



CAMBIO CLIMÁTICO:

Efectos sobre la producción hortofrutícola
y estrategias de adaptación en Chile



DOCUMENTO DE POSICIÓN DE LA ACADEMIA CHILENA
DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

CAMBIO CLIMÁTICO:

Efectos sobre la producción hortofrutícola y estrategias de adaptación en Chile



DOCUMENTO DE POSICIÓN DE LA ACADEMIA CHILENA DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

Documento preparado y editado por Juan Izquierdo Fernández, Presidente de la Academia Chilena de Ciencias Agrónomicas. Se agradecen las contribuciones y comentarios de: Alberto Cubillos, Bernardo Latorre, Alejandro Violic, Andrés Schwember, Felipe de Solminihaç, Orlando Morales, Francisco Meza, Miguel Sánchez y Francisco Brzovic, Académicos de Número y de María Javiera Hernández, ODEPA.

Las presentaciones de los expositores, Académicos Francisco Meza, Pontificia Universidad Católica de Chile; Fernando Santibáñez, Universidad de Chile; Miguel Sánchez, CHILEBIO; y Alejandro del Pozo, Universidad de Talca; y de Rodrigo Figueroa, Decano FAIF/PUC; María Emilia Undurraga, Directora Nacional, ODEPA; de las profesoras María Luz Mora, Universidad de la Frontera y Ximena Besoain, Universidad Católica de Valparaíso; y de Ronald Bown, Presidente ASOEX, son altamente reconocidas. Se agradece la cooperación y apoyo logístico de las Profesoras y Académicas de Número Marina Gambardella y Gloria Montenegro, Pontificia Universidad Católica de Chile y de la Ing. Agr. Romina Jara, de la Pontificia Universidad Católica de Chile en el apoyo de transcripción.

Julio, 2020

Ref.: Academia Chilena de Ciencias Agrónomicas. 2020. *Cambio climático: efectos sobre la producción hortofrutícola y estrategias de adaptación en Chile*. 74 pp., (Ed. Juan Izquierdo), www.academiaagronomica.cl

De las imágenes:

PORTADA

- © National Geographic (free access). Peral en flor
- © J. Izquierdo. Suelo cuarteado por sequía, San Pedro de Atacama

INTERIOR

- © El Clarín. Capítulo I: Suelo con sequía y plántula de maíz
- © National Geographic (free access). Capítulo II: Inundación de pueblo altiplánico
- © National Geographic (free access). Capítulo III: Peral en flor
- © El Clarín. Capítulo IV: Cultivo de maíz afectado por sequía

Diseño y diagramación: Rosana Espino

Impresión:

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO	7
PRÓLOGO	9
I. CONTEXTO	11
II. IMPACTOS Y RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	15
III. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	27
1.- Manejo de los cultivos y de los recursos hídricos	28
2.- Manejo del carbono y la fertilidad de los suelos	32
3.- Consorcios microbianos y simbiosis funcional	33
4.- Nuevos cultivares a través del mejoramiento genético y las nuevas biotecnologías	35
5.- Agricultura climáticamente inteligente y digital	41
6.- Prevención y adaptación a nuevos riesgos fitosanitarios	45
7.- Fortalecimiento de la infraestructura agroexportadora frutícola	51
IV. RECOMENDACIONES Y LÍNEAS DE ACCIÓN	65
1.- Hacia una estrategia nacional de adaptación frente al cambio climático	65
2.- Líneas de política	69
3.- Acciones recomendadas	70



DOCUMENTO DE POSICIÓN

CAMBIO CLIMÁTICO: EFECTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCOLA Y ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN EN CHILE

RESUMEN EJECUTIVO

En la agricultura de Chile se anticipan efectos sobre la producción de cultivos como consecuencia del cambio climático que incluyen: a) el desplazamiento de las superficies de estos desde la zona central hacia el sur con la consecuente ampliación de su superficie, la que ocasionará mayor disminución de la cobertura del bosque nativo; b) eventos meteorológicos anómalos y cambios observados en las temperaturas mínimas y máximas en los últimos 60 años así como ondas de calor recurrentes en el último tiempo y disminución de las precipitaciones en diferentes ciudades del país (La Serena, Santiago, Concepción y Valdivia) preocupan, existiendo cierto grado de incertidumbre si son el resultado de un cambio permanente o solo responde a un ciclo anómalo repetible cada 100 años; y c) cambios fenológicos, en los rendimientos y calidad de la producción, cambios en la condición fisicoquímica y biológica de los suelos, cambios en la disponibilidad de agua, desplazamiento de zonas aptas para cultivos, presencia de nuevas o más patogénicas enfermedades y plagas, pérdida de polinizadores y cambios en la condición de vida, migración y pobreza, es perentorio desarrollar y poner en marcha estrategias para la adaptación. Entendiendo como adaptación al ajuste de los sistemas naturales o agrícolas en

respuesta a estímulos climáticos reales y sus efectos, con la intención de moderar el daño o explotar las oportunidades beneficiosas, proceso que debe ser incremental y transformativo, la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas considera que es necesario poner mayor atención al conocimiento científico local sobre resiliencia y al análisis de sistemas sostenibles de cultivo en donde ya se hayan identificados patrones de riesgos y adaptaciones prometedoras. Para ello la Academia recomienda priorizar la investigación y desarrollo de estrategias de mediano y largo plazo, a seguir:

- 1.- Manejo de los cultivos y de los recursos hídricos;
- 2.- Manejo del carbono y la fertilidad de los suelos;
- 3.- Consorcios microbianos y simbiosis funcional;
- 4.- Nuevos cultivares a través del mejoramiento genético y las nuevas biotecnologías;
- 5.- Agricultura climáticamente inteligente y digital;
- 6.- Prevención y adaptación a nuevos riesgos fitosanitarios; y
- 7.- Fortalecimiento de la infraestructura agroexportadora frutícola.

Asimismo, la Academia propone estrategias de trabajo para enfrentar los

desafíos científicos e institucionales que surgen de los impactos presentes y esperados del cambio ambiental a través de un proceso adaptativo teniéndose en cuenta específicamente en el ajuste de las líneas de política existentes o en nuevas líneas y/o normativas dentro de una estrategia de largo plazo. Del mismo modo se identifica y propone la adopción de ejes multi institucionales vinculados transversalmente a líneas de política que permitan desarrollar capacidad institucional para la puesta en marcha de un programa de respuesta (alerta proactiva) para eventos de cambio climático; integrar programas gubernamentales y privados existentes en investigación y

transferencia de prácticas de manejo de suelos y cultivos para adaptación en los diferentes sistemas de producción; insertar el concepto transversal de la importancia de la adaptación al cambio ambiental en las políticas y programas agrícolas y promover la planificación acorde con experiencias adquiridas. Nuestra institución espera, de este modo, contribuir a la planificación de políticas de I+D aplicables al desarrollo sostenible de la producción hortofrutícola frente al cambio climático enfocando elementos claves para lograr una producción sostenible de alimentos saludables desde la perspectiva de las ciencias agronómicas.



