una concentración crítica de fósforo en el suelo que se traduce en 95–98 % del rendimiento máximo relativo, también denominado óptimo agronómico. Sin embargo, a pesar de décadas de investigación que relacionan las concentraciones de fósforo en el suelo con el rendimiento de los cultivos, las concentraciones de fósforo en el análisis del suelo no siempre predicen con precisión la idoneidad del suministro de fósforo para un óptimo rendimiento si factores como el tipo de suelo, el pH del suelo, la capacidad de amortiguamiento del suelo, el tipo de cultivo, la profundidad de enraizamiento y el suministro de otros nutrientes no se tienen en cuenta. Por ejemplo, Schulte y Herlihy (2007) encontraron que las concentraciones de fósforo en el suelo y las aplicaciones de fertilizantes fosforados explicaron en promedio 34% de la variación en rendimiento y 73% de la variación en el contenido de fósforo en las malezas, en 32 sitios de pastizales que representan ocho series de suelos diferentes. Así mismo, en el caso del Reino Unido, según lo informado por Johnston et al. (2014) y Morris et al. (2017), se determinó que para el rendimiento óptimo de trigo y cebada en realidad se requiere menos de la concentración agronómica óptima recomendada para el suelo. Es así que el asesoramiento basado en la interpretación de STP podría variar significativamente sin tener en cuenta los factores específicos del sitio (Macintosh et al. 2019).

La relación entre el fósforo del suelo y la pérdida de fósforo en la escorrentía es una función de la capacidad del suelo para retener fósforo, determinada por sus características geoquímicas, biológicas e hidrológicas (Kleinman, 2017). Por ejemplo, se produce una variación significativa en la retención de fósforo debido a diferencias en las concentraciones de óxido de Al y Fe del suelo, materia orgánica, pH, textura y potencial redox en el suelo, y en sistemas de gestión que concentran fósforo en la superficie del suelo (por ejemplo, labranza cero, y, pastizales permanentes. En general, se ha supuesto que el potencial para una mayor pérdida de fósforo en el agua ocurre solo por encima de la concentración agronómica óptima de fósforo en el suelo, después de lo cual aumenta la saturación de fósforo resultando en una retención progresivamente más baja y una mayor pérdida en la escorrentía (Kleinman, 2017). Sin embargo, cada vez se reconoce más que factores específicos del sitio, que impactan en la retención de fósforo como los mencionados, dan como resultado una significativa pérdida de fósforo al agua incluso por debajo del nivel agronómico óptimo de fósforo en el suelo. Por ejemplo, los suelos bajos en óxidos de Al y Fe pueden desorber cantidades significativas de fósforo en la escorrentía incluso a bajas concentraciones de fósforo en el suelo. (Macintosh et al. 2019).

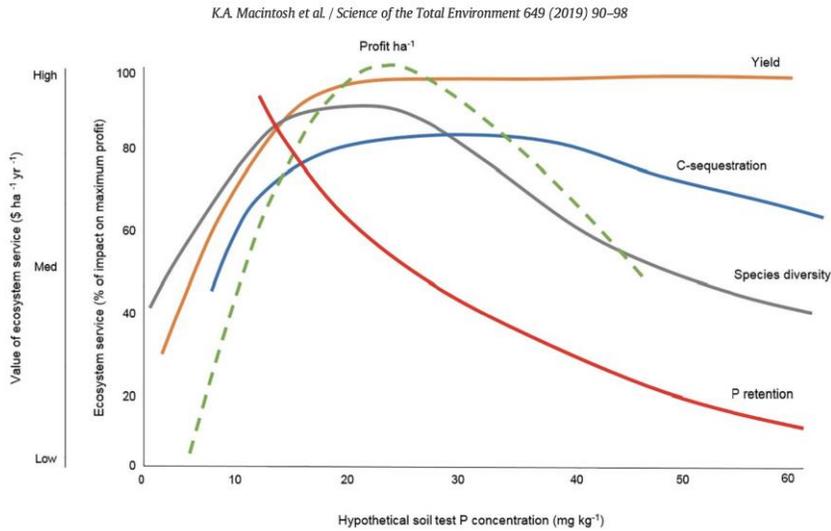


Figura 5.27. Relación hipotética entre el fósforo en el suelo y diversos servicios ecosistémicos (Macintosh et al 2019)

La movilización catalizada de fósforo también puede contribuir a la pérdida de fósforo del suelo (Glæsner et al., 2013). Además, la pérdida de fósforo también puede ocurrir en suelos bajos en fósforo debido a ciclos de humectación y secado que movilizan el fósforo ligado al Fe debido a cambios en potencial redox (por ejemplo, Cassidy et al., 2016; Scalenghe et al., 2002). Mc Dowell et al. (2003) demostraron que los umbrales de P Olsen en suelos, necesarios para proteger la calidad del agua, osciló entre 5 y 51 mg kg⁻¹ en diferentes tipos de suelo en Nueva Zelanda. Por lo tanto, las concentraciones fósforo en suelo económicamente óptimas en relación no solo con rendimientos sino también con la calidad del agua, podrían ser significativamente diferentes a las concentraciones agronómicas óptimas requeridas para el rendimiento del cultivo, si no se tiene en cuenta la variación en la retención de fósforo.

Un punto adicional en relación con los fertilizantes fosforados, especialmente el superfosfato triple, es que presentan además las mayores concentraciones de As, Cd, Cu, Cr, Ni, V y Zn. En algunos de estos fertilizantes, los contenidos de Cr, V y Zn alcanzaron valores superiores a 3475 mg kg⁻¹ de P, y el contenido de Cd (hasta 288 mg kg⁻¹ de P) fue varias veces superior a los límites reglamentarios de diferentes países. Algunas fuentes de micronutrientes presentaron las mayores concentraciones de Mn y Pb. En los casos de fertilizantes N, K y NK, la concentración de oligoelementos fue muy baja, a veces por debajo de los límites de detección. En algunos sistemas agrícolas, la entrada de oligoelementos como As y Cd al suelo a través de la aplicación de fertilizantes fosfatados puede ser mayor que las salidas a través de la absorción y lixiviación de las plantas; por lo tanto, el uso a largo plazo de estos fertilizantes puede hacer que aumente la concentración de oligoelementos en la capa de arado de los suelos agrícolas. (Molina et al 2009).

5.2.3.2 Pérdidas de nutrientes de los suelos agrícolas en Chile

A pesar de la pequeña superficie de suelos agrícolas respecto a la superficie total del país, se aplican altas cantidades de fertilizantes inorgánicos y debido a esto, los suelos agrícolas se consideran como un área de flujos elevados de emisiones al ambiente. Así, como se mencionó anteriormente los suelos agrícolas son el segundo rubro en emisiones de GEI en la agricultura del país y así mismo se relacionan con el exceso de nutrientes en el agua superficial. Los suelos agrícolas en Chile representan casi el 10% de la superficie del suelo, concentrándose en la zona Centro de Chile (INE, 2007).

El uso de fertilizantes incluyendo N, P y K, en cultivos temporales y permanentes de Chile aumentó de 246 a 343 kg ha⁻¹ año⁻¹ entre 2002 y 2007, presentándose el mayor nivel de aplicación de fertilizantes en las últimas décadas en el año 2008, con cerca de 850.000 toneladas aplicadas. Posteriormente el total aplicado ha disminuido y se ha situado en torno a las 350.000 toneladas por año (ver Figura 5.3).

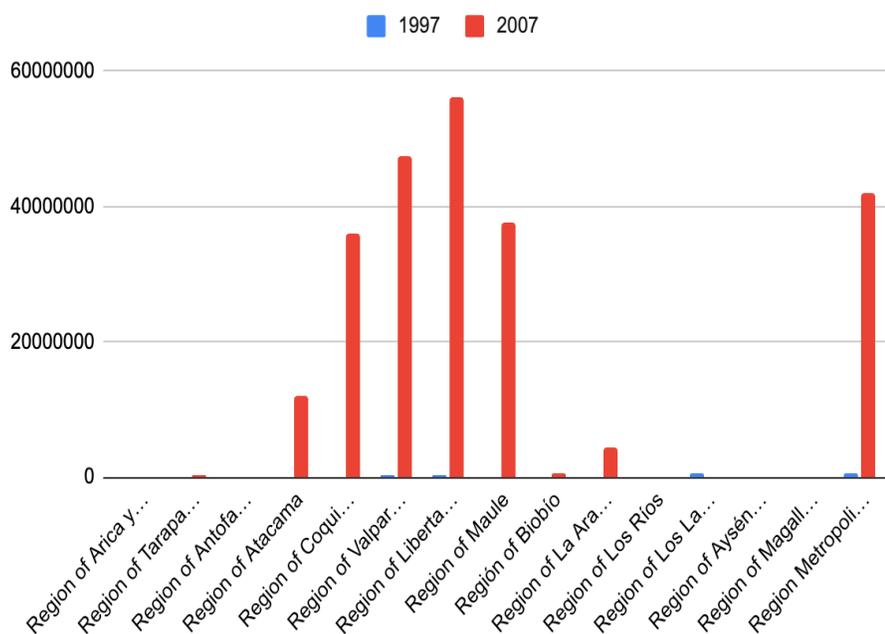
En cuanto a los sistemas agrícolas que muestran mayores pérdidas de nutrientes se encuentran los pastizales mejorados, los cereales y los frutales. Aproximadamente el 52% de la superficie de suelo productivo en Chile corresponde a pastizales naturales y mejorados y cereales. En éstos últimos, las altas tasas de precipitación de la zona sur (1500-5000 mm/año) producen notables pérdidas de nutrientes en el suelo por lixiviación (Nissen y Garcia, 1997).

Por otro lado, los sistemas de agricultura intensiva para la producción de cereales en el sur de Chile también se han identificado como problemáticos pues aplican altas tasas de fertilización, lo que conduce a altos costos de producción e implica un riesgo de efectos adversos en los ecosistemas (Huygens et al 2011). No es de extrañar entonces que la contaminación de los sistemas hidrológicos mediante nutrientes, principalmente nitrogenados, sea una problemática vigente en el sur del país relacionadas con la generación de “floraciones algales” o eutrofización y la disminución de la biodiversidad acuática.

Como se mencionó en el capítulo 3, dentro de las buenas prácticas de fertilización en la agricultura convencional, se señala la importancia del análisis de suelo para evitar pérdidas. Sin embargo, en Chile el uso de análisis de suelo para el cálculo de la fertilización es aún bajo, observándose en muchos casos suelos con niveles excesivos de nutrientes, lo que implica pérdida de la calidad del suelo, provoca desbalances nutricionales y, potencialmente, contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Particularmente en la fruticultura, muchas decisiones de fertilización se toman sin análisis de suelo y se basan solo en los niveles foliares de nutrientes; sin embargo, en muchos casos, las deficiencias a nivel de tejido se deben a problemas de absorción y no de disponibilidad de nutrientes. Normalmente el análisis de suelo permite anticipar los potenciales problemas nutricionales que las plantas pueden encontrar en el suelo, o descartar la fertilidad del suelo

como un factor limitante en la producción de altos rendimientos y calidad de cosecha (Ortega, 2016).

El riego es un importante factor relacionado con las pérdidas de nutrientes. En Chile existen distintos tipos de riego como se aprecia en la Figura 5.28 Las regiones de Biobío y Araucanía presentan mayor número de hectáreas bajo riego mecanizado, mientras que en la zona Central y Metropolitana prevalece la microirrigación. Dichos sistemas presentan menos pérdidas por su acción localizada, que los sistemas de riego por surcos. En la zona centro norte del país se encuentran aún en uso sistemas de riego de baja eficiencia, que igualmente causan pérdidas de nutrientes.



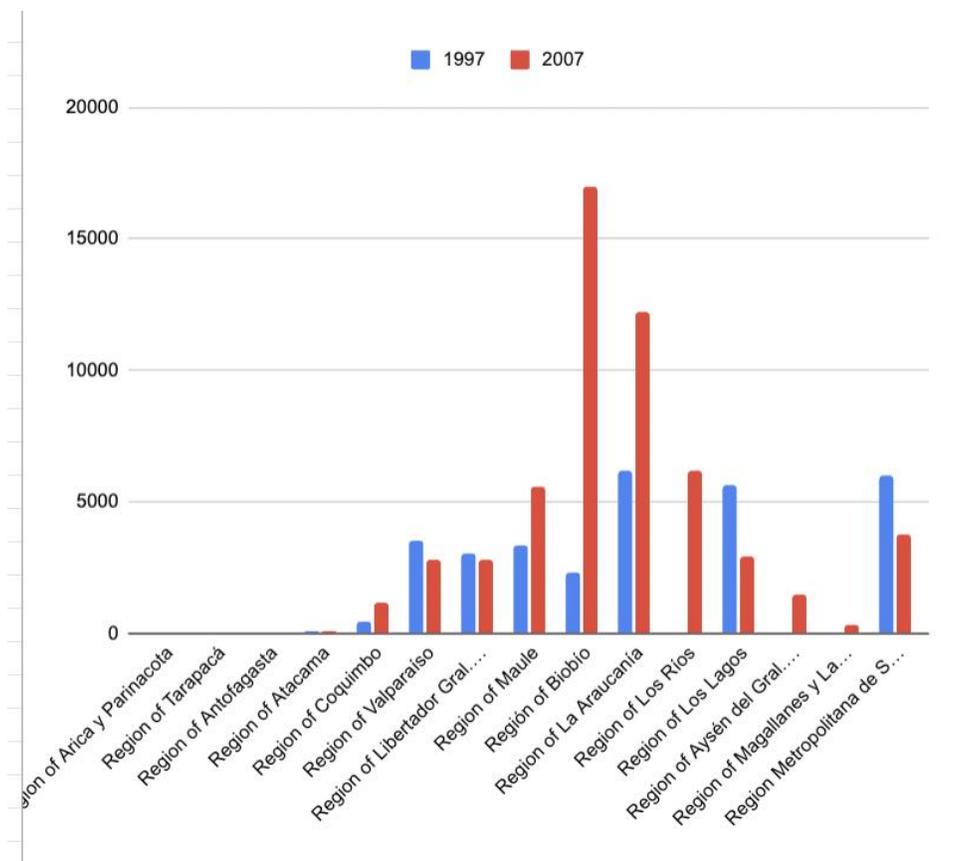


Figura 5.28. Hectáreas bajo microirrigación (arriba) y riego mecanizado (abajo)

Cuando se utiliza el riego por surcos, el área húmeda suele ser más ancha que el propio surco de riego, y debe esperarse cierto movimiento horizontal de nitratos, siguiendo el flujo saturado de agua hacia la planta y el callejón. Este patrón se ha encontrado en campos de cerezos con callejones desnudos, pero no se encontró el mismo patrón de movimiento lateral de nitratos cuando el callejón estaba sembrado con césped. El sistema de riego junto con el tipo de fertilizante es clave para localizar y mantener los nutrientes en la zona radicular. Las dosis bajas y frecuentes de N añadidas por fertirrigación son más eficientes que la aplicación de fertilizantes granulados y el uso de riego gravitacional. Así, en el mismo caso de los cerezos mencionado, cuando el fertilizante se aplicó por fertirrigación, las concentraciones de nitrato a diferentes profundidades del suelo, tanto en las hileras como en el callejón, fueron menores y menos variables (San Martino, et al 2014).

5.2.3.3 Análisis de externalidades ambientales para casos representativos en Chile

Las condiciones específicas de un lugar y las prácticas de fertilización utilizadas lo hacen más o menos susceptible a la pérdida de nutrientes. Chile se caracteriza por tener una gran diversidad de climas y suelos, así como de cultivos, tipos de riego y prácticas agrícolas. Por tanto, un análisis caso a caso se hace necesario para profundizar en estos aspectos. A continuación, se analiza en detalle un caso representativo por tipología de cultivos, para el

caso de los cereales se analiza el trigo, para los frutales los cerezos, para las hortalizas la lechuga y en el caso de praderas se analizan las praderas mejoradas.

Trigo

El Nitrógeno es uno de los principales insumos del cultivo de trigo en Chile, y al ser altamente dependiente del mismo, es fundamental el estudio de la respuesta del cultivo y la eficiencia de uso del mismo, o NUE, definido como la razón de rendimiento y suministro de N mineral, independientemente de la fuente.

A continuación, se reseñan algunos de los estudios que se han realizado sobre este cultivo, y las ganancias y pérdidas por aplicación de fertilizantes, principalmente los nitrogenados.

Campillo et al (2010) evaluó cinco tasas de aplicación de Nitrógeno en suelos de tipo Andisol en la Araucanía durante dos temporadas sucesivas de cultivo de trigo en un suelo sujeto a rotación intensiva. Encontraron diferencias significativas en el rendimiento y calidad del grano cosechado. Las dosis óptimas físicas (OPR) de N en ambas temporadas alcanzaron entre 290 y 339 kg ha⁻¹, mientras que las dosis óptimas económicas (OER) de N fluctuaron entre 248 y 274 kg ha⁻¹, con rendimientos entre 10,2 y 10,1 t ha⁻¹. Las NUE asociadas a las OER fueron altas en ambas temporadas (36,9 y 41,2 kg grano kg⁻¹ N) y fluctuaron en rangos similares. El incremento de N elevó el peso y el contenido de proteína del grano ($P \leq 0,05$), mientras que disminuyó la NUE. El valor de proteína en la primera temporada alcanzó 11,29% (tasa de 300 kg ha⁻¹ N) y fue superior al 10,32% (tasa de 250 kg ha⁻¹ N). Para la segunda temporada los valores fueron 11,30% (tasa de 300 kg ha⁻¹ N) y 11,89% (tasa de 250 kg ha⁻¹ N).

En otro estudio de Nissen y Garcia (1997) se investigó el efecto de la aplicación de un hidrogel para evitar pérdidas de nutrientes (Nitrógeno y Potasio) en un suelo volcánico en Valdivia. Las dosis de nitrógeno estudiadas fueron de 160 y 80 kg N/ha aplicado como salitre sódico, y la dosis de Hydrogel fue de 50 g/lysimeter. Todos los fertilizantes se aplicaron en el mes de junio, al momento de la siembra, incorporándolos localizados bajo la semilla, con excepción del nitrógeno, el cual se aplicó al voleo en dos parcialidades: una a la siembra y la otra cuando el 75% de las plantas se encontraba al estado de macolla. El superfosfato triple y muriato de potasio se aplicaron en dosis única equivalente a 200 kg P₂O₅/ha y 50 kg K₂O/ha, respectivamente. Los autores no encontraron diferencias en cuanto a la percolación de agua o nutrientes relacionada con los tratamientos. Las mayores dosis de aplicación de Nitrógeno incrementaron la producción de grano y la materia seca de las plantas, pero no el índice de cosecha (Harvest Index). Sin embargo, ellos verificaron el momento y la cuantía de las pérdidas más grandes de los dos nutrientes. Como se ve en la Tabla 5.13, dichas pérdidas se verificaron entre mayo y julio, coincidentes con la mayor pluviosidad y el menor desarrollo de los cultivos. A partir de septiembre, a causa de una mayor evapotranspiración, el porcentaje de percolación disminuye fuertemente.

Tabla 5.13. Precipitación y percolación de Nitrógeno y Potasio durante cultivo de trigo en Valdivia en 1993

Período observado	Precipitación (m/m)	Percolación (m/m)	% de Percolación
Mayo	444,9	441,3	99,1
Junio	515,8	452,6	87,7
Julio	407,8	403,5	98,9
Agosto	159,9	135,4	84,6
Septiembre	113,0	61,0	53,3
Octubre	84,4	18,8	22,2
Noviembre	92,6	55,6	28,8
Diciembre	79,0	70,3	88,9
Enero	15,6	0,0	0,0
Total	2.013,0	1.638,5	81,4

Otros autores estimaron la eficiencia del uso de nitrógeno en los cereales en un 33 %¹⁹ hasta un 50%. Así mismo, varios experimentos de recuperación de N han reportado pérdidas del 20 al 50% del fertilizante nitrogenado en el trigo, atribuido a los efectos combinados de desnitrificación, volatilización y lixiviación (Raun y Johnson, 1999; Urquiaga, 2000 en Campillo et al 2010). La tabla 5.14 muestra un resumen de los datos compilados.

Tabla 5.14. Resumen de datos de pérdidas por fertilización en cultivos de trigo en Chile

Cultivo	Trigo		
Región	Araucanía		
Pluviosidad	15-515 mm/mes		
Tipo de suelo prevalente y permeabilidad	Andisols		
Tipo de riego prevalente	Secano		
Rendimiento	10-11 ton grano /Ha		
Tipo de fertilizante	N	P (superfosfato triple)	K (muriato de potasio)
Dosis	80-160 Kg/Ha	200 kg P ₂ O ₅ /Ha	50 kg K ₂ O/Ha
Momento de aplicación	Dos dosis una a la siembra y la otra cuando el 75% de las plantas se		

¹⁹ Calculada como $NUE = (N \text{ total del cereal eliminado} - (N \text{ del suelo} + N \text{ de la lluvia})) / N \text{ del fertilizante del cereal}$ (Raun y Johnson, 1999)

Lugar de aplicación	encontraba al estado de macolla		
	Bajo la semilla en primera dosis		
	Riesgos de pérdidas de nutrientes	Mayormente en mayo, junio, julio	
	Pérdidas estimadas por ha o porcentuales	20-50%	

Fuente: Elaboración Propia

Cerezos

La producción de cereza en Chile ha tenido gran éxito, el país se ha consolidado como un referente mundial en la producción de alta calidad de esta fruta. Los desafíos para los actuales huertos y nuevos proyectos se concentran en la obtención de fruta de alta calidad con producciones estables y consistentes entre temporadas, para lo cual la fertilización es clave.

Cuando se aplica nitrógeno a los huertos de cerezos dulces, pueden producirse pérdidas. Muchas veces estas se producen por descuido y en particular por el bajo uso de análisis de suelo pese a que esta es una herramienta muy útil y efectiva para el manejo sostenible de la nutrición de cultivos y frutales (Ortega 2016). Particularmente se ha demostrado que el suministro de suelo original es suficiente para cumplir con los requisitos de N de los árboles (Bonomelli y Artacho, 2009). Estos autores, estudiaron huertos de cerezos con tres dosis de N (0, 60 y 120 kg ha⁻¹) en un diseño completamente al azar de cuatro repeticiones. La biomasa total acumulada varió entre 1,647 y 2,233 kg de materia seca ha⁻¹. Los cerezos jóvenes no productivos sobre portainjertos semi-vigorosos tenían una baja eficiencia aparente de recuperación de N (<15%) y una baja demanda de N (alrededor de 18 kg N ha⁻¹). No hubo diferencias entre tratamientos ni en la biomasa total ni en los órganos individuales del árbol. Se observaron efectos leves en la absorción de N en los componentes individuales del árbol y no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de N para la absorción total de N, aunque ésta osciló entre 25 y 34 kg N ha⁻¹.

San Martino et al (2014) estudió la influencia de distintas medidas preventivas para evitar éstas pérdidas de nutrientes en cultivo de cerezos incluyendo el riego (goteo vs surco), cobertura de suelo (suelo desnudo vs césped) y fertilización (N vs NPK). Se tomaron muestras de suelo en hilera y callejón a una profundidad de 120 cm y se determinaron las pérdidas de nitratos. La cobertura del suelo fue la que tuvo una influencia más significativa y el sistema de riego y la fertilización fueron menos importantes.

La capa de césped en los callejones es un factor importante para la gestión sostenible de los huertos de cerezos dulces, ya que reduce el riesgo de lixiviación de nitratos pues el pasto absorbe de Nitrógeno aplicado. En estudios en los que se aplicaron fertilizantes minerales o estiércol a tasas normales (90–110 kg N ha⁻¹), los pastos sembrados por debajo utilizados como cultivos intermedios redujeron la lixiviación de nitratos en un 50% o más,

así mismo, en el suelo cubierto por un césped, la eficiencia en el uso del agua y la absorción de N parecen ser mayores (Aronsson y Torstensson, 1998 en San Martino et al 2014).

Otra práctica utilizada en lugares lluviosos en la cereza dulce, es el cultivo bajo cubiertas de plástico, que son útiles para evitar el agrietamiento de la fruta y las pérdidas por lixiviación, pero disminuyen la calidad de la cereza, como la firmeza y la acidez (Bustamante et al 2021).

Tabla 5.15. Resumen de datos de pérdidas por fertilización en cultivos de cereza en Chile

Cultivo	Cerezos		
Región	Región de O'Higgins.		
Pluviosidad	0-276 mm/mes		
Tipo de suelo prevalente y permeabilidad	Requiere de suelos de profundidad media (<90 cm), con pendiente <6%, no calcáreos, desarrollándose mejor en suelos ligeramente ácidos, con drenaje moderado y una napa freática a más de 1 m de profundidad.		
Tipo de riego prevalente	Tecnificado		
Rendimiento	12 ton Ha ⁻¹		
Tipo de fertilizante ²⁰	N	P ²¹	K
Dosis	55 kg N ha ⁻¹ 90–110 kg N ha ⁻¹	55 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	88 kg K ₂ O ha ⁻¹
Momento de aplicación	Brotación, cuajado, maduración, fin de cosecha	Brotación, fin de cosecha	Brotación, cuajado, maduración, fin de cosecha
Lugar de aplicación	Suelo y foliar	suelo	suelo
Riesgos de pérdidas de nutrientes	Altos, por falta de análisis de suelos. Las coberturas vegetales disminuyen las pérdidas.		
Pérdidas estimadas por Ha o porcentuales	25 y 34 kg N ha ⁻¹		

Fuente: Elaboración Propia

Lechuga

La lechuga es una de las hortalizas más cultivadas en Chile. Gonzalez-Miranda et al (2021) mencionan que la sobrefertilización con nitrógeno es una práctica hortícola común en Chile central, lo que genera el riesgo de lixiviación de nitratos y contaminación de acuíferos y

²⁰ CaO 44 kg Ha⁻¹ y MgO 22 kg Ha⁻¹

²¹ <https://www.haifa-group.com/es/fertilizaci%C3%B3n-de-los-cerezos-%C2%BFcu%C3%A1ndo-y-c%C3%B3mo>

aguas subterráneas. En su estudio evaluaron el efecto de enmiendas orgánicas en la lixiviación de NO. Para ésto se seleccionaron tres sitios con diferentes sistemas de manejo: Agroecológico (AE, manejo agroecológico de 3 años), Transición (TR, manejo agroecológico inicial) y Convencional (CN, manejo convencional tradicional). En cada sitio se implementaron dos ciclos de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) (otoño-invierno y primavera-verano). La nutrición en AE y TR se basó en fertilizantes orgánicos y microorganismos, y en CN se utilizaron fertilizantes nitrogenados inorgánicos. En el primer ciclo, se aplicaron 200 t ha⁻¹ de estiércol de cabra y oveja compostado (3 t N ha⁻¹) en el sitio AE y se incorporaron en los primeros 20 cm de suelo. Dados los altos niveles iniciales de N en TR, solo se aplicó 1 t ha⁻¹ de guano con el fin de proporcionar aproximadamente 15 kg N ha⁻¹ de materia orgánica. El N inicial también fue alto en CN y solo se aplicaron 80 kg ha⁻¹ de fertilizante 15-30-15 NPK (Ultrasol Inicial, Soquimich, Santiago, Chile) por fertirrigación (12 kg N ha⁻¹) al inicio del cultivo. En el segundo ciclo se aplicaron 350 t ha⁻¹ de compost base comercial (Vuelta Verde, Santiago, Chile; relación C/N 15,4; 2,6 t N ha⁻¹) en los sitios AE y TR y un acelerador de descomposición y mineralización (800 L ha⁻¹; Biolux, Helénica, Quillota, Chile) compuesto por diversos microorganismos (*Bacillus* sp., hongos filamentosos y levaduras) se aplicó 4 y 6 semanas después, respectivamente. Esta aplicación considera un cultivo de ciclo de crecimiento corto con altos requerimientos nutricionales, que coincidió con la temporada de verano cuando la especie presenta los máximos requerimientos nutricionales (Bugarín-Montoya et al., 2011). En el sitio CN se aplicaron 764 kg ha⁻¹ de Ultrasol Inicial (15-30-15 NPK) y posteriormente 440 kg ha⁻¹ de Ultrasol de Crecimiento (25-10-10 NPK) por fertirrigación, el cual se dividió en la cantidad recomendada. aplicaciones semanales, para hacer más eficiente la nutrición de los cultivos.

El riego fue el mismo en los tres sitios. En el primer ciclo se aplicó un riego de 407 mm y hubo una precipitación de 53 mm. En el segundo ciclo se aplicó riego de 224 mm y no hubo precipitaciones. La precipitación del sistema fue de 16,6 mm h⁻¹.

El agua intersticial se muestreó al principio y al final de cada ciclo a una profundidad de 70 cm. Se midieron los rendimientos de lechuga y el peso unitario. Sus resultados muestran un efecto significativo del sitio y tiempo de muestreo (ambos $p = 0.000$) sobre la concentración de NO - en el agua lixiviada. Al inicio del primer ciclo, la lixiviación de nitratos fue 2.2 veces mayor en TR y CN (370 ± 81 mg L⁻¹) en comparación con AE (163 ± 54 mg L⁻¹), reflejando la pérdida de N del suelo previamente acumulado., la lixiviación en CN permaneció más alta que en AE y CN, variando significativamente entre los tiempos de muestreo; sin embargo, disminuyó entre un 37 % y un 80 % en comparación con la medición inicial. La lixiviación tanto en AE como en TR se mantuvo estable dentro de un rango bajo de 38 a 96 mg L⁻¹. Los resultados mostraron que el manejo orgánico del suelo es capaz de mantener una baja tasa de lixiviación de nitratos en el suelo en comparación con el manejo convencional. Al final del segundo ciclo, la concentración de NO - en el lixiviado fue significativamente mayor en CN (154 ± 70 mg L⁻¹) en comparación con TR y AE (media 53 ± 31 mg L⁻¹).

Las adiciones excesivas de fertilizantes a los cultivos de lechuga reducen la productividad debido a una limitación en la absorción de K, que está relacionado con una reducción en la

conductancia estomática. Las plantas no son capaces de compensar la reducción de K en las hojas, por lo tanto, la capacidad de mantener la conductancia estomática disminuye con la consiguiente reducción del agua tisular contenido. Por otro lado, aumentos equilibrados en las adiciones de fertilizantes aumentan la absorción de N, P, Mg y S, lo que da como resultado un aparato fotosintético. (Albornoz and Lieth, 2015).

Tabla 5.16. Resumen de datos de pérdidas por fertilización en cultivos de lechuga en Chile (valores de fertilización según fichas ODEPA, pérdidas en relación al experimento realizado por González-Miranda et al (2021)

Cultivo	Lechuga		
Región	Metropolitana		
Pluviosidad			
Tipo de suelo prevalente y permeabilidad	Suelo fértil		
Tipo de riego prevalente	Riego por goteo		
Rendimiento	42.880 unidades por hectárea		
Tipo de fertilizante	N (15-30-15 NPK)	P	K
Dosis	80 Kg (15-30-15 NPK) /Ha o 12 kg N ha ⁻¹		
Momento de aplicación	Junio a septiembre		
Lugar de aplicación	Suelo y foliar		
Riesgos de pérdidas de nutrientes	370 ± 81 mg l ⁻¹ en comparación con AE (163 ± 54 mg l ⁻¹)		
Pérdidas estimadas por Ha			
Pérdidas porcentuales			

Fuente: Elaboración Propia

Praderas

Los sistemas de producción ganadera chilenos se han intensificado en los últimos años, con cantidades cada vez mayores de aportes de fertilizantes nitrogenados que crean la posibilidad de daños ambientales a través de la contaminación del agua y el aire por N, por lo que se han desarrollado estrategias de producción alternativas para reducir dichos impactos ambientales. Nunez et al (2010) evaluó las pérdidas de N bajo diferentes frecuencias e intensidades de pastoreo en pastos permanentes (*Lolium perenne* L., *Festuca arundinacea* Schreb., *Dactylis glomerata* L. y *Trifolium repens* L.) en un Andisol en el sur de Chile. Se evaluaron cuatro estrategias de pastoreo: frecuente-pesado (FH), frecuente-ligero (FL), poco frecuente-pesado (IH), poco frecuente-ligero (IL) y un tratamiento de control sin

pastoreo (C), y cada uno con tres repeticiones en un diseño de bloques completos al azar. Los resultados del experimento indican que las pérdidas por lixiviación de N fueron mayores en el tratamiento FH (58,7 kg de N disponible ha⁻¹; p < 0,05) y que la mayor parte de la lixiviación se produjo en primavera (39 %). Los ingresos de nutrientes a través de estiércol y orina fueron más altos en la primavera (32-55 kg N ha⁻¹) y menores durante el invierno (2-6 kg N ha⁻¹). Los insumos más altos se encontraron en los tratamientos de pastoreo intenso con aproximadamente 83 kg N ha⁻¹ año⁻¹ en FH y 86 kg N ha⁻¹ año⁻¹ en HI. Los aportes más bajos ocurrieron en pastoreo ligero con aproximadamente 68 kg N ha⁻¹ año⁻¹ en FL y 55 ha⁻¹ año⁻¹ en IL. Adicionalmente, las pasturas recibieron fertilización como sigue: Se aplicó fertilizante Urea-N (46% N) 46 kg N ha⁻¹ dos veces a todas las parcelas en primavera, una vez en otoño y una vez en invierno. Junto con la urea, se aplicó sulfato de potasio y magnesio ("Sulpomag") a razón de 100 kg ha⁻¹ (22% K₂O, 18% MgO, 21,5 % S, 2,5 % Cl y 0,5 % de humedad máxima). Se aplicó super fosfato (46% P₂O₅), 200 kg ha⁻¹ una vez en otoño y una vez en invierno. Magnecal (cal, 15% MgO) y yeso (18% S) se aplicaron a razón de 1000 y 500 kg ha⁻¹, respectivamente en otoño para evitar problemas de acidez en el suelo.

En promedio, las pérdidas de N amoníaco (NH₃) fueron 10% mayores en los tratamientos de pastoreo frecuente en relación con los tratamientos de pastoreo infrecuente. Los resultados indican que la frecuencia de pastoreo afecta las pérdidas por lixiviación, mientras que la intensidad del pastoreo afecta las emisiones de amoníaco de los pastizales (ver Tabla 5.18). Por tanto, el pastoreo con vacas lecheras en el Sur de Chile debe considerar este condicionante ambiental para asegurar una producción sostenible en el tiempo (Núñez et al 2010).

Tabla 5.17. Pérdidas de nitrógeno por emisiones de amonio y lixiviación en praderas mejoradas del sur de Chile (Nunez et al 2010)

Temporada	Pérdidas de Nitrógeno según tratamiento				
	Sin pastoreo, Control	Pastoreo frecuente Intensidad alta	Pastoreo frecuente Intensidad baja	Pastoreo infrecuente Intensidad alta	Pastoreo infrecuente Intensidad baja
	Emisiones de Amonio (kg/ha)				
Primavera	7.5 c	10.0 a	10.2 a	8.4 b	9.5 ab
Verano	8.8 b	10.4 a	11.2 a	10.1 a	10.6 a
Otoño	9.7 c	12.1 a	12.7 a	11.4 a	11.4 b

Invierno	5.2 b	7.3 a	7.3 a	6.1 a	6.4 a
Total	31.2 d	39.9 ab	41.4 a	36.1 c	37.9 bc
Pérdidas por lixiviación de Nitrógeno (kg/ha)					
Primavera	11.5 bc	22.9 a	5.8 c	14.6 b	13.2 b
Verano	6.0 b	8.2 a	3.9 d	4.6 cd	5.3 bc
Otoño	7.2 c	9.8 a	7.5 c	8.3 b	5.4 d
Invierno	8.5 c	17.9 a	8.6 c	10.1 b	8.2 c
Total	33.2 c	58.7 a	25.8 d	37.6 b	32.1 c
Las diferentes letras entre filas indican diferencias significativas de acuerdo a la prueba de rango múltiple de Tukey (P< 0.05)					

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5.18. Resumen de datos de pérdidas de nutrientes al ambiente en praderas mejoradas en Chile

Cultivo	Praderas mejoradas		
Región	Los Lagos		
Pluviosidad	40-940 mm/mes		
Tipo de suelo	Andisol (silk-loam)		
Tipo de riego	La precipitación total para el período de 12 meses fue de 1607 mm con una media diaria de 2,1-5,6 mm para la época de pastoreo. La media diaria fue de 5,6 mm d ⁻¹ en invierno y de 2,1 mm d ⁻¹ en verano		
Rendimiento			
Tipo de fertilizante	N	P	K
Dosis	32-55 kg N de orina y estiércol ha ⁻¹ (Primavera) 46 kg N ha ⁻¹ de urea por aplicación	Superfosfato 200 kg ha ⁻¹ (46% P ₂ O ₅)	100 kg ha ⁻¹ (22% K ₂ O, 18% MgO, 21,5 % S, 2,5 % Cl y 0,5 % de humedad máxima)

Momento de aplicación	2 veces en primavera, una vez en otoño y una vez en invierno		
Lugar de aplicación	Cobertura		
Riesgos de pérdidas de nutrientes	altos		
Pérdidas estimadas por Ha	58,7 kg de N disponible ha ⁻¹		
Pérdidas porcentuales	39%		

Fuente: Elaboración Propia

5.2.3.4 Buenas prácticas para evitar las externalidades de la fertilización

La agricultura tiene oportunidades para reducir directa o indirectamente sus emisiones de GEI sin arriesgar el cumplimiento del objetivo de la seguridad alimentaria a continuación se mencionan algunas de ellas.

Aplicación de compost

La aplicación de compost al suelo, práctica habitual en predios de pequeños agricultores de la región centro-sur de Chile, produce efectos positivos en sus propiedades y promueve la presencia y actividad de los hongos micorrícicos arbusculares (AMF). Estos hongos forman simbiosis con las raíces de las plantas mejorando su nutrición y además producen una glicoproteína llamada glomalina, la cual ha sido relacionada con la estabilidad de los agregados de suelo. Los resultados mostraron que, en general, la aplicación de compost incrementó el pH, micorrización radical, niveles de glomalina, longitud del micelio fúngico y porcentaje de WSA. Se encontraron correlaciones entre C y N biomásico, C biomásico y WSA, C biomásico y glomalina, WSA y WHC. Los resultados de Valarini et al (2009) aportan antecedentes sobre el uso beneficioso de compost como una alternativa viable de sustitución de insumos y disminución de la erosión en asentamientos de pequeños agricultores orientados a la agricultura orgánica.

En el mismo estudio se menciona que aunque la adición de compost no produjo un aumento en los niveles de SOC según lo informado por otros estudios, se encontraron diferencias significativas observadas con respecto al efecto del cultivo utilizado. El cultivo de frijol y el pastizal se asociaron con una disminución de los niveles de C, lo que estaría sugiriendo una estimulación en la mineralización del COS, especialmente en pastizales. Por otro lado, no se encontraron diferencias en la disponibilidad de P cuando se hicieron agregados de compost, a excepción de el tratamiento utilizando trigo como último cultivo de la rotación, probablemente como consecuencia del contenido inicial de P. Se presume que la adición de compost estimuló una mayor mineralización de P orgánico.

Buenas prácticas de arado y secuestro de carbono

Varias prácticas y tecnologías de gestión desde la agricultura alternativa ayudan a mitigar las emisiones de GEI de los suelos. Las prácticas de conservación del suelo disminuyen las emisiones de CO₂ mediante la reducción del arado o labranza (no tillage), la protección de la superficie del suelo con residuos de cultivos (mulching) y el aumento de la eficiencia en el uso de N por parte de los cultivos (Hobbs et al., 2008). Diversas evidencias muestran que el sistema de labranza cero aumenta el contenido de C en el suelo, siendo una estrategia efectiva para la captura de COS. Bayer et al. (2006) evaluaron diferentes sistemas de labranza en sitios con más de 10 años de antigüedad y compararon labranza convencional, labranza reducida y labranza cero en dos Oxisoles brasileños. Concluyeron que las existencias de C en los sistemas sin labranza produjeron una tasa media de acumulación de C de 0,35 Mg ha⁻¹ año⁻¹ (1 Mg = 1 x 10⁶ g) más alta que los otros sistemas evaluados en suelos tropicales. En los experimentos de labranza convencional, la rotación es un factor importante. Por ejemplo, en un experimento de largo plazo en un Andisol del centro-sur de Chile, Zagal y Córdova (2005) y Sandoval et al. (2007) informaron aumentos en el contenido de COS y biomasa microbiana y su actividad. Esto fue el resultado de una menor intensidad de uso de la tierra agrícola que incluyó una rotación de cultivos de 8 años (3 años de cultivos anuales y 5 años de heno), en comparación con una rotación de cultivos convencional de 4 años (cultivos anuales continuos). (Nunez et al 2010)

Manejo racional del nitrógeno

En el marco del proyecto CONICYT I+D “Reducción de la incidencia por enfermedades en hortalizas de importancia regional, mediante interacciones benéficas entre especies en sistemas de policultivos bajo manejo ecológico: lechuga y repollo”, centro Ceres logró demostrar que la asociación de cultivos hortícolas con sistemas radiculares diversos, en conjunto con una nutrición orgánica de suelo, es capaz de disminuir considerablemente la lixiviación de nitratos. (Ceres, 2019).

Las prácticas actuales de manejo agrícola, que incluyen a menudo altas tasas de fertilización, anticipan de manera adecuada los procesos internos del ciclo del N del suelo en estos agroecosistemas del sur de Chile. Sin embargo, la estrecha relación entre la biodisponibilidad de N, la acumulación total de MOS y la biomasa fúngica apunta hacia oportunidades para el manejo alternativo de tierras agrícolas que podrían reducir el costo excesivo de los fertilizantes. Se sabe que las adiciones orgánicas (p. ej., insumos de corral o incorporación de residuos) o la labranza reducida estimulan la proliferación de hifas fúngicas y promueven el crecimiento microbiano, con efectos beneficiosos sobre las actividades enzimáticas extracelulares y la mineralización del N del suelo (Huygens et al 2011).

Manejo del fósforo

En Europa, se ha promovido un enfoque de 5R para la gestión sostenible del fósforo el cual incluye: Realignar las entradas de fósforo; Reducir la pérdida de fósforo en el agua; Reciclar el fósforo; Recuperar fósforo en desechos; y redefinir el fósforo en los sistemas alimentarios. Lo anterior abarca tanto la gestión de fósforo a escala de campo como a nivel regional a fin

de reducir la dependencia de recursos finitos reservas de roca fosfórica e impactos negativos sobre el medio ambiente (Withers et al., 2015). Estos enfoques están pasando de un paradigma de simplemente administrar los insumos de nutrientes para la producción de cultivos a uno que considere el uso sostenible de los recursos para otros servicios ecosistémicos.

Manejo de Tierras de Cultivo Mejorado (ICM)

El ICM incluye prácticas comprobables de reducción de emisiones netas de GEI de sistemas de tierras de cultivo mediante el aumento de las existencias de carbono de suelo, la reducción de las emisiones de N₂O del suelo y/o la reducción de emisiones de CH₄. Las existencias de carbono de suelo se pueden incrementar mediante prácticas de aumento del aporte de residuos en los suelos y/o de reducción de los índices de mineralización del carbono de suelo. Estas prácticas incluyen, pero no se limitan a, la adopción de prácticas de siembra directa, la eliminación de la inactividad agrícola, la implementación de cultivos de cubierta, la creación de reservas (buffers) de campo (de protección contra el viento o amortiguación ribereña), el uso mejorado de baldíos previamente vegetados, la conversión de cultivos de periodicidad anual a cultivos perennes y la implementación de prácticas de agrosilvicultura en tierras de cultivo. Por otra parte, las emisiones de N₂O se pueden reducir mediante la mejora de prácticas de manejo de fertilizantes nitrogenados, que permitan reducir la cantidad de nitrógeno adicionado, en forma de fertilizante o de abono, a los cultivos objetivo. Algunos ejemplos de prácticas de mejora de la eficiencia mientras se reduce la adición de nitrógeno son: aplicación oportuna, formulaciones mejoradas (fertilizantes de acción lenta o inhibidores de nitrificación) y localización de la fertilización de nitrógeno mejorada. Las emisiones de CH₄ de suelo se pueden reducir mediante prácticas mejoradas de manejo hídrico en tierras de cultivo inundadas (particularmente en arrozales), o a través del manejo mejorado de los residuos de cultivo y acondicionamientos orgánicos.

Manejo Mejorado de Pastizales/Praderas (IGM)

Incluye prácticas comprobables de reducción de emisiones netas de GEI de ecosistemas de pastizales, mediante el aumento de las existencias de carbono de suelo, la reducción de las emisiones de N₂O del suelo y/o la reducción de emisiones de CH₄; se debe tener en cuenta lo siguiente: a) Las existencias de carbono de suelo pueden ser incrementadas mediante prácticas de aumento de los aportes subterráneos o de reducción de los índices de descomposición. Estas prácticas incluyen el aumento de la productividad de forraje (a través de un manejo hídrico y de fertilidad mejorado), la introducción de especies de raíces más profundas y/o de mayor crecimiento de la raíz y la reducción de la degradación por efecto del pastoreo excesivo.

Innovaciones tecnológicas

La principal tecnología disponible para mitigar la emisión N₂O desde fertilizantes nitrogenados es el uso de inhibidores de la nitrificación. Estos productos reducen la actividad de las bacterias Nitrosomonas retrasando la oxidación del amonio a nitrato. De

esta manera el nitrógeno se mantiene en su forma amoniacal lo que reduce la acumulación de nitratos y, como consecuencia, su lixiviación, o su utilización como sustrato en la desnitrificación. En Chile con el advenimiento del hidrógeno verde se están considerando varios proyectos para la producción de fertilizante amoniacal usando dicha energía alternativa.

5.2.3.5 Resumen

- Las principales pérdidas por aplicación de nutrientes se relacionan con las pérdidas de nitrógeno, que contribuyen a la contaminación de las aguas por lixiviación y a la contaminación por emisiones de óxido nitroso.
- En particular se identifican las pérdidas en los cultivos de cereales, frutales y praderas como significativas. En el primer caso estas constituirán un 20-50% del nitrógeno aplicado y se producirían principalmente en el invierno. Es claro que en los cereales existe un efecto positivo entre la dosis de fertilizante aplicada y la productividad, cuando se aplica en el orden de 200-300 kg Ha. En el caso de los frutales, esta relación no es clara y la producción con los nutrientes ya existentes en el suelo se presume suficiente. De ahí que a pesar de que el riego sea por goteo se presentan grandes pérdidas pues se aplican fertilizantes sin realizar análisis de suelo en la mayoría de los casos. En el caso de las praderas mejoradas las pérdidas se relacionan con la temporada de aplicación del fertilizante o guano, encontrándose la mayoría de las pérdidas en la primavera. Se encuentran pérdidas 10% mayores en los tratamientos de pastoreo frecuente en relación con los tratamientos de pastoreo infrecuente.
- Las prácticas que se reseñan para evitar la pérdida de nutrientes incluyen en el caso de los frutales el uso de cultivos de pasturas entre hileras; en las praderas el espaciado del pastoreo; en las hortalizas el uso de compost, y en los cereales, el espaciado de las rotaciones y la labranza cero. Los análisis de suelos para hacer un cálculo adecuado de la dosis se señalan como fundamentales en todos los cultivos.
- Las prácticas de agricultura sostenible están empezando a adoptarse en el país con buenos resultados. Hay casos exitosos de uso del pastoreo planificado de la agricultura regenerativa que no requieren grandes inversiones de infraestructura o capital inicial. En el caso de las hortalizas, la agricultura orgánica se está volviendo una buena alternativa frente al alza de los precios de los insumos. Estos pequeños productores pueden igualar en aproximadamente 3 años los rendimientos que alcanzaban con el manejo convencional gracias al mejoramiento de los suelos. En el caso de la fruticultura, es difícil que la agricultura orgánica pueda igualar los rendimientos de la fruticultura convencional por lo que para hacer el cambio se debe aceptar que la producción será menor pero que se pueden alcanzar mejores precios.
- El uso de fertilizantes depende de los tipos de cultivo, la calidad de los suelos, las características del clima, las prácticas de labranza, la estacionalidad de la demanda,

las rotaciones o historial del predio, el tipo de riego, el tipo y precio de insumos disponibles, el nivel técnico del agricultor, etc. por lo que son muchos los factores que influyen en la toma de decisiones. El agricultor es quien finalmente debe tomar estas decisiones, seleccionando las prácticas adecuadas a su condición particular. Por ello, mejor que un enfoque regulatorio centralizado, es fundamental establecer los mecanismos que entreguen la información de apoyo a los agricultores para la correcta toma de decisiones, entendiendo que los sistemas productivos son tremendamente dinámicos y específicos para cada caso en particular.

- Se señalan como exitosas las experiencias con metodología de Grupos de Transferencia Tecnológica, donde agricultores se reúnen en los predios de otros agricultores y aprenden en la práctica de aciertos y errores. Los agricultores imitan los resultados positivos que obtienen otros y adquieren de esta manera confianza en las prácticas de agricultura sostenible.

5.3 Panorama institucional y políticas agrícolas de fertilización

Históricamente, en el país se ha constituido una normativa y cuerpo legal desde principios de los años 60, que han regulado las condiciones de producción, distribución, comercialización, características y aplicación de fertilizantes, así como otros temas que son significativos para el uso y el manejo de fertilizantes. Aunque en lo referido a la calidad de los fertilizantes, su composición fisicoquímica y los sistemas de información hacia los usuarios, no ha habido una reglamentación acorde a las necesidades de estos agentes socioeconómicos. A pesar de ello, y como se presenta posteriormente, la ley 21.349 que entró en vigor el 27 de septiembre del 2022 recoge estos aspectos en su conformación, fortaleciendo con ello los programas de fiscalización de la producción e ingreso de fertilizantes al país.

5.3.1 Instituciones públicas que participan de la definición de políticas de fertilización en Chile

En el contexto de la agricultura sostenible, las políticas agroambientales que se han venido adoptando en el país en las últimas décadas se han orientado hacia medidas que fomenten una agricultura sostenible desde un punto de vista ecológico, económico y sociocultural. Como se ha visto en el presente informe, muchas políticas agroambientales se sustentan a través de leyes y programas, incentivos, líneas prioritarias de financiamiento a la investigación, entre otras.

Sin duda todo ese marco legal no sería posible sin la participación de la administración pública a través de sus diferentes ministerios y reparticiones, por lo que esta sección pretende dar un breve repaso sobre las entidades que hayan definido políticas de fertilización en el país.

De la revisión de la legislación vigente y otros cuerpos normativos, el Ministerio de Agricultura, junto con SAG son las instituciones que más participan en la elaboración del cuerpo legal relacionado con fertilizantes.

En el país, la presencia de técnicos de instituciones públicas relacionadas a la agricultura (INDAP, el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG) ha significado el apoyo constante a los agricultores en aspectos de riego, comercialización, asociatividad, producción, etc., por lo que a continuación se presenta una tabla resumen de las instituciones participantes y su rol en las materias legislativas respecto a fertilización.

Tabla 5.19. Resumen de normativas chilenas relacionadas con la fertilización

Institución	Normativa, Ley, Decreto	Alcances
MINISTERIO DE AGRICULTURA	LEY 21.349 ESTABLECE NORMAS SOBRE COMPOSICIÓN, ETIQUETADO Y COMERCIALIZACIÓN DE LOS FERTILIZANTES Y BIOESTIMULANTES (vigente desde el 27 septiembre del 2022)	Esta ley establecerá normas aplicables a la fabricación, formulación, producción, comercialización, tenencia, importación y exportación de fertilizantes y bioestimulantes; específicamente en cuanto a parámetros de calidad, composición, clasificación, envasado, declaración, etiquetado y trazabilidad
MINISTERIO DE AGRICULTURA; SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO; DIVISIÓN PROTECCIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL; DIRECCIÓN NACIONAL	Resolución 1.035 Exenta. Determina márgenes de tolerancia para productos fertilizantes que se internen, fabriquen y comercialicen en el país; para elementos acompañantes contenidos en ellos y deroga resolución que indica.	<p>Establece márgenes de tolerancia para calificar los informes de resultado de análisis de fiscalización que realice el Servicio Agrícola Ganadero a productos fertilizantes que se internen, fabriquen y comercialicen en el país. Sobrepasada en cualquier sentido la tolerancia establecida, el interesado podrá hacer uso de las contramuestras o en su defecto reetiquetar a los valores determinados por el resultado oficial de análisis de composición.</p> <p>Establece márgenes de tolerancia para los elementos acompañantes contenidos en el producto fertilizante, sólo cuando la concentración determinada por el informe de resultado de análisis de fiscalización que realice el SAG, supere al valor</p>

		<p>declarado. Sobrepasada esta tolerancia, el interesado podrá hacer uso de las contramuestras o en su defecto reetiquetar a los valores determinados por el resultado de análisis de composición. Dicho reetiquetado se hará exigible cuando los valores superen los 3,0 mg/kg en metales pesados y 0,12% en Biuret</p> <p>Respecto al contenido de carga microbiana en los productos fertilizantes, ésta deberá ser declarada como presente o ausente, sin indicación de tolerancia para su detección.</p>
<p>MINISTERIO DE AGRICULTURA</p>	<p>DECRETO 2 APRUEBA NORMAS TÉCNICAS DE LA LEY N° 20.089, QUE CREA EL SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS</p>	<p>Define fertilizantes en el Título 3° artículo 3, punto 31, como sustancias simples o mezclas de ellas, que contengan uno o más nutrientes reconocidos, los que son utilizados principalmente por su contenido nutritivo para las plantas y que son designados, usados o reconocidos por tener un valor en la promoción de crecimiento de las plantas.</p> <p>En el Título 4° artículo 6 prohíbe, en la producción orgánica, la utilización de organismos genéticamente modificados, de productos derivados de éstos y aquellos provenientes de métodos excluidos, tales como los fertilizantes, entre otros.</p> <p>Apunta en el punto f) el uso de microorganismos apropiados o preparados de origen vegetal, animal, y/o mineral (tales como preparados biodinámicos,</p>

		<p>homeopáticos y ayurvédicos), bajo los criterios y condiciones establecidos en la presente Norma, para la activación del compost y del suelo. Con este propósito se autoriza también el uso de compuestos nitrogenados permitidos</p> <p>En el TÍTULO 5° sobre las Normas específicas para la producción vegetal orgánica, en el Artículo 17 sobre el Manejo de la fertilidad del suelo, en el punto g) permite la incorporación de fertilizantes y/o acondicionadores de suelo, contenidos en la Lista 1 del Anexo A de esta Norma, sólo cuando la nutrición adecuada de los vegetales no sea posible a través de la rotación de cultivos o el acondicionamiento del suelo.</p> <p>En el punto h) del artículo anterior, menciona que la adición de nitrógeno, a través de los sistemas permitidos, se limitará a un máximo de 170 kg/ha/año, evitando que estas puedan contaminar las napas de los acuíferos respectivos.</p> <p>Al final del mismo artículo menciona la necesidad de poner énfasis en la calidad orgánica de los fertilizantes y en caso de dudas se deben realizar los análisis correspondientes, como, por ejemplo, metales pesados, salinidad, conductividad eléctrica, entre otros, para asegurar que estos no afecten las condiciones del sistema productivo.</p>
--	--	---

Fuente: Elaboración Propia 5.3.2 Iniciativas públicas recientes en materia de fertilización en Chile

5.3.2.1 Programa “Sistema de Incentivos para la sostenibilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios” (SIRSD-S) (2010-2022)

En Chile, el Ministerio de Agricultura, consciente de la gravedad de los procesos de degradación del suelo, de la urgencia de enfrentarlos y de la importancia de apoyar a los agricultores en el esfuerzo de recuperar y mejorar la productividad del suelo, así como también de promover su conservación y gestión sostenible, crea el Programa de Recuperación de Suelos (SIRSD) (1999 - 2009), el que continúa como Programa Sistema de Incentivos para la sostenibilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S) ejecutado entre 2010 y 2022. El programa quedó establecido por la Ley N°20.412 y su objetivo principal es recuperar el potencial productivo de los suelos agropecuarios y conjuntamente, mantener los niveles de mejoramiento alcanzados en la primera etapa del programa. El SIRSD-S es un instrumento de fomento coordinado por la Subsecretaría de Agricultura y ejecutado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) a través de concursos públicos.

El SIRSD-S bonifica las siguientes actividades

- Incorporación de fertilizantes de base fosforada
- Incorporación de elementos químicos esenciales
- Establecimiento de una cubierta vegetal en suelos descubiertos o con cobertura deteriorada
- Eliminación, limpieza o confinamiento de impedimentos físicos o químicos
- Empleo de métodos de intervención del suelo (ej.: rotación de cultivos) para evitar su erosión y favorecer su conservación.

Pueden postular todas las personas naturales o jurídicas que sean propietarias, arrendatarias, usufructuarias, medieras y comodatarias de los suelos que se pretenden intervenir. Adicionalmente los pequeños productores pueden postular a bonificación por actividades de mantención de suelos y se les podrá bonificar los costos de la asistencia técnica para elaborar y ejecutar sus planes de manejo. Dichos planes deben ser confeccionados por operadores acreditados, inscritos en el Registro de Operadores del SAG e INDAP. Anualmente el Ministerio de Agricultura establece una tabla de costos que fija los valores de las actividades bonificables. La bonificación se aplica con un máximo de 90% de los costos de su plan de manejo a los pequeños productores agrícolas. Por otra parte, de los recursos anuales disponibles un 38% puede ir a medianos productores y 2% a grandes productores (venta anual bruta superior a las 25.000 UF).

Los suelos agropecuarios que califican para este programa serían aquellos ubicados entre las regiones de Arica y Parinacota y Magallanes y Antártica chilena, cuya Capacidad de Uso está entre las clases I a IV en riego y las clases I a la VI en secano.

Este programa se encuentra en su etapa de cierre y evaluación.

5.3.2.2 Siembra por Chile (2022)

En 2022 se crea el plan Siembra por Chile para aportar a la reactivación económica del país, la mitigación de precios, la generación de empleos y la seguridad alimentaria de sus habitantes. Este plan cuenta con más de 30 mil millones de pesos y tiene un foco especial en la agricultura familiar campesina. El plan incluye temas como el apoyo a la seguridad hídrica, uso de fertilizantes, mejoramiento del suelo, comercialización campesina

La Resolución Exenta N°0070-013996/2022 aprueba el financiamiento por emergencia agrícola por el alza de los precios internacionales de los insumos agrícolas, para la reactivación productiva de los cultivos tradicionales (trigo, cereales, leguminosas) en las regiones Metropolitana, O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. El objetivo es mitigar las alzas de los insumos para mantener las intenciones siembra y superficie cultivada. Corresponde a un incentivo económico no reembolsable por un monto de \$200.000 por hectárea (max 5 ha/ usuario) para la adquisición de insumos para el cultivo de los rubros señalados. En total, son \$10 mil millones que INDAP asigna a partir de mayo de 2022 para impulsar el establecimiento de cultivos tradicionales, otros \$14,5 mil millones están asignados para las comunas con emergencia agrícola por déficit hídrico, \$1 mil millones para ferias y fiestas campesinas, y \$6 mil millones para restauración del bosque nativo (CONAF).

5.3.2.3 Fertilizantes para Chile

El Plan “Fertilizantes para Chile”, consiste en una entrega de cerca de 12 mil toneladas de producto que beneficiará a más de 71 mil agricultores de Arica a Magallanes que hayan sido afectados por el alza de precios de los fertilizantes. La inversión es del orden de los \$14 mil millones, canalizados a través del INDAP y la Subsecretaría de Agricultura.

Se entregan Fertilizante de síntesis química: Hasta 7 sacos de 25 Kg. c/u por agricultor/a de urea, mezcla o equivalente Biofertilizante: Hasta 25 sacos de 25 Kg. c/u por agricultor/a de fertilizante orgánico; compost, guano, algas o equivalentes según disponibilidad.

5.3.2.4 Convenios INDAP municipios

Entrega un apoyo económico a agricultores que no pertenecen a INDAP, ya que no cumplen con ciertas condiciones para que el Estado los subvencione en diversas áreas, pero que son vulnerables a contextos socioeconómicos y ambientales complejos. Se materializa a través de un ingreso de emergencia de 300 mil pesos, con lo cual los agricultores (no INDAP) podrán adquirir insumos como alimentación animal y apícola, mangueras para riego o fertilizantes, entre otros, para la continuidad de sus actividades productivas.

5.3.2.5 Otras normativas

A continuación (Tabla. 5.20) se resumen las normas y leyes relacionadas a la fertilización que están vigentes en el presente 2022.

Tabla 5.20. Resumen de normas y leyes sobre la fertilización vigentes

Política	Características	Aciertos	Problemas
LEY 21.349 ESTABLECE NORMAS SOBRE COMPOSICIÓN, ETIQUETADO Y COMERCIALIZACIÓN DE LOS FERTILIZANTES Y BIOESTIMULANTES (vigente desde el 27 septiembre del 2022)	Establece normas aplicables a la fabricación, formulación, producción, comercialización, tenencia, importación y exportación de fertilizantes y bioestimulantes, específicamente en cuanto a parámetros de calidad, composición, clasificación, envasado, declaración, etiquetado y trazabilidad	Permite mayor información a los usuarios, transparencia y trazabilidad	No establece límites de uso de los productos
DECRETO 2 APRUEBA NORMAS TÉCNICAS DE LA LEY N° 20.089, QUE CREA EL SISTEMA NACIONAL DE CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS	Establece que la agricultura orgánica constituye una actividad dinámica, cuyos requisitos y procedimientos van variando en el tiempo, por lo que existe la necesidad de una actualización constante de la normativa que regula dicha actividad.	Establece las normas específicas para la producción vegetal orgánica. Menciona que la adición de N a través de los sistemas permitidos, se limitará a un máximo de 170 kg/ha/año, evitando que estas puedan contaminar las napas de los acuíferos respectivos	Restringe el uso directo de subproductos de la producción animal (purines, etc.) en el plan de fertilización
ACUERDOS COMERCIALES	Eliminan completamente o parcialmente el arancel de importación de fertilizantes	De acuerdo con los montos transados, se puede decir que existe cierto incentivo a la importación de fertilizantes	Crean dependencia hacia los mercados externos

5.3.2.6 Protocolo de Agricultura sostenible ODEPA

En línea con la tendencia mundial de mejorar el manejo agrícola hacia un desarrollo sostenible, el Ministerio de Agricultura impulsó el Protocolo de Agricultura sostenible (ODEPA, 2016), que identifica 10 principios (Fig. 5.29) y sus criterios, así como recomendaciones de buenas prácticas en cada una de las materias, y entregando un contexto general para la agricultura sostenible en Chile.



Figura. 5.29. Principios para la Agricultura sostenible (ODEPA, 2016)

En lo que se refiere específicamente al uso de fertilizantes, recalca que las aplicaciones deben hacerse de acuerdo con las necesidades de los cultivos y la disponibilidad de nutrientes en el suelo, evitando excesos que puedan contaminar el suelo o las fuentes de agua. También menciona la correcta elección de los productos a utilizar, que además sean los autorizados por el SAG y que cumplan los requerimientos de los países de destino. Por otra parte, al hacer las aplicaciones se debe evaluar las condiciones ambientales (temperatura, viento, etc.) y de los equipos (velocidad de trabajo, presión de trabajo del equipo) para minimizar impactos negativos al medioambiente y las comunidades cercanas. Dentro de la implementación de medidas avanzadas se incluye un cambio hacia la fertilización orgánica, incorporación de residuos de cosecha y poda por medio de picado y rastraje, reutilización de residuos vegetales generados en el mismo predio como compost o humus con lombricultivo.

5.3.2.7 Ley Marco de Suelos

Actualmente se encuentra en discusión en el Congreso el proyecto para la Ley Marco de Suelos, que busca regular la gestión sostenible del uso de los suelos. El proyecto tiene dos títulos y siete artículos, y establece en su primer artículo que la Ley Marco se aplicará a todos los suelos del territorio nacional, "considerando su diversidad, sus características,

relevancia cultural, paisajística y sus múltiples funciones y servicios ecosistémicos”. Asimismo, el mismo artículo especifica que el objeto de la ley es “regular la gestión sostenible del uso del suelo, así como resguardar su protección, conservación y restauración; con la finalidad de evitar su destrucción y degradación; promover su identificación, estudio, clasificación y conocimiento; considerando los tratados internacionales ratificados por Chile, que se encuentren vigentes y que incidan sobre la materia”. Destaca también la creación de un Comité Interministerial de Suelos (MINAGRI, MMA, Ciencia, MINVU, Desarrollo Social, Minería, Bienes Nacionales y MINEDUC) y un Instituto Nacional de Suelos, los que en conjunto desarrollen la Política Nacional para la Gestión Sostenible del Uso del Suelo y la Estrategia Nacional de Suelos, que implica un sistema nacional de información, clasificación, monitoreo y evaluación de suelos; planes de gestión sostenible; e instrumentos de fomento más incentivos. Con este proyecto se crean además cinco macrozonas en el país para recoger información cualitativa de los territorios e impulsar la participación ciudadana a través de un modelo de gobernanza.

5.3.2 Iniciativas privadas destacadas en fertilización

Dada la fuerte motivación en el uso de fertilizantes naturales, principalmente compost²² y humus, y que la nueva ley 21.349 regula los bioestimulantes (los cuales tendrán registro, siendo de gran ayuda para el agricultor), es esperado el surgimiento de diferentes iniciativas privadas al respecto. Por ejemplo, existen empresas (BioGas Mostazal)²³ que a través de un biodigestor generan bioestimulantes que actúan a nivel de rizosfera, permitiendo mayor absorción de agua y nutrientes por parte de los cultivos.

Por otro lado, la Fundación Chile (FCh) declaró que establecería un fondo de inversión para Hidrógeno Verde (HV), en torno a los US\$ 700 millones. Esto debido a que el HV es una buena oportunidad para apoyar la transición energética y disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual se potencia por la capacidad de Chile para convertir los recursos naturales disponibles en HV y utilizarlos para fines domésticos y exportación²⁴.

En el caso de la agricultura, el uso de HV para crear fertilizantes como el “amoníaco verde”, podría marcar la diferencia en el rol de Chile en las emisiones globales. Si se eliminara el amoníaco tradicional, sería una gran contribución para mitigar los gases de efecto invernadero, ya que aporta con un 22% de las emisiones globales que provienen de la industria. Además, se podrían fertilizar más áreas cultivables que requieren de fertilizantes para incrementar su productividad²⁵.

²² Independientemente de la contribución de nutrientes, el compost aporta materia orgánica, acrecentando la presencia de organismos benéficos del suelo.

²³ <https://www.biogasmostazal.cl/>

²⁴ <https://fch.cl/noticias/el-experto-sudafricano-que-asesora-a-la-fundacion-chile-para-crear-un-fondo-de-hidrogeno-verde/>

²⁵ *Ibidem*

Por otra parte, pueden destacarse iniciativas privadas desarrolladas en el ámbito de los concursos del Fondo de Innovación Agraria (FIA), destinadas a manejos con esquemas de fertilización, obtenidos mediante técnicas y prácticas innovadoras (Tabla 5.21).