PRÓLOGO

Continuando con su continua labor en la última década, la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas (ACHCA) ha promovido el avance de las ciencias agronómicas y de las tecnologías que se deriven de ellas, como un factor fundamental del desarrollo agrícola sostenible de Chile. En ello, la realización de seminarios científicos sobre temas emergentes se ha transformado en la actividad central de la institución, generándose los respectivos documentos de posición¹ que formalizan la perspectiva y aportan recomendaciones en torno a las temáticas abordadas y a los territorios considerados.

El X Seminario Científico –“Impactos y desafíos en la producción agrícola sostenible frente al cambio climático”– se realizó en Santiago el 9 de enero 2020, en la sede de la Pontificia Universidad Católica de Chile, campus San Joaquín y fue organizado por una comisión de Académicos de la ACHCA y profesores de esa casa de estudios. Contó con el patrocinio de la Oficina Estudios y Política Agraria del Ministerio de Agricultura de Chile (ODEPA), de la Asociación de Exportadores de Frutas (ASOEX) y de la Universidad Católica, la que destinó su Auditorio del Centro de Innovación. Las presentaciones se encuentran en el sitio web de la ACHCA (www.academiaagronomica.cl).

En la agricultura de Chile se anticipan efectos sobre la producción de cultivos como consecuencia del cambio climático

que incluyen, el desplazamiento de las superficies de estos desde la zona central hacia el sur con la consecuente ampliación de su superficie, la que ocasionará mayor disminución de la cobertura del bosque nativo. Estos hechos requerirán, a su vez, el desarrollo e incorporación de nuevos cultivares y tecnologías². Por ello, es esencial explorar opciones que puedan ofrecer, a la luz de los conocimientos científicos y tecnologías agrícolas disponibles, soluciones factibles a los procesos de mitigación y adaptación al cambio ambiental como base para la formulación de políticas atinentes.

La Academia, en el presente Documento de Posición, en especial su sección “Recomendaciones y líneas de acción”, propone estrategias de trabajo para enfrentar los desafíos científicos e institucionales que surgen de los impactos presentes y esperados del cambio ambiental a través de un proceso adaptativo. La Academia espera, de este modo, contribuir a la planificación de políticas de I+D aplicables al desarrollo sostenible de la producción frutícola y vinícola frente al cambio climático enfocando elementos para lograr una producción sostenible de alimentos saludables desde la perspectiva de las ciencias agronómicas.

¹ Documentos disponibles en: www.academiaagronomica.cl

² ODEPA. 2013. Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequía. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/12/cambioClimatico2013.pdf>





CONTEXTO



El uso de la tierra para fines agrícolas, ganaderos y silvícolas causa el 22 % de las emisiones antropogénicas de gases con efecto invernadero (GEI) y una tercera parte de los alimentos producidos se deterioran o se desperdician³. Esto conlleva a los países a promover y adoptar lentamente iniciativas que incidan simultáneamente sobre las causas de esas dos situaciones. La reducción de la pérdida de alimentos supondría una disminución *per se* de las emisiones de gases de efecto invernadero y ayudaría

a mejorar la seguridad alimentaria. Algunos patrones alimentarios requieren más agua y tierra y provocan, en comparación con otras alternativas, más emisiones de gases que atrapan el calor.

Partiendo de la premisa de que la tierra que ya se está cultivando podría alimentar a la población en un contexto de cambio climático y ser una fuente de biomasa que proporcione energía renovable, la Academia considera que se debe velar por la conservación y restauración de los ecosistemas, la biodiversidad y la producción sostenible.

Con sólo un 8% de la población mundial, América Latina posee a nivel global el 23% de las tierras potencialmente cultivables, el 12% de la tierra actualmente

³ IPCC 2019. El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPCC sobre cambio climático, desertificación, degradación, gestión sostenible de la tierra, seguridad alimentaria y flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres. <https://www.ipcc.ch/report/srccl/>

cultivada, el 46% de los bosques tropicales y el 31% del agua dulce del planeta⁴. La Región es productora neta de alimentos y responde por 14% de la producción agrícola mundial y el 23% de las exportaciones agrícolas y pesqueras. Según la OCDE y FAO⁵, la región tendrá un crecimiento de 22% en sus cultivos y de 16% en los productos pecuarios estimándose que para 2028 aportará más de 25% de las exportaciones de productos agrícolas globales existiendo un amplio potencial de crecimiento en la producción de frutas y verduras de alta calidad. Lo anterior podría brindar mejores oportunidades para la agricultura familiar y dietas más saludables para la población. En este contexto, la posición chilena en algunas especies, es descollante, ocupando el país en el 2018 el primer lugar mundial de exportación de uva de mesa y arándanos; el segundo en cerezas, el tercero en paltas y el cuarto en vino⁶.

Considerando, en la actualidad, además de satisfacer la demanda se debe velar por la entrega de alimentos saludables frente a un consumidor más informado y exigente, el cambio climático, con una demostrada influencia humana como uno de los factores agravantes⁷,

hace que la agricultura deba adaptarse al desafío de producir alimentos bajo estas condiciones.

⁴ FAO y GTIS. 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>

⁵ OCDE-FAO 2019. Perspectivas agrícolas 2019-2028. <http://www.fao.org/3/ca5308es/ca5308es.pdf>

⁶ Fuente: OIV, GTA

⁷ Undurraga, M.E., 2020. *Estrategias y acuerdos para la agricultura desde la COP 25*. Presentación en X Seminario de





IMPACTOS Y RIESGOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO



El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) considera que el calentamiento global es inequívoco, la influencia humana en el sistema climático es clara y limitar o mitigar este cambio requerirá reducciones sustanciales y sostenidas de las emisiones de gases de efecto invernadero⁸. El cambio climático se expresa en la modificación de los patrones de las precipitaciones, temperaturas y vientos, así como en el aumento de la intensidad y frecuencia de eventos meteorológicos extremos incrementando el riesgo de desastres que afectan a la

agricultura. Ello conlleva a consecuencias significativas sobre la producción, los medios de vida de las personas que dependen de la agricultura y sobre la seguridad alimentaria y nutricional de la población en general. Se estima, que entre el 2006 y el 2016, el 23% de los daños y pérdidas causados por los desastres climáticos de mediana y alta intensidad en países en desarrollo afectaron al sector agrícola, y que el 80% de las pérdidas fueron relacionadas a eventos de sequía concentradas en este sector⁹.

⁸ IPCC. 2013. Cambio Climático Bases físicas. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf

⁹ FAO (2017). The impact of disasters on agriculture. Addressing the information gap. <http://www.fao.org/3/a-i7279e.pdf>

El cambio climático está causando efectos significativos sobre la producción agrícola, tal es el caso de la producción de trigo en India, la que se verá afectada en las llanuras indo-gangéticas (altamente favorables para la producción bajo riego y que representan el 15% del volumen de la producción mundial), lo que significaría que el 51% del área podría reclasificarse como ambiente de temporada corta estresada por calor, con una significativa reducción en los rendimientos. Alternativamente, el calentamiento global puede ser beneficioso, proyectándose que el área actual de trigo cultivado en el mega ambiente frío y templado podría expandirse hasta los 65° grados N tanto en América del Norte como en Eurasia¹⁰.