Tabla 5.21. Iniciativas privadas presentadas al FIA en el ámbito de la fertilización

Proyecto	Fecha	Autor	Objetivo	Resultados
Desarrollo de una herramienta en el ámbito nutricional para toma de decisiones en la producción orgánica de arándanos para exportación	2011-noviembre del 2014	Hortifrut S.A. https://opia.fia.cl/601/w3-article-3100.html	Desarrollar un programa de manejo nutricional orgánico que integre las principales fuentes nutricionales autorizadas en Chile, que permitan obtener el potencial de rendimiento del cultivo de arándano	Publicaciones: <ul style="list-style-type: none"> · Hirzel, J. 2013. Efecto de diferentes fertilizantes solubles con registro orgánico sobre la composición nutricional de frutos de arándano cv. Aurora, Legacy y Elliot. 64 Congreso de la sociedad Agronómica de Chile. Libro de resúmenes. Viña del Mar, Chile. 285 p. (2013) · Hirzel, J. 2013. Fertilización en arándano. En: Undurraga, P. e I. Vargas (eds). Manual del arándano. Boletín INIA Nº263. 120 p. (2013) · Hirzel, J. 2014. Cómo utilizar las enmiendas orgánicas en el campo. El Mercurio Campo, 7 de enero de 2014. 5 p. (2014)

				<p>-Hirzel, J. 2014. Aspectos nutricionales de la nutrición y manejo de fertilización en frutales de la zona sur usando análisis de suelo y parámetros agronómicos. Agenda 2014 Unidad de Frutales Cooprinsem. Sin número de páginas. (2014)</p>
<p>Elaboración del Catálogo de Fertilizantes y Acondicionadores del Suelo que pueden ser Utilizado en Agricultura Orgánica y que están Disponible en Chile</p>	<p>01/12/2005 - 01/06/2006</p>	<p>CCO Certificadora Chile Orgánico https://opia.fia.cl/601/w3-article-60395.html</p>	<p>Elaborar y difundir un documento de referencia nacional para productores, asesores y otros interesados donde se incluyan la totalidad de insumos de marca comercial destinados a la fertilización y/o acondicionamiento del suelo, de uso permitido en agricultura orgánica y que estén disponibles en Chile</p>	<p>La propuesta incluyó la realización de una jornada de difusión, en donde se dio a conocer la iniciativa, divulgando dentro del sector agrario chileno la información relevante acerca de los fertilizantes y acondicionadores del suelo de uso permitido en agricultura orgánica y disponibles en</p>

				Chile, los principios y criterios abordados, conceptos y procedimientos involucrados.
Técnicas de inteligencia artificial para el uso eficiente del agua y fertilizantes en plantaciones de arándanos utilizando redes de sensores inalámbricos	01/05/2009 - 30/03/2012	Universidad Católica de la Santísima Concepción / Berries del BIO BIO S.A. / Sociedad Agrícola CyL Ltda https://opia.fia.cl/601/w3-article-3029.html	Crear un sistema para controlar de manera eficiente la irrigación y fertilización en plantaciones de arándanos, basado en técnicas de inteligencia artificial, a partir de las mediciones en el suelo, el ambiente y las plantas, hechas por una red de sensores inalámbricos en la plantación y fuente de agua. El sistema incluye una interfaz para la interacción y monitoreo remoto. Se espera disminuir costos y mejorar la producción, como consecuencia del buen uso del agua y los fertilizantes. Se pretende que las plantas reciban lo necesario para su favorable desarrollo.	Reducción en aproximadamente de un 36% a un 52% la cantidad de agua requerida para, de estos cultivos, porque el arándano es un fruto cuya planta requiere, para desarrollarse en forma óptima, altos volúmenes de agua"
Mejoramiento nanotecnológico de fertilizantes	01/08/2011 - 30/07/2014	Natura Nova S.A. https://opia.fia.cl/601/w3-article-3067.html	Desarrollar y patentar una nueva generación de fertilizantes a	Patente de un nanofertilizante aprobada, y creación de forma de

			nanoescala (nanofertilizantes)	nanotecnología en Chile
Optimización del rendimiento, calidad y rentabilidad en la producción de trigo a través del uso más eficiente de fertilizantes, mediante la tecnología de agricultura de precisión	01/08/2006-31/07/2009	Empresa Lobert S.A. (Temuco) Empresa Agromaster S.A. (Valdivia) Agricultor. Sr. (José Gabriel Muñoz Muñoz) https://opia.fia.cl/601/w3-article-2094.html	Optimizar el rendimiento, calidad y rentabilidad de la producción de trigo, a través del uso más eficiente de fertilizantes mediante la metodología de AP, evaluar su viabilidad técnico-económica, difundir la tecnología a los productores y evaluar su impacto sobre las aguas subterráneas.	Desde el punto de vista ambiental el proyecto evaluará de manera preliminar el impacto sobre la contaminación de aguas subterráneas, provocado por el manejo tradicional de la fertilización versus el manejo con la tecnología AP. Esto permitirá obtener los primeros datos científicos en Chile sobre el impacto del cultivo del trigo en la contaminación a nivel freático.

Fuente: Elaboración propia basado en información de la Fundación para la Innovación Agraria

5.3.3 Aspectos destacables del análisis normativo de la fertilización en Chile

Los aspectos destacados del capítulo se resumen en lo siguiente:

- El país ha avanzado en legislación, normativas y textos legales relacionados con el medio ambiente en las últimas décadas, y en el caso específico de fertilizantes, la ley 21.349 Permite más información a los usuarios, transparencia y trazabilidad sobre los fertilizantes que ingresan al país. Sin embargo, en su caso, no establece límites de uso de los productos.
- De la misma forma, el Decreto 2 el cual aprueba normas técnicas de la ley N° 20.089, establece las normas específicas para la producción vegetal orgánica, para limitar la contaminación de las napas de los acuíferos respectivos, aunque restringe el uso directo de subproductos de la producción animal (purines, etc.) en el plan de fertilización.

- A pesar de los beneficios de la firma de acuerdos comerciales por parte del país, los cuales eliminan completa o parcialmente el arancel de importación de fertilizantes, se crea cierta dependencia hacia los mercados externos, aunque es algo intrínseco en todos los otros sectores económicos que dependen de importaciones.
- El Programa “Sistema de Incentivos para la sostenibilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios” (SIRSD-S) crea los incentivos para contribuir a la sostenibilidad agroambiental del recurso suelo, con el fin de asegurar la recuperación del potencial productivo de los suelos agropecuarios degradados y la mantención de los niveles de mejoramiento alcanzados.
- Si bien el programa identifica que el problema central a abordar es el deterioro del potencial productivo de los suelos, la bonificación de insumos no necesariamente es una solución. Las causas del problema central son la pérdida de estructura, disminución de materia orgánica, pérdida de nutrientes y de suelo, y acidificación, las que se originan en su mayoría en mal manejo. El programa debe dar más relevancia a la intervención humana en prácticas de conservación.
- Los convenios Siembra por Chile, Fertilizantes para Chile, y Convenios INDAP - municipios, a pesar de que se aportan recursos para la compra de insumos de producción (entre ellos fertilizantes), no se proponen maneras alternativas y de largo plazo para alcanzar una fertilización sostenible.
- La aprobación en 2022 del proyecto de la Ley Marco de Suelos se constituye como una oportunidad para aunar los esfuerzos de distintas políticas y sectores hacia la protección y uso sostenible de un recurso no renovable.
- Han existido iniciativas privadas que buscan desarrollar a través de la investigación e innovación productos con menor impacto en el medio ambiente, principalmente a través de la Fundación para la Innovación Agraria, aunque su difusión ha sido acotada.

5.4 Complemento al diagnóstico a partir de las entrevistas a expertos chilenos

En el marco de este proyecto se entrevistó a actores relevantes en el ámbito de la agricultura sostenible, principalmente en las áreas de agricultura sostenible, agroecología, ganadería regenerativa y cero labranzas. En la tabla 5.22 se resumen las principales lecciones recopiladas en estas entrevistas (versión completa en el Anexo 1) .

Tabla 5.22. Resumen de entrevistas a actores relevantes en tecnologías de agricultura sostenible

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
¿De qué se trata este trabajo?	Grupo de Extensión y Transferencia Tecnológica para agricultores orgánicos multirubricistas.	Aplica los conceptos y principios de la agroecología al diseño, desarrollo y gestión en sistemas de producción agrícolas para mejorar la sostenibilidad.	Se usa el manejo holístico del pastoreo planificado para reducir costos, mejorar la productividad de los suelos, disminuir los riesgos de incendios y contribuir a aumentar la biodiversidad de los ecosistemas. Se trabaja en la implementación y aprendizaje de diversas técnicas inspiradas en la naturaleza para recuperar los ecosistemas, fortalecer las comunidades y mejorar la rentabilidad de los predios	Se trabaja con maquinaria específica para hacer el mínimo daño del suelo. No se produce erosión, ni escurrimiento, independiente de las lluvias.
¿Cuáles son las prácticas más comunes?	Uso de los residuos de agrícolas para hacer compost y aumentar la materia orgánica del suelo Máquina trituradora de rastrojos para incorporar al suelo o mulch	Fomentar los procesos ecológicos (control biológico, reciclaje de nutrientes, etc.) En general no se permiten productos sintéticos La fertilidad no es que la planta disponga de nutrientes sino que es la capacidad de un suelo de	Reemplazo de insumos por planificaciones de pastoreo. Basado en la rentabilidad, factores ambientales y sociales, En los periodos de recuperación se trabaja a favor de las especies	Se incorpora el rastrojo, se pica la caña y se deja sobre el suelo (el suelo nunca está desnudo). Se trabaja mucho con la rotación de cultivos (maíz- trigo) con un buen ahorro de uso de fertilizantes minerales.

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
	<p>Uso de malla antiáfidos para disminuir las aplicaciones de pesticidas</p> <p>Mejorar la eficiencia hídrica</p> <p>Prácticas agroecológicas como elaborar té de compost, bokashi, ácidos húmicos, biofumigación</p> <p>Uso de lombrices o vermicompostera</p> <p>Uso de abonos verdes (avena, habas) y rotación de cultivos</p> <p>Cultivos intercalados, asociaciones de cultivos, introducción de corredores florales.</p>	<p>generar vida, tanto para el cultivo como para el ecosistema.</p>	<p>clave (buen valor nutricional, buena palatabilidad, especies perennes con capacidad de profundizar las raíces hasta 1-1,5 m)</p> <p>Las raíces mejoran la estructura del suelo, transporte de oxígeno y agua, y permiten la descompactación.</p> <p>Con el tiempo, otras plantas puedan crecer, aumenta el área foliar, la cobertura del suelo, hay más fotosíntesis, mayor secuestro de carbono</p>	<p>Uso de pradera de avena-vicia para mejorar el suelo a través de la fijación de nitrógeno de la leguminosa.</p> <p>Aplicación de guano</p> <p>Siempre se hace control químico de malezas en cultivos de cereales en presiembra y siembra.</p>
<p>¿Cómo es el proceso de transición en los lugares donde están trabajando?</p>	<p>El interés de los agricultores no por este tipo de prácticas lleva por lo menos cinco años. La reciente alza de los costos lo que ha hecho es que personas que normalmente no se habrían interesado en hacer un cambio de paradigma, ahora lo están haciendo y con buenos resultados</p>	<p>El cambio implica una baja de rendimientos comparado con la agricultura convencional y solo es posible hacerlo si se logra mejores precios para los productos</p> <p>Depende de la intensidad con se integren las prácticas. Si uno empieza con altas tasas de compost sería más rápido, pero como se trabaja con gente de campo hay que</p>	<p>La transición es abrupta. En el secano central (donde es bajo el uso de insumos) la rentabilidad se ve reflejada en un aumento de la productividad por aumento de la capacidad de carga</p> <p>Más al sur hay una disminución de un 35% de costos anuales en insumos (combustibles y</p>	<p>La cero labranza no tiene efectos inmediatos, los primeros 2-3 años no se ven los resultados, hay que ir trabajando de a poco, dejando rastros, dejando la descomposición natural de los residuos, para ir mejorando los microorganismos del suelo.</p>

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
		poner objetivos realistas y en general son procesos más lentos, donde al tercer o cuarto año ya se empieza a notar diferencia.	fertilizantes) y en conservación de forraje Se observa que la productividad primero baja y luego se equilibra y se mantiene.	
¿Es muy alto el costo inicial de la transformación?	Hay dos tipos de agricultores. El agricultor grande que recurre a sustitución de insumos, sigue haciendo el mismo manejo. Los agricultores pequeños no recurren a insumos externos, y para ellos la producción baja y la recuperación de la productividad del suelo se demora al menos 3 años. Por lo tanto, transitar de la agricultura convencional a una agroecológica va a tener un periodo en donde la rentabilidad disminuye, y es en ese periodo cuando muchos agricultores desisten.	Hay prácticas que son muy baratas y que tienen un impacto inmediato, cómo hacer curvas de nivel, hacer compost. Además, en la agricultura convencional no se incluyen los costos de degradación de suelos, contaminación, etc. con lo que la rentabilidad estaría en pérdida.	El costo inicial en algunos casos es cero, se puede trabajar con el apotreramiento y las fuentes de agua que existen en el predio. En otros la inversión es baja, principalmente en cercos y agua, y se recupera también en un año. En promedio los campos aumentaron su utilidad en \$250.000/ha.	En la cero labranza la primera barrera es el costo de la maquinaria especializada Para un pequeño agricultor, con 1 hectárea, no es rentable.

<p>¿Cuáles son las barreras para adoptar este tipo de tecnologías?</p>	<p>Agricultores necesitan acompañamiento permanente Hay una invasión de los distribuidores de insumos que vienen con relatos muy distintos de acuerdo a sus intereses. Falta educar al consumidor en los distintos conceptos (cultivo hidropónico, orgánico, híbrido, transgénico) Hay mucho desconocimiento en estos temas.</p>	<p>Los rendimientos con fertilizantes minerales son sumamente altos si se compara con la fertilización orgánica. En la fruticultura en Chile los dueños de los predios y los accionistas no son los mismos que el gerente del campo, al que se le pide rentabilidad económica, no beneficios ambientales. Es difícil encontrar financiamiento para estos proyectos. Algunas prácticas son difíciles de evaluar económicamente por lo que el SIRSD-S no las incluye. Para el agricultor es más fácil que le regalen el abono químico y la cal Los subsidios piden documentos formales que digan cuánto se gastó, pero en el caso de la mano de obra es muy difícil de justificar (contrato de trabajo o boleta de servicio) y complica la rendición y la transparencia de esos costos. Otro ejemplo es una factura de compost, cuando lo importante es motivar a que la gente lo haga con sus propios</p>	<p>Falta de información y educación en ganadería regenerativa Existe una visión distinta de la forma correcta de manejar un predio Existe mucha diferencia en la entrega de conocimientos, marketing, asesorías gratis Subsidios perversos Falta de datos en Chile sobre los efectos de este tipo de producción Se debe educar no solo a los productores sino también a los asesores. A los asesores de INDAP se les evalúa por kg de fertilizante asignado, lo que crea un incentivo perverso ambientalmente. Los proveedores de insumos muchas veces entregan asesores gratis que recomiendan sus propios productos, lo que establece un círculo vicioso.</p>	<p>Los costos iniciales son altos La transición es lenta El relieve de Chile hace que el uso de esta maquinaria sea más complicado</p>
---	--	--	--	--

		<p>recursos y en su propio predio. Se producen trabas administrativas que son completamente anti-ecológicas. No se mide cuantos están reciclando, cuantos están haciendo compost, cuantos producen biofertilizantes, etc. entonces todo eso va quedando fuera porque no forma parte de las metas. Finalmente, los proyectos se evalúan por si se gastaron los recursos, si la rendición está bien hecha, pero no se mide el impacto real del proyecto.</p>		
--	--	--	--	--

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
¿Cómo entregar recomendaciones?	<p>La tecnología es fundamental para que estos cambios ocurran. Los agricultores son de +60 años en su mayoría, y son grandes usuarios de Youtube. Son muy proactivos, están buscando información, y INIA tiene canal de Youtube, Facebook, Instagram, Twitter y Tiktok donde están los videos del paso a paso de cómo hacer biopreparados, charlas, seminarios, etc. Las transferencias en el campo son del tipo aprender haciendo. Es útil acompañarlo con una cartilla o ficha técnica. Grupos de extensión de transferencia tecnológica (15-20 agricultores) con los que se juntan mensualmente. Además, hay grupos de whatsapp donde se comparten sus avances, fotos, etc.</p>	<p>Nos gustaría tomar el proyecto de nogales orgánicos para hacer un huerto demostrativo, para poder difundir y fomentar estos ejemplos positivos y formar grupos para aprender de la práctica. Indicadores de sostenibilidad económico (canales de comercialización, bajar gastos en insumos externos, obtener suficiente ganancia para hacer inversiones y productividad); medioambiental (calidad de suelo, número de aplicaciones de pesticidas, uso de agua y uso de energía); y social (mano de obra externa, salud, siguientes generaciones, y acceso a la información) Difusión de la agroecología con un campo demostrativo. Se cultiva con una rotación, y cultivos mayores como cereales, avena vicia, chacras, horticultura, frutales. Del punto de vista del suelo lo que nos importa mucho es la planificación del</p>	<p>Cada caso es único, por lo que más que recomendaciones es necesario orientar el pensamiento sistémico a través de preguntas sobre tu propia realidad. ¿Cuáles son tus intereses económicos, sociales y ambientales? ¿Cuáles son tus metas? ¿Cuántos potreros tienes? ¿Cuánto llueve en tu localidad? ¿En qué meses? ¿Cuáles son los meses de crecimiento? ¿En cuánto tiempo se recuperan las plantas perennes luego de pastoreo intenso? Hay muchas experiencias en las que se puede hacer “faros agroecológicos” o “sitios de aprendizaje”. Debiera trabajarse en la difusión de estas experiencias con GTT, con productores de la misma zona geográfica o área de interés</p>	<p>Este caso demuestra que las prácticas pueden ser complementarias, que la aplicación de químicos, si van acompañados de otras prácticas, puede ser una oportunidad de generar suelo, como funciona un ecosistema. También estas prácticas pueden ser usadas en un momento de transición, porque la idea es que a medida que se usa esta técnica cada vez se requieren menos inputs externos porque el suelo va mejorando su fertilidad natural.</p>

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
		<p>predio, con una zonificación para frutales, sistemas silvo-pastorales, forestación (nativo, pino y eucalipto).</p>		

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
<p>¿Cuál es tu percepción sobre las prácticas de la agricultura convencional?</p>		<p>La fertilización sintética tiene graves consecuencias para los suelos. En la mayoría de los campos con cultivos de frutales se encuentra que el suelo está muerto y sumamente compactado, lo que también se ha visto afectado con el déficit hídrico.</p> <p>En la agricultura convencional, la aplicación de químicos, sumado a la labranza excesiva, el monocultivo, sin rotaciones, todo eso degrada el suelo. Somos bastante críticos con el programa SIRSD-S, que se enfoca los recursos principalmente en la entrega de insumos y menos del 5% en conservación de suelos. Ese fracaso tiene que ver con una mirada al suelo solamente como fertilidad, como la cantidad de nutrientes disponibles para la planta.</p> <p>Los fertilizantes químicos nutren la planta, pero no generan actividad biológica, con lo que se generan</p>		

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
		problemas físicos de suelo, emiten GEI, un porcentaje alto infiltra y genera toxicidad en las napas de agua.		

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
<p>¿Qué cambios son necesarios en las políticas de apoyo a la agricultura?</p>	<p>Trabajar en políticas públicas para darle valor y resguardo al suelo con un buen manejo. Eliminación de quemas agrícolas Tiene que haber apoyo y seguimiento a través de la extensión y transferencia tecnológica. Re-enfocar los subsidios que actualmente se entregan (ej. en vez del uso de plástico para mulch, invertir en una chipeadora; o en vez de subsidiar la urea, invertir en una volteadora de compost) Enfocar las ayudas en promover una agricultura más auto-sostenible, basándose más en infraestructura y maquinaria que en insumos. Difundir prácticas sostenibles a través del SIRSD-S</p>	<p>Incentivar el uso de desechos de otros rubros o industrias para hacer compost y utilizarlos en la agricultura Uso de cubiertas vegetales. La certificación orgánica tiene una restricción en el uso de estiércol de producciones intensivas (que son la mayoría en esta zona) y con el uso de compost. Entender que la sostenibilidad se mide más allá del ámbito económico y que hay que avanzar en los ámbitos ambientales y sociales Legislación de parte del Estado que se preocupe de la contaminación que se produce por aplicar altas dosis de nitrógeno. Actualmente no hay límites, los productores pueden contaminar sin ninguna repercusión. Educar a los asesores, que entregan programas de manejo y que no necesariamente tiene un objetivo ecológico.</p>	<p>Promoción de la educación en agricultura regenerativa Revisar subsidios y cortar los que sean incentivos perversos Menos fertilizantes, más cercos Mejorar los sistemas de agua para que los animales dispongan de agua para beber en el último potrero Perros protectores de ganado Control de perros asilvestrados Promoción en el mercado de este tipo de productos Para fomentar la fertilización sostenible hay que reorientar el Programa de Recuperación de Suelos (SIRSD-S) y promover prácticas con enfoque regenerativo o sostenible. Revisar los subsidios disfrazados En la actualidad casi todos los recursos se utilizan en N,P y cal, pero</p>	

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
		<p>Trabajar con Universidades para que entreguen conocimientos en esta área. Revisar y orientar los programas de apoyo del Estado, especialmente aquellos que regalen insumos.</p> <p>Prohibir la quema de rastrojos</p> <p>Incentivar la rotación de cultivos</p> <p>La rotación tiene que ver con el mercado. Los tratados de libre comercio hacen que desaparezcan de la rotación cultivos como arvejas, legumbres, habas, etc. que son sustituidos por productos importados</p> <p>El Estado debiera ser muy integral en sus políticas, no sirve poner recursos en la recuperación de suelos si no se preocupa de proteger la agricultura nacional.</p> <p>Mucha de la producción de cereales del país está en manos de arrendatarios que no les importa el suelo.</p> <p>Preparar a los profesionales para hacer manejo</p>	<p>podrían reorientarse para guano, manejo de cercos eléctricos, incorporación de leguminosas, enmiendas de cal, capacitación, siembra directa, labranza vertical, manejo del pastoreo, integración de animales en los sistemas agrícolas, y regeneración efectiva</p> <p>Fomentar el uso de coberturas verdes y evitar los suelos desnudos, tener cultivos de servicio, integrar el uso de animales cuando se pueda.</p>	

	Agricultura sostenible	Agroecología	Ganadería Regenerativa	Cero Labranza
		<p>sostenible de suelos y entregar subsidios que van realmente a conservación Obras de conservación (terrazas), rotaciones que incluyan abonos verdes, leguminosas, praderas, diversidad (distintas especies, cercos vivos, corredores biológicos), aplicación de enmiendas de suelo (compost, abonos orgánicos) y en caso de cereales, abonos verdes. Una buena pradera de avena vicia puede aportar 150-180 unidades de N/ha, y además mejora el suelo para sie</p>		

Fuente: Elaboración Propia

6. Modelamiento de escenarios de política pública para la fertilización sostenible en Chile

6.1 Marco conceptual para el modelamiento de la fertilización

Desde un enfoque convencional, el rendimiento de un cultivo está definido no solo por la fertilización sino también por otras variables como el clima, la disponibilidad de agua en calidad, cantidad y oportunidad adecuada, y los denominados factores de reducción, tales como malezas, enfermedades y contaminantes. Así el rendimiento potencial es función del clima y el cultivo, mientras que existe un rendimiento limitado por el agua y otro limitado por el agua y nutrientes y por último el rendimiento real donde influyen además los factores de reducción (ver Figura 6.1)

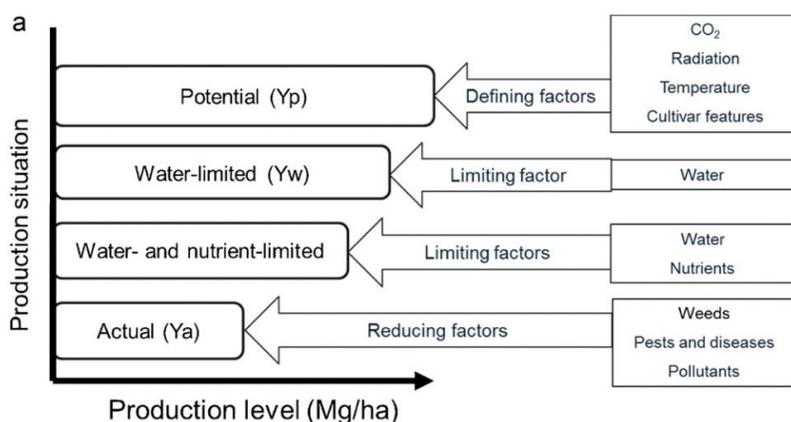


Figura 6.1. Producción de un cultivo en función de las variables que lo afectan (van Ittersum 2013)

Cuando los cultivos solo reciben agua lluvia, el rendimiento potencial es igual al rendimiento limitado por el agua. Se define además un rendimiento explotable como el 80% de dicho rendimiento potencial, y , la brecha de producción como la distancia entre el promedio de producción actual y el rendimiento explotable. (ver figura 6.2)

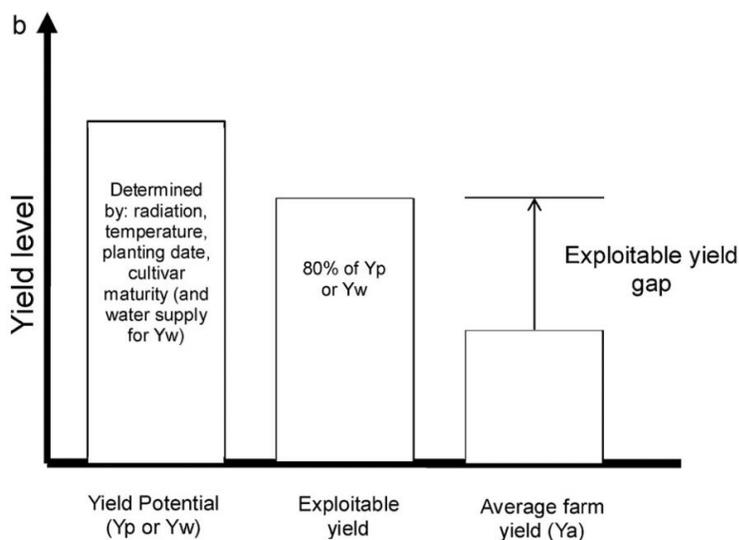


Figura 6.2. La brecha de rendimiento en función del rendimiento explotable (van Ittersum 2013)

Tal y como se ha mencionado en la sección 2, cuando se amplía la mirada en lo relacionado con los objetivos de la fertilización más allá del rendimiento y hacia la fertilización sostenible, es la salud del suelo la que define en gran medida el logro de los objetivos. Dicho modelamiento es sin embargo complejo pues debe abordar distintos tipos de procesos propios de la biología, física y química de suelos, a fin de poder determinar el estado de los procesos de degradación o de mejoramiento de los suelos, y a su vez su influencia sobre la capacidad del mismo en proveer los servicios ecosistémicos que de este se requieren (ver Figura 6.3).

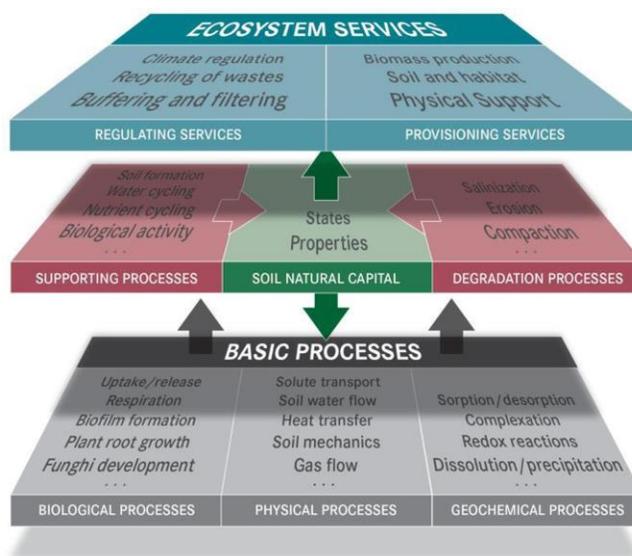


Figura 6.3. Niveles de agregación posibles para el modelamiento de la relación entre salud del suelo y la provisión de los servicios ecosistémicos (Vereecken et al (2016))

El enfoque que se adopta en el siguiente estudio sigue la lógica presentada en la figura 6.4. Como se puede observar se toma la salud del suelo como centro de la política pública en materia de fertilización sostenible. Dicha salud del suelo puede aumentar o disminuir respecto de una situación base en función del tipo de prácticas que se adopten, dichas prácticas pueden provenir tanto de la fertilización convencional como de la fertilización integrada, sin descartar su combinación. El logro de los objetivos de la fertilización sostenible se define en función de los indicadores relacionados con la dimensión ambiental, social y económica.

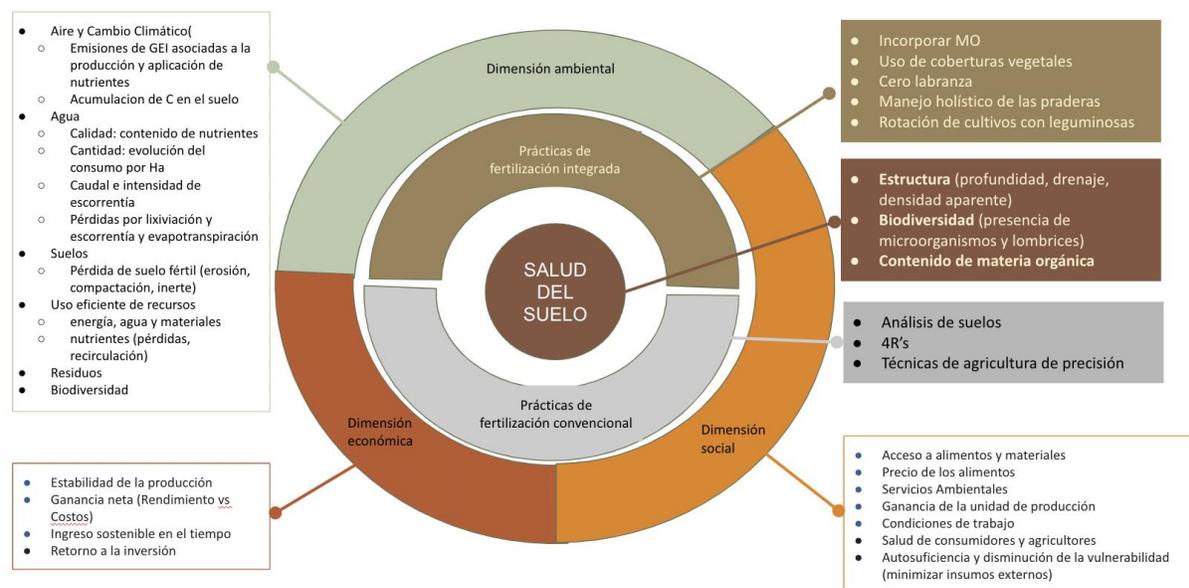


Figura 6.4. Marco conceptual adoptado para el presente estudio

La complejidad y el desempeño de las prácticas agrícolas dentro del contexto de conjuntos más amplios de objetivos ambientales y socioeconómicos pueden ser modelados por modelos agrícolas integrales individuales, p. FarmDESIGN y LiGAPS (Groot et al., 2012; van der Linden et al., 2020). Estos modelos permiten a los actores evaluar las ventajas y desventajas y las sinergias entre diferentes decisiones y resultados de gestión agrícola (p. ej., Janssen y van Ittersum, 2007; Thornton y Herrero, 2001). Sin embargo, la mayoría de estos modelos agrícolas solo hacen referencias tenues a la salud del suelo y, a menudo, asumen un tipo de suelo homogéneo para toda la granja. Es por esto que estos modelos en general tienen una capacidad limitada para optimizar o evaluar (de Schreefel et al 2022).

Dado lo anterior, en el presente estudio se privilegia el uso de datos lo más cercano posible a las realidades estudiadas, dichos datos provienen de la revisión de literatura realizada para la estructuración del presente documento. El enfoque adoptado sigue la lógica presentada en la figura 6.5, el cual es una simplificación de la figura 6.4, que privilegia los indicadores más relevantes y para los cuales se cuenta con datos.

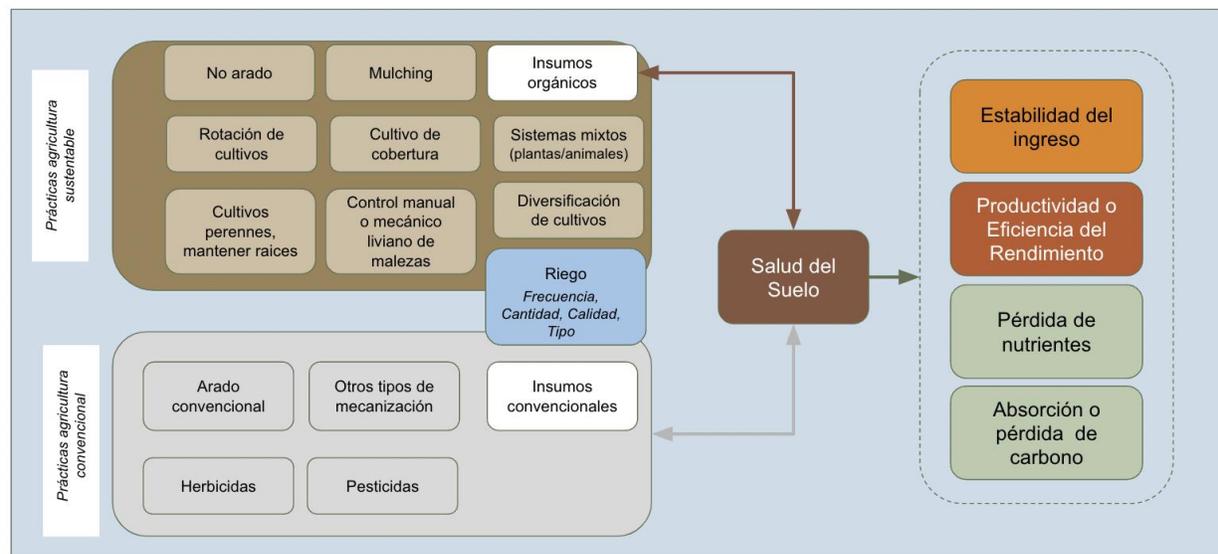


Figura 6.5. Esquema base del modelamiento a realizar (Elaboración propia)

6.2 Cálculos y supuestos para el modelamiento de la fertilización

6.2.1 Metodología de cálculo para la aplicación de fertilizantes

En la práctica, para el cálculo de fertilizantes en primer lugar hay que determinar las necesidades nutricionales del cultivo en función del rendimiento máximo esperado. Para esto, se pueden consultar tablas de referencia según el nivel tecnológico de cada caso. Las necesidades nutricionales se refieren a las unidades de fertilizantes por hectárea que absorberá el cultivo durante su ciclo y se dan en el siguiente orden: nitrógeno (N), fósforo asimilable (P_2O_5) y potasio soluble (K_2O). Una vez que se tiene la información de la cantidad de nutrientes que va a necesitar el cultivo, se debe restar la cantidad de nutrientes que pueden ser aportados por el suelo, y de esta manera obtener el delta que corresponde a la necesidad de fertilización. Como es inevitable que se produzcan pérdidas, el cálculo se debe corregir con la eficiencia de aplicación. La fórmula se resume entonces como se muestra en la ecuación 6.1.

$$Dosis = \frac{\text{Demanda del cultivo} - \text{Suministro del suelo}}{\text{Eficiencia de la aplicación}} \quad (6.1)$$

La eficiencia de un fertilizante suele definirse como la proporción (%) de nutrientes utilizada por el cultivo, en relación con la cantidad total aplicada en la fertilización. Existe una gran variedad de factores externos como el clima, el suelo (textura, acidez, salinidad, alcalinidad, toxicidad mineral), la biología, las prácticas de manejo, etc. que afectan la capacidad de una planta para absorber y utilizar los nutrientes de manera más efectiva, como también existen factores internos de la planta que determina su eficiencia en el uso de nutrientes (NUE) como son el crecimiento y arquitectura de sus raíces, presencia de bacterias endófitas, variación genética, etc.