A nivel global se consideran diversos indicadores específicos de impacto del cambio climático¹¹: la duplicación del contenido de gases de efecto invernadero (GEI) durante este siglo; la elevación de la temperatura planetaria entre 2 y 4 °C; la inestabilidad de los equilibrios de masa y energía de la atmósfera; la expansión de desiertos afectando a varias regiones productivas (California, Chile, Sur de Europa, África y parte de China); la reducción de los cuerpos de hielo y nieve en un 50 %; el agotamiento de

fuentes de agua dulce y; la contaminación de aguas, suelos y aire creando crecientes amenazas para la salud humana. Considerando estos factores entre otros, la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (COP 25), tuvo como objetivo establecer metas más ambiciosas y exigibles como la reducción de GEI de los países a través de un compromiso de carbono neutralidad al 2050, el que fue asumido por 121 países, incluido Chile. Asimismo, se buscó la promoción de la acción climática mediante la incorporación del sector privado, la protección de océanos, el manejo sustentable de bosques y forestación, la adaptación, y que estas acciones deben estar basadas en la ciencia¹².

Chile, aporta el 0,26% de la emisión global de GEI y su sector silvoagropecuario, que representa el 11% de las emisiones, está, desde hace 12 años, inmerso en una situación de sequía en la que, durante los últimos 5 años registra récords históricos de altas temperaturas. El sector agrícola nacional puede reducir sus emisiones a través de prácticas sostenibles a nivel de fermentación entérica en la producción animal, el adecuado manejo de suelos agrícolas y la gestión de estiércol. Además, Chile cuenta con un gran potencial de mitigación a través de la captura de carbono por el sector forestal, plantaciones frutales y praderas, ya que capturan aproximadamente

¹⁰ Ortiz, R. et al. (2008). Climate change: Can wheat beat the heat? Agriculture, Ecosystems and Environment 126:46–58. Elsevier. www.elsevier.com/locate/agee

¹¹ Santibáñez, F., 2020. *Las modificaciones del clima durante el siglo XXI y sus posibles impactos en el potencial productivo agrícola en el Sur de Chile*. Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl

¹² Ibid. 7

el 60 % de las emisiones (65.492 kT CO₂ EQ, emisiones de GEI totales)¹³.

Siendo la energía fósil la causa primaria de la desestabilización de la atmósfera terrestre y la responsable por los nuevos escenarios climáticos¹⁴, este cambio amenaza la seguridad alimentaria mundial, la erradicación de la pobreza y el logro del desarrollo sostenible por lo que, cerrar o mitigar estas brechas requiere de innovaciones resultantes de la investigación agrícola nacional. Dicha sostenibilidad no debe ser vista solo como la necesaria mitigación de las causas del cambio climático, sino que incluye intervenir sobre diversos impactos ambientales tales como las huellas hídrica, energética, de carbono y ecológica, la degradación de tierras, la desertificación y el deterioro de la capa de ozono, entre otros, sin excluir los temas sociales relacionados con las comunidades, proveedores, salud de los consumidores y calidad de vida de los/ las trabajadores, etc.

Las relaciones entre el cambio ambiental con los sistemas productivos y la seguridad alimentaria son dinámicas y bidireccionales dado que el funcionamiento del sistema alimentario, en términos de rendimiento de los cultivos, seguridad y calidad nutricional, puede verse muy afectado por el

cambio climático¹⁵. Este reto implica satisfacer de manera sostenible la demanda exportadora y del consumo nacional de productos hortofrutícolas saludables, lo que resulta todavía más crítico, si se consideran los efectos combinados del cambio climático, las limitaciones hídricas, los costos energéticos y la degradación de los recursos.

Las proyecciones realizadas en 2012 respecto al impacto del cambio climático en Chile¹⁶ arrojaron que el rendimiento del trigo de secano disminuiría entre un 5 y un 10 % en la zona septentrional y central de Chile debido a las sequías esperadas en estas zonas, mientras que en la región del Biobío o más al sur el rendimiento de este cereal podría aumentar más de un 30% debido al incremento de temperaturas en el invierno. Por su parte, los rendimientos del frejol, maíz, papa y remolacha azucarera disminuirían desde el norte hasta la región del Biobío, aunque aumentarían en la costa y la pre cordillera y desde la Araucanía hacia el sur. Por otro lado, se proyectó que la productividad anual de las pasturas disminuiría en Atacama y desde Coquimbo hasta Los Lagos debido a la menor disponibilidad de agua en los suelos de estas zonas aumentando en la región central de Chile y en el Altiplano. También los rendimientos de las pasturas se reducirían en la cordillera de

¹³ Ministerio de Medio Ambiente - Chile. 2018. Tercer informe biennial de actualización de Chile sobre cambio climático <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>

¹⁴ Ibid. 11.

¹⁵ Tapsell L., Probst Y., Lawrence M. et al. (2011). *Food and nutrition security in the Australia-New Zealand region: impact of climate change*. World Rev Nutr Diet 102, 192- 200.

¹⁶ Ortiz, R. 2012. *El cambio climático y la producción agrícola*. s.l., BID, 2012. 41p.

la costa por efecto de la radiación solar, y lo mismo, desde el Biobío hasta Los Lagos como consecuencia de periodos secos prolongados. Sin embargo, los rendimientos de cereales se incrementarían hasta un 10 por ciento desde Valparaíso hasta el río Maule debido a las mayores temperaturas invernales.

Por su parte, los rendimientos de uva de mesa y de vino se reducirían en el norte de Chile debido al desarrollo prematuro del cultivo por efecto de las altas temperaturas esperadas para el invierno y la primavera y un adelanto de la cosecha de las uvas viníferas ha sido detectado en las zonas de Coquimbo y Maipo¹⁷. Estos menores rendimientos se registrarían también en la zona Metropolitana hacia el sur, debido a la menor radiación solar, a las altas temperaturas y precipitaciones, y a las heladas de final de primavera. Como contrapartida, la productividad del cultivo podría aumentar en las regiones del Maule y del Biobío, y lo mismo sucedería desde la Araucanía hacia el sur.

Según el Ministerio del Medio Ambiente (2016)¹⁸, la región de Valparaíso es la región del país más vulnerable al cambio climático del país, ya que existirán aumentos en las temperaturas mínimas, medias y máximas de todas las comunas de la zona, junto con una disminución de

precipitaciones. Esto último, sumado al cambio de los vientos y una condición seca del aire, suelo y vegetación, provocan un aumento en la probabilidad de incendios forestales. Además, se espera que debido a la baja cantidad de precipitaciones y al aumento de temperatura se reduzca una reducción en la acumulación de nieve en la cordillera con la consecuente disminución en los caudales de río. También es necesario contar con estadísticas sobre el abandono de huertos en la región debido a la sequía que ha afectado al país.

En el caso del duraznero la productividad podría verse afectada al igual que la de la uva. Por último, los rendimientos del manzano disminuirán en todo el país hasta la Araucanía, debido al exceso de calor (esto es, inviernos menos fríos y veranos más cálidos) que reduce el período de fructificación.

En el contexto anterior, una agricultura climáticamente inteligente constituye una propuesta en marcha para adaptar a los sistemas agrícolas a los nuevos riesgos de un clima cambiante persiguiendo tres objetivos principales: aumento sostenible de la productividad y los ingresos agrícolas; adaptación y creación de resiliencia ante el cambio climático, y reducción y absorción de gases de efecto invernadero, cuidando las huellas ecológicas, de carbono, hídrica y energética¹⁹.

¹⁷ Cubillos, A. 2020. Com. Personal. Academia Chilena de Ciencias Agronómicas.

¹⁸ Ministerio del Medio Ambiente. 2016. Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050. Disponible en http://portal.mma.gob.cl/wp-content/doc/Clima-Comunal_Informe_Final_29_08_2016-web.pdf

¹⁹ Lipper, L., et al. 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change* volume 4, pages 1068–1072 (2014) <https://www.nature.com/articles/nclimate2437>

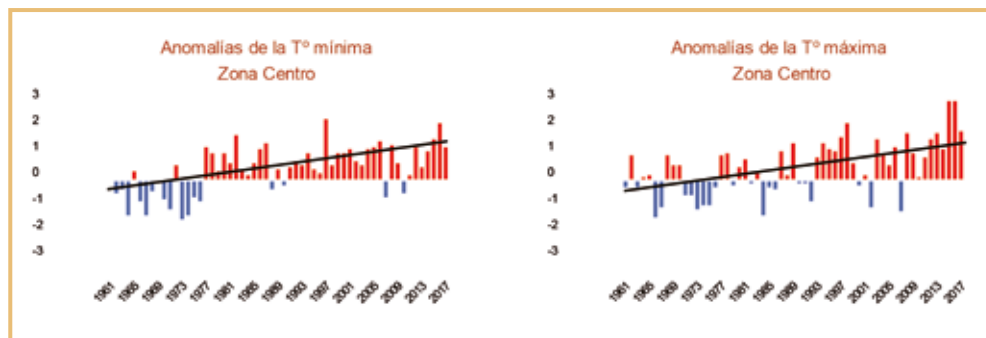


Figura 1. Cambios anómalos en la temperatura mínima y máxima de la zona centro, Chile, observado en los últimos 60 años. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente-Chile²²

La estrategia a nivel nacional por parte del ministerio de agricultura (MINA-GRI) para enfrentar estos desafíos, es trabajar en conjunto reuniendo al sector público, la sociedad civil y el sector privado con un enfoque integral, es decir, contar con información estratégica en los tres ejes, económico, social y ambiental²⁰. En Chile, eventos meteorológicos anómalos y cambios observados en las temperaturas mínimas y máximas en los últimos 60 años (Fig. 1) así como ondas de calor recurrentes en el último tiempo y disminución de las precipitaciones en diferentes ciudades del país (La Serena, Santiago, Concepción y Valdivia) preocupan, existiendo cierto grado de incertidumbre si son el resultado de un cambio permanente o solo responde a un ciclo anómalo repetible cada 100 años²¹.

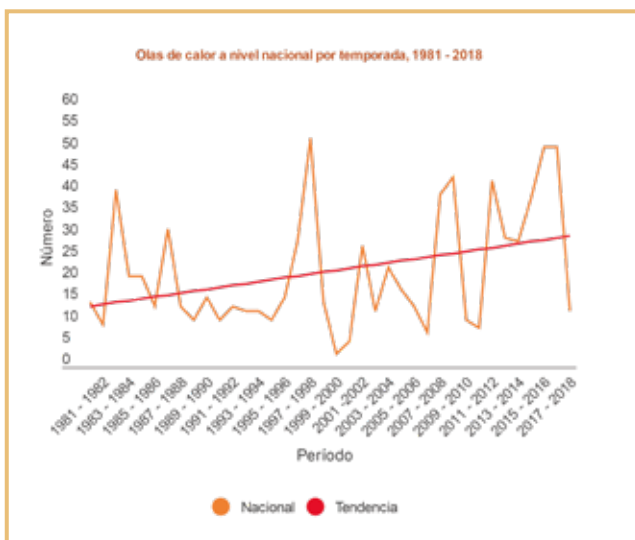


Figura 2. Ondas de calor a nivel nacional 1981-2018. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente-Chile²³.

²⁰ Ibid. 7.

²¹ Ibid. 11.

²² Ministerio de Medio Ambiente - Chile. 2018. Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-BUR-Chile-SPanish.pdf>

²³ Ministerio de Medio Ambiente - Chile. 2018. Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre cambio climático <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/12/3rd-bur-chile-spanish.pdf>

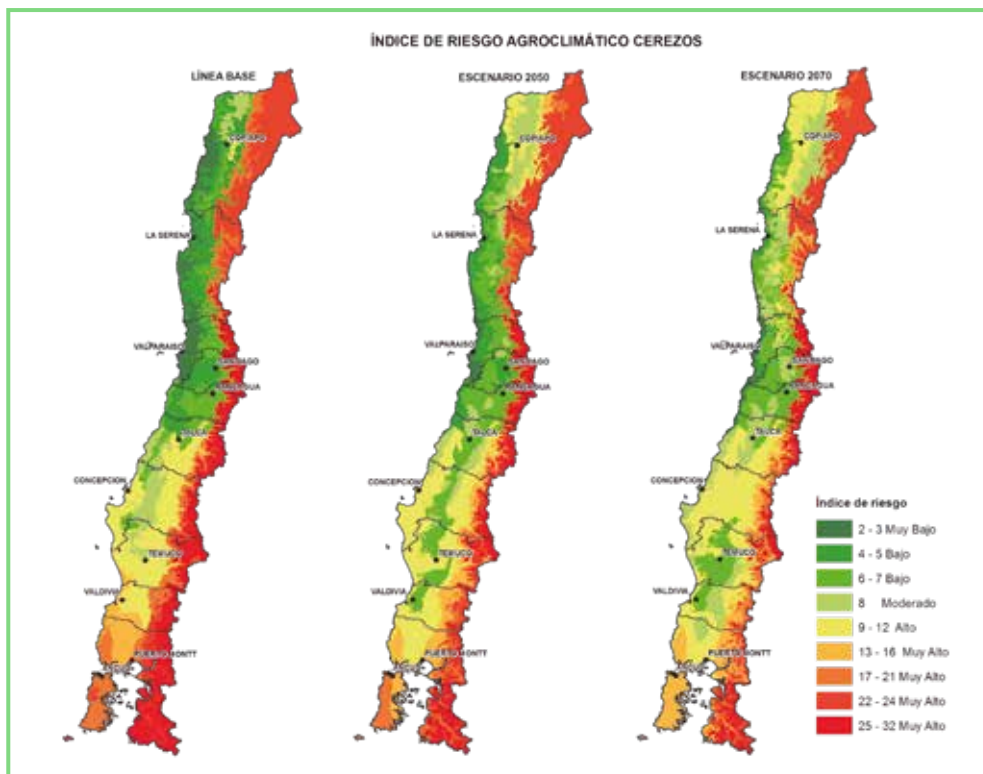


Figura 3. Cerezos: riesgo agroclimático.
Fuente: AGRIMED - Universidad de Chile.