Para el cálculo de la dosis, la eficiencia de la fertilización corresponde a la parte del nutriente aplicado al suelo recuperada por el cultivo, donde cada elemento (NPK) tiene una movilidad propia en el suelo, determinada principalmente por las condiciones edáficas, el tipo de clima predominante y el historial de manejo del agro-ecosistema. (Viana, 2020).

La baja eficiencia de la fertilización nitrogenada está asociada con las pérdidas de N mediante procesos que pueden llegar a limitar drásticamente su utilización por el cultivo. Estos procesos son: Lixiviación (NO_3^-), Desnitrificación, Volatilización (NH_3) y Fijación de la forma amoniacal (NH_4^+). La magnitud de las pérdidas depende de varios factores, entre otros: a) drenaje del suelo; b) Volumen de precipitación; c) Capacidad de intercambio aniónico; d) Sistema radicular del cultivo. Las pérdidas por desnitrificación no son usuales en suelos bien drenados, mientras que las pérdidas por lixiviación suelen ser severas en suelos livianos, en las zonas de alta precipitación pluvial o de riego intensivo. En Chile, para el caso del nitrógeno, la eficiencia de fertilización depende del tipo de suelo y del riego utilizado (Tabla 7.1)

Tabla 6.1. Eficiencia de la fertilización Nitrogenada

Tipo suelo/eficiencia riego	%
Suelo textura gruesa, riego excesivo	<50
Suelo textura media-fina, riego excesivo	50-65
Suelo textura gruesa-media-fina, riego óptimo	65
Uso fertilizante entrega lenta	>65

Fuente: Adaptado de Opazo et al. 2008 (en Universidad de Chile, 2015)

La baja eficiencia de las aplicaciones de fertilizante fosfatado se debe principalmente a la retención de fósforo por las fracciones de arcilla del suelo y los hidróxidos de hierro y aluminio. La recuperación del P del fertilizante es de un 20-40%. Los suelos con mayor capacidad de fijación de fósforo son los Andisoles, Oxisoles y Ultisoles. De ellos, los suelos de origen volcánico del sur de Chile (Andisoles) son los que presentan mayores deficiencias (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Capacidad de retención inicial de P (CP) en distintos grupos de suelos

Suelos	Capacidad Tampón (ppm kg P)
Suelos Zona Central	0,17
Rojos Arcillosos	0,13
Suelos Trumaos	0,08 - 0,10

Fuente: Adaptado de Nájera et al. (en Universidad de Chile, 2015)

La eficiencia de la fertilización potásica es un parámetro dependiente de la textura del suelo (Tabla 6.3) y de la capacidad del cultivo de absorber el potasio incorporado al suelo. Aunque el K es un macronutriente inmóvil en el suelo, la fuerza con que este nutriente es fijado al suelo es mucho menor en comparación a la de otros macronutrientes como el fósforo (P). La pérdida de K se atribuye en gran medida a la lixiviación y la escorrentía. Para reducir la pérdida de K por lixiviación, es más recomendable aplicar K en dosis fraccionadas que en una sola dosis (Baligar y Bennett, 1986).

Tabla 6.3. Eficiencia de la aplicación de K

Textura	Eficiencia K
Gruesa (Arenosa)	95
Media (Franca)	85-95
Fina (Arcillosa)	85

Fuente: Adaptado de Nájera et al. (en Universidad de Chile, 2015)

Por otra parte, en frutales se puede determinar la eficiencia de la aplicación de fertilizantes según el sistema de riego (Tabla 6.4)

Tabla 6.4. Eficiencia de la recuperación del nutriente según sistema de riego

Nutriente	Riego tradicional (%)	Fertigación (%)
N	25-50	60-70
P	20	25-40
K	40-50	50-60

Fuente: Juan Hirzel (2008)

Los nutrientes vienen en distintas presentaciones, los fertilizantes comerciales expresan su contenido de nutrientes en % de unidades fertilizantes. Por ejemplo, un fertilizante complejo 15-15-15 contiene 15 kg de N por cada 100 kg de fertilizante, 15 Kg de P₂O₅ por cada 100 kg de fertilizante y 15 kg de K₂O por cada 100 kg de fertilizante. Aquellos nutrientes más utilizados en la agricultura se presentan en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5. Solubilidad y fertilizantes más utilizados en agricultura

Tipo de fertilizantes	Fórmula	Composición %				Solubilidad
		N	P	K	Otro	
Nitrogenados						

Nitrato de amonio	33-0-0	34	0	0	0	Solubilidad media
Sulfato de amonio	21-0-0	21	0	0	S	Muy soluble
Nitrato de Calcio	20-0-0	15.5	0	0	Ca(26)	Muy soluble
Urea Perlada	46-0-0	46	0	0	0	Muy soluble
Nitrato de Magnesio	10-0-0	27	0	0	Mg(4)	Solubilidad media
Fosfatados						
Ácido fosfórico	0-62-0	0	52	0	0	Muy soluble
Fosfato monoamónico	11-23-0	10	50	0	0	Solubilidad media
Fosfato diamónico	18-20-0	18	46	0	0	Solubilidad media
Superfosfato Triple	0-46-0	0	46	0	0	Poco soluble
Potásicos						
Cloruro de Potasio	0-0-60	0	0	60	Cl	Solubilidad media
Nitrato de Potasio Crist	13-0-44	13	0	44	0	Muy soluble
Sulfato de Potasio	0-0-50	0	0	50	S	Solubilidad media

Fuente: Villablanca y Villavicencio, 2010

6.2.2 Modelamiento de las pérdidas de nutrientes

Del análisis anterior se desprende que las pérdidas de un nutriente en particular corresponden a aquello aplicado en exceso y que no es aprovechado. Sin embargo otros factores influyen como el remanente de la fertilización de períodos anteriores, tal y como se explica a continuación.

6.2.2.1 Cálculo de las pérdidas de Nitrógeno por lixiviación producto de la fertilización

El análisis del impacto del esquema de fertilización y sus impactos involucra el análisis de distintas variables como el tipo de cultivo, suelo, zona agroclimática, estado de nutrientes en el suelo, entre otros. A través de distintos estudios y experiencias realizadas en terreno acerca de la lixiviación con nitratos se ha definido que los factores más relevantes que determinan la tasa de lixiviación son: la tasa de aplicación de N, los suelos, las precipitaciones y la proporción de las distintas formas de N en el purín (Collao, 2008).

Perakis et al. (2005) observaron que cuando los aportes externos de N se incrementan a niveles superiores a $160 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, la retención de N en la matriz del suelo de uso forestal disminuyó considerablemente, lo que provocó pérdidas sustanciales por lixiviación de NO_3^- . Este efecto se atribuyó a una menor asimilación de N inorgánico por parte de la biomasa microbiana y/o una disminución de las reacciones abióticas entre el N inorgánico y la MOS. Todo esto indica el potencial de los suelos volcánicos del sur de Chile como una fuente importante de suministro de N vegetal para los agroecosistemas, pero también el riesgo de pérdidas significativas de N cuando se incrementan los aportes externos de N.

Existen distintas metodologías para estudiar y cuantificar la contaminación de las aguas subterráneas con nitratos, en diferentes condiciones. Por un lado, están los índices de vulnerabilidad, que mediante la evaluación de factores calculan un puntaje comparativo entre distintos sitios y por otro lado están los modelos de simulación o estadísticos, que calculan tasas de lixiviación.

Desde un punto de vista técnico se trata de realizar balances de nutrientes con ayuda de ecuaciones que si bien simplifican la realidad, pueden ayudar a ver posibles impactos ambientales. En los balances nutricionales se considera como entrada al sistema suelo-planta la cantidad de nutriente aplicado como fertilizante al cultivo, el existente en el suelo y como salida la cantidad de nutriente contenido en el producto exportado (granos, frutos, etc.) y en los que quedan en el suelo (rastreo). La pérdida de nutrientes debe ser contemplada dentro del balance como, por ejemplo, las pérdidas por lixiviación, por escorrentía, y por volatilización. La magnitud de estas pérdidas depende de la movilidad de cada nutriente, del tipo de suelo y de las condiciones ambientales.

La relación entre el rendimiento y la entrada de N mineral independientemente de la fuente se denomina NUE, y se define como se muestra en la ecuación 6.2

$$\text{NUE} = Y N_s^{-1} \quad (6.2)$$

donde N_s (kg ha^{-1}) es N disponible para la planta durante el período de crecimiento, incluido el N inorgánico inicial en el suelo, el N fertilizante aplicado y el N mineralizado de N orgánico durante el período de crecimiento, y, Y es el rendimiento de grano (kg ha^{-1}). No se considera el aporte atmosférico de N por representar una fuente despreciable en relación con las demás. Tanto para la eficiencia como para la absorción de N del suelo $N_{\text{cosecha}} N_s^{-1}$ y la conversión de N en rendimiento de grano $Y N_{\text{cosecha}}^{-1}$ se puede expresar como $Y N_s^{-1} = (N_{\text{cosecha}} N_s^{-1}) (Y N_{\text{cosecha}}^{-1})$.

Existen modelos que se utilizan para medir las pérdidas, como el programa MANNER, y el programa DNDC. MANNER es un modelo simple que simula sólo algunas de las transformaciones que le ocurren al nitrógeno luego de su aplicación al suelo, fue desarrollado en Inglaterra como ayuda a la toma de decisiones de los granjeros a la hora de definir las tasas de purín a aplicar en otoño. MANNER simula la mineralización, la volatilización y la lixiviación de nitratos, es un modelo necesita muy pocos datos de entrada, lo que facilita su uso. Los datos de entrada que utiliza el modelo son la tasa de aplicación del fertilizante o purín, el tipo de fertilizante o purín y las características del nitrógeno en el mismo, la precipitación desde la aplicación, y , el tiempo de incorporación al suelo si es aplicación superficial o inyección profunda.

Por otro lado, el programa DNDC es un modelo bioquímico mucho más complejo, que entrega entre muchos otros las distintas salidas del N del sistema hacia la atmósfera y en el drenaje bajo los 50 cm de profundidad, además del volumen de drenaje la evaporación y transpiración del cultivo, la producción de éste y la entrada de N al sistema producto de la fijación de las plantas y sus raíces. El modelo está compuesto de dos partes, una que simula el crecimiento del cultivo y submodelos de descomposición y otro que consiste en submodelos que simulan la nitrificación, desnitrificación y fermentación, que predicen flujos de NO, NO₂, N₂, CH₄ y NH₃, a través de un sistema que va simulando el ciclo del nitrógeno en el suelo en conjunto con el ciclo del carbono. La compleja simulación que realiza este modelo necesita de mucha información (Collao, 2008)

6.2.2.2 Cálculo de las pérdidas de Nitrógeno por emisión de óxido nitroso producto de la fertilización

La evidencia de la literatura indica que la emisión de N₂O desde suelos agrícolas está exponencialmente relacionada con la dosis de fertilización nitrogenada utilizada, cuando ésta excede la requerida para el óptimo económico (Figura 6.6). En Chile, esta fuente de emisión representó el 68,8% del total de emisiones directas de N₂O desde suelos agrícolas en el año 2010. Por lo tanto, cualquier estrategia dirigida a mitigar la generación de este GEI desde suelos agrícolas debe focalizarse en mejorar la eficiencia de uso del nitrógeno. De lo anterior se deriva que la utilización de dosis de nitrógeno racionales es la más relevante, simple, económica y sostenible recomendación para contribuir a reducir la emisión de N₂O desde suelos agrícolas.

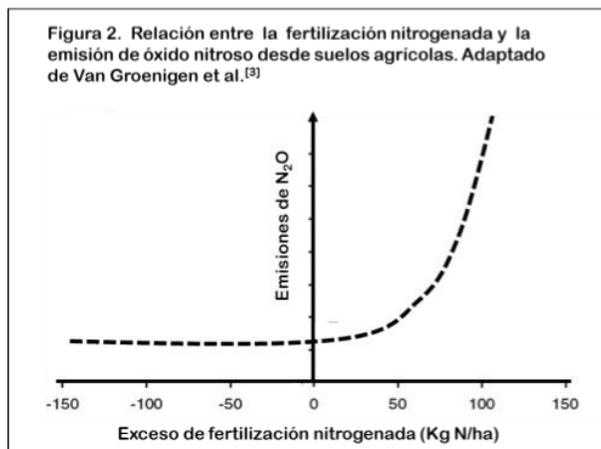


Figura 6.6. Emisiones de Óxido Nitroso en relación con el exceso de fertilización nitrogenada

6.2.2.3 Cálculo de las pérdidas de Fósforo producto de la fertilización

Como se muestra en la figura 6.7 el potencial de pérdida de P de la tierra al agua dulce (a través de la escorrentía superficial o flujo subsuperficial) aumenta linealmente, o exponencialmente, con el aumento en la concentración de fósforo en el suelo. En general, se ha supuesto que el potencial para una mayor pérdida de fósforo en el agua ocurre solo por encima de la concentración agronómica óptima de fósforo en el suelo, después de lo cual aumenta la saturación de fósforo resultando en una retención progresivamente más baja y una mayor pérdida en la escorrentía (Kleinman, 2017). Sin embargo, cada vez se reconoce más que factores específicos del sitio, que impactan en la retención de fósforo como los mencionados, dan como resultado una significativa pérdida de fósforo al agua incluso por debajo del nivel agronómico

óptimo de fósforo en el suelo. Por ejemplo, los suelos bajos en óxidos de Al y Fe pueden desorber cantidades significativas de fósforo en la escorrentía incluso a bajas concentraciones de fósforo en el suelo.

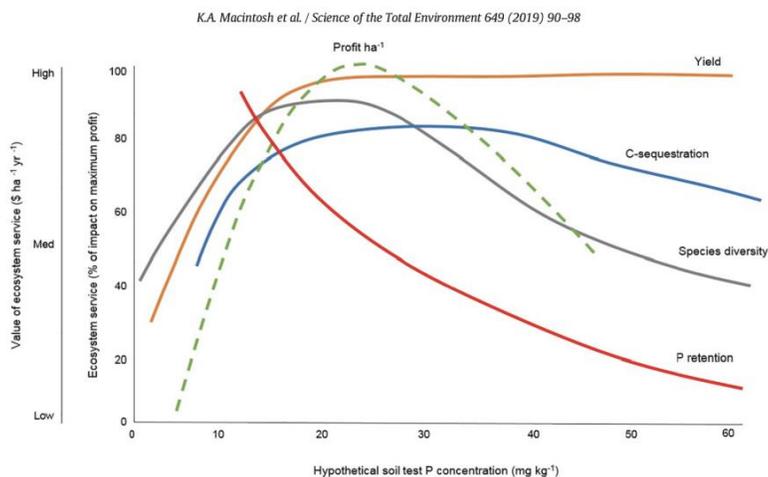


Figura 6.7. Relación hipotética entre el fósforo en el suelo y diversos servicios ecosistémicos (Macintosh et al 2019)

6.2.3 Enfoque adoptado en éste estudio

En general se podrían aplicar dos enfoques de cálculo en este estudio, uno que estima pérdidas de nutrientes ante una fertilización dada y otro que se ocupa sólo de suplir los nutrientes que hacen falta a partir de fertilizantes (convencionales o alternativos) a fin de lograr cero pérdidas. Se privilegia el primer enfoque por estar más cercano a la realidad. En este sentido para la dosis de aplicación se utilizan las fichas ODEPA de cada cultivo, para el contenido de nutrientes en el suelo se toman datos referenciales para las comunas de estudio para cada cultivo, y para las eficiencias de uso de los nutrientes aplicados se utilizan aquellas relevantes de aquellas presentadas en las tablas 6.1 a 6.4 según tipo de suelo.

6.3 Escenarios modelados

A fin de identificar los impactos a nivel de costos de producción y utilidad para el agricultor de distintas prácticas de la fertilización tradicional y alternativa se modelaron cuatro tipos de escenarios para cada uno de los 4 cultivos seleccionados como sigue:

- **Escenario base**
 - Rendimientos según fichas de producción de Odepa para nivel de producción y fertilización prevalente
 - Manejo convencional no optimizado (no se toman muestras del suelo, ni se aplican las 4Rs en su totalidad) lo cual ocasiona pérdidas de nutrientes según lo calculado
 - No se aplican fertilizantes orgánicos ni técnicas de mulching, el sistema de fertilización se basa en los fertilizantes reportados en fichas ODEPA

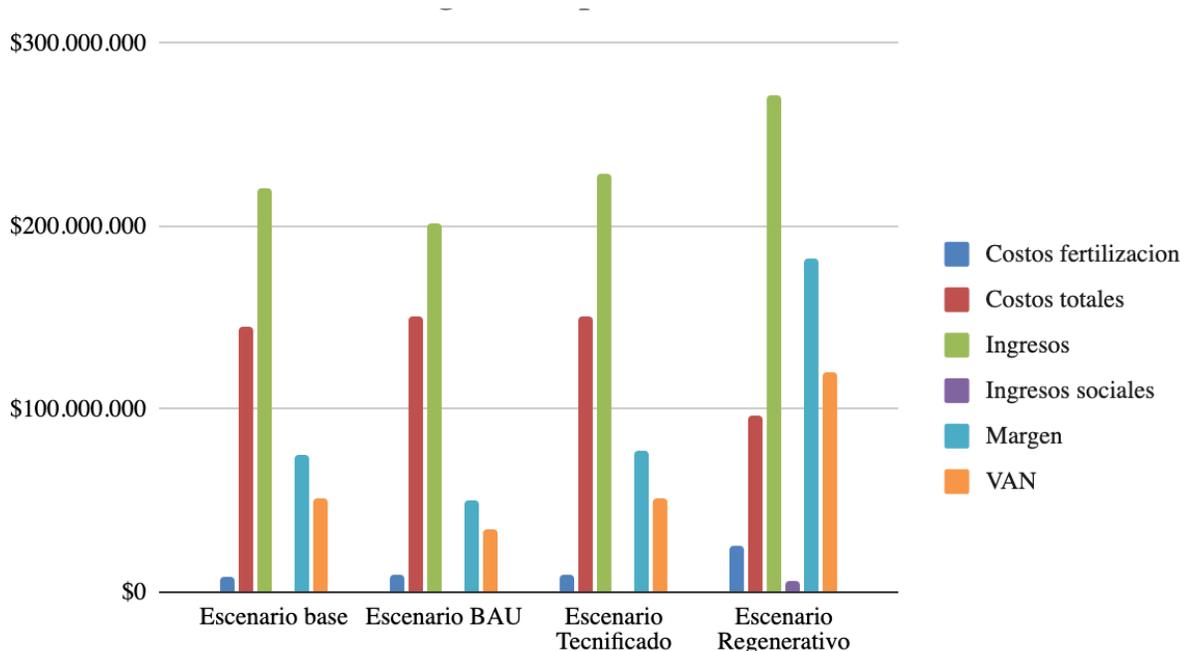
- **Escenario Business as Usual**
 - Los precios de producto se mantienen en el tiempo
 - Los rendimientos disminuyen 2 % por año por deterioro de los suelos y menor disponibilidad de agua en el tiempo (Cambio Climático)
 - Costos aumentan por incremento de los precios internacionales de fertilizantes (5% cada 5 años)
- **Escenario convencional tecnificado**
 - Inversión en tecnología de punta (sistemas de información, agricultura de precisión) y aplicación de fertilizante basada en el cálculo de la remoción por el cultivo y el análisis de suelo, significa menos pérdidas de nutrientes (20% menos pérdidas) y mayor eficiencia en uso de nutrientes aplicados manifestada en incremento en rendimiento (10% por cada 5.000.000 invertidos)
 - Costos aumentan por incremento de los precios internacionales de fertilizantes (5% cada 5 años)
- **Escenario de fertilización integrada**
 - El uso de fertilizantes disminuye al 50% en el año 1 a partir del año 3 no se utilizan fertilizantes solo enmiendas orgánicas.
 - Precios internacionales de fertilizantes aumentan (5% cada 5 años)).
 - Se usan prácticas alternativas las cuales varían según cultivo como sigue:
 - Trigo: aplicación de compost 15 m3/ha, incorporación de rastrojos, cero labranza, abono verde (habas), aplicación de micorrizas una vez por año al momento de la siembra.
 - Cerezo: Aplicación de compost (20 ton/Ha), residuos de poda como mulch, siembra de trébol entre hileras como cobertura permanente, aplicación de micorrizas y otros insumos foliares (4 veces por año)
 - Pasturas: Prácticas sólo contemplan inversión inicial por concepto de cercos y bebederos y ninguna aplicación de enmiendas
 - Lechuga: Aplicación de compost (20 ton/Ha), trebol entre hileras como cobertura permanente, abono verde (habas), aplicación de micorrizas (4 veces por año).
 - Se reducen en un 80% los demás costos de insumos distintos a fertilizantes a partir del año 1 (baja de pesticidas, desmalezantes etc)
 - La productividad disminuye al 75% en el año 1-2 y se estabiliza en 90% a partir del año 3
 - A partir del año 3 se logra un incremento del 50% en el precio del producto por ser 100% regenerativo
 - En todos los casos los costos de las prácticas alternativas corresponden a aquellos suministrados por ODEPA, considerando la región específica sobre la cual se evalúa el cultivo.

6.4 Resultados del Modelamiento

El modelamiento se aborda desde una perspectiva privada y social tomando como tasa de descuento 7,4%. En el caso de la valoración social se consideran los beneficios sociales del aumento de la materia orgánica contabilizados como captura del agua y como captura de carbono considerando según precios sociales chilenos 25.506 \$/ton CO2 eq y como emisiones de carbono evitadas (US \$1.72 m-2 según Sparling et al 2006 ²⁶).

6.5.1. Trigo

Al modelar los 4 escenarios planteados para el caso del trigo a 10 años bajo los supuestos ya explicados se obtiene que el escenario regenerativo se comporta mejor que el escenario Business as usual, si bien reduce el VAN con relación a la situación actual. El escenario tecnificado presenta un mejor desempeño debido a los mejores rendimientos asumidos con relación al escenario regenerativo. Los costos de la fertilización alternativa son un 25% más altos que los de la fertilización tradicional debido a la aplicación de compost.



²⁶ <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/jeq2005.0230>

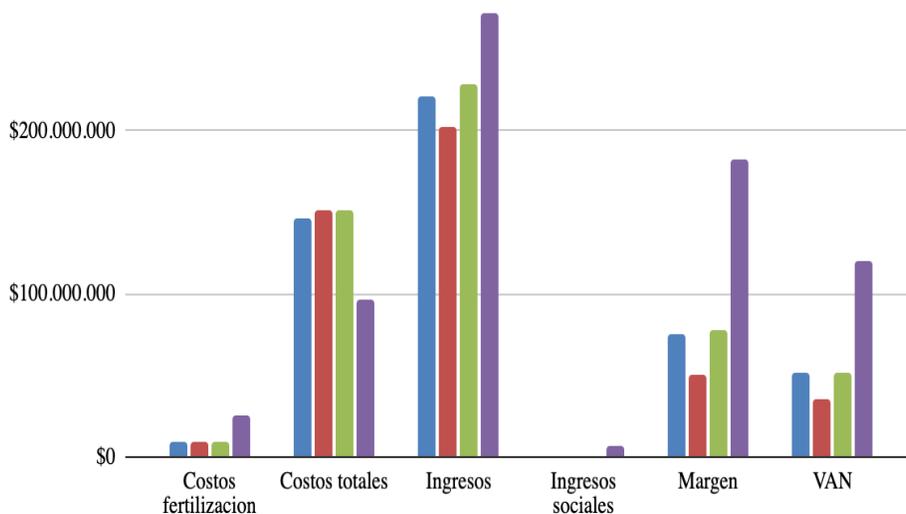
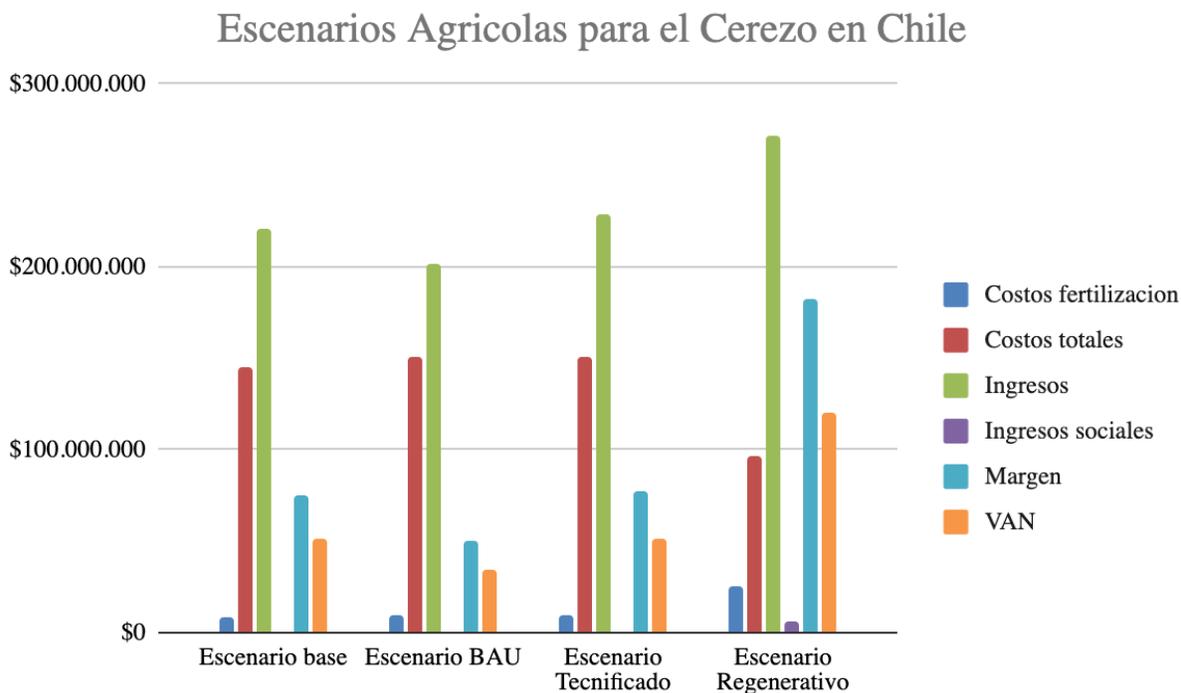


Figura 6.8 a y b Evaluación de distintos escenarios para el Trigo en Chile (elaboración propia)

6.5.2. Cerezos

En el caso de los cerezos, el escenario regenerativo se muestra bastante más positivo económicamente que los demás escenarios, esto es un efecto combinado del supuesto respecto al incremento en los ingresos como resultado del mejor precio del producto, como a la reducción de insumos, pues este cultivo tiene costos muy altos en materia de pesticidas y herbicidas.



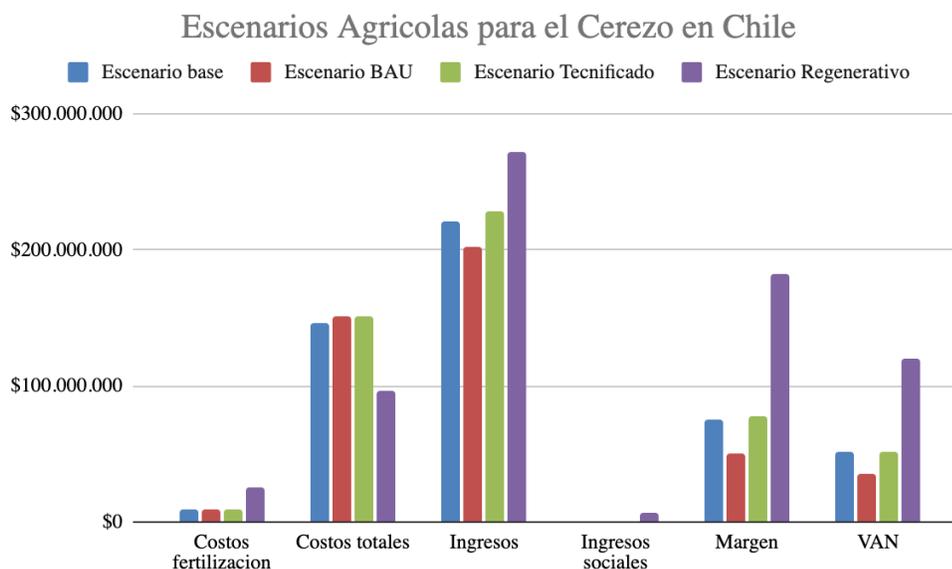


Figura 6.9 a y b Evaluación de distintos escenarios para el Cerezo en Chile (elaboración propia)

6.5.3. Praderas

En el caso de las praderas no se tiene información completa respecto de los costos de la situación actual de manera de poder modelar. Sin embargo, se pueden considerar los datos del estudio de ganadería regenerativa por Larrain et al 2022 en el cual se ratifica la caída en los costos, principalmente a una disminución en el gasto en praderas y conservación de forrajes. Lo que llevaría a que todos los campos estudiados tuvieran un aumento en su utilidad neta ($\$250.263 \pm 74.333/ha$, o USD 278/ha). También se indica que el monto de la inversión necesaria para hacer el cambio de sistema fue bajo ($\$48.419 \pm 50.639/ha$, o USD \$53, 8), y menor al aumento de ingreso neto observado producto de esta inversión ($\$79.930 \pm 30.165/ha$, o USD \$88,8). Lo anterior significa un VAN adicional del escenario regenerativo por sobre el escenario convencional de \$1.677.328

6.5.4. Lechuga

La lechuga presenta escenarios con un comportamiento similar en términos de VAN, siendo el escenario regenerativo el que presenta un mejor comportamiento, muy cercano al tecnificado y significativamente superior al escenario Business as Usual. el éxito del negocio vendría soportado sin lugar a dudas por el mejor precio del producto final

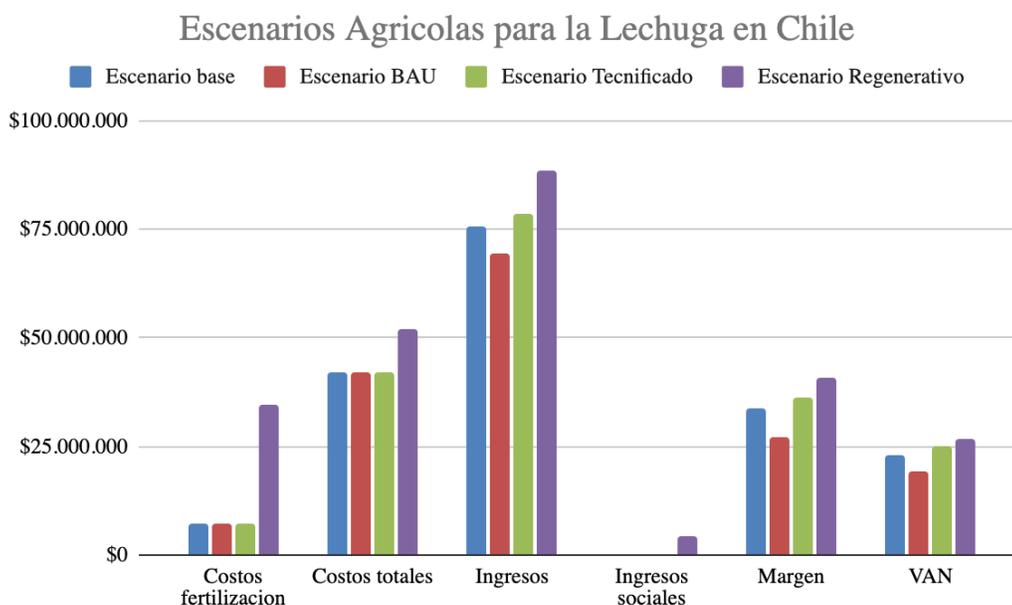
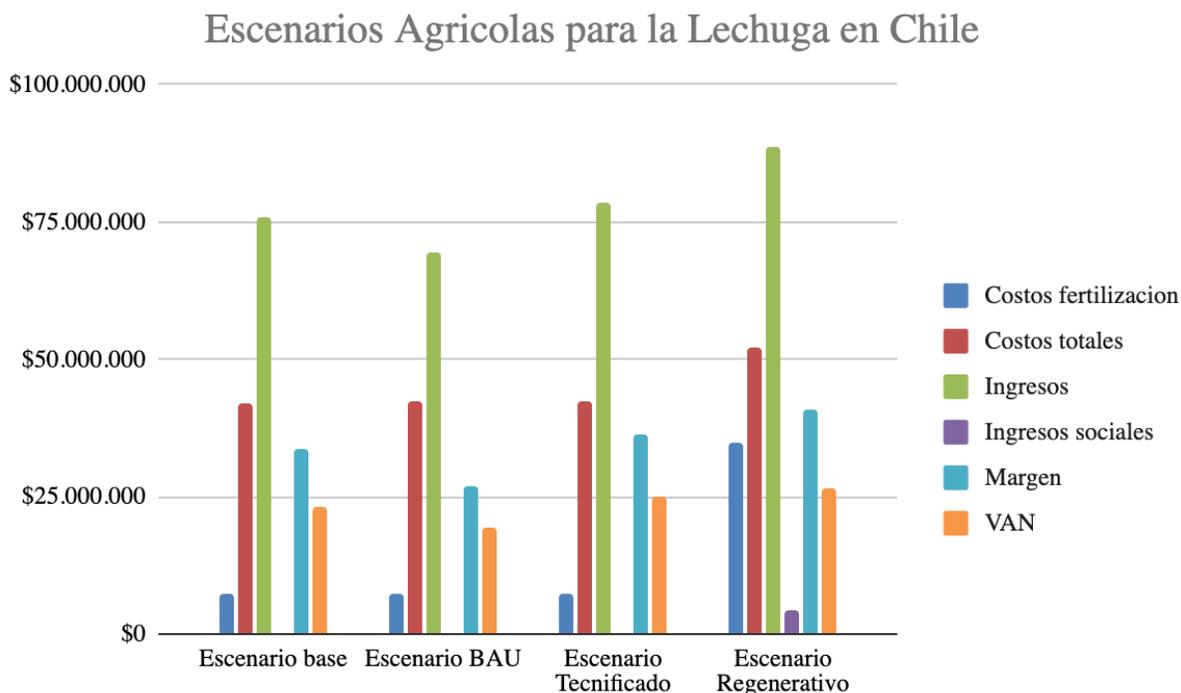


Figura 6.10 a y b Evaluación de distintos escenarios para la lechuga en Chile (elaboración propia)

Los flujos de caja de todos los escenarios modelados se presentan en el Anexo 2.