Entre los impactos negativos del cambio climático se encuentra la reducción en la calidad de los productos debido a las ondas de calor o frío (Fig. 2), heladas, lluvias intensas o sequías, pero también pueden implicar impactos positivos o ventajas productivas ya que los veranos serían más secos con temperaturas adecuadas, los inviernos menos amenazantes, las primaveras menos frías y el aire será más húmedo. Estas condiciones ambientales podrían mejorar la calidad de los productos conllevando a una estrategia de producir determinado tipo de

agricultura que se adapte mejor a estas nuevas condiciones climáticas.

Los regímenes climáticos se desplazan a razón de dos kilómetros por año y las lluvias no son la excepción proyectándose que el valle central será mucho más caliente y seco al año 2050²⁴.

Existen diversas metodologías que proporcionan información sobre el grado de cumplimiento de las exigencias bioclimáticas de las diferentes especies frutales. El índice de riesgo puede ser calculado en base a variables que afectan el desarrollo y productividad de

²⁴ Ibid. 11

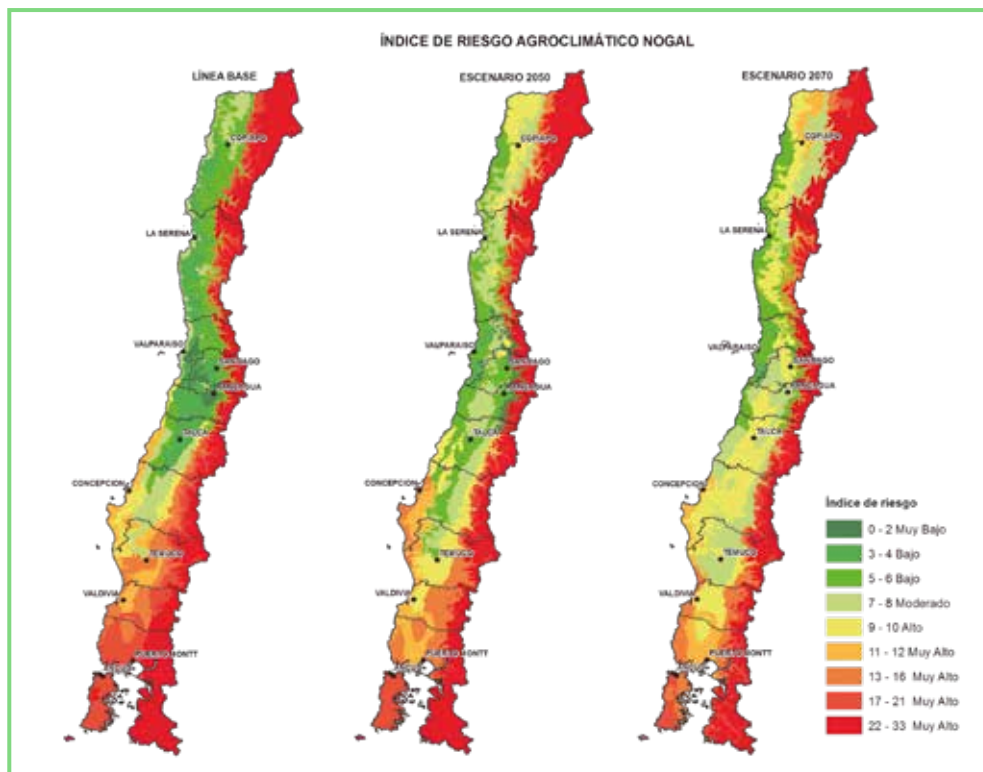


Figura 4. Nogales: riesgo agroclimático.
Fuente: AGRIMED - Universidad de Chile

una especie durante las distintas fases fenológicas. El modelo desarrollado en AGRIMED²⁵ incorpora componentes de riesgo tales como sensibilidad a heladas, sensibilidad a altas temperaturas y la sensibilidad a estrés térmico a temperaturas de 28, 30, 32, 34 y 36°C, mientras que la simulación fenológica considera la acumulación térmica en días grado de crecimiento.

Para el caso particular del cerezo, cultivo en un auge creciente a nivel nacional,

los potenciales de producción a partir del año 2050 y hasta el 2070 se incrementan dado que las condiciones de producción mejorarían considerablemente hacia al sur de Biobío (Fig. 3) debido al aumento de la temperatura en esa zona, permitiendo su producción en aquellos sectores aledaños a la cordillera mientras que en la zona norte comienza a decaer el potencial productivo principalmente por el déficit hídrico.

Para el caso de los nogales (Fig. 4) es factible que a través de tecnologías adaptativas en el Sur se puedan mantener los potenciales actuales mientras que en la zona central las condiciones

²⁵ AGRIMED.2019. Sistema de gestión de riesgos agroclimáticos para la adaptación a nuevos escenarios climáticos. <http://www.fondefriesgos.agrimed.cl/contenido.asp?id=10>

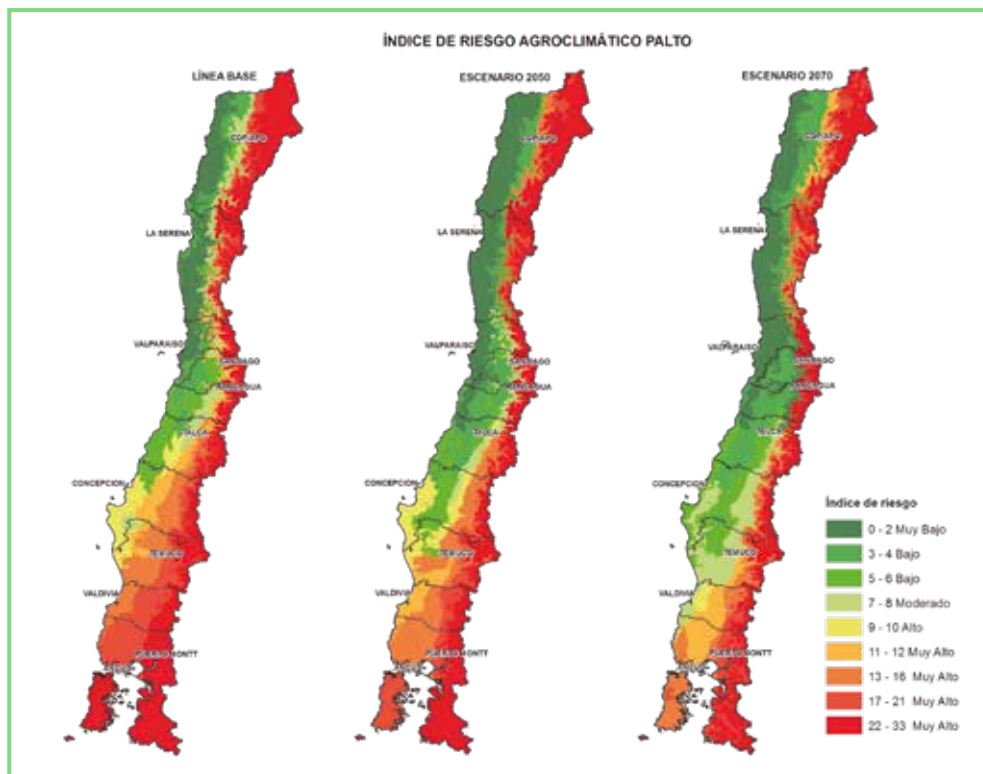


Figura 5. Paltos: riesgo agroclimático.
Fuente: AGRIMED - Universidad de Chile.

se deterioran por falta de frío pero mejoran considerablemente hacia el sur de Biobío. Las condiciones para las plantaciones de palto en cambio mejoran a lo largo de la geografía nacional (Fig. 5) ya que no se ven afectados mayormente por el cambio climático, salvo, una leve pérdida en el contenido de aceites. Para la vid las condiciones mejoran al sur de Biobío y se deterioran en el valle central (Fig.6) a causa del estrés térmico lo que incidirá en el traslado hacia el sur del Biobío siendo posible que a través de medidas de adaptación mantener los niveles potenciales actuales. En el caso de la vid hay que distinguir entre la uva

de mesa y la para vinificar. Respecto a esta última, el vino como producto final de calidad depende de un conjunto de factores que forman el “terroir” y que incide fuertemente en la tipicidad, fineza y calidad del vino. Habrá cepas que se adaptarán mejor, y aparecerán otros, sin embargo si se soluciona el problema hídrico en la zona norte y se implementan adecuados manejos técnicos se podría obtener una ventaja productiva frente cambio climático para esta especie.

Los arándanos (Fig.7) serían afectados por las altas temperaturas lo que requerirá protección para mantener los potenciales.

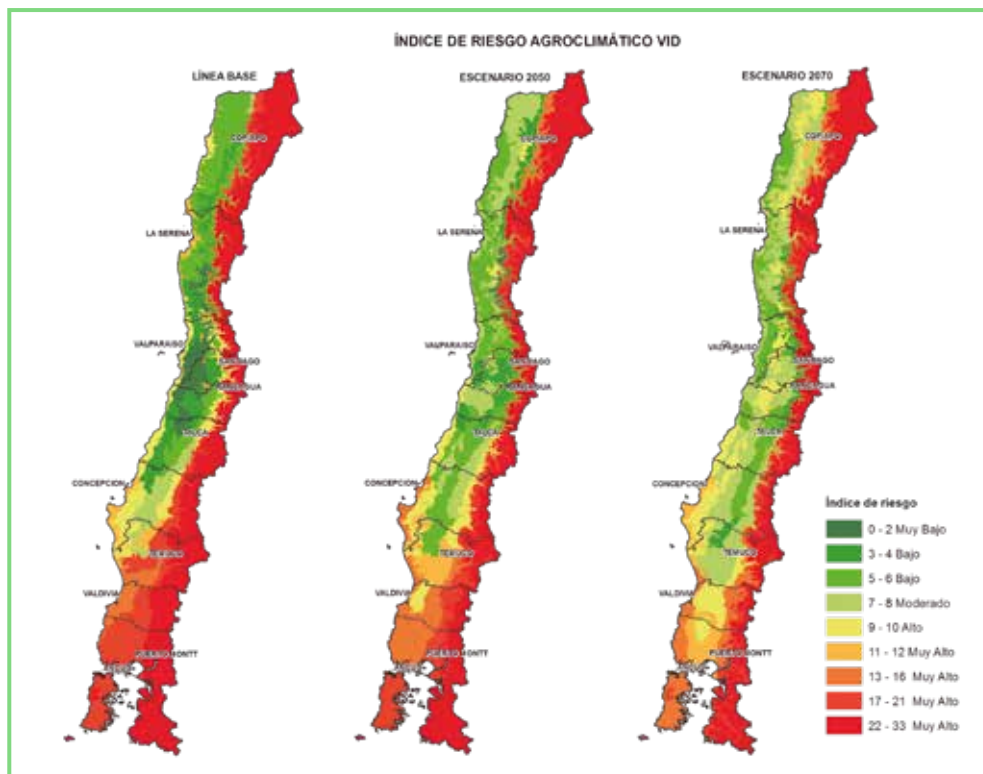


Figura 6. Vides: riesgo agroclimático.

Fuente: AGRIMED - Universidad de Chile.

Chile presenta realidades hídricas contrastantes. Mientras que entre Arica hasta el norte de Aconcagua el ciclo hidrológico se encuentra al límite, desde el Norte de Aconcagua hasta la región del Maule, el ciclo hidrológico aún se encuentra con tolerancia. A su vez desde el sur de la región del Maule hasta el fin del territorio nacional el ciclo hidrológico se encuentra muy poco intervenido y factibiliza una agricultura de riego en las regiones de Los Ríos, Los Lagos y Aysén²⁶. El país enfrenta la falta

de lluvias “desde hace una década en el área comprendida entre La Ligua y Temuco, la porción del territorio donde habita la mayor parte de la población”²⁷ y en donde se realiza la mayor parte de la frutivicultura nacional.

La disminución, estadísticamente significativa, de las precipitaciones para la zona centro-sur de Chile, ha sido observada desde 2012²⁸ y hacia el año 2030,

²⁷ Contardo, O. 2020. Superados por una sequía anunciada. *La Tercera* 26/01/2020

²⁸ Quintana, J. and Aceituno, P. 2012. “Changes in the rainfall regime along the extratropical west coast of South America” (Chile): 30-43°S. *Atmósfera* 25(3450):1-22.

²⁶ Ibid. 11.

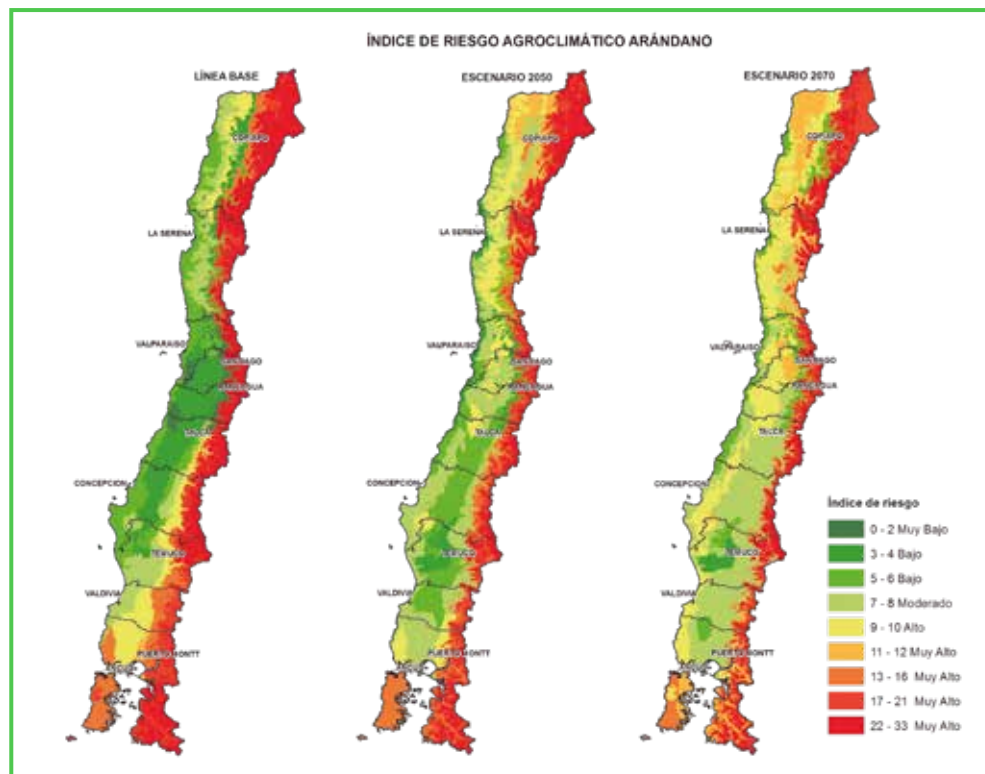


Figura 7. Arándanos: riesgo agroclimático.