7. Propuestas de política para la fertilización sostenible en Chile

Una política transformadora para la agricultura en Chile debería abarcar aspectos de la política ambiental, alimentaria y de salud pública. De esta manera, es necesario abordar la totalidad del sistema alimentario a partir de un enfoque sinérgico.

Muchos de los incentivos que actualmente existen para el desarrollo de la agricultura ciertamente no están entregando resultados positivos en lo que respecta a sostenibilidad. La agricultura es un rubro altamente dinámico por lo que para optimizar el uso de recursos públicos es necesario estar revisando constantemente las políticas y redefinir el apoyo destinado a esta actividad. La tendencia mundial actual llama a transformar los sistemas alimentarios no solamente hacia formas más eficientes de producción, sino que también se debe incluir aspectos en relación al medio ambiente, salud pública y uso de recursos naturales.

Idealmente, se debiera revisar uno a uno todos los incentivos que está entregando el gobierno respecto a su evaluación económica, social y medioambiental, para así eliminar gradualmente la entrega estímulos que resulten nocivos, como los orientados a medidas que distorsionan los mercados y producen ineficiencia, los que se distribuyen de manera desigual y los que son dañinos para el medio ambiente y la salud humana. En el caso particular de la fertilización sustentable, se debe evitar que los subsidios fiscales continúen promoviendo el uso excesivo de insumos y cambiarlos a favor de la adopción de prácticas más agroecológicas. Los incentivos nocivos deberían ser reemplazados por inversiones orientadas a la provisión de bienes públicos y servicios para la agricultura como infraestructura e investigación y desarrollo (I+D).

Los pequeños agricultores cumplen un papel fundamental para enfrentar la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la resiliencia del sistema. Además las pequeñas explotaciones son esenciales para la reducción de la pobreza, la igualdad de género y el empoderamiento de las mujeres en las zonas rurales. Se ha detectado también que las pequeñas superficies son más productivas por hectárea que las grandes superficies y son mejores para la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad. Por ello es muy importante que al implementar nuevas políticas se comunique que las reformas no consisten en quitar el apoyo a los agricultores, sino que en reutilizar los recursos para que éstos premien las buenas prácticas agrícolas en vez de perpetuar prácticas que amenazan la estabilidad de los sistemas alimentarios, el bienestar de los agricultores y el medio ambiente.

Asimismo, las reformas deben aprovechar al máximo las sinergias potenciales que benefician tanto a los agricultores como a los consumidores. Por ejemplo, si se incentiva a los agricultores a diversificarse hacia la producción sostenible de alimentos más nutritivos, este cambio tendrá una mayor recompensa si se combina con medidas que animen a los consumidores a comprar estos alimentos a través de la conciencia de los beneficios a largo plazo para su salud.

Por otra parte, las políticas actuales de apoyo a la agricultura en general no consideran el impacto de las prácticas no sostenibles de producción sobre el capital humano y natural y estos costos no se reflejan en el precio de los alimentos. Por ejemplo, algunos costos ocultos son los problemas derivados de la obesidad y la desnutrición, la degradación de las tierras, el impacto

sobre el clima, los costos económicos del desperdicio de los alimentos, la pérdida de fertilizantes hacia napas subterráneas, la salud de las personas expuestas a productos químicos tóxicos, etc.

Las políticas agrícolas pueden tener efectos directos en la elección de insumos y métodos de producción, la elección de cultivos y ganado, y el uso de la tierra.

a) **Elección de insumos de producción:** Se puede reorientar el apoyo a la agricultura sostenible para influir en las opciones relacionadas con la compra y el uso de insumos de producción. Así por ejemplo, se puede promover el uso de semillas más aptas (resistentes al clima, sequía, pH, etc.); el uso de fertilizantes orgánicos y control biológico de plagas en lugar de fertilizantes y pesticidas sintéticos; o la elección de pastos y semillas de oleaginosas en lugar de cereales para la alimentación del ganado.

b) **Elección de métodos de producción:** El apoyo puede estimular la adopción de tecnología e infraestructura que mejore el uso eficiente de los recursos naturales. Por ejemplo, se puede incentivar sistemas de riego más eficientes en el uso del agua, cambiar las bombas de agua que funcionan con combustibles fósiles por energía solar. Asimismo se debe educar en formas de producción que sean armónicas con el ecosistema y la biodiversidad.

c) **Elección de cultivos y ganado:** El apoyo podría influir en las decisiones sobre qué cultivos cultivar y qué ganado criar en función de los impactos climáticos esperados (mayor resiliencia, tanto ambiental como económica) o sobre la base de consideraciones nutricionales o de salud (mejorando la calidad de la dieta). También se podría fomentar la rotación de cultivos y los cultivos de cobertura, en lugar de monocultivos generando ingresos estables durante todo el año y mejorando considerablemente la eficiencia hídrica y la resiliencia climática.

d) **Uso de la tierra:** estimular la conservación de tierras de gran biodiversidad y la restauración de tierras degradadas para la producción agrícola, fomentar la introducción de ganadería regenerativa y silvopastoreo, a través de la relevancia de los servicios ecosistémicos.

7.1 Diferentes formas de apoyo a la agricultura

El apoyo al sector agrícola puede adoptar diferentes formas. Las formas más utilizadas son las intervenciones de precios y los subsidios.

i) **Intervenciones de precios:** aumentan o reducen los precios internos y, como resultado, generan incentivos (o desincentivos) para los agricultores. Los incentivos de precios para la agricultura consisten principalmente en medidas fronterizas (como aranceles o cuotas de importación, prohibiciones o subsidios a la exportación) y/o regulaciones de precios de mercado (por ejemplo, políticas de fijación de precios internos).

ii) **Subsidios fiscales:** transfieren dinero a particulares (por ejemplo, a través de subsidios a los insumos) o que respaldan bienes colectivos como la infraestructura.

Cuando los subsidios fiscales se dirigen individualmente a los agricultores consisten en:

- a) **Subvenciones basadas en la producción**, que implican transferencias realizadas de acuerdo con la producción de un producto agrícola específico;
- b) **Subsidios basados en insumos agrícolas**, que implican transferencias realizadas abaratando el precio de insumos variables, capital fijo o crédito;
- c) **Subsidios basados en factores de producción**, utilizando dos tipos de criterios: (i) criterios de productos tales como área sembrada, número de animales, ingresos o ingresos del agricultor; o (ii) criterios que no sean productos básicos, como subsidios vinculados a resultados ambientales o paisajísticos (por ejemplo, para fomentar el uso alternativo de tierras agrícolas o prácticas de conservación de tierras) o pagos a tanto alzado a todos los agricultores sujetos a condiciones de condicionalidad.

El apoyo fiscal también puede beneficiar al sector agrícola colectivamente, en lugar de dirigirse a productores individuales, a través de la provisión de servicios generales del sector y bienes públicos. A largo plazo, algunos de estos tipos alternativos de apoyo reducen los costos y crean un entorno propicio para la agricultura y las actividades de comercialización del sistema alimentario, mediante el desarrollo de servicios, instituciones e infraestructura públicos o privados. Ejemplos de servicios del sector general incluyen: generación y transferencia de conocimientos agrícolas (por ejemplo, capacitación, asistencia técnica); inspección y control en materia de seguridad de productos agrícolas, plagas y enfermedades; desarrollo y mantenimiento de infraestructura, como carreteras, riego e instalaciones de almacenamiento; reservas públicas de alimentos y planes de constitución de existencias; mercadeo del sistema alimentario y promoción comercial.

7.2 Políticas de fertilización sustentable para Chile

Para desarrollar políticas de fertilización sustentable en Chile, en primer lugar se deben considerar cuestiones técnicas, como son la reducción del uso de insumos y evitar prácticas arraigadas como la del monocultivo orientado solo al mayor rendimiento económico privado por hectárea, fomentando por ejemplo un mayor uso de leguminosas que fijan nitrógeno biológicamente para reemplazar el uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos y el uso de compost, estiércol u otras enmiendas en las dosis adecuadas. En este punto más técnico, nuevamente debemos centrarnos en construir sistemas agrícolas integrados, no sólo centrados en prácticas o productos individuales; y fomentar la diversificación de los sistemas alimentarios y de producción.

Desde el punto de vista del agricultor, se debe propender a una mayor autonomía agrícola y capacidad de adaptación, para mejorar la resiliencia agrícola, y la capacidad de absorber impactos. En esta línea, se debe integrar la conservación de la biodiversidad y el hábitat dentro de los sistemas agrícolas, así como la conservación de los recursos naturales, especialmente del suelo y agua.

Se debe abordar de manera técnica y económica el papel del ganado en los sistemas agrícolas y la dieta humana, centrándose en la complementariedad.

Desde la demanda debemos abordar temas como la moderación del consumo excesivo de carne. Debemos abordar también de manera más decidida el desperdicio de alimentos en las cadenas alimentarias

Finalmente, se debe apoyar desde el Gobierno el proceso de transición agrícola circular, reconociendo las diferentes etapas de esta transición y el rol de la educación en todos los eslabones. En particular, se debe atender la necesidad tanto de aprender nuevos enfoques como de 'desaprender' convicciones previas. Esta tarea requiere de un nuevo enfoque de los servicios de asesoramiento, formación, educación e información, para profesionales, sus agencias de apoyo y más ampliamente en la sociedad.

Además de lo anterior, les solicitamos que, en las propuestas de políticas de fertilización sustentable para Chile, transformen las acciones en programas, leyes etc. Más abajo les enviamos los párrafos resaltados que pudiesen incluirse en la política global de fertilizantes y que resume la política de fertilización propuesta a través de las acciones enumeradas.

A continuación, se desarrollan objetivos de política públicas específicos, se señalan las principales prácticas que fomentan, y se describen acciones y programas específicos.

Metas de política pública.

Se proponen las siguientes metas de política pública para lograr una fertilización más sustentable en Chile

1. Llegar a que el 50 % de las tierras agrícolas usen prácticas de agricultura regenerativa para 2030.
2. Reducir las pérdidas de nutrientes en al menos un 50 % para 2030
3. Reducir el uso de fertilizantes en al menos un 50% para 2030.
4. Reducir el uso de los pesticidas químicos en un 50 % para 2030.
5. Reducir el costo de producción de las prácticas de agricultura regenerativa en el país en un 20% al 2030, generando mercados específicos, prácticas colaborativas y de aquí mayores niveles de escala de producción.
6. Capacitar al 50% de los agricultores en buenas prácticas de agricultura regenerativa para 2030.
7. Realizar un catastro/diagnóstico de las principales características del suelo y prácticas del 50 % de las tierras agrícolas del país para 2030.

8. Construir una base de datos georeferenciada con indicadores y avances en la agricultura regenerativa del 50 % de las tierras agrícolas del país para 2030.
9. Certificar el 100% de la producción regenerativa del país para 2030.
10. Aumentar el precio de los productos agrícolas chilenos en un 20%, considerando su certificación de prácticas sustentables para 2030, con el objetivo de lograr una imagen de marca verde en los mercados internacionales.

Prácticas específicas para fomentar

1. Minimizar la labranza para evitar la perturbación del suelo y la erosión.
2. Uso de cultivos de cobertura y abono verde.
3. Aplicar compost y estiércol animal para restaurar el microbioma de la planta/suelo y aumentar la fertilidad del suelo biológicamente.
4. Uso de rotaciones de cultivos, plantación de cultivos múltiples, cultivos intercalados, cultivos de cobertura de múltiples especies, y plantar bordes con arbustos y árboles.
5. Uso de la inoculación con microorganismos para mejorar los procesos y regulaciones biológicas del suelo.
6. Gestionar los residuos para reutilizarlos como insumos para granjas o cadenas de suministro y reducir los efectos ambientales negativos impactos en el suelo, el aire y el agua.

Acciones y programas específicos

Acción 1. Desarrollar un **Programa de asistencia técnica de buenas prácticas de agricultura regenerativa**, que utilice los recursos y mecanismos ya existentes del ministerio. La asistencia técnica debe considerar el desarrollo de un plan de conservación basado en una evaluación de necesidades y metas de cada agricultor. El plan debe incluir prácticas, sistemas o actividades de conservación y las preocupaciones sobre los recursos identificados en la evaluación.

Acción 2. Desarrollar un **Programa/taller de buenas prácticas de agricultura regenerativa**, apoyado por instituciones de educación universitaria y profesional. El taller debería ser gratuito y debería dictarse de manera permanente, tanto para los beneficiarios de políticas del ministerio como para universidades, institutos profesionales y colegios especializados. Se busca instalar el tema de forma permanente en el país y sector, además de fomentar la investigación local en estos temas.

Acción 3. Implementación de un **Programa que desarrolle pilotos locales, de manera de poder contar con una instancia experimental-demostrativa de los beneficios y desafíos de la agricultura regenerativa** en las distintas comunidades agrícolas del país. Nuevamente, estas instancias deberían buscar apoyo en entidades educacionales y/o de investigación con capacidades en estos temas ya establecidas en el país.

Acción 4. Implementación de un **Programa de asistencia técnica y financiera para el desarrollo de prácticas de manejo/acceso al estiércol (sin digestor)**, lo que resultará en una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Se puede facilitar separación sólida o conversión de lavado a raspado junto con alguna forma de secado o compostaje del estiércol recolectado. Impulsar el almacenamiento y mercados de estiércol en comunidades agrícolas, de forma de permitir valorar dichos residuos para aquellas granjas con ganado, y al mismo tiempo permitir un acceso de manera más costo efectiva a granjas que no cuenten con ganado.

Acción 5. Implementación de un **Programa de asistencia técnica y financiera para el desarrollo de prácticas de pastoreo**. Impulsar la generación de un mercado de pastoreo y el desarrollo de un plan de pastoreo y prácticas ganaderas de apoyo para cada agricultor de zonas locales específicas, utilizando los recursos y políticas actuales con que cuenta el ministerio.

Acción 6. Implementación de un **Programa de asistencia técnica y financiera para mejorar las rotaciones de cultivos, y el manejo de cultivos de cobertura**. Permitiendo por ejemplo, pasar de cultivo de cobertura, a un cultivo de cobertura multi-especie o de raíces profundas). El programa debe asesorar y financiar una parte de pilotos de estas prácticas en las distintas comunidades agrícolas, utilizando los recursos y políticas actuales con que cuenta el ministerio.

Acción 7. Implementación de un **Programa de asistencia técnica y financiera para el desarrollo de actividades de manejo de nutrientes y plagas**. El programa debe asesorar y financiar una parte de pilotos de estas prácticas en las distintas comunidades agrícolas, utilizando los recursos y políticas actuales con que cuenta el ministerio.

Acción 8. Implementación de un **Programa de certificación de productos generados con prácticas de agricultura regenerativa**. Nuevamente, estas instancias deberían buscar apoyo en entidades educacionales y/o de investigación con capacidades en estos temas ya establecidas en el país. Se espera que esta certificación aumente el precio de los productos agrícolas tanto en el mercado local como internacional.

Acción 9. Implementación de un **Programa de catastro/diagnóstico de las principales características del suelo y prácticas agrícolas de las principales comunidades agrícolas del país**. El programa debe considerar el desarrollo y mantención de un Sistema de Información Geográfico público con dicha información.

Acción 10. Implementación de un **Programa que mejore la gestión de residuos para reutilizarlos como insumos para granjas o cadenas de suministro**, y reducir así los efectos ambientales negativos impactos en el suelo, el aire y el agua. El programa debe asesorar y

financiar una parte de pilotos de estas prácticas en las distintas comunidades agrícolas, utilizando los recursos y políticas actuales con que cuenta el ministerio.

7.3 Tipología de cultivos y la política pública de fertilización sostenible en Chile

La política pública en materia de fertilización sostenible debe responder a desafíos comunes como los mencionados y aquellos particulares de cada tipo de cultivo. En la Tabla 7.1 se resumen las características y la problemática encontrada por cada tipología de cultivo, que como ya se describió antes (punto 5), se dividen en forma general en cereales, praderas, frutales y hortalizas. Si bien estos cultivos se dan en casi todas las regiones de Chile, la caracterización se hizo en base a la o las regiones donde se encuentran las mayores superficies y con las especies más cultivadas dentro de cada categoría. A continuación, la Tabla 7.2 plantea políticas específicas por cada tipología de cultivo en materia de fertilización sustentable.

Tabla 7.1. Tipología de cultivos y desafíos de la fertilización sustentable

<p>Cereales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Superficie: 423.033 ha (23% del total de uso agrícola) • Cultivos: Trigo, Avena, Maíz • Regiones principales: Araucanía, Biobío y Ñuble • Tipo de suelo: seco interior, suelos planos de formación aluvial, textura franco-arenosa sin problemas de drenaje. • Tamaño promedio de los predios: 13 ha • Fertilización N - P₂O₅ - K₂O = 77- 43 -18 • Costo de los fertilizantes sobre el total: 20-40% • Pérdidas de fertilizantes: 20-50% • Tipología socioeconómica: el 51% de los agricultores de las regiones señaladas son hombres que pertenecen a tramos de edad por sobre los 50 años. De los propietarios exclusivos del terreno que producen, el 64% son hombres y el 35% son mujeres. El año 2017, la escolaridad promedio en las regiones de La Araucanía, Biobío y Ñuble fue de 10, 10,7, y 9,7 años, respectivamente. Ese mismo año, el porcentaje de la población con pobreza multidimensional era de 28,8%, para Araucanía y del 16,4% para el Biobío, mientras que la Tasa de desocupación porcentual era del 8,4% y 10,6%, respectivamente. • Principales desafíos: suelos con retención de fósforo y tendencia a la acidificación, 	<p>Pradera</p> <ul style="list-style-type: none"> • Superficie: 1.062.352 ha (29% del total de uso agrícola) • Cultivos: combinación de gramíneas y leguminosas como trébol blanco (<i>Trifolium repens</i>), ballica (<i>Lolium perenne</i>) y pasto ovillo (<i>Dactylis glomerata</i>) • Regiones principales: Los Lagos y Los Ríos • Tipo de suelo: suelos planos a levemente ondulados, derivados de cenizas volcánicas recientes, de alta capacidad de retención de agua y buena permeabilidad, ricos en materia orgánica • Tamaño promedio de los predios: 28 ha • Fertilización N - P₂O₅ - K₂O = 39- 42 - 15 • Costo de los fertilizantes sobre el total: 39% • Pérdidas de fertilizantes: 39% en primavera • Tipología socioeconómica: el 48% de los agricultores de las regiones señaladas son hombres que pertenecen a tramos de edad por sobre los 50 años. De los propietarios exclusivos del terreno que producen, el 59,9% son hombres y el 39,5% son mujeres. El año 2017, la escolaridad
--	---

<p>toxicidad de aluminio, gran dependencia y vulnerabilidad por el uso de insumos externos (fertilizante mineral y cal), pérdidas importantes de nitrógeno por lixiviación.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Potencial: Las intervenciones de labranza cero han mostrado ser valiosas en términos de acumulación de materia orgánica, retención de agua y liberación sostenida de nutrientes, si bien no reemplazan por completo los fertilizantes convencionales. El uso de cobertura vegetal de leguminosas reemplaza parcialmente el uso de fertilizante nitrogenado y disminuye las pérdidas por lixiviación. 	<p>promedio en la región de Los Lagos y Los Ríos fue de 10 y 10,1 años, respectivamente. Ese mismo año, el porcentaje de la Población con pobreza multidimensional era de 25,5% y 22,2%, respectivamente, mientras que la Tasa de desocupación porcentual era del 6,5 y 7,3%, respectivamente.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Principales desafíos: suelos con retención de fósforo y tendencia a la acidificación, toxicidad de aluminio. Requiere enmiendas calcáreas. Pérdida de productividad y bajos márgenes de rentabilidad se requiere de soluciones alternativas a la fertilización convencional para el aumento de la producción. ● Potencial: Intervenciones exitosas de ganadería regenerativa muestran aumento en utilidad del orden de 250.000 pesos por Ha con mínima inversión.
--	---

Fuente: Elaboración Propia

<p>Frutales</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Superficie: 379.034 ha (21% del total de uso agrícola) ● Cultivos: Cerezos, Nogal, Vid ● Regiones principales: Valparaíso, RM, O'Higgins, Maule ● Tipo de suelo: fértiles, profundos, bien drenados y sueltos ● Tamaño promedio de los predios: 8 ha ● Fertilización N - P₂O₅ - K₂O = 33- 10 -36 ● Costo de los fertilizantes sobre el total 5-7% ● Pérdidas de fertilizantes: 25 y 34 kg N ha⁻¹ ● Tipología socioeconómica: el 61% de los agricultores de las regiones señaladas son hombres que pertenecen a tramos de edad por sobre los 50 años. De los propietarios exclusivos del terreno que producen, el 73,3% son hombres y el 25,9% son mujeres. El año 2017, la escolaridad promedio en la región de Valparaíso era de 11,3 años, en O'Higgins de 10,1 años, en la RM de 11,8 y en Maule fue de 9,7 años. Ese mismo año, el porcentaje de la Población con pobreza multidimensional era de 19%, para Valparaíso, 18,5% para 	<p>Hortalizas</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Superficie: 62.624 ha (3% del total de uso agrícola) ● Cultivos: Choclo, Lechuga, Cebolla, Tomate ● Regiones principales: Metropolitana, Valparaíso ● Tipo de suelo: suelos planos, texturas medias a moderadamente finas, bien drenados, moderadamente profundos a profundos y de fertilidad natural alta. Derivados de sedimentos aluviales, con variedad de piedras en el perfil. ● Tamaño promedio de los predios: 1 ha ● Fertilización N - P₂O₅ - K₂O = 7- 4 -8 ● Costo de los fertilizantes sobre el total 8- 20% ● Pérdidas de fertilizantes: 370 ± 81 mg l⁻¹ en comparación con AE (163 ± 54 mg l⁻¹) ● Tipología socioeconómica: el 62,9% de los agricultores de la región Metropolitana son hombres que
---	--

<p>O'Higgins, 20% para la RM y 22,5% para Maule, mientras que la Tasa de desocupación porcentual era del 7,5%, en Valparaíso, 6,5% en O'Higgins, 7,4% para la RM y 6,2% en Maule.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principales desafíos: Sobre fertilización por Nitrógeno, que genera lixiviación. Ajustar el plan de fertilización a factores como textura y composición química del suelo (pH, CIC, deficiencias, etc.), método de riego (superficial, goteo o aspersión), la variedad/ portainjerto, edad fisiológica y nivel nutricional en los árboles, periodos de demanda estacional de los nutrientes, localización de las raíces de absorción en el perfil del suelo (superficiales, medias o profundas), el tipo y costo de la fuente a utilizar. • Oportunidades: Siembra de pastos y leguminosas disminuye las pérdidas de nitrógeno, mulching de residuos de poda puede aportar nutrientes. 	<p>pertenece a tramos de edad por sobre los 50 años. De los propietarios exclusivos del terreno que producen, el 76,9% son hombres y el 22,7% son mujeres. El año 2017, la escolaridad promedio en la región Metropolitana fue de 11,8. Ese mismo año, el porcentaje de la Población con pobreza multidimensional fue del 20%, mientras que la Tasa de desocupación porcentual fue del 7,4% para la RM</p> <ul style="list-style-type: none"> • Principales desafíos: alza de costos de insumos, gran dependencia al uso de insumos externos (fertilizante mineral y cal) • Potencial: uso de leguminosas para fijar nitrógeno, aplicaciones compost en dosis adecuada disminuye pérdidas de carbono, el Intercropping con tomate ha mostrado buenos resultados.
---	--

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7.2. Propuestas de política pública según tipología de productores en Chile

Tipo de cultivo	Problemática	Propuesta
Cereales	<p>Principales superficies en suelos con limitaciones químicas (fijación de P, suelos ácidos).</p> <p>Grandes superficies destinadas al monocultivo</p> <p>Exceso de disturbación del suelo</p> <p>Dependencia de insumos externos</p> <p>Quema de rastrojos</p> <p>Alto consumo de fertilizantes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivar prácticas de mínima labranza que disminuyen la pérdida de MO y de actividad biológica del suelo • Incentivar el uso del análisis de suelos para hacer el cálculo de las de necesidades de nutrientes • Incentivar el uso de rotación de cultivos incluyendo especies fijadoras de N (leguminosas) • Prohibir el uso de quemas agrícolas y estimular la reincorporación de rastrojos

	<p>minerales y alta lixiviación de N</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Incentivar la incorporación de estiércol y otros tipos de materia orgánica para mejorar la salud del suelo ● Dirigir recursos para entregar servicios o adquirir maquinaria especializada para prácticas de conservación (arado de cero labranza, etc) ● Implementar obras de conservación (terrazas, canales de riego, tranques) ● Capacitar en técnicas de aplicación de fertilizantes, especialmente en lo que respecta a la época de aplicación.
Praderas	<p>Los suelos donde se establecen praderas son derivados de cenizas volcánicas, que tienen limitaciones químicas (alta retención de P, pH ácido, toxicidad del aluminio)</p> <p>En sistemas de pastoreo generalmente se producen problemas derivados del sobre pastoreo, como son lixiviación de nutrientes y compactación del suelo</p> <p>Políticas de recuperación de suelos orientadas a la entrega de insumos minerales más que a la reducción de pérdidas y recuperación de la salud del suelo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Integrar la ganadería al sistema a través de un manejo holístico o pastoreo planificado ● Incentivar sistemas con mínima labranza, suelos cubiertos y reincorporación de residuos y materia orgánica ● Incentivar la diversificación de las especies en la pradera, incluyendo especies que fijen nitrógeno ● Incorporar terrenos que actualmente no se usan para la ganadería para hacer manejo de agricultura regenerativa ● Evaluar los efectos ambientales de las políticas que entregan insumos minerales y enfocar los esfuerzos en estrategias de conservación de suelos imitando a la naturaleza

		<ul style="list-style-type: none"> ● Incentivar el uso del análisis de suelos para hacer el cálculo de las de necesidades de nutrientes ● Prohibir el uso de quemas agrícolas y estimular la reincorporación de rastrojos ● Incentivar la incorporación de estiércol y otros tipos de materia orgánica para mejorar la salud del suelo ● Dirigir recursos para establecer prácticas regenerativas, como cercos, fuentes de agua.
Frutales	<p>Poca biodiversidad en las plantaciones</p> <p>Altos costos por insumos externos</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Incentivar el uso de coberturas vegetales en las entre-hileras para aumentar la biodiversidad ● Incentivar el uso del análisis de suelos para hacer el cálculo de las de necesidades de nutrientes ● Prohibir el uso de quemas agrícolas y estimular la reincorporación de rastrojos ● Incentivar la incorporación de materia orgánica para mejorar la salud del suelo ● Implementar tecnología para mejor uso de recursos (riego tecnificado) ● Capacitar en técnicas de aplicación de fertilizantes, especialmente en lo que respecta a la dosis y época de aplicación.
Hortalizas	Aumento de costos de producción por uso de insumos externos	<ul style="list-style-type: none"> ● Incentivar la producción agroecológica mediante programas de apoyo a la transición

		<ul style="list-style-type: none"> ● Incentivar el uso de compost y otras enmiendas orgánicas para hacer un mejor uso de los recursos y disminuir la dependencia de insumos externos ● Incentivar el uso del análisis de suelos para hacer el cálculo de las de necesidades de nutrientes ● Incentivar el uso de rotación de cultivos incluyendo especies fijadoras de N (leguminosas) y de la diversificación ● Prohibir el uso de quemas agrícolas y estimular la reincorporación de rastrojos ● Dirigir recursos para entregar servicios o adquirir maquinaria especializada para prácticas de conservación (chipeadora, volteadora de compost, etc) ● Capacitar en técnicas de aplicación de fertilizantes, especialmente en lo que respecta a la época de aplicación. ● Crear sistema de certificación de productos amigables con el medio ambiente.
--	--	--

Fuente: Elaboración Propia

7.4 Propuestas transversales de política pública para la fertilización sostenible en Chile

Por último, en la tabla 7.3 se desarrollan de manera detallada las propuestas transversales que debieran ser consideradas en la elaboración de políticas públicas para una fertilización sostenible en materia de manejo de la información, programas de educación, instrumentos a ser revisados, prácticas sustentables, formas de medición, llegada al consumidor e institucionalidad.

Tabla 7.3. Propuestas transversales de política para la fertilización sostenible

Problemática		Propuestas
INFORMACIÓN	<p>El diseño e implementación de iniciativas públicas o privadas que fomenten el uso de fertilizantes orgánicos puede requerir niveles de información previa y de capacidades altas o muy específicas, lo que hará más complejo y costoso implementarla de manera correcta.</p> <p>Falta de información y educación en prácticas de agroecología, ganadería regenerativa, cero labranza.</p> <p>Se requiere información oportuna para la toma de decisiones en predio según estado del mismo</p> <p>Existen varias visiones de cuál es la forma correcta de manejar un predio y así mismo una gran diferencia en la entrega de conocimientos, marketing, asesorías gratis y grupos de interés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar el uso de cubiertas vegetales, rotación de cultivos, abonos verdes. • Mejorar la información para el productor con programas de cálculo que faciliten el cálculo del balance de nutrientes adicionados por enmiendas orgánicas y por la acumulación de MO en el suelo. • De la mano con lo anterior generar una Red de Datos de Sostenibilidad Agrícola • Repositorio de casos de éxito de transición a la fertilización sostenible (costos, tiempos, testimonios) • Incentivar la concurrencia de equipos técnicos, agricultores, agentes de ventas de productos fertilizantes y otros involucrados para conformación de mesas de trabajo y difusión.
EDUCACIÓN	<p>Se educa a productores pequeños en tecnologías alternativas pero no se llega consistentemente a los asesores y futuros profesionales de la agronomía, quienes siguen operando en la lógica convencional</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Difundir las prácticas sostenibles a través de extensión y transferencia tecnológica, en parcelas demostrativas o Laboratorios vivos de agroecología (se recomienda una por región por tipología de cultivo. Los pilotos deben ser monitoreados y comparados sobre la misma base de indicadores.

Problemática		Propuestas
		<ul style="list-style-type: none"> • Educar a los asesores y trabajar con Universidades para que entreguen conocimientos de fertilización sostenible, ganadería regenerativa y agroecología. • Difundir información en las escuelas rurales y aquellas de tipo técnico especializadas en agricultura.
INSTRUMENTOS	<p>Existen subsidios que son nocivos para el medio ambiente, especialmente los que entregan insumos como fertilizantes minerales nitrogenados a agricultores. En algunos casos la transición es lenta y los agricultores necesitan apoyo permanente, por tanto, se deben considerar apoyos de largo alcance.</p> <p>En algunos casos la inversión inicial es alta (maquinaria para cero labranza o chipeadora) y requiere apoyo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y orientar los programas de apoyo del Estado hacia iniciativas de Conservación • Re-enfocar los subsidios actuales para mejorar infraestructura y tecnología en vez de entregar insumos (ej. en vez del uso de plástico para mulch, invertir en una chipeadora; o en vez de subsidiar la urea, invertir en una volteadora de compost, aplicación de guano, construcción de cercos para pastoreo planificado, maquinaria especializada) • Determinar límites de aplicación de fertilizantes (actualmente se puede contaminar sin ninguna repercusión)
TIPO DE PRÁCTICAS	<p>Algunas prácticas son difíciles de evaluar económicamente por lo que el SIRSD-S no las incluye (justificar mano de obra, factura de compost, etc) y producen trabas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajar en políticas públicas para darle valor y resguardo a la salud del suelo • Mayor énfasis en la eliminación de la práctica de quemas agrícolas

Problemática		Propuestas
	<p>administrativas que son completamente anti-ecológicas.</p> <p>Cuando las prácticas evitan o retrasan la generación de beneficios, ya sea para el agricultor u otros actores, debido a que interfiere o impide una actividad o bloquea alguna fuente de ingreso diferente, la adopción de una práctica sostenible será menos rentable o no será factible de implementar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivar el uso de desechos orgánicos de otros rubros o industrias para hacer compost y utilizarlos en la agricultura • Evitar los suelos desnudos • Invertir en obras de conservación de suelos (terrazas) • Fomentar la diversidad de cultivos (distintas especies, cercos vivos, corredores biológicos) • Utilizar enmiendas de suelo (compost, abonos orgánicos, etc.) • Integrar el uso de animales cuando se pueda.
MEDICIÓN	<p>Las metas se evalúan por \$\$\$ entregado y no se mide adopción de prácticas como reciclaje, elaboración de compost, producción de biofertilizantes, etc. entonces todo eso va quedando fuera del alcance del programa.</p> <p>A veces quienes asumen los costos no son los mismos que reciben los beneficios, y también muchos agricultores no tienen suficientes recursos para asumir los costos, por lo que se crearán efectos negativos en términos distributivos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Entender que la sostenibilidad se mide más allá del ámbito económico y que hay que avanzar en los ámbitos ambientales y sociales • Considerar en las evaluaciones ex ante los efectos distributivos de las iniciativas
CONSUMIDOR	Falta educar al consumidor en los distintos conceptos (cultivo hidropónico, orgánico, híbrido,	<ul style="list-style-type: none"> • Labores de difusión hacia la ciudadanía • Educación al consumidor en

Problemática		Propuestas
	<p>transgénico)</p> <p>Falta potenciar la receptividad de mercado local, dado que aún no existe reconocimiento o diferenciación de mercado para los productos derivados de la agricultura orgánica, y con ello la disposición a pagar por productos de ese tipo es baja</p>	<p>beneficios de los alimentos saludables y sustentables</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Incluir en la educación escolar temas circularidad y sostenibilidad de los alimentos para crear conciencia ● Promoción de productos orgánicos para mercados internacionales que pagan mayores precios a través de instituciones como ProChile, por ejemplo
Gobernanza e institucionalidad	<p>Cuando la iniciativa no incluye o es incompatible con medidas que controlan o transparentan las decisiones de la autoridad, y si no puede consensuar los intereses de los potencialmente afectados, entonces la iniciativa no tendrá el suficiente apoyo</p> <p>Debe abogarse por una transición gradual hacia políticas e iniciativas que propendan hacia las prácticas sostenibles respecto de la situación actual, ya que pueden existir conflicto con diversos grupos de interés, y además podría no existir disposición de las autoridades a integrar conceptos nuevos, o de implementar compromisos preestablecidos o declarados que incentiven las prácticas sostenibles.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Trabajo conjunto permanente de las instituciones estatales con los actores relevantes (agricultores, centros de investigación, universidades, privados, etc.) ● Monitoreo y evaluación de políticas y programas relativos a las prácticas sostenibles y agricultura ● Establecer mecanismos de coherencia y coordinación de las políticas sociales

Fuente: Elaboración Propia

8. Referencias bibliográficas

- 4p1000 (2022). Iniciativa 4 por 1000. <https://4p1000.org/?lang=es>
- Amadeo, Kimberly, 2022. How Farm Subsidies Affect the U.S. Economy (<https://www.thebalancemoney.com/farm-subsidies-4173885>)
- American Society of Agronomy (1989): Decisions reached on sustainable agriculture. Agron. News, January, p. 15
- ANDI (2013) Política Nacional para la gestión Integral de Suelo en Colombia <https://www.andi.com.co/Uploads/Pol%C3%ADtica%20GIAS.pdf>
- Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., López-Felices, B., & del Moral-Torres, F. (2020). Barriers and Facilitators for Adopting Sustainable Soil Management Practices in Mediterranean Olive Groves. *Agronomy*, 10(4), 506.
- Bailey-Serres J, Parker JE, Ainsworth EA, Oldroyd GED, Schroeder JI. Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*. 2019 Nov;575(7781):109-118. doi: 10.1038/s41586-019-1679-0. Epub 2019 Nov 6. PMID: 31695205; PMCID: PMC7024682.
- Beddington, J. (2010). Food security: contributions from science to a new and greener revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1537), 61-71.
- Berriet-Sollic, M., Diallo, A., Gendre, C., Larmet, V., Lépicié, D., & Védrine, L. (2022). The National Rural Development Programme in France: How Does.
- Bock, A., Bontoux, L. and Rudkin, J. (2022) Concepts for a sustainable EU food system, EUR 30894 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, ISBN 978-92-76-43727-7 (online), doi:10.2760/381319 (online), JRC126575.
- Bonomelli, C., & Artacho, P. (2009, November). Nitrogen Application in a Two-Year-Old Cherry Orchard on Gisela® 6: Effects on Biomass Accumulation, Nitrogen Uptake and Partitioning. In VI International Cherry Symposium 1020 (pp. 315-322).
- Boza, S. Sofía Maruja Cortés, Carmen Prieto, Tomás Muñoz, 2018. Caracterización y actitudes de los horticultores de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. Volumen 36, N° 4. Páginas 00-00 IDESIA (Chile)
- Bustamante, M., Muñoz, A., Romero, I., Osorio, P., Mánquez, S., Arriola, R., ... & Ribera-Fonseca, A. (2021). Impact of potassium pre-harvest applications on fruit quality and condition of sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivated under plastic covers in southern Chile orchards. *Plants*, 10(12), 2778.
- Cai, J., Xia, X., Chen, H., Wang, T., & Zhang, H. (2018). Decomposition of fertilizer use intensity and its environmental risk in China's grain production process. *Sustainability*, 10(2), 498.
- Campillo, R., Jobet, C., & Undurraga, P. (2010). Effects of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-INIA in Andisols of Southern Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 70(1), 122-131.
- Ceres. Proyecto Conicyt investiga la lixiviación de nitrato con asociación de cultivos diversificados. <https://www.centroceres.cl/2019/12/09/proyecto-conicyt-id-investiga-lixiviacion-de-nitrato-con-asociacion-de-cultivos-diversificados/>
- Cerf, M., Guillot, M. N., & Olry, P. (2011). Acting as a change agent in supporting sustainable agriculture: how to cope with new professional situations?. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 17(1), 7-19.
- Chen, W., & Holden, N. M. (2018). Bridging environmental and financial cost of dairy production: A case study of Irish agricultural policy. *Science of the Total Environment*, 615, 597-607.

- Chilenut, 2010. Manual Producción de nueces de nogal Dirigido a profesionales y técnicos del área agropecuaria Registro de Propiedad Intelectual N° 194.181 ISBN N° 978-956-328-062-3 Santiago, Chile Agosto de 2010.
- CIREN, 2020. GUÍA DE PRODUCCIÓN DE CERESO. Publicación CIREN N°222. Santiago, Chile: CIREN
- Colección de Legislación Colombiana. Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo
https://xperta.legis.co/visor/legcol/legcol_0766182a690b4167901d3fa801d099f9/coleccion-de-legislacion-colombiana/iv.-pacto-por-la-sostenibilidad%3a-producir-conservando-y-conservar-produciendo. Visitada Octubre 2022
- Collao Barrios, G. C. (2008). Contaminación de las Aguas Subterráneas por Nitratos Provenientes de la
- Comisión Nacional de Riego (CNR), 2014. Estudio Básico Diagnóstico Perfil Agroeconómico Mediante Estándares de Producción, en <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/handle/20.500.12650/70531>
- Concepcion.http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3586/4/Tesis_Efecto_del_pretratamiento_sobre%20Image.Marked.pdf
- Conferencia Regional de la FAO para Europa, 33.º período de sesiones. Implicaciones para la seguridad alimentaria y la agricultura en el mundo, incluidos los precios mundiales de los alimentos, de la agresión de la Federación de Rusia contra Ucrania, Łódź (Polonia), 10-13 de mayo de 2022
- de Kraker, Jeltsje, et al. "Decentralized valorization of residual flows as an alternative to the traditional urban waste management system: The case of peñalolén in santiago de chile." Sustainability 11.22 (2019): 6206.
- Demaret, R y Canales, C., 2020. Manual Cultivo del Maíz para ensilaje.
- Demir, Z. (2020). Quantifying some physical properties and organic matter of soils under different management systems in cherry orchards. Eurasian Journal of Soil Science, 9(3), 208-221. Europe. Sustainability, 10(3), 794.
- European Commission (2022 b) Inception Impact Assessment. Proposal for a Regulation of the European Parliament and the Council. Sustainable Food System Framework Initiative https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-02/f2f_legis_ia_fsfs_5902055.pdf
- European Commission 2022 c. Legislative framework for sustainable food systems European Commission. Food Safety. From Farm to Fork Strategy. https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en#documents. Visited September 22 2022
- European Union (2020). Farm to Fork Strategy. For a fair, healthy and environmentally-friendly food system. https://food.ec.europa.eu/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf
- Faiguenbaum, H. 2019 en <https://coagra.cl/desafios-del-maiz/>
- Fakayode, S.B., R.D. Babatunde and R. Ajao (2008). "Productivity Analysis of Cassava-Based Production Systems in the Guinea Savannah: Case Study of Kwara State, Nigeria". American Eurasian Journal of Scientific Research. 3: 33-39.
- FAO and ITPS, 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR)—Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
- FAO, 2002. Los fertilizantes y su uso (Manual).
- Fernandez, Gabriela (2019) EFECTO DEL PRETRATAMIENTO SOBRE LA LIXIVIACIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO DE BIOSÓLIDOS PROVENIENTES DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA, EN UN SUELO FRANCO-LIMOSO. Tesis para optar a Ingeniero Ambiental. Universidad de

- Ghaley, B. B., Rusu, T., Sandén, T., Spiegel, H., Menta, C., Visioli, G., ... & Henriksen, C. B. (2018). Assessment of benefits of conservation agriculture on soil functions in arable production systems in
- González-Miranda, Isabel, Vidal, Kooichi, & Peñaloza, Patricia. (2021). Comparing nitrate leaching in lettuce crops cultivated under agroecological, transition, and conventional agricultural management in central Chile. *Chilean journal of agricultural research*, 81(2), 210-219. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392021000200210>
- Gonzalez, P. 2019. Consumo y mercado de los fertilizantes en https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27086/2/Consumo_y_mercado_de_los_fertilizantes.pdf
- Gu B, Ju X, Chang J, Ge Y, Vitousek P M. 2015. Integrated reactive nitrogen budgets and future trends in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112, 8792–8797
- Hill, S. B., & MacRae, R. J. (1996). Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of sustainable agriculture*, 7(1), 81-87.
- Hirzel, J., Pedreros, A., & Cordero, K. (2011). Effect of nitrogen rates and split nitrogen fertilization on grain yield and its components in flooded rice. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 71(3), 437.
<http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>.
- Hussain, I., & Perera, L. R. (2004). Improving agricultural productivity for poverty alleviation through integrated service provision with public-private sector partnerships: Examples and Issues (Vol. 66). IWMI.
- Huygens, D., Roobroeck, D., Cosyn, L., Salazar, F., Godoy, R., & Boeckx, P. (2011). Microbial nitrogen dynamics in south central Chilean agricultural and forest ecosystems located on an Andisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 89(2), 175-187.
- Ibarrola-Rivas M, Nonhebel S. 2016. Variations in the use of resources for food: Land, nitrogen fertilizer and food nexus. *Sustainability*, 8, 1322.
- INE, 2022. Estadísticas productivas en stat.ine.cl
- Infante, A. 2015. LOS FAROS AGROECOLÓGICOS DEFINICIÓN Y CARACTERIZACIÓN A PARTIR DE UNA EXPERIENCIA DE RECONSTRUCCIÓN RURAL EN EL SECANO DE CHILE CENTRAL. *Agroecología* 10(1): 73-78, 2015
- INIA, 2017a. Manual del cultivo de Uva de Mesa. Boletín INIA N° 383 ISSN 0717 – 4829
- INIA, 2017b. Manual de producción de Lechuga. Boletín INIA N° 374 ISSN 0717 – 4829
- INIA, 2017c. Manual de producción de cebolla. Boletín INIA N° 380 ISSN 0717 – 4829
- Iofrida, N.; De Luca, A.I.; Gulisano, G.; Strano, A. An application of Q-methodology to Mediterranean olive production—Stakeholders' understanding of sustainability issues. *Agric. Syst.* 2018, 162, 46–55.
- IPBES, 2018. The IPBES assessment report on land degradation and restoration. Montanarella, L., Scholes, R., and Brainich, A. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 744 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3237392>
- Irurtia, C., Rivero, E., & Michelena, R. (2004). Pérdidas de nutrientes por lixiviación y escurrimiento en siembra directa. *CIREN* <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/29116>
- Jayet, P. A., & Petel, E. (2015). Economic valuation of the nitrogen content of urban organic residue by the agricultural sector. *Ecological Economics*, 120, 272-281.

- Jayet, P. A., & Petel, E. (2015). Economic valuation of the nitrogen content of urban organic residue by the agricultural sector. *Ecological Economics*, 120, 272-281.
- Jie, C., Jing-zhang, C., Man-zhi, T. et al. 2002. Soil degradation: a global problem endangering sustainable development. *J. Geogr. Sci* 12, 243–252. <https://doi.org/10.1007/BF02837480>
- Jobet, C. et al, 2013. Recomendaciones Técnicas Cultivo de Trigo en la Región de la Araucanía. INIA Carillanca, Informativo No63 en <http://puntoganadero.cl/imagenes/upload/5cc0843901ab0.pdf>
- Kassie, M., Jaleta, M., Shiferaw, B., Mmbando, F., & Mekuria, M. (2013). Adoption of interrelated sustainable agricultural practices in smallholder systems: Evidence from rural Tanzania. *Technological forecasting and social change*, 80(3), 525-540.
- King, A. Technology: The Future of Agriculture. *Nature* 544, S21–S23 (2017). <https://doi.org/10.1038/544S21a>
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. doi:10.1126/science.1097396
- Lampkin, N., Schwarz, G., & Bellon, S. (2021). Policies for agroecology in Europe, building on experiences in France, Germany and the United Kingdom. *Journal of sustainable and organic agricultural systems*, 70(2), 103-112.
- Larraín, R., Mansky, V. Mayol, M y Melo, O. 2022. Cambios Económicos y Productivos de la Ganadería Regenerativa en Chile. Informe FIA
- Leiva, C. et al, 2021. Guía productiva de praderas en las provincias de Osorno y Llanquihue. Publicación CIREN N°224 Registro de Propiedad Intelectual 2021-A-5521 ISBN 978-956-9365-39-3
- Lemus, G., & Valenzuela, J. (2001, June). Survey of the Chilean sweet cherry industry. In *IV International Cherry Symposium* 667 (pp. 379-388).
- Li, H., Yang, Z., Dai, M., Diao, X., Dai, S., Fang, T., & Dong, X. (2020). Input of Cd from agriculture phosphate fertilizer application in China during 2006–2016. *Science of the Total Environment*, 698, 134149.
- Liu, T., Bruins, R. J., & Heberling, M. T. (2018). Factors influencing farmers' adoption of best management practices: A review and synthesis. *Sustainability*, 10(2), 432.
- Lorenz, K., & Lal, R. (2016). Environmental impact of organic agriculture. *Advances in Agronomy*, 139, 99-152.
- Lyu, Y., Yang, X., Pan, H., Zhang, X., Cao, H., Ulgiati, S., ... & Xiao, Y. (2021). Impact of fertilization schemes with different ratios of urea to controlled release nitrogen fertilizer on environmental sustainability, nitrogen use efficiency and economic benefit of rice production: A study case from Southwest China. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126198.
- Macintosh et al. 2019 Transforming soil phosphorus fertility management strategies to support the delivery of multiple ecosystem services from agricultural systems. *Science of the total environment*.
- Mandic, V., Krnjaja, V., Tomic, Z., Bijelic, Z., Simic, A., Ruzic Muslic, D., & Gogic, M. (2015). Nitrogen fertilizer influence on wheat yield and use efficiency under different environmental conditions. *Chilean journal of agricultural research*, 75(1), 92-97.

- Meier, M. S., Stoessel, F., Jungbluth, N., Juraske, R., Schader, C., & Stolze, M. (2015). Environmental impacts of organic and conventional agricultural products—Are the differences captured by lifecycle assessment?. *Journal of environmental management*, 149, 193-208.
- Melchior, I. C., & Newig, J. (2021). Governing transition towards sustainable agriculture—Taking stock of an emerging field of research. *Sustainability*, 13(2), 528.
- Meng, F., Qiao, Y., Wu, W., Smith, P., & Scott, S. (2017). Environmental impacts and production performances of organic agriculture in China: A monetary valuation. *Journal of environmental management*, 188, 49-57.
- Ministerio del Medio Ambiente, 2020. INFORME DEL ESTADO DEL MEDIO AMBIENTE
- Molina, M., Aburto, F., Calderón, R., Cazanga, M., & Escudey, M. (2009). Trace element composition of selected fertilizers used in Chile: phosphorus fertilizers as a source of long-term soil contamination. *Soil and Sediment Contamination*, 18(4), 497-511.
- Morales, P. 2020 en <https://mundoagro.cl/origen-del-exito-guia-completa-para-la-plantacion-de-cerezos/>
- Muñoz, C., Paulino, L., Monreal, C., & Zagal, E. (2010). Greenhouse gas (CO₂ and N₂O) emissions from soils: a review. *Chilean journal of agricultural research*, 70(3), 485-497.
- Nissen, J y García, R.(1997) EFECTO DEL USO DE UNA POLIACRILAMIDA EN LA LIXIVIACIÓN DE NITRÓGENO Y DE POTASIO SOBRE TRIGO (*Triticum sp.*), EN UN SUELO VOLCÁNICO Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Agrarias Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos Casilla 567, Valdivia, Chile *Agro Sur Vol.25 (2) 196-202* 1997 DOI: 10.4206/agrosur.1997.v25n2-07
- Núñez, P., Demanet, R., Misselbrook, T., Alfaro, M., & Mora, M. D. L. L. (2010). Nitrogen losses under different cattle grazing frequencies and intensities in a volcanic soil of southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(2), 237-250.
- Nutrient Stewardship, 4R POCKET GUIDE en <https://nutrientstewardship.org/4r-pocket-guide/>
- ODEPA, 2022a. Resultados preliminares CENSO 2021
- ODEPA, 2010. Estudio de Diagnóstico de Mercado y Estudio de la Cadena de Comercialización de Fertilizantes en Chile
- ODEPA, 2016. Protocolo de Agricultura sostenible
- ODEPA, 2018 <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2018/10/Estudios-de-Poli%CC%81tica-Rural-Chile-OCDE.pdf>
- ODEPA, 2022b. Estadísticas productivas en <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>
- ONU y FAO 2021. “A multi-billion-dollar opportunity – Repurposing agricultural support to transform food systems” Report
- Ortega, R. 2016. Análisis de suelo revisitado: Una herramienta esencial para el diagnóstico nutricional y el manejo integrado de la nutrición en <https://www.redagricola.com/cl/analisis-suelo-revisitado-una-herramienta-esencial-diagnostico-nutricional-manejo-integrado-la-nutricion/>
- Ortega, R. A., Muñoz, R. E., Acosta, L. E., & Riquelme, J. S. (2009, July). Optimization model for variable rate application in extensive crops in Chile: the effects of fertilizer distribution within the field. In *Proceedings of the 7th EFITA Conference*, Wageningen (pp. 6-9).
- Ovalle M. Carlos (Ed.) 2020. Cubiertas vegetales: una herramienta fundamental para el manejo sostenible del suelo en huertos frutales, viñedos y hortalizas”. *Boletín INIA N° 425*, 106 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. La Cruz, Región de Valparaíso. Chile.
- Ovalle y Quiroz (Eds), 2021. Manual de prácticas agrícolas para una agricultura sostenible. *Boletín INIA No 426- Instituto de Investigaciones Agropecuarias*

- Patzel, N., Sticher, H., & Karlen, D. L. (2000). Soil fertility—phenomenon and concept. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163(2), 129-142.
- PENALOZA, E. (2017) Fertilizantes nitrogenados; principal fuente de emisión de óxido nitroso en la agricultura y estrategias para mitigar su impacto <https://phloem.cl/fertilizantes-nitrogenados-principal-fuente-de-emision-de-oxido-nitroso-en-la-agricultura-y-estrategias-para-mitigar-su-impacto/>
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2014). Sustainable intensification in agricultural systems. *Annals of botany*, 114(8), 1571-1596.
- Rahman K M A, Zhang D. 2018. Effects of fertilizer broadcasting on the excessive use of inorganic fertilizers and environmental sustainability. *Sustainability*, 10, 759.
- Ramirez, D. Proyecto CONICYT I+D investiga lixiviación de nitratos con asociación de cultivos diversificados
- Red Agrícola (2022) Cómo enfrentar la creciente salinidad del agua en los huertos de palto de alto rendimiento. <https://www.redagricola.com/cl/manejo-de-sales-para-huertos-de-palto-de-alto-rendimiento/>
- Rivas, R. 2010. Recomendaciones técnicas del cultivo de la avena en la Región de la Araucanía para AFC. Informativo No38 INIA Carillanca en <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/4339>
- Rodriguez, J. M., Molnar, J. J., Fazio, R. A., Sydnor, E., & Lowe, M. J. (2009). Barriers to adoption of sustainable agriculture practices: Change agent perspectives. *Renewable agriculture and food systems*, 24(1), 60-71.
- Roederer-Rynning, C. (2014). Farm conflict in France and the Europeanisation of agricultural policy. *West European Politics*, 25(3), 105-124.
- Rojas, G., Fernandez, E., Whitney, C., Luedeling, E., & Cuneo, I. F. (2021). Adapting sweet cherry orchards to extreme weather events—Decision Analysis in support of farmers' investments in Central Chile. *Agricultural Systems*, 187, 103031.
- Saavedra, G. 2014. El Cultivo de Maíz Choclero y Dulce. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín N° 303. 146p.
- San Martino, L., San Martino, S., & Lavado, R. S. (2014). Soil nitrate profiles and the risk of nitrate leaching in sweet cherry orchards subjected to different management schemes. *International Journal of fruit science*, 14(4), 424-436.
- Schreefel, L., de Boer, I. J. M., Timler, C. J., Groot, J. C. J., Zwetsloot, M. J., Creamer, R. E., ... & Schulte, R. P. O. (2022). How to make regenerative practices work on the farm: A modelling framework. *Agricultural Systems*, 198, 103371.
- Science of the Total Environment 649 (2019) 90–98
- SINIA Gei sector agrícola Chile <https://snichile.mma.gob.cl/principales-resultados/sector-agricultura-silvicultura-y-otros-usos-de-la-tierra/>
- Smil, V. (1999). Long-range perspectives on inorganic fertilizers in global agriculture, 1999 Travis P Hignett lecture. Alabama, USA.
- SNI Chile <https://snichile.mma.gob.cl/sector-agricultura-silvicultura-y-otros-usos-de-la-tierra/>
- Stringer, L. C., Fraser, E. D., Harris, D., Lyon, C., Pereira, L., Ward, C. F., & Simelton, E. (2020). Adaptation and development pathways for different types of farmers. *Environmental Science & Policy*, 104, 174-189.
- Sutton, M. A., & Bleeker, A. (2013). The shape of nitrogen to come. *Nature*, 494(7438), 435-437.
- Tittonell P, El Mujtar V, Felix G, Kebede Y, Laborda L, Luján Soto R and de Vente J (2022) Regenerative agriculture—agroecology without politics? *Front. Sustain. Food Syst.* 6:844261. doi: 10.3389/fsufs.2022.844261

- Universidad de Chile, 2018. Informe país estado del medio ambiente en Chile 2018, Instituto de Asuntos Públicos, Centro de Análisis de Políticas Públicas en <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2019/12/Informe-pais-estado-del-medio-ambiente-en-chile-2018.pdf>
- Utilización de Purines de Cerdo en la Agricultura.
- Valarini, P. J., Curaqueo, G., Seguel, A., Manzano, K., Rubio, R., Cornejo, P., & Borie, F. (2009). Effect of compost application on some properties of a volcanic soil from central south Chile.
- Van Der Ploeg, J. D., & Marsden, T. (2008). *Unfolding webs: the dynamics of regional rural development*. Royal van Gorcum.
- Van Ittersum, M. Kenneth G. Cassman, Patricio Grassini, Joost Wolf, Pablo Tittonell, Zvi Hochman, Yield gap analysis with local to global relevance—A review, *Field Crops Research*, Volume 143, 2013, Pages 4-17, ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009>.
- Vereecken, H., Schnepf, A., Hopmans, J. W., Javaux, M., Or, D., Roose, T., ... & Young, I. M. (2016). Modeling soil processes: Review, key challenges, and new perspectives. *Vadose zone journal*, 15(5).
- Villablanca F., Alexis y Villavicencio P., Abelardo (May 2010) Los fertilizantes en la agricultura [en línea]. Arica: Informativo INIA Ururi. no. 16. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4355> (Consultado: 28 agosto 2022)
- Wang Z, Zhang H, Lu X, Wang M, Chu Q, Wen X, Chen F. 2016. Lowering carbon footprint of winter wheat by improving management practices in North China Plain. *Journal of Cleaner Production*, 112, 149–157
- Villena, Marcelo et al Estudio de adaptación a la restricción de recursos hídricos en Chile. Informe final. Consultoría ODEPA.
- Wen, A., Keira L. Havens, Sarah E. Bloch, Neal Shah, Douglas A. Higgins, Austin G. Davis-Richardson, Judee Sharon, Farzaneh Rezaei, Mahsa Mohiti-Asli, Allison Johnson, Gabriel Abud, Jean-Michel Ane, Junko Maeda, Valentina Infante, Shayin S. Gottlieb, James G. Lorigan, Lorena Williams, Alana Horton, Megan McKellar, Dominic Soriano, Zoe Caron, Hannah Elzinga, Ashley Graham, Rosemary Clark, San-Ming Mak, Laura Stupin, Alice Robinson, Natalie Hubbard, Richard Broglie, Alvin Tamsir, and Karsten Temme. Enabling Biological Nitrogen Fixation for Cereal Crops in Fertilized Fields, *ACS Synthetic Biology* 2021 10 (12), 3264-3277, DOI: 10.1021/acssynbio.1c00049

ANEXO 1 . ENTREVISTAS

Ganadería Regenerativa i

Isidora Molina, socia fundadora de Efecto Manada, empresa dedicada a la ganadería regenerativa que utiliza el manejo holístico del pastoreo, reduciendo costos y mejorando la producción de los predios. Los animales bien manejados pueden mejorar la productividad de los suelos, disminuir los riesgos de incendios y contribuir a aumentar la biodiversidad de los ecosistemas.

¿Cuál es tu percepción sobre el manejo tradicional de praderas y el uso de fertilizantes?

R: En los sistemas de secano de la zona central la fertilización es muy acotada para cultivos suplementarios de invierno, pero en los sistemas más intensivos más al sur la fertilización (NPK) es excesiva, normalmente una fertilización para el establecimiento de la pradera y luego de mantención todos los años (en primavera , con N). Estas praderas van rotando cada 5 años, lo que significa que un 20% del campo está siendo “destruido” cada año para mejorar o restablecer las praderas. Pero estas nuevas praderas generalmente son de pocas especies, como una mezcla de gramínea y leguminosa (ejemplo: ballica + trébol rosado) lo que resulta en una biodiversidad muy pobre. Sumado a esto, para favorecer el crecimiento de estas especies que supuestamente tienen mayor valor nutricional se aplican herbicidas.

¿Cómo ha sido la transición en los lugares donde han trabajado?

R: La transición es abrupta, normalmente de un día para otro. Esto se hace reemplazando los insumos por planificaciones de pastoreo. En algunos campos han aplicado insumos como roca fosfórica o guano de pollo (pellet seco y en polvo) pero no es lo común. En el tema económico, por concepto de restablecimiento de praderas hay una disminución de un 35% de costos anuales en insumos (combustibles y fertilizantes) y conservación de forraje. Se trata de hacer un sistema lo más eficiente posible, donde la rentabilidad sea la guía para tomar estas decisiones, además de los factores ambientales y sociales. En general, en el secano central donde es bajo el uso de insumos, la rentabilidad se ve reflejada en un aumento de la productividad ya que aumenta la capacidad de carga, mientras que en hacia el sur en sistemas más intensivos la rentabilidad aumenta por la disminución de los costos. En estos últimos lo que se ha observado es que la productividad baja primero y luego se equilibra y se mantiene. En algunos sistemas estamos trabajando con la misma carga animal que los sistemas productivos más intensivos. Esto es, para las regiones de Los Rios y Los Lagos 3 unidades animales (vaca adulta de 450 kg/ ha), en el secano de la zona central desde 2 ovejas/ha hasta seis y en un caso de La Araucanía **se logró triplicar la producción de pasto en tres años**. Estamos trabajando con predios desde 2,5 ha hasta una estancia de 140 mil ha donde se harán unidades de 10 mil ha.

¿Cuáles son las barreras para adoptar este tipo de tecnologías?

R: En un estudio que hizo la Universidad Católica y la Universidad Adolfo Ibáñez se detectaron 3 principales brechas para la adopción. La primera es la falta de información y educación en ganadería regenerativa, luego cambiar la propia visión de que es lo correcto al manejar un campo. Existe mucha diferencia en la entrega de conocimientos, en marketing y en la entrega de subsidios perversos. En las universidades se enseña un tipo de manejo, las compañías de insumos dan asesorías gratis y recomiendan sus productos, hay carteles con publicidad en la carretera, venta de semillas asociadas a herbicidas, fertilizantes, herbicidas, fungicidas, etc. La

tercera brecha se refiere a la falta de datos en Chile sobre los efectos de este tipo de producción. En este sistema los nutrientes se devuelven al suelo con periodos largos de recuperación, a través del impacto animal y con bostas que se entregan directamente en la pradera, a diferencia de los sistemas estabulados. Pero hay resistencia a mirar esto como una alternativa y se ve a la agricultura regenerativa como algo “hippie”. En general, es la gente joven la que está más interesada en estos cambios y llegan a este sistema porque están conscientes de la importancia de un ambiente limpio y alimentación sana. Últimamente, en Chile y a nivel mundial, hay agricultores que llegan a este sistema porque ya no pueden financiar el manejo del campo en la forma tradicional.

¿Conoces experiencias internacionales donde lo estén haciendo bien?

R: Hay casos, como Holanda, donde no necesariamente haya políticas que impulsen la agricultura regenerativa, pero tienen tantas restricciones a la ganadería que el agricultor está obligado a no contaminar.

¿Se puede alimentar a la creciente población mundial con este tipo de agricultura?

R: Por una parte, la producción en hortalizas y cultivos puede ser igual y a menores costos. En ganadería hay una gran cantidad de superficie que hoy no se usa y que puede ser incorporada. También tenemos que en las zonas de secano los suelos necesitan ganado para poder funcionar bien, las tierras están degradadas por desuso y por ganadería convencional. Si introduces vacas en un ambiente de humedad constante, como la zona de bosque siempre verde, vas a eliminar el ecosistema natural y lo vas a transformar. Pero si se introducen animales con pastoreo planificado, que imita el movimiento natural de los animales, vas a mejorar el ecosistema.

¿Tienen experiencia más allá de la ganadería?

R: Ahora estamos trabajando en tres viñas y en las tres tenían ovejas pero no tenían un manejo determinado. Ahora se está haciendo el pastoreo planificado para que la biodiversidad no disminuya, para evitar la compactación, para mejorar la capacidad de retención de humedad.

¿Cuáles son las herramientas que utilizan?

R: En los periodos de recuperación se trabaja a favor de las especies clave, que son las que tienen la posibilidad de subsistir en esos ecosistemas, con buen valor nutricional, buena palatabilidad, etc. Generalmente son las especies perennes con capacidad de profundizar las raíces hasta 1-1,5 m, por lo tanto frente a una sequía tienen mayor posibilidad de permanecer verdes y permanecer vivas. Las raíces mejoran la estructura del suelo a través de túneles, donde circula el oxígeno y el agua y permiten profundizar aún más las raíces, provocando la descompactación. Cuando das más tiempo de recuperación, das también la posibilidad de que otras plantas más chicas puedan crecer, aumentando el área foliar, la cobertura del suelo, teniendo más fotosíntesis, y por lo tanto mayor secuestro de carbono, que puede ser más allá de carbono neutral, carbono negativo (concepto de carbon positive balance). Otra herramienta es el impacto animal. Generalmente el pastoreo continuo o el suelo desnudo producen compactación. Los animales bien manejados pueden romper eso. Por otra parte, los animales comen homogéneamente, las excretas quedan bien distribuidas, no hay pérdida de biodiversidad, las especies menos palatabilidad son pisoteadas y tienen mayor oportunidad de descomponerse, igualmente cubren el suelo, por lo que las fluctuaciones en temperatura más bajas. En el desierto de Chihuahua, me encontré con que no era un desierto, había pastizales de 2 m de altura, tenían zonas que llevan 16 años de este manejo y las temperaturas eran más bajas solamente porque el suelo estaba cubierto.

¿Es muy alto el costo inicial de la transformación?

R: La inversión inicial depende de tu punto de partida. Por ejemplo, si trabajamos con los arrieros del Cajón del Maipo donde no hay nada, tiene un costo inicial porque hay que cercar. Pero en un campo convencional no hay que hacer nada. En un taller que se realizó en Palena para agricultores del PRODESAL los principales miedos eran que este sistema requiere mucho trabajo y que es muy caro. Pero al hacer los cálculos, se pudo comprobar que al agregar planificación al trabajo, éste se hace más rápido y más simple. De todas maneras, cada solución es específica para cada tipo de explotación, no se pueden aplicar recetas.

Entonces ¿Cómo se pueden hacer las recomendaciones a los agricultores?

R: Más allá de hacer una cartilla de recomendaciones, lo que sí se puede hacer es una cartilla que te oriente en el pensamiento sistémico a través de preguntas sobre tu propia realidad. ¿Cuáles son tus intereses económicos, sociales y ambientales? ¿Cuáles son tus metas? ¿Cuántos potreros tienes? ¿Cuánto llueve en tu localidad? ¿En qué meses? ¿Cuáles son los meses de crecimiento? ¿En cuanto tiempo se recuperan las plantas perennes luego de pastoreo intenso? Se puede hacer el paso a paso de la metodología, un paso a paso de la infraestructura y diseño predial y un paso a paso de tu gestión financiera. Lo más importante es acompañar en el know-how. Hace falta gente que pueda transmitir este conocimiento. Se van a hacer charlas gratuitas, cursos, etc. La idea es también sacar el curso del aula y enseñar con la práctica. De esta manera también el know-how queda directamente en los agricultores y no en los técnicos. También se pueden hacer cápsulas de e-learning, etc.

Propuestas de política para el cambio a una ganadería regenerativa R:

- Promoción de la educación
- Revisar subsidios y cortar los que sean incentivos perversos
- Menos fertilizantes, más cercos
- Mejorar los sistemas de agua para que los animales dispongan de agua para beber en el último potrero
- Perros protectores de ganado
- Control de perros asilvestrados
- Promoción en el mercado de este tipo de productos

Existe una certificación que se está aplicando en Chile que se llama EO (Ecological Outcome Verification) del Instituto Savoy. Algunos productores están vendiendo en Jumbo, ventas online, y se está tratando de buscar en el mercado internacional, pero se necesita apoyo.