Fuente: AGRIMED - Universidad de Chile

se proyecta una disminución de la precipitación entre 5% y 15%, para la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Copiapó y Aysén intensificándose para el período 2031 – 2050²⁹. La zona ubicada entre las cuencas de los ríos Mataquito y Aysén, muestra una señal robusta de disminución de las precipitaciones para dicho período, en tanto que, en la zona de Magallanes, los modelos proyectan un leve aumento de

estas³⁰. Se prevé un desplazamiento de los cultivos hacia el sur junto a una menor disponibilidad de aguas para riego en la zona centro, generando cambios en la producción y en los ingresos netos, siendo negativos en las zonas norte y centro, y positivos en las zonas sur y austral; también, es previsible efectos negativos no sólo sobre la cantidad, sino que también sobre la calidad de los productos. Los más vulnerables serían los

²⁹ Schulz, N., Boisier, J. P., y Aceituno, P. (2011). "Climate change along the arid coast of northern Chile". *International Journal of Climatology*. doi: 10.1002/joc.2395

³⁰ CEPAL, 2009. "La economía del cambio climático en Chile: síntesis". Naciones Unidas, Santiago de Chile. Disponible en http://www.cepal.org/es/publications/list?search_fulltext=cambio%20clim%C3%A1tico&page=12.

agricultores del secano interior y secano costero, entre las regiones de Valparaíso y del Biobío, los agricultores de los valles transversales y los ganaderos del secano³¹.

Considerando que dentro de los impactos en la agricultura frente al cambio ambiental se encuentran: cambios en los rendimientos y calidad de los alimentos, cambios en la estación de crecimiento, cambios en la condición fisicoquímica y biológica de los suelos, cambios en la disponibilidad de agua, desplazamiento de zonas aptas para cultivos, presencia de nuevas o más patogénicas enfermedades y plagas, pérdida de polinizadores y cambios en la condición de vida, migración y pobreza³², es perentorio en el caso de Chile desarrollar y poner en marcha estrategias para la adaptación.

³¹ Ministerio de Medio Ambiente. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022
https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf

³² Del Pozo, A., 2020. "Estrategias de adaptación de la agricultura frente al cambio climático en ambientes de clima mediterráneo". Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl





ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO



Los efectos del cambio climático tales como la sequía y la degradación de los suelos y pasturas son cada vez más visibles en todas las regiones. Al mismo tiempo los agricultores deben adaptar sus prácticas mientras enfrentan el riesgo de cómo se manifestarán dichos efectos en diferentes lugares a corto, mediano y largo plazo.

La adaptación se define como un conjunto de actividades que tienen como objetivo “reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos o naturales a los impactos del cambio climático y los riesgos relacionados con el clima, al mantener o aumentar la capacidad adaptativa y la resiliencia de los sistemas ”(OCDE-CAD, 2011). Aunque el

concepto de adaptación también debiese estar al centro de la COP (en base a que el sector agropecuario tiene una necesidad urgente de activar su agenda de adaptación considerando elementos de financiamiento, tecnología y creación de capacidades), existe todavía carencias en la interpretación por la comunidad del alcance del importante desafío de limitar los efectos a un umbral de 1,5 – 2,0 °C como objetivo (Acuerdo de París). Alcanzar dicho objetivo posicionando a la agricultura dentro de los procesos de adaptación sería crítico debido a que los daños pueden ser limitados y

controlados con costos aceptables³³. Las prácticas agrícolas destinadas a la adaptación al cambio ambiental incluyen, entre otros, la mejora de la retención de humedad y de la fertilidad del suelo, protección contra erosión hídrica y eólica, e introducción de variedades agroforestales o de cultivos tolerantes a la sequía.

En este contexto, la Academia considera que es necesario poner mayor atención al conocimiento científico local sobre resiliencia y al análisis de sistemas de cultivo en donde ya se hayan identificados patrones de riesgos y adaptaciones prometedoras, entendiendo como adaptación al ajuste de los sistemas naturales o agrícolas en respuesta a estímulos climáticos reales y sus efectos, con la intención de moderar el daño o explotar las oportunidades beneficiosas, proceso que debe ser incremental y transformativo. Para ello la Academia visualiza las siguientes siete estrategias de mediano y largo plazo:

1.- MANEJO DE LOS CULTIVOS Y DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

La agricultura bajo el impacto del cambio climático debe, a través de prácticas agronómicas eficientes, centrarse en prevenir una mayor degradación del suelo y maximizar el uso del agua disponible, según el tipo de agricultura. Para ello existen “buenas prácticas”

agronómicas para los sistemas de producción bajo riego y de secano.

En los sistemas de secano, la cantidad de agua del suelo disponible para el cultivo durante el llenado de granos constituye el principal factor limitante del rendimiento por lo que la distribución de las lluvias en primavera y principios de verano podría ser incluso más importante que la cantidad total de precipitación durante la temporada de crecimiento. Las propiedades del suelo (textura, porosidad, materia orgánica, capas impermeables en el perfil del suelo, entre otros), los sistemas de labranza y el manejo de residuos de cultivos que promueven la infiltración y acumulación de agua en el suelo son de gran importancia para su uso efectivo durante los períodos de sequía. Para conservar suelo y agua en los predios, se debe reducir o anular la inversión del suelo, y así en el mediano plazo lograr una mejora en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Este principio conservacionista que incluye el mínimo laboreo también aplica a los cultivos en laderas que emplean camellones a favor de la pendiente, por lo que algunos agricultores están comenzando a aplicar metodologías de menor intervención. La rotación de cultivos permite aumentar la eficiencia en el uso de recursos e insumos asociados, evita la pérdida de biodiversidad, disminuye la contaminación, y el riesgo en la inocuidad alimentaria, sobre la base de la disminución del uso de fertilizantes y productos destinados al control de

³³ Meza, F. 2020. *Agricultura en la COP 25*. Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl

plagas, enfermedades y malezas³⁴. La intensificación de la agricultura chilena ha generado que las rotaciones tengan una duración menor, particularmente en los sistemas de producción de carne y leche en la zona Sur, donde los suelos son utilizados con cultivos anuales (por ej. trigo), rotación que se practica en forma habitual desde el año 2000 a la fecha, al igual que en algunos sectores de la región Centro Sur. Pese a las ventajas del uso de rotaciones, el aumento de la agricultura intensiva y los progresos tecnológicos en el control de plagas, enfermedades y malezas, han provocado una disminución en el uso de ellas, sin poder aprovechar todas las ventajas asociadas a la rotación de cultivos³⁵.