Ganadería Regenerativa i

Rafael Larrain, investigador responsable del Centro de Ganadería Regenerativa (Pirque) cuyo objetivo es la implementación y aprendizaje de diversas técnicas asociadas a esta metodología, la cual trabaja con la naturaleza para recuperar los ecosistemas, fortalecer las comunidades y mejorar la rentabilidad. Estas experiencias pueden ser replicadas en la zona centro y sur de Chile.

¿Qué se puede hacer para fomentar la agricultura sostenible o en particular la agricultura regenerativa?

R: Desde el punto de vista de fertilización sostenible la herramienta para enfocarse es Programa de Recuperación de Suelos (SIRSD-S). Es un programa que lleva décadas funcionando, que maneja muchos recursos, que se usa en todo Chile y que sería muy fácil de orientar porque ya está funcionando. Hay muchas prácticas que se pueden utilizar y muchas de estas prácticas pueden tener un enfoque regenerativo o sostenible. Otras probablemente no cumplen los objetivos de sostenibilidad y son subsidios disfrazados, por lo que estas prácticas deberían revisarse y tal vez eliminarse de esta política. En la actualidad casi todos los recursos se utilizan en nitrógeno, fósforo y cal, pero podrían reorientarse para guano, manejo de cercos eléctricos, incorporación de leguminosas, enmiendas de cal, capacitación, siembra directa, labranza vertical, manejo del pastoreo, integración de animales en los sistemas agrícolas, y regeneración efectiva, como realmente se entiende ese proceso. Más allá de crear un nuevo programa, idealmente debería reorientarse este que ya existe y que funciona. Actualmente las regiones tienen mucha autonomía respecto de que se fomenta y que no, por lo tanto eso también habría que revisar.

¿Cuál es tu área de desarrollo?

R: Principalmente en ganadería, hemos hecho algunas cosas con cultivos pero aún no tenemos un desarrollo importante en esa área. Hemos trabajado con cultivos de cobertura, siembra directa, que también podrían tener éxito.

¿Los agricultores están preparados para hacer aplicaciones de guano? ¿Tienen el conocimiento suficiente para no tener pérdidas de nutrientes?

R: De todas maneras van a tener menos pérdidas que con la urea, y todos usan urea. Con el fósforo es distinto porque es menos móvil, pero si vas a fomentar el uso de nutrientes en personas que no tienen los conocimientos adecuados, va a ser más seguro ambientalmente usar guano que urea. El guano fresco tiene restricciones de aplicación, como en cultivos de hoja, en frutales después de la cuaja, etc. Pero el guano estabilizado (de pollo y pavo) si se pueden usar. En frutales también se debería fomentar el uso de coberturas verdes y evitar los suelos desnudos, tener cultivos de servicio, integrar el uso de animales cuando se pueda.

¿Culturalmente, los agricultores están abiertos a este tipo de prácticas?

R: Lo que estamos viendo en agricultura y específicamente en ganadería es que hay una curva de aprendizaje y hay un cambio de paradigma que se debe hacer. Por ejemplo, si a los asesores de INDAP se les evalúa por kg de fertilizante asignado, estamos creando un incentivo perverso ambientalmente. Por lo que hay que cambiar a los productores pero también a los asesores. Cuando han tenido una educación formal, esta ha sido normalmente orientada a la aplicación de fertilizantes minerales, pesticidas, monocultivo, monoespecie, etc. En la Universidad incluso es difícil entusiasmar a los colegas a que orienten sus modelos convencionales hacia uno más regenerativo. En los cursos que nosotros hacemos uno de los desafíos es justamente que entiendan que hay otras formas de hacerlo, que se puede trabajar en base a los movimientos de los animales, que ellos juegan un rol muy importante en el sistema, que hay alternativas distintas a los productos químicos. Es un proceso lento, hay un caso reciente en Sri-Lanka donde se prohibió el uso de químicos repentinamente y la gente sin conocimientos y sin subsidios colapsó todo el sistema de producción. Por otra parte, los proveedores de insumos muchas veces entregan asesores gratis que recomiendan sus propios productos, lo que establece un círculo vicioso. En general los productores grandes podrían pagar una asesoría, los de mediano tamaño se asesoran directamente con los vendedores y los pequeños acceden a los programas de INDAP.

Tienen documentación de sus experiencias como para poder difundir este conocimiento?

R: Estamos haciendo varios trabajos y proyectos con financiamiento estatal y estamos empezando a procesar números y sacar resultados. Presentamos recientemente un estudio en el que se evaluó 17 campos que hicieron la conversión convencional-regenerativo en los últimos años y en los 17 casos aumentaron los ingresos y los resultados son muy interesantes. Son casos desde La Araucanía hasta Aysén, desde 50 ha hasta 1.800 ha, principalmente con vacas y ovejas. La ganancia es principalmente por reducción de costos, que se producen principalmente en siembra y fertilización de praderas, y en conservación de forraje. En vez de compra de forraje o elaboración de silos, se hace pastoreo planificado que se traduce en temporada de crecimiento más larga y mejor uso, e incluso menor carga laboral. También disminuyen los ingresos, pero la diferencia de costos es tan grande que igual el sistema es más rentable. En promedio los campos aumentaron su utilidad en \$250.000/ha. Hay muchas experiencias en las que se puede hacer “faros agroecológicos” o “sitios de aprendizaje”. Debiera trabajarse en la difusión de estas experiencias con GTT (grupos de transferencia tecnológica), con productores de la misma zona geográfica o área de interés, con reuniones mensuales donde puedan compartir sus experiencias.

¿Cómo ha sido la evolución de estos sistemas?

R: Ha disminuido la rentabilidad de los campos a lo largo de los años, porque ha bajado la producción de los suelos. El mal manejo causó erosión y bajó la producción, con lo que se empezó a recomendar siembras y químicos, que finalmente empobrecen más los suelos, por lo que se genera un círculo vicioso. Actualmente la forma en que antes se producía ya no resulta rentable, porque se ha degradado el suelo.

¿Cómo es la transición a este tipo de manejo?

R: En ganadería la transición puede ser muy rápida. Los beneficios se pueden obtener al primer año, y además debieran al menos mantenerse en el tiempo. El costo inicial en algunos casos es cero, se puede trabajar con el apotreramiento y las fuentes de agua que existen en el predio. En otros la inversión es baja, principalmente en cercos y agua, y se recupera también en un año. En sistemas agrícolas probablemente la transición es más lenta, en aquellos que están basados en

cultivos anuales, donde el suelo ha sido labrado por mucho tiempo y está más deteriorado, puede tardar 3-4 años para que el sistema responda bien. Eso no significa ir a pérdida durante esos años, pero quiere decir que hay que ir haciendo paulatinamente los cambios que te permitan ir reduciendo la dependencia de los insumos externos. El cambio de paradigma es más difícil, hay presión de los vendedores de insumos, de la familia, de los pares.

¿Podrías implementar agricultura regenerativa en vacas lecheras?

R: No se puede hacer de un año para otro, probablemente tendrías que cambiar tu raza de vacas a unas más pequeñas y de menor producción. Tal vez puedes tener más vacas por hectárea, probablemente va a disminuir la producción, pero también van a bajar los costos. Hay algunas experiencias recientes en Chile, con vacas adaptadas a sistemas pastoriles y están contentos con los resultados.

¿Existe la crítica de que estos sistemas pastoriles compiten con tierras para la producción de otros alimentos?

R: Es falso que la tierra bajo uso de ganadería compite con las tierras para cultivos. Eso ocurre en muy pocos casos. En general los sistemas pastoriles están en lugares que no se pueden usar para cultivos. Una lechería en el valle central de la Región de La Araucanía podría estar compitiendo con los cultivos, pero si piensas cambiar ese sistema por un cultivo anual de trigo, es mucho mejor ambientalmente mantener la lechería. La provisión de servicios ecosistémicos de una lechería pastoril es mucho mayor que la de un monocultivo de trigo. La agricultura y la ganadería se ven como cosas distintas, pero la integración de animales es muy importante y complementaria a los cultivos.

Agricultura orgánica

Fabiola Sepúlveda, Investigadora extensionista de INIA La Platina. Trabaja en el Grupo de Extensión y Transferencia de agricultores orgánicos, participa de la mesa de trabajo regional de agricultura orgánica y fue quien llevó adelante el proyecto de incorporación de residuos agrícolas.

Desde tu experiencia, ¿qué es lo que se debería hacer para incentivar un mejor uso de los recursos y mejorar las estrategias de manejo de nutrientes?

R: Principalmente, se debe trabajar en políticas públicas para darle valor y resguardo al suelo con un buen manejo. También la eliminación de quemas agrícolas, que parte ahora con un plan piloto en la región Metropolitana pero que idealmente se debería extender a todo el país. Mi área de desarrollo ha sido más enfocada a la sostenibilidad y recientemente a la agroecología, y los agricultores con los que trabajo son multi-rubricas, tienen frutales, hortalizas, animales. Estudié en Santiago, salí de la universidad en 2008 y me fui a trabajar a la Región de Arica y Parinacota donde estuve 5 años. Inicialmente trabajé en un proyecto que se llamaba “Manejo de los residuos agrícolas en el Valle de Azapa”. Coincidió con que en la televisión salió un reportaje que decía que los tomates de Arica recibían como 17 aplicaciones de pesticidas y que eran los tomates más tóxicos de Chile. Arica produce en contraestación, por lo que cuando en la RM y al sur no hay producción, todos los tomates que se consumen vienen de Arica. Nuestra solución como proyecto fue utilizar los residuos de cultivos, que normalmente se acumulaban a orilla de camino y eran un problema sanitario, para hacer compost. Se compró una máquina trituradora de rastrojos, se hizo compost, los agricultores lo empezaron a aplicar y desde ahí se generó un cambio de paradigma, que junto con la llegada de la malla antiáfidos que bajó las aplicaciones de pesticidas, pasó de ser una agricultura muy intensiva a incorporar pequeñas prácticas que eran beneficiosas para sus cultivos y también para sus suelos, especialmente en el norte donde los suelos son arenosos, sin materia orgánica. Diez años después la incorporación de estas prácticas se mantiene pero no en forma exponencial, probablemente porque no ha habido un acompañamiento. Los proyectos se concentraron más en la eficiencia hídrica pero no en el manejo de residuos. Después se hizo otro proyecto que se llamaba “Alternativas al Bromuro de Metilo” donde se incorporó la técnica de la biofumigación. Esto coincidió con la llegada de una bacteria que no había en el Valle de Azapa que venía en las plantas que traían de Quillota o de la RM infectadas con pseudomona y la biofumigación funcionaba para eliminar la bacteria. Los agricultores, al ver que la práctica era efectiva, la incorporaron a su manejo y vieron también resultados en el tema nutricional. La biofumigación consiste en que cuando termina la cosecha del fruto, se corta la planta en estado verde y se incorpora al suelo. A esto se le entrega guano para aportar nitrógeno y acelerar la descomposición, y se tapa con plástico. Al descomponerse la materia orgánica genera gases que tienen un efecto de desinfección, que es muy efectiva para control de nematodos *Meloidogyne* y para hongos como *fusarium* y *phytophthora*. La práctica además era beneficiosa por su aporte de materia orgánica. Cuando llegué a la RM los agricultores de la región estaban muy atrasados en estas prácticas y fue más fácil trabajar con ellos porque son agricultores más pequeños.

¿Qué conocimientos les transmites?

R: Enseñar prácticas sostenibles, en donde se le dé valor al residuo ya sea incorporando rastrojos o elaborar prácticas sostenibles como hacer compostaje, usar los rastrojos de poda como mulch. También adoptar prácticas agroecológicas como hacer té de compost, bokashi, ácidos húmicos. Y en la RM se ha notado un aumento de la demanda por este tipo de prácticas. Yo coordino a un grupo de extensionistas que son básicamente los técnicos que capacitan a los agricultores

usuarios de INDAP y que partieron dando asesorías en manejo convencional pero que pidieron capacitarse en agroecología porque los mismos agricultores lo estaban solicitando. Ahora son un grupo con enfoque agroecológico de la RM. Ahora con el alza de precio de los insumos, hay agricultores que no tenían ninguna intención de incorporar este tipo de prácticas ahora lo están haciendo porque no hay otra solución. Ven que ser autosostenibles en sus predios o ocupar los insumos que se encuentran en sus predios es la forma de poder seguir trabajando de aquí en adelante. Recientemente tuve que hacer una charla en Melipilla y después un agricultor que tiene 30 ha, que vende a supermercados, me llamó para contarme que está aplicando ácido húmico con buenos resultados y estaba muy motivado.

¿Por qué ha aumentado el interés de los agricultores en estas prácticas?

R: El interés de los agricultores no parte este año por el aumento de costo de los insumos, sino que lleva por lo menos cinco años. La reciente alza de los costos lo que ha hecho es que personas que normalmente no se habrían interesado, ahora lo están haciendo. En la RM el crecimiento de la población y expansión urbana ha ejercido presión sobre los sistemas agrícolas. Predios que antes estaban aislados ahora tienen vecinos, colegios aledaños y comenzaron a llegar reclamos por olores a químicos o a guano, y el agricultor se ve obligado a cambiar. También se dieron cuenta que sus suelos ya no eran tan rentables como antes, que la producción les estaba bajando. Tuvieron que volver a hacer lo que hacían “los antiguos”. Luego vino la pandemia, la gente encerrada no podía salir a comprar, le empezó a comprar a su vecino las lechugas, y aumentó el interés del consumidor por cómo se está alimentando, de donde viene la lechuga que me como, y empezó a demandar productos más inocuos. Una de las falencias es que el consumidor aún no tiene claros los conceptos entre las diferencias entre un cultivo hidropónico y un orgánico, entre un híbrido y un transgénico. Falta comunicar al consumidor este tipo de conceptos y logos que caracterizan este tipo de productos como para que pueda tomar una decisión informada.

¿Cómo se enfrenta la presión de los distribuidores de productos convencionales?

R: En general hay una invasión de los distribuidores de insumos que llegan con gorrito, una agenda, y engatusan a los agricultores. Antes uno llegaba al campo y al agricultor lo habían visitado en el día cinco personas distintas y todos con distintos relatos. Ahora en la RM eso ha disminuido, y además gran parte de las distribuidoras están empezando a ofrecer productos enfocados el tema orgánico, como ácidos húmicos, un tipo de bokashi, el kit de supermagro y cosas que antes no se veían y es porque hay una demanda efectiva de los agricultores. En el tema de bioinsumos y controladores biológicos, el SAG está trabajando rápidamente en tratar de sacar una normativa ya que los productos se venden pero no están regulados. Hay productos como el jabón potásico, que es muy fácil de hacer y es efectivo para controlar plagas, y es muy utilizado por los agricultores. Antes un tarrito de 250 g costaba 5 mil pesos en los grow-shops, mientras que elaborar 200 litros en forma casera tenía el mismo costo. Como perdieron compradores, ahora 1 litro en el supermercado cuesta 2500 pesos. Hay muchos productos que el agricultor puede hacer y que no necesita comprarlo. El bokashi, el compost, son productos que se están vendiendo y son caros, y el agricultor perfectamente los puede hacer en casa. En general los productos orgánicos son más caros.

¿Y porque el agricultor no los fabrica él mismo?

R: Hay dos tipos de agricultores. El agricultor que recurre a sustitución de insumos, sigue haciendo el mismo manejo. Esos son los agricultores grandes y que exportan, y que están haciendo el cambio por una demanda externa y porque tienen un mercado cautivo. Los agricultores pequeños no recurren a insumos externos, tratan de hacerlo ellos mismos. Pero para ellos la producción baja

y la recuperación de la productividad del suelo se demora al menos 3 años. Por lo tanto, transitar de la agricultura convencional a una agroecológica va a tener un periodo en donde la rentabilidad disminuye, y es en ese periodo cuando muchos agricultores desisten. Es importante que en la transferencia se explique que el cambio no es inmediato.

¿Y cómo se hace eso?

R: Al agricultor convencional de apoco se le van inculcando los conocimientos y si entonces antes aplicaba por calendario y ahora hace monitoreo y aplica solo cuando tiene que aplicar. Durante todo el desarrollo no solo tiene el apoyo del fertilizante químico sino que poco a poco va incorporando materia orgánica, por lo que progresivamente el suelo se va nutriendo y puede ir eliminando fertilizantes, hasta que llega el momento que el agricultor dice “solo regué”. Algunos que son más temerosos van experimentando de a poco.

¿Cómo debiera ser el apoyo en la época de transición?

R: Tiene que haber apoyo y seguimiento a través de la extensión y transferencia tecnológica. Falta gente para transferencia tecnológica y tal vez gran parte de los subsidios que actualmente se entregan habría que re-enfocarlos. Promover por ejemplo que en vez de comprar plástico para mulch, invertir en una chipeadora; o en vez de subsidiar la urea, invertir en una volteadora de compost. Enfocar las ayudas en promover una agricultura más auto-sostenible, basándose más en infraestructura y maquinaria que en insumos.

Muchas técnicas de agroecología implican insumos como huesos, cascarilla de arroz, y otras cosas que no están fácilmente disponibles para los agricultores. ¿Cómo lo haces para incentivar el uso?

R: Estamos trabajando en manual para la RM, y el objetivo es poder implementar y difundir sólo las prácticas que son factibles de hacer en la RM y con productos que no tienen otro valor, como cascarilla de los molinos, cola de caballo, ortiga, bleado. La idea es enfocar las capacitaciones con prácticas que sean factibles y realistas. En otras zonas que están cerca de la costa pueden hacer preparados con algas, pero son prácticas que finalmente dependen del territorio. Se puede pensar en promover, por ejemplo, que en los sectores costeros se desarrolle un producto con algas y desechos de la pesca.

¿Cómo se incorporan los residuos orgánicos de la RM a la agricultura?

R: La mayoría de los agricultores tienen lombrices o vermicompostera para sus residuos domiciliarios y ocupan el humus, el té de compost en sus plantas. Por otra parte, los residuos del predio los hace compost o hace incorporación directa al suelo. Hay agricultores más motivados que están interesados en generar mayor cantidad de compost, por lo que se han acercado a las municipalidades para poder aprovechar por ejemplo, los restos de las ferias. Pero esto se da en personas emprendedoras pero no es una práctica común. En general la repartición de vermicomposteras no va con un acompañamiento, por lo que finalmente se pierde la tecnología. Lo mismo ha pasado con sistemas de riego, donde hay mala implementación porque no hubo buena capacitación.

¿Cómo se puede llegar con información a los agricultores?

R: La tecnología ha sido un acompañamiento fundamental para que estos cambios ocurran y tan rápido. Los agricultores son de más edad, de +60 años en su mayoría, y son grandes usuarios de Youtube. Son muy proactivos, están buscando información, y por ello el acompañamiento es muy importante, ya que hay mucho disponible pero también mucha desinformación en línea. INIA está

promoviendo hacer Tiktok para acercar la ciencia a la gente y también cautivar al público más joven. INIA tiene canal de Youtube, Facebook, Instagram, Twitter y Tiktok donde están los videos del paso a paso de como hacer biopreparados, charlas, seminarios, etc. Las transferencias en el campo son del tipo aprender haciendo, lo hacen in situ y después se llevan el conocimiento para su casa y lo ponen en práctica. Es útil acompañarlo con una cartilla o ficha técnica para que ellos puedan revisar lo que aprendieron. El video también es importante.

¿Cómo trabaja INIA?

R: Tenemos grupos de extensión de transferencia tecnológica. Se trabaja con grupos de 15-20 agricultores con los que se juntan mensualmente. Si se prepara un producto en la casa de uno, cuando el producto está listo los agricultores lo van a buscar y mismos lo aplican. Además hay grupos de whatsapp donde se comparten sus avances, fotos, etc y finalmente el acompañamiento lo van haciendo entre ellos mismos.

¿Cómo se puede hacer el acompañamiento a los productores más grandes?

R: el agricultor más grande es más empresarial, está pensando en el rendimiento y la venta. El acompañamiento debiera ser en transferir el conocimiento de la importancia del suelo, del manejo del predio, que vaya cambiando de a poco de su forma de trabajar. Para eso también hay que capacitar a los asesores. Para el agricultor pequeño es más fácil el cambio y tomar la decisión porque tiene menos riesgo. En la RM un agricultor grande puede ser de 30 a 200 ha. Para INDAP de <12 ha de riego es pequeño.

¿Cuáles son los subsidios para incentivar este tipo de prácticas?

R: Terminamos hace poco un proyecto para promover prácticas sostenibles para la eliminación de las quemadas agrícolas. En ese estudio nos pudimos dar cuenta que gran parte de los residuos que se queman en la RM corresponden a materiales leñosos como poda de árboles, cercos vivos, etc. Sin embargo en el sur es todo lo contrario y lo que más se quema son rastrojos de cultivos. En la RM no ocurre eso, primero porque no hay grandes extensiones de cereales, pero también porque la mayoría de los agricultores que tienen cultivos anuales se adhieren al subsidio del programa SIRS (Programa de Recuperación de Suelos Degradados). Este subsidio ha sido difundido muy bien por los extensionistas y la mayoría de los agricultores lo toman. Probablemente en el sur este programa no ha sido difundido adecuadamente. Este subsidio incluye el arriendo de la maquinaria para la incorporación de los rastrojos, urea o guano para que se descomponga el material, la cal para corregir el pH del suelo.

¿Has visto el tema de la eutrofización del agua?

R: Aquí el mayor problema es la pérdida de nitrógeno por lixiviación. La mayoría de las napas freáticas de la zona tienen altos niveles de nitrógeno. Esto va de la mano de que los agricultores aplican sin tener conocimiento de que es lo que tiene su suelo, no hacen análisis de suelo y fertilizan al ojo. Hay una mala práctica del uso del N en el manejo de los cultivos. Estamos trabajando en un proyecto FIA para diseñar un sistema en el que el agricultor pueda medir en forma fácil el contenido de N de sus aguas. Es un problema difícil de visualizar, no existe un vínculo directo entre problema-origen.

¿Qué otros países han implementado modelos que se pueden imitar?

R: El modelo brasileño, realizado por EMBRAPA que fue liderado por los agricultores. El caso de Cuba, que es un caso extremo porque tuvieron que replantearse todo su modelo productivo cuando dejaron de recibir insumos. En Chile se puede ver casos documentados en el CET Biobío, donde en 30 años se pasó de un suelo completamente erosionado, con cárcavas, a tener ahora una producción agroecológica. Ahí se hace un diplomado en Agricultura Orgánica y el Manual de Agroecología de INDAP está elaborado en conjunto con el CET Biobío (Agustin Infante).

¿Qué otras prácticas se utilizan?

R: La incorporación de abonos verdes (avena, habas) y rotación de cultivos son prácticas comunes. Para un agricultor pequeño de la RM se da normalmente tener multi-cultivo, cultivos intercalados, asociaciones de cultivos, etc., es algo que han visto desde sus abuelos. En el norte es más complejo ya que a un agricultor que es monocultivo le es más difícil innovar, pero hay algunos que han introducido corredores florales, poroto verde, incorporación de rastrojos, etc.

Agroecología I

Aart Osman, Investigador INIA La Cruz, con más de 20 años de experiencia en agroecología y agricultura sostenible en Europa y América Latina. Su trabajo se enfoca en aplicar los conceptos y principios de la agroecología al diseño, desarrollo y gestión en sistemas de producción agrícolas para mejorar la sostenibilidad.

¿Nos puedes contar un poco de ti?

R: Estoy en Chile hace unos 10 años y desde el 2016 estoy trabajando en el INIA (La Cruz) y mi área de trabajo es en agricultura orgánica y agroecología. Entré al INIA en el área de agricultura sostenible y nuestro financiamiento proviene del Ministerio de Agricultura y también para la parte operativa tenemos que buscar financiamiento a través de proyectos, entonces lo que hacemos está depende mucho de donde vienen los fondos. Inicié mi trabajo desarrollando Indicadores de sostenibilidad, para definir los puntos críticos y como se podía lograr mejoras en la sostenibilidad. Acabamos de terminar un proyecto en manejo orgánico de nogales que incluye manejo de plagas y fertilidad de forma orgánica, elaboración de compost y cubiertas vegetales. Actualmente con un grupo de productores de hortalizas que tratan de ser autosostenibles, usando estiércol y compost. Actualmente tenemos un Ministerio de Agricultura cuya prioridad es la Agroecología por lo que nos están pidiendo desarrollar más proyectos en esa área.

¿De dónde viene el financiamiento?

R: Una fuente importante es el FIA (que depende del Min de Agricultura), también hay proyectos de asignación directa, y la otra fuente es CORFO. En la Región de Valparaíso en FNDR es más complicado, por lo que no se usa tanto.

¿Cuál es la diferencia entre Agricultura Orgánica y Agroecología?

R: Hay varias definiciones, personalmente la agricultura orgánica puede hacerse de muchas formas, te puedes regir por la norma chilena de agricultura orgánica o seguir la norma de EEUU, que significa principalmente no utilizar insumos sintéticos y otros requerimientos de rotaciones, pero sin mucho control. Pero también se puede hacer de forma agroecológica, y esto quiere decir fomentar los procesos ecológicos: control biológico, reciclaje de nutrientes, etc. Y en el mundo agroecológico también hay un aspecto social y político, y hay mucha gente que quiere producir

de esta manera sin tener que certificarse, lo que lo hace muy distinto de la agricultura orgánica que tiene normas. Hay distintas escuelas de agroecología, pero en general no se permiten productos sintéticos.

En tu experiencia en nogales u otros frutales, ¿cómo ha sido la transición en el tema de productividad y costos?

R: En nogales en la V región para los agricultores convencionales es muy difícil cambiar la forma de producción. Conozco un productor convencional que utiliza abonos verdes pero que tiene dificultad de convencer a sus colegas de que ese es el camino.

¿La dificultad de adaptación es por una resistencia al cambio en sí, o porque implica muchos cambios de infraestructura y manejo dentro del predio?

R: Creo que en parte es por enseñanza y porque los rendimientos con fertilizantes minerales son sumamente altos si se compara con la fertilización orgánica. También se da en la fruticultura en Chile que los dueños de los predios y los accionistas no son los mismos que el gerente del campo, al que se le pide rentabilidad económica, no beneficios ambientales. Como la persona que produce no es el responsable final, se dificulta la toma de decisiones. Creo que el cambio implica una baja de rendimientos. Los rendimientos que alcanza hoy en día la agricultura convencional no son posibles de igualar con sistemas agroecológicos, por lo que este es un factor que se tiene que aceptar y es posible si se logra mejores precios para los productos. Lo que si se observa es que hay más interés en producir en forma orgánica en pequeños productores.

¿Con la crisis de los fertilizantes has observado algún cambio?

R: Con la pandemia se ha limitado el acceso y comunicación con los agricultores, pero si se sabe que hay una preocupación por tener una fertilización orgánica no solo por los precios sino porque la fertilización sintética tiene graves consecuencias para los suelos. En la mayoría de los campos con cultivos de frutales se encuentra que el suelo está muerto y sumamente compactado, lo que también se ha visto afectado con el déficit hídrico. Esto se presenta como una oportunidad para trabajar un manejo más orgánico. Muchos piensan que la escasez de fertilizantes es algo temporal, causado por la guerra de Rusia y Ucrania, pero esto se va a mantener.

¿Has visto evidencias de pérdidas de nutrientes?

R: En un huerto convencional eso se puede ver, se ve el suelo compactado y los agricultores están preocupados de aplicar ácidos húmicos y fúlvicos para recuperar el suelo, lo que demuestra que hay interés.

¿Cómo se puede entusiasmar a los productores?

R: Es difícil encontrar financiamiento para estos proyectos. Nos gustaría tomar el proyecto de nogales orgánicos para hacer un huerto demostrativo, para poder difundir y fomentar estos ejemplos positivos y formar grupos para aprender de la práctica.

Aparte de nogales, ¿qué otras experiencias conoces?

R: En orgánicos los productos de mayor superficie son manzanos, arándanos, vid vinífera, donde ha permeado más la iniciativa de producir orgánico por un incentivo de precios.

¿Qué prácticas son las más importantes para promover que tengan influencia directa sobre la fertilización?

R: Primero el ocupar los desechos de otros rubros o industrias para hacer compost y utilizarlos en la agricultura y también el uso de cubiertas vegetales. La certificación orgánica tiene una restricción en el uso de estiércol de producciones intensivas (que son la mayoría en esta zona) y con el uso de compost.

¿Al educar, en qué puntos te enfocas?

R: Primero que la sostenibilidad se mide más allá del ámbito económico y que hay que avanzar en los ámbitos ambientales y sociales. Con un grupo de asesores de Petorca, se daba que aproximadamente la mitad no estaba de acuerdo con este tipo de prácticas, donde uno o dos derechamente estaban tratando de boicotear las actividades. Finalmente cerca de la mitad estaba dispuesto a aprender, pero hay un porcentaje que de plano lo rechaza y que se pregunta cómo podemos hablar de medioambiente cuando al productor le interesa el rendimiento y los temas de agua. Cuando se trabaja con productores, se ve que ellos tienen un interés más amplio que los asesores.

¿Cuáles eran los indicadores de sostenibilidad que ustedes desarrollaron?

R: Se trabajó con asesores de horticultores, ganaderos, plateros y floricultores y para ellos INDAP solicitó que se usaran los mismos indicadores para todos, de modo de simplificar el análisis y hacerlo más amigable. Se establecieron 4 indicadores por ámbito. De esta manera, para el ámbito económico: canales de comercialización, bajar gastos en insumos externos, obtener suficiente ganancia para hacer inversiones y productividad. Para el ámbito medioambiental: calidad de suelo, número de aplicaciones de pesticidas, uso de agua y uso de energía y para el ámbito social: mano de obra externa, salud, siguientes generaciones, y acceso a la información. La idea era que los asesores definieron intervenciones que mejoran estos ámbitos para apoyar a los programas en esta línea.

¿En qué área se debería trabajar para abordar estos temas?

R: En la producción agrícola en Chile no hay límites, los productores pueden contaminar sin ninguna repercusión. Debiera haber más legislación de parte del Estado que se preocupe de la contaminación que se produce por aplicar altas dosis de nitrógeno. También se debe trabajar con los asesores, que entregan programas de manejo y que no necesariamente tiene un objetivo ecológico. Muchos agricultores siguen recomendaciones de terceros en vez de tomar sus decisiones y hay muchos productores que prefieren ese sistema y se sienten cómodos así. Por eso, también debiera trabajarse con Universidades para que tengan conocimientos en esta área. En general, si bien se habla de agricultura orgánica hace 20-30 años, si uno pregunta sobre el tema es muy poco lo que se conoce, dando cuenta que los agricultores han estado muy poco expuestos a este tipo de agricultura y sus prácticas. También es necesario revisar y orientar los programas de apoyo del Estado hacia este objetivo, especialmente aquellos que regalen insumos. El Ministerio por una parte quiere avanzar hacia una producción más agroecológica, pero también quiere producir más comida y al menos precio posible y esos objetivos pueden entrar en conflicto.

Siembra Directa

David Rojas, Agrícola Chequén, Florida, Biobío. 20 años de experiencia en siembra directa y cero labranza como discípulo de Carlos Crovetto.

“En la cero labranza la primera barrera es el costo de la maquinaria especializada. En este campo se vió la cero labranza muy de la mano del área avícola como un complemento a la fertilización. El guano de gallina es muy buen fertilizante y en este caso se incorpora con maquinaria que debe repartirlo en forma homogénea en los potreros. Por el tema de leyes, hay restricciones para aplicar guano fresco y se tiende a favorecer el guano seco, pero este tiene menos contenido de nitrógeno porque el amoniaco se volatiliza. En el año 2022 que los precios de los fertilizantes se fueron a las nubes, muchos están buscando la alternativa del guano de gallina. El campo tiene capacidad para 80 mil aves de postura, y en este momento hay 60 mil aves en dos galpones automáticos, donde la recolección de guano se hace a través de cintas. El guano se retira 3 veces por semana, por lo que sea invierno o verano, hay que tener potreros disponibles para incorporar ese guano. En general, para las pasturas de avena+vicia que se enfardan en noviembre aprox. se ve un desarrollo espectacular con el guano de gallina. Don Carlos decía “yo alimento el suelo, pero lo alimento para todo lo que quiera germinar”. Entonces también las malezas crecen y hay que hacer control de malezas con químicos. Si fuera solo para praderas, no es necesario usar herbicidas, pero en el caso del cultivo de granos, se debe hacer control químico de malezas en pre-siembra y siembra. El campo tiene una parte forestal, ya no se cultiva maíz, se cultiva trigo triticale y praderas. La Siembra de praderas es con avena+vicia y el guano de gallina se destina a normalmente a las praderas. En trigo se puede aplicar en pre-siembra, pero después se usan fertilizantes químicos. En primavera-verano se incorpora el guano en potreros en barbecho. La ventaja de la cero labranza es que independiente de las lluvias, no se produce erosión, no hay escurrimiento. El rastreo y materia orgánica hacen que el agua escurra sin generar daño y el guano se incorpora mucho mejor en la capa orgánica del suelo. No se observan quebradas con erosión en el fundo. Y se ve que los campos están más verdes que los de los vecinos. Hay menos acidificación de los suelos.

¿Cómo son los costos de este sistema?

En cuanto a los costos, este año por el costo de los fertilizantes se hizo una cuantificación por hectárea. El 2021 los costos por ha incluyendo siembran fertilización, químicos, cosecha, etc. eran de \$600.000+IVA/ ha. El 2022 con el alza de los insumos los costos subieron a \$1.100.000+IVA. Por lo demás, el 2021 fue un año crítico para el área avícola, entonces este año hubo que disminuir la siembra de cereales y hacer más praderas. Los costos de praderas son de aprox \$200.000/ha. Se cosechan 300-350 fardos por ha, lo que finalmente da un mejor margen de utilidad comparado con los cereales. En 2020 cuando comenzó la pandemia el negocio avícola fue muy bueno, hubo buenos precios, y aparecieron nuevos actores en el mercado. Había mucho huevo. Eso después se vió acompañado porque había mucho dinero circulando (retiros, etc), lo que hizo que la gente cambiara sus hábitos de consumo. El huevo es en esencia para cuando uno no tiene mucha plata. Cuando empezó a haber más dinero, fue bajando el consumo de huevos y como habían surgido tantos nuevos actores, hubo un sobre stock en el mercado y en mayo-junio 2021 el precio se desplomó. Muchos planteles avícolas bajaron su producción a la mitad, otros tuvieron que cerrar. El 2023 se espera poder hacer otra vez siembra de trigo triticale, pero adaptando el sistema a más guano de gallina y menos fertilizante mineral para bajar los costos. La fertilización es el componente más caro del negocio. Para cereales se ocupa herbicida y estos también han subido. El glifosato siempre se usa en pre-siembra porque es el más barato y el más efectivo, aun cuando con el uso continuo se va generando resistencia y las dosis se

tienen que aumentar, o complementar con otros herbicidas. Esto se da en todo tipo de agricultores, tanto en cero labranza como en agricultura convencional. El control de malezas se está volviendo cada vez más complejo, afecta el tema de costos pero también afecta el rendimiento de los granos. Es por eso que en el establecimiento de este campo, el glifosato fue esencial.