Abordar la sequía significa optimizar los sistemas de riego, la programación y las prácticas generales e implementar la conservación del agua / riego regulado por déficit cuando sea factible. Los altos costos laborales y la escasez de mano de obra han llevado a muchos productores a cambiar de cultivos (frutas frescas) a cultivos que pueden ser manejados mecánicamente (frutos secos y olivo) y con menor requerimiento hídrico. Asimismo, el barbecho -práctica de secano que se conoce desde los siglos XV al VI a.C.

(citado por Levítico 25, 3-4^a), consiste en dejar el suelo invertido, sin producción, desde la cosecha del trigo o papa por un período de uno o más años (el suelo “descansa” según los productores), con el objetivo que el suelo acumule humedad y nutrientes. Después de un año de barbecho, el suelo se podía cubrir de vegetación natural y/o malezas que constituye lo que hoy reconoce como, pradera natural, recurso que aún utiliza la agricultura campesina de la zona centro sur y sur del país³⁶.

Los sistemas de labranza, como la labranza cero o la labranza mínima, son buenas opciones para aumentar la retención de agua en el suelo y la productividad de los cultivos en condiciones de restricción de la disponibilidad de agua³⁷. De hecho, los mayores rendimientos de los cultivos han sido reportado bajo conservación en comparación con la labranza convencional en años más secos³⁸ siendo la cantidad del residuo del cultivo depositada en la superficie del suelo un factor relevante para la disponibilidad de agua al reducir la radiación solar incidente y disminuir la evaporación. Son conocidas otras prácticas de manejo tales como el ajuste

³⁴ Academia Chilena de Ciencias Agronómicas. 2016. Situación y perspectivas del desarrollo agropecuario y silvícola del secano del Chile Central. <http://www.academiaagronomica.cl/wp-content/uploads/2015/12/posicion-secano-11-abril.pdf>

³⁵ Rouanet J.L., M. Mera, E. Acevedo, P. Silva. 2005. Rotaciones de cultivos y sus beneficios para la agricultura del sur. Rouanet, J.L. (Ed.). Fundación Chile, Santiago, Chile. 91 pp.

³⁶ Peña L., M. Brevis, M.Ibañez. 1998. Manejo de rastrojo y barbecho. Departamento de Mecanización y Energía. Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción. Boletín de Extensión 641-20.

³⁷ Stone, L.; Schlegel, A. 2010. Tillage and crop rotation phase effects on soil physical properties in the west-central Great Plains. *Agron. J.* 102, 483-491

³⁸ Brunel, N.; Seguel, O.; Acevedo, E. 2013. Conservation tillage and water availability for wheat in the interior dryland of Central Chile. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 13, 622-637

(adelantamiento o retraso) de las fechas de siembra, el uso de cultivares precoces o mejor adaptados, cultivos en terrazas, captación de neblinas y sistemas de recolección de agua que pueden proporcionar más acceso a recursos hídricos en etapas críticas y una mejor sincronización entre el agua del cultivo demandada y disponibilidad de agua del suelo. Considerando que, en producción bajo riego, todas las prácticas mencionadas deben ser ajustadas a las condiciones hidrológicas y realidad socioeconómica local, la inestabilidad en la disponibilidad de agua afectará la productividad de los cultivos con consecuentes impactos socioeconómicos sustanciales.

La maximización de la productividad del agua (producción por unidad de agua consumida) debe ser enfatizada especialmente para el caso del Valle Central o para aquellas zonas de la zona sur que sufren de una prolongada sequía estival (el triángulo Temuco – Río Bueno). En ello es esencial mejorar la infraestructura de transporte del recurso para reducir las pérdidas, mejorar su distribución en el sistema y la adopción y aplicación de tecnologías de riego eficientes. Se debe tener en cuenta no solo el total de agua estacional disponible en una región sino también a cuándo es probable que ocurran déficits de agua para ajustar las necesidades de agua a los recursos disponibles y utilizar suministros limitados de agua de la manera más efectiva. Estrategias como: a) déficit regulado riego, b) manejo de riego específico del sitio y c) modificación de las

condiciones micro climáticas (utilizando redes de sombra, cubierta de plástico y mantillo) se puede aplicar para aumentar la productividad, el rendimiento y el rendimiento del agua³⁹.

En las últimas décadas se ha comenzado a utilizar en Chile sistemas de riego con pivote central en varios cultivos, como trigo, remolacha, canola, entre otros. Este método surge en predios cuya adquisición ha sido solventada en su mayor parte por el cultivo de la remolacha y apoyado por los beneficios de la Ley de Fomento a la Inversión en Obras de Riego y Drenaje (Ley 18.450). Consiste en un sistema altamente eficiente (70-80%) que permite el control del caudal aplicado, en base a la adaptación del equipo a la capacidad de infiltración del suelo y buscando evitar el escurrimiento superficial especialmente en suelos con pendiente⁴⁰. Estos sistemas son los indicados en los casos de las siembras con cero labranza y en siembras efectuadas en suelos con pendiente, ya que, al aplicar el agua en forma de lluvia, se minimiza la erosión de suelos.

Desde el punto de vista productivo, cobra importancia mantener e intensificar el trabajo técnico y científico de colaboración entre las universidades y el INIA, así como el de las Universidades con INDAP para la transferencia y la difusión

³⁹ Chai, Q.; et al. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 3.

⁴⁰ Schwember, A. 2012. *Mirada integral del trigo*. Publicación Comercializadora de Trigo SA. ISBN: 978-956-9165-00-9. pp. 1-188

al agricultor de todos los manejos agroeconómicos que apunten a hacer más eficiente el uso del agua como por ejemplo, fomentar la labranza conservacionista y la apropiada rotación de cultivos, incorporar cultivares con tolerancia a sequía, hacer un gradual cambio de métodos de riego gravitacionales (tendido, surcos) a presurizados (aspersión, pivote, cinta o goteo), ya que éstos últimos son más eficientes, que se pueden fomentar a nivel de agricultores a través de distintos financiamientos públicos-privados y usando herramientas como la Ley 18.450, entre otras estrategias. Dado que existen numerosas alternativas de sistemas de riego eficientes, un factor limitante será la capacidad de inversión del agricultor debiéndose considerar también estrategias de adaptación que incluyan la sustitución de cultivos con importantes necesidades de agua, como maíz o árboles frutales, por otros (anuales o perennes) que tienen una demanda de riego menor o nula. En este contexto es pertinente que el Estado se haga cargo de inversiones hídricas de alto impacto para el país, que incluyan construcciones de rutas hídricas (por ejemplo, en California e Israel), embalses y semi-embalses, así como del aumento de la pavimentación de los canales de riego en Chile, para en su conjunto ser más eficientes en el uso del agua de riego.

Diecisiete naciones –donde vive una cuarta parte de la población mundial– se enfrentan a niveles extremadamente

altos de estrés hídrico⁴¹. Chile ocupa el puesto 18° en la lista global liderando la categoría de naciones con una “alta crisis de agua” con la perentoria necesidad de mejorar la gestión del recurso hídrico ya que el 90% del agua proveniente de los ríos se descargan en el mar. Se estima que solo en región del Bio Bío hay 11 millones de m³ de agua provenientes de los ríos que no están siendo aprovechados y fluyen libremente al océano. Estos volúmenes pudieran ser gestionados y conducidos durante el invierno a través de un canal hacia embalses en las zonas central y norte