¿Han buscado alternativas más ecológicas para el control de malezas?

En la cero labranza se trabaja mucho con la rotación de cultivos. Por ejemplo, en una rotación de maíz-trigo, las malezas de primavera son distintas a las de invierno. Por otra parte, el maíz deja mucho nitrógeno en sus raíces, por lo tanto después de un cultivo de maíz, se pica la caña, se deja sobre el suelo y se siembra trigo con muy buen rendimiento y con un buen ahorro de uso de fertilizantes minerales. La pradera de avena-vicia también sirve para mejorar el suelo a través de la fijación de nitrógeno de la leguminosa. Antes también se sembraba lupino, raps, y todo eso contribuía a mejorar el suelo, reducir costos y cortar el ciclo de las malezas. Al hacer una siembra de leguminosa se utilizaba un herbicida para gramíneas y con eso quedaba más limpio el potrero. El sistema de cero labranza va siempre de la mano del control químico.

¿Por qué este sistema no ha entusiasmado a los vecinos si las ventajas están a la vista?

Es que para un pequeño agricultor, con 1 hectárea, no es rentable. Si no hay un apoyo de maquinaria, de prestación de servicios, no es rentable. Para un agricultor convencional, sabe que si no ara la tierra, no va a salir nada. La cero labranza no tiene efectos inmediatos, los primeros 2-3 años no se ven los resultados, hay que ir trabajando de a poco, dejando rastros, dejando la descomposición natural de los residuos, para ir mejorando los microorganismos. En este caso, se fue haciendo de a poco y con dos unidades productivas: la agrícola y la avícola. Para recuperar potreros al principio hay que subsolarlos. En este campo la recuperación de los suelos partió después de la explotación de los bosques que habían en el campo. Se hizo la tala de los pinos, se destroncó y se aprovechó la fertilidad natural del suelo bajo del bosque para sembrar trigo. Las carcavas se fueron tapando acarreando suelo con maquinaria (buldozer) y emparejando. En la medida que se fue sembrando, incorporando guano de gallina, fertilizante, y en cada cosecha fue dejando una capa de residuos de materia orgánica. Contrario a lo que se pensaría, después de 5 años no había compactación. Don Carlos decía que las lombrices eran sagradas, son descompactadoras de suelo, son las que hacen el trabajo para que puedan crecer las raíces de los cultivos. Más que planificación extra para este tipo de labores, lo que falta es conocimiento. También tener en cuenta que el cambio no es inmediato. Se demora 2-3 años y en este momento está difícil por el tema económico y especialmente por la falta de lluvias.

¿Cómo se hace la fertilización con el guano de gallina?

En el caso de los cereales para el consumo de las gallinas, la aplicación de guano tiene que hacerse antes de la siembra. Post-siembra ya no se aplica guano de gallina. En praderas de avena+vicia se puede aplicar en pre-siembra y post-siembra, se hace aprox hasta el mes de septiembre porque después ya está muy grande la avena y no se quiere que el guano aparezca en el fardo. El guano también se usa en el barbecho químico, donde se descarga desde septiembre hasta noviembre. Se aplica 4-6 ton/ha dependiendo de la velocidad del tractor y la pendiente. En este campo en los análisis de suelo siempre había deficiencia de N y S, por lo que siempre se aplicó el guano de gallina más 150-200 unidades de N/ ha para mejorar la proteína del grano.

¿Cómo es el método de la cero labranza?

En este caso la maquinaria es específica para hacer el mínimo daño del suelo. Hace el corte con un cuchillo que tiene un filo y una inclinación específicas, y va abriendo el surco, ingresando la semilla y tapando el surco con una rueda. El cambio climático también ha afectado las labores. Antes se podía sembrar en marzo una pradera de avena+vicia, pero los últimos tres años recién en abril y mayo se puede hacer la siembra porque la falta de lluvias no lo permite. En praderas mientras más temprano se haga la siembra el rendimiento es mejor, por lo que una siembra tardía obviamente es perjudicial. Antes se podían producir 440 fardos/ha y ahora 300-350 fardos/ha. Esto es igual de perjudicial para un agricultor convencional, a excepción de los que tienen riego tecnificado, que pueden mantener su época de siembra, pero también va a tener más gastos en fertilización.

La cero labranza es muy usada en Argentina, Uruguay, Estados Unidos. Pero en Uruguay con el clima y las lluvias pueden sacar hasta dos cosechas al año. Además no tienen el problema del relieve, pueden tener fácilmente 1,000 ha planas, en cambio la cordillera de la costa tiene un relieve complicado. Por eso este campo de Don Carlos es un ejemplo a nivel mundial de cómo hacer cero labranza en condiciones menos favorables. En este campo se usan maquinarias más pequeñas adaptadas a la realidad local.

Análisis de suelo se hacía todos los años a principio de temporada. Este año no se hizo por los problemas económicos, pero en general la deficiencia siempre es N y S. El plan de fertilización se hace tomando en cuenta lo que hay en el suelo.

Los rendimientos de trigo son de 35-40 qq/ha, estos han bajado por el clima, por la siembra tardía. Antes podían llegar a 50 qq/ha.

Aquí no hay proyectos de vender el guano. Eso por norma requiere secado y además el guano que se produce se ocupa en el campo. Tampoco hay proyectos de vender asesorías o arriendo de maquinaria, porque no tienen la capacidad. Por medio de un consultor externo presentan su trabajo al SIRS para recibir la subvención por hacer cero labranza.

En Chile se está usando la cero labranza en la ganadería, haciendo una rotación sostenible.

La avicultura es el soporte económico del campo. La gallina pone el huevo todos los días. La agricultura depende de muchos factores, funciona más como complemento. Las gallinas se alimentan también con soya (importada) y aminoácidos, vitaminas, minerales, etc. El campo tiene 430 ha de las cuales hay 200 ha bajo cultivos. Uso de fertilizante químico 200 unidades /ha. El 2023 se van a hacer experimentos de campo para ver si es rentable usar solo guano de gallina, pero está en proceso. La rotación de cultivos sirve para control de malezas y también para el control de enfermedades. La vicia además de ser leguminosa es como una enredadera, por lo que al crecer va ahogando la aparición de otras malezas. Pero cuando se siembra tarde, no lo puede hacer.

Agroecología II

Agustin Infante, Karina San Martin, CET Bio Bío. Institución de formación y capacitación en forma presencial, utilizando metodologías muy participativas y prácticas como es el "aprender haciendo". Cuenta con una Central de Demostración y Capacitación de 23 hectáreas, donde se plasma la propuesta agroecológica para el pequeño productor. En ella se encuentran 7 hectáreas con manejo orgánico donde se han establecido rotaciones de cultivo, huertos de hortalizas, frutales, de hierbas medicinales y flores, invernaderos familiares y comerciales (de túnel y tipo casa), sistemas de riego tecnificado, métodos de conservación de suelos, producción de animales menores, tecnologías apropiadas, etc. Este centro es visitado por cerca de dos mil personas durante el año (agricultores, profesionales, técnicos, alumnos, profesores, etc).

¿Cómo incorporar los conceptos de agricultura sostenible en cultivos que son de altos requerimientos? ¿Cómo hacemos de la agricultura chilena un sistema más sostenible?

En el CET Bio Bío se trabaja con un tipo de agricultura que es siempre muy diversa. Hemos tenido algunas reuniones con la gente del SIRS y en general somos bastante críticos con ese programa, que tiene cifras de algo como 200 millones de dólares en los últimos 20 años enfocados en insumo y menos del 5% enfocados en conservación de suelos. Ese fracaso tiene que ver con una mirada al suelo solamente como fertilidad, como la cantidad de nutrientes disponibles para la planta. Es por ello que hay un paradigma distinto de la agricultura y de la fertilidad. Para nosotros la fertilidad no quiere decir que la planta disponga de nutrientes -que es lo que nos han enseñado en la Universidad-, sino que la fertilidad es la capacidad de un suelo de generar vida, no solamente para el cultivo sino que para el ecosistema, que sea poroso, que su fertilidad sea física, biológica, química y que todo eso ayude a que aumente la producción. Quizás la mirada de 50 años atrás era de suplir con fertilizantes químicos lo que falta en el suelo, pero eso generó la degradación de los suelos. Los fertilizantes químicos nutren la planta, pero no generan actividad biológica, con lo que se generan problemas físicos de suelo, emiten GEI, un porcentaje alto infiltra y genera toxicidad en las napas de agua. Entonces quizás en algún momento fue una solución, por desconocimiento del impacto que podía tener, pero hoy sabemos que hay que tener una mirada más holística.

Nosotros trabajamos en la zona de la Cordillera de Costa de la región del Bio Bio donde la situación del suelo es dramática, catastrófica. Aquí nadie puede decir que el problema no es para tanto... La actividad forestal, las parcelas de agrado, la migración de las personas a la ciudad, todo eso son efectos de una agricultura que degradó su suelo.

¿Qué le parece el uso de cero labranza?

La cero labranza es interesante porque aunque se apoye en el uso de químicos, es una agricultura que recupera los suelos. Carlos Crovetto con la cero labranza mejoró el suelo desde los tres puntos de vista: físico, químico y biológico. En estos campos hay cero erosión, porque los suelos están siempre cubiertos. En este caso, se demuestra que las prácticas pueden ser complementarias, que la aplicación de químicos, si van acompañados de otras prácticas, puede

ser una oportunidad de generar suelo, como funciona un ecosistema. También estas prácticas pueden ser usadas en un momento de transición, porque la idea es que a medida que se usa esta técnica cada vez se requieren menos inputs externos porque el suelo va mejorando su fertilidad natural. Por el contrario, en la agricultura convencional, la aplicación de químicos, sumado a la labranza excesiva, el monocultivo, sin rotaciones, todo eso degrada el suelo.

Aquí pensamos que la quema de rastrojos es una práctica que debería ser totalmente eliminada y en la mayoría de los países está prohibida. La rotación de cultivos se debe incentivar, pero el mercado induce al agricultor a hacer monocultivo. La labranza debería ser menos agresiva. En esta región en la precordillera antes había rotaciones de arvejas, legumbres, habas, etc. Entonces los agricultores hacían rotaciones de leguminosas, pero a medida que el mercado empezó a importar las legumbres se acabaron las rotaciones. Entonces se entrega plata como SIRS pero por otro lado estamos importando un producto con precios desleales, porque los agricultores de Canadá están subsidiados. Ellos construyen suelo y nosotros lo destruimos. Es por ello que el estado debiera ser muy integral en sus políticas, porque de qué sirve poner recursos en la recuperación de suelos si no se preocupa de proteger la agricultura nacional. En esto no solamente debieran estar discutiendo los agrónomos, también debiera integrarse economistas, ingenieros comerciales, biólogos, etc. Es un problema multidisciplinario y debe abordarse desde varios aspectos. La agroecología trata de ser transdisciplinaria y trata de generar equipos de trabajo multidisciplinarios para tener una conversación integral.

¿Cómo están trabajando como CET?

En los últimos 20 años nos hemos dedicado a la difusión de la agroecología, para lo cual tomamos un campo que estaba completamente degradado, en el horizonte C de suelo, 0,8% de materia orgánica y cero biodiversidad, y lo trabajamos como campo demostrativo y hoy tenemos buenas producciones, suelos con 6-7% de materia orgánica, sin problemas de fertilidad, entonces sirve de demostración. Los agricultores que vienen acá pueden ver que el suelo es distinto, ven las producciones, ven que no hay plagas, etc. Es un campo de 23 ha donde 8-9 ha están de modelo para los agricultores de la zona. Se cultiva con una rotación, y cultivos mayores como cereales, avena vicia, chacras, horticultura, frutales. Del punto de vista del suelo lo que nos importa mucho es la planificación del predio, con una zonificación para frutales, sistemas silvo-pastorales, forestación (nativo, pino y eucalipto).

¿En cuánto tiempo se han visto los resultados?

Depende de la intensidad con se integren las prácticas. Si uno empieza con altas tasas de compost sería más rápido, pero como se trabaja con gente de campo hay que poner objetivos realistas y en general son procesos más lentos, donde al tercer o cuarto año ya se empieza a notar diferencia.

¿Cómo cuantificar los costos de incorporar estas prácticas?

Hay prácticas que son muy baratas y que tienen un impacto inmediato, cómo hacer curvas de nivel, pero esas prácticas en el SIRS no se incluyen porque ni el operador sale, el agricultor prefiere que le regalen el abono químico y la cal porque es lo más fácil. En esos programas que subsidian esas prácticas, quien entrega el subsidio necesita un documentos formal que diga cuánto se gastó, pero cuando se trata de incorporar nuevas prácticas el gasto principal es mano de obra, y es muy difícil justificar mano de obra, tienes que presentar un contrato de trabajo o una boleta de servicio, si es el mismo agricultor el que hace las cosas se complica la rendición y la transparencia de esos costos. Otro ejemplo es una factura de compost, cuando lo importante es motivar a que la gente lo haga con sus propios recursos y en su propio predio, pero eso no lo pueden facturar, con lo que se producen trabas administrativas que son completamente anti-ecológicas. Muchas de estas prácticas son costo cero, por lo que a los funcionarios de Indap no les sirve, porque a ellos los evalúan por cuánta plata se gasta en cada uno de los programas o en las familias o cuánto se gastó en fertilizantes porque eso representa un dato duro. No se mide cuantos están reciclando, cuantos están haciendo compost, cuantos producen biofertilizantes, etc. entonces todo eso va quedando fuera porque no forma parte de las metas. Finalmente los proyectos se evalúan por si las platas se gastaron, si la rendición está bien hecha, pero no se mide el impacto real del proyecto.

En el CET llevamos 20 años haciendo un diplomado para profesionales donde tenemos 700 personas egresadas, y hoy estamos haciendo un curso a 360 funcionarios de planta de Indap sobre agroecología. En este caso, son mandos medios, que son los que realmente pueden hacer la transformación. Además vienen Prodesal, SAL, etc.

¿Qué falta?

Aquí hacemos desde una visita guiada donde se muestran los distintos sistemas, capacitaciones, cursos, pero finalmente los agricultores tienen que hacer lo que dice el técnico y al técnico lo miden por cuanto fertilizante entrega, entonces se hace una cadena muy nociva. Aunque las prácticas que aprenden son económicas y fáciles de hacer, finalmente no lo hacen en el predio. En general la recepción a la agroecología es buena, los agrónomos jóvenes están muchos más convencidos, están más preocupado del medio ambiente. Con respecto a alguna medición lo que sí tenemos son mediciones de cómo han cambiado predios que han seguido con prácticas agroecológicas y predios convencionales en una misma localidad. Con eso se puede decir con propiedad que es una práctica que no cuesta más y que genera un inversión en cuanto a rendimiento.

En el CET se habla más de rentabilidad, porque un economista agrario convencional habla de rendimiento, pero no se calcula los costos. Además si en los costos se agregan los costos de degradación de suelos, contaminación, etc. la rentabilidad se va a pérdida total. También por volumen, los agricultores que tienen 200 ha y que llevan 15 años haciendo monocultivo de maíz, su fertilidad natural de suelos ha bajado tanto que han tenido que aumentar tanto la fertilización química y la cal que los márgenes son tan pequeños que solo los salva el tener una gran superficie.

Otra cosa importante es que mucha de la producción de cereales del país está en manos de arrendatarios que no les importa el suelo, solo quieren el mayor rendimiento para que ese margen de positivo.

Las consultoras y los informes que entregan son claves para generar políticas. En los países andinos hay una cultura ancestral del cuidado del suelo, han hecho terrazas, plantaciones en curvas de nivel, etc. En Brasil, donde no tienen esa cultura ancestral, hace 90-100 años atrás el Estado dijo "Aquí no se erosiona más el suelo y el que quiere producir tienen que hacerlo en terrazas o curvas de nivel" y hoy se ve miles de hectáreas con esas prácticas. Tienen monocultivos de caña o soya, pero todo con conservación de suelos. Con esto quiero decir que puede ser un conocimiento ancestral o puede ser la determinación del Estado de abordar el problema y hacer algo al respecto, donde se prepara a los profesionales para hacer conservación de suelos y los subsidios van realmente a conservación. Es interesante porque en las discusiones sobre el SIRS no hay una evaluación del programa. Se puede ir a conferencias internacionales a decir que el estado ha gastado cientos de millones, pero no se sabe cuál fue su efecto.

Entonces en el caso de fertilidad para cereales las respuestas serían: conservación de suelos, obras de conservación (terrazas), rotaciones que incluyan abonos verdes, leguminosas, praderas, diversidad (distintas especies, cercos vivos, corredores biológicos), aplicación de enmiendas de suelo (compost, abonos orgánicos) y en caso de cereales, abonos verdes. Una buena pradera de avena vicia puede aportar 150-180 unidades de N/ha, y además mejora el suelo para siempre.

Nuestra experiencia en cereales es muy pequeña, para el pequeño agricultor como parte de su sistema de cultivos. Por otra parte, la cero labranza sirve para personas con grandes superficies

que no es la mayoría de los pequeños agricultores. Para los pequeños si se quiere incentivar este tipo de manejo habría que entregar el servicio ya que en un predio pequeño no se justifica la inversión. Hace unos años atrás se hicieron máquinas de cero labranza de tracción animal pero no era fácil desde el punto de vista de manejo. Finalmente, los proyectos asociativos fuerzan una asociación que no resulta.

Hay que capacitar a los equipos técnicos en manejo sostenible de suelos!!!

(lo que es un camino directo a la Agroecología)

Ver en Biblioteca Indap:

Manual de Agroecología

Manual de Transición

ANEXO 2 FLUJOS DE CAJA DE LOS ESCENARIOS MODELADOS

TRIGO

Escenario Base

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión (\$/Ha)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rendimiento (Kg/ha)	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
Precio de venta a productor (\$/Kg)	222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220
Ingreso por hectárea (\$/ha)	1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090	\$1.332.090
Costos directos por hectárea (\$/ha)	978.182	\$978.182	\$978.182	\$978.182	\$978.182	\$978.182	\$978.182	\$978.182	\$978.182	\$978.182
Costos totales por hectárea (\$/ha)	1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209
Margen bruto por hectárea (\$/ha)	\$353.908	\$353.908	\$353.908	\$353.908	\$353.908	\$353.908	\$353.908	\$353.908	\$353.908	\$353.908
Margen neto por hectárea (\$/ha)	287.881	\$287.881	\$287.881	\$287.881	\$287.881	\$287.881	\$287.881	\$287.881	\$287.881	\$287.881
Costo unitario (\$/kg)	174	\$174	\$174	\$174	\$174	\$174	\$174	\$174	\$174	\$174
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076
Fertilización (foliares) (\$/ha)	0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	298.275	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%	2,50%
Fertilización (insumo)	0	\$0	\$951.932	\$951.932	\$951.932	\$951.932	\$951.932	\$951.932	\$951.932	\$951.932

alternativo)										
% costo Fertilización sobre costos totales	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%
otros costos	719.858	719.858	719.858	719.858	719.858	719.858	719.858	719.858	719.858	719.858
VAN	\$2.440.384									

Escenario Business as Usual

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión (\$/Ha)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rendimiento (Kg/ha)	6.000	5880	5762	5647	5534	5424	5315	5209	5105	5002
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$1.332.090	\$1.305.448	\$1.279.339	\$1.253.752	\$1.228.677	\$1.204.104	\$1.180.022	\$1.156.421	\$1.133.293	\$1.110.627
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.074.783
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$287.881	\$261.239	\$235.130	\$209.543	\$169.554	\$144.981	\$120.899	\$97.298	\$74.170	\$35.844
Costo unitario (\$/kg)	\$174	\$178	\$181	\$185	\$191	\$195	\$199	\$203	\$207	\$215
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$298.275	\$298.275	\$298.275	\$298.275	\$313.189	\$313.189	\$313.189	\$313.189	\$313.189	\$328.848
Fertilización (insumo alternativo)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
% costo Fertilización sobre costos totales	28,56%	28,56%	28,56%	28,56%	29,57%	29,57%	29,57%	29,57%	29,57%	30,60%
otros costos	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858

VAN	\$1.239.816									
-----	-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Escenario Convencional Tecnificado

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión (\$/Ha)	\$2.000.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Rendimiento (Kg/ha)	6.000	6.240	6.240	6.240	6.240	6.240	6.240	6.240	6.240	6.240
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222	\$222
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	17.220	17.220	17.220	17.220	17.220	17.220	17.220	17.220	17.220	17.220
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$1.332.090	\$1.385.374	\$1.385.374	\$1.385.374	\$1.385.374	\$1.385.374	\$1.385.374	\$1.385.374	\$1.385.374	\$1.385.374
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.044.209	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.059.123	\$1.074.783
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$287.881	\$341.164	\$341.164	\$341.164	\$326.250	\$326.250	\$326.250	\$326.250	\$326.250	\$310.591
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$298.275	\$328.103	\$360.913	\$397.004	\$436.704	\$480.375	\$528.412	\$581.254	\$639.379	\$703.317
fertilización (insumo alternativo)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
% costo Fertilización sobre costos totales	28,56%	31,42%	34,56%	38,02%	41,23%	45,36%	49,89%	54,88%	60,37%	65,44%
otros costos	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858	\$719.858
VAN	\$2.242.453									

. Escenario Regenerativo

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión cero labranza(\$/Ha)	130.792	130.792	130.792	130.792	130.792	130.792	130.792	130.792	130.792	130.792

Rendimiento (Kg/ha)	4.500	4.500	4.500	5.400	5.400	5.400	5.400	5.400	5.400	5.400
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$222	\$222	\$333	\$333	\$333	\$333	\$333	\$333	\$333	\$333
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220	\$17.220
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$999.068	\$999.068	\$1.498.601	\$1.798.322	\$1.798.322	\$1.798.322	\$1.798.322	\$1.798.322	\$1.798.322	\$1.798.322
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268	\$1.356.268
Margen neto por hectárea (\$/ha)	-\$357.200	-\$357.200	\$142.334	\$442.054	\$442.054	\$442.054	\$442.054	\$442.054	\$442.054	\$442.054
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076	\$26.076
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
fertilización (insumo alternativo)	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220	\$1.186.220
% costo Fertilización sobre costos totales	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%	89%
otros costos	\$143.972	\$143.972	\$143.972	\$143.972	\$143.972	\$143.972	\$143.972	\$143.972	\$143.972	\$143.972
VAN	\$1.369.165									

Beneficios ambientales	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
acumulación de MO	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%	0,06%
GEI	\$51.806	\$51.806	\$51.806	\$51.806	\$51.806	\$51.806	\$51.806	\$51.806	\$51.806	\$51.806
Agua (\$/Ha)	\$108	\$108	\$108	\$108	\$108	\$108	\$108	\$108	\$108	\$108
valor MO (\$/Ha)	\$8.949	\$8.949	\$8.949	\$8.949	\$8.949	\$8.949	\$8.949	\$8.949	\$8.949	\$8.949
Margen neto social por hectárea (\$/ha)	-\$296.337	-\$296.337	\$203.197	\$502.917	\$502.917	\$502.917	\$502.917	\$502.917	\$502.917	\$502.917

VAN SOCIAL	\$1.788.851
------------	-------------

CEREZOS**Escenario Base**

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión (\$/Ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rendimiento (Kg/ha)	10.450	10.450	10.450	10.450	10.450	10.450	10.450	10.450	10.450	10.450
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075	\$22.086.075
Costos directos por hectárea (\$/ha)	\$14.495.292	\$15.110.581	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$15.110.581	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292	\$14.495.292
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$6.975.494	\$7.590.784	\$7.590.784	\$7.590.784	\$7.590.784	\$7.590.784	\$7.590.784	\$7.590.784	\$7.590.784	\$7.590.784
Costo unitario (\$/kg)	\$1.541	\$1.387	\$1.387	\$1.387	\$1.387	\$1.387	\$1.387	\$1.387	\$1.387	\$1.387
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052
fertilización (insumo alternativo)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
% costo Fertilización sobre costos totales	4,88%	5,08%	5,08%	5,08%	5,08%	5,08%	5,08%	5,08%	5,08%	5,08%
otros costos	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700	\$13.607.700
VAN	\$51.769.605									

Escenario Business as Usual

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión (\$/Ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rendimiento (Kg/ha)	10.450	10.241	10.036	9.835	9.639	9.446	9.257	9.072	8.890	8.713
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$22.086.075	\$21.644.354	\$21.211.466	\$20.787.237	\$20.371.492	\$19.964.063	\$19.564.781	\$19.173.486	\$18.790.016	\$18.414.216
Costos directos por hectárea (\$/ha)	\$14.495.292	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$5.173.648	\$6.533.773	\$6.100.885	\$5.676.656	\$5.224.059	\$4.816.629	\$4.417.348	\$4.026.052	\$3.642.582	\$3.266.782
Costo unitario (\$/kg)	\$1.541	\$1.475	\$1.506	\$1.536	\$1.572	\$1.604	\$1.636	\$1.670	\$1.704	\$1.739
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$773.905	\$773.905	\$773.905	\$773.905	\$773.905	\$773.905
Fertilización (insumo alternativo)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
% costo Fertilización sobre costos totales	4,88%	4,88%	4,88%	4,88%	5,11%	5,11%	5,11%	5,11%	5,11%	5,11%
otros costos	\$13.607.700	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989
VAN	\$34.937.139									

Escenario Convencional Tecnificado

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión (\$/Ha)	\$2.000.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Rendimiento (Kg/ha)	10.450	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868	10.868
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114	\$2.114
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$22.086.075	\$22.969.518	\$22.969.518	\$22.969.518	\$22.969.518	\$22.969.518	\$22.969.518	\$22.969.518	\$22.969.518	\$22.969.518
Costos directos por hectárea (\$/ha)	14.495.292	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434
Costos totales por hectárea (\$/ha)	15.110.581	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.110.581	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434	\$15.147.434
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$5.173.648	\$7.858.937	\$7.858.937	\$7.858.937	\$7.822.084	\$7.822.084	\$7.822.084	\$7.822.084	\$7.822.084	\$7.822.084
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$737.052	\$773.905	\$773.905	\$773.905	\$773.905	\$773.905	\$773.905
fertilización (insumo alternativo)	0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
otros costos	\$13.607.700	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989	\$14.222.989
VAN	\$51.560.883									

Escenario Regenerativo

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
Inversión (\$/Ha)	\$906.666	\$0	\$0	\$0	\$0	\$906.666	\$0	\$0	\$0	\$0
Rendimiento (Kg/ha)	7.838	7.838	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405	9.405

Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$2.114	\$2.114	\$3.170	\$3.170	\$3.170	\$3.170	\$3.170	\$3.170	\$3.170	\$3.170
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293	\$21.293
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$16.564.556	\$16.564.556	\$29.816.201	\$29.816.201	\$29.816.201	\$29.816.201	\$29.816.201	\$29.816.201	\$29.816.201	\$29.816.201
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$9.331.590	\$9.639.235	\$9.639.235	\$9.639.235	\$9.639.235	\$9.639.235	\$9.639.235	\$9.639.235	\$9.639.235	\$9.639.235
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$7.232.966	\$6.925.322	\$20.176.967	\$20.176.967	\$20.176.967	\$20.176.967	\$20.176.967	\$20.176.967	\$20.176.967	\$20.176.967
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540	\$150.540
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
fertilización (insumo alternativo)	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200	\$2.377.200
otros costos	\$6.803.850	\$7.111.495	\$7.111.495	\$7.111.495	\$7.111.495	\$7.111.495	\$7.111.495	\$7.111.495	\$7.111.495	\$7.111.495
VAN	\$115.590.358									

Beneficios ambientales	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
acumulación de MO	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%	0,18%
GEI	\$618.770	\$618.770	\$618.770	\$618.770	\$618.770	\$618.770	\$618.770	\$618.770	\$618.770	\$618.770
Agua (\$/Ha)	\$330	\$330	\$330	\$330	\$330	\$330	\$330	\$330	\$330	\$330
valor MO (\$/Ha)	\$27.316	\$27.316	\$27.316	\$27.316	\$27.316	\$27.316	\$27.316	\$27.316	\$27.316	\$27.316
Margen neto social por hectárea (\$/ha)	\$7.879.382	\$7.571.737	\$20.823.382	\$20.823.382	\$20.823.382	\$20.823.382	\$20.823.382	\$20.823.382	\$20.823.382	\$20.823.382
VAN	\$120.047.736									

LECHUGA

Escenario Base

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión (\$/Ha)		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rendimiento (Kg/ha)	21.525	21.525	21.525	21.525	21.525	21.525	21.525	21.525	21.525	21.525
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325	\$7.578.325
Costos directos por hectárea (\$/ha)	\$4.197.208	\$4.341.716	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$4.341.716	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$3.236.609	\$3.381.117	\$3.381.117	\$3.381.117	\$3.381.117	\$3.381.117	\$3.381.117	\$3.381.117	\$3.381.117	\$3.381.117
Costo unitario (\$/kg)	\$202	\$195	\$195	\$195	\$195	\$195	\$195	\$195	\$195	\$195
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754
fertilización (insumo alternativo)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
% costo Fertilización sobre costos totales	8,72%	9,02%	9,02%	9,02%	9,02%	9,02%	9,02%	9,02%	9,02%	9,02%
otros costos	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739
VAN	\$23.180.054									

Escenario Business as Usual

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(\$/Ha)										
Rendimiento (Kg/ha)	21.525	21.095	20.673	20.259	19.854	19.457	19.068	18.686	18.313	17.946
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$7.578.325	\$7.426.759	\$7.278.223	\$7.132.659	\$6.990.006	\$6.850.206	\$6.713.201	\$6.578.937	\$6.447.359	\$6.318.412
Costos directos por hectárea (\$/ha)	\$4.341.716	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.255.915
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.255.915
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$3.381.117	\$3.229.551	\$3.081.015	\$2.935.451	\$2.754.922	\$2.615.122	\$2.478.118	\$2.343.854	\$2.212.275	\$2.062.497
Costo unitario (\$/kg)	\$195	\$199	\$203	\$207	\$213	\$218	\$222	\$227	\$231	\$237
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$416.629	\$416.629	\$416.629	\$416.629	\$416.629	\$437.461
Fertilización (insumo alternativo)	0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
% costo Fertilización sobre costos totales	0	9,02%	9,02%	9,02%	9,84%	9,84%	9,84%	9,84%	9,84%	10,28%
otros costos	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739
VAN	\$19.274.338									

Escenario Convencional Tecnificado

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión (\$/Ha)	\$2.000.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Rendimiento (Kg/ha)	21.525	22.386	22.386	22.386	22.386	22.386	22.386	22.386	22.386	22.386

Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352	\$352
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265
Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$7.578.325	\$7.881.458	\$7.881.458	\$7.881.458	\$7.881.458	\$7.881.458	\$7.881.458	\$7.881.458	\$7.881.458	\$7.881.458
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.197.208	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.235.083	\$4.255.915
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$3.381.117	\$3.684.250	\$3.684.250	\$3.684.250	\$3.646.375	\$3.646.375	\$3.646.375	\$3.646.375	\$3.646.375	\$3.625.543
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$378.754	\$416.629	\$416.629	\$416.629	\$416.629	\$416.629	\$437.461
fertilización (insumo alternativo)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
% costo Fertilización sobre costos totales	0	9,02%	9,02%	9,02%	9,84%	9,84%	9,84%	9,84%	9,84%	10,28%
otros costos	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739	\$3.481.739
VAN	\$24.978.391									

Escenario Regenerativo

	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
inversión (\$/Ha)	\$884.085	\$0	\$0	\$0	\$0	\$884.085	\$0	\$0	\$0	\$0
Rendimiento (Kg/ha)	16.144	16.144	18.296	18.296	18.296	18.296	18.296	18.296	18.296	18.296
Precio de venta a productor (\$/Kg)	\$352	\$352	\$528	\$528	\$528	\$528	\$528	\$528	\$528	\$528
Costo jornada hombre (\$/jornada hombre)	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265	\$21.265

Ingreso por hectárea (\$/ha)	\$5.683.744	\$5.683.744	\$9.662.364	\$9.662.364	\$9.662.364	\$9.662.364	\$9.662.364	\$9.662.364	\$9.662.364	\$9.662.364
Costos totales por hectárea (\$/ha)	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135	\$5.221.135
Margen neto por hectárea (\$/ha)	\$462.609	\$462.609	\$4.441.230	\$4.441.230	\$4.441.230	\$4.441.230	\$4.441.230	\$4.441.230	\$4.441.230	\$4.441.230
Fertilización (mano de obra + maquinaria) (\$/ha)	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715	\$336.715
Fertilización (insumo convencional) (\$/ha)	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Fertilización (insumo alternativo) (\$/ha)	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550	\$3.143.550
otros costos	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870	\$1.740.870
VAN	\$23.470.914									

Beneficios ambientales	año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6	año 7	año 8	año 9	año 10
acumulación de MO	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%	0,16%
GEI	\$416.566	\$416.566	\$416.566	\$416.566	\$416.566	\$416.566	\$416.566	\$416.566	\$416.566	\$416.566
Agua (\$/Ha)	\$304	\$304	\$304	\$304	\$304	\$304	\$304	\$304	\$304	\$304
valor MO (\$/Ha)	\$25.159	\$25.159	\$25.159	\$25.159	\$25.159	\$25.159	\$25.159	\$25.159	\$25.159	\$25.159
Margen neto social por hectárea (\$/ha)	\$904.638	\$904.638	\$4.883.259	\$4.883.259	\$4.883.259	\$4.883.259	\$4.883.259	\$4.883.259	\$4.883.259	\$4.883.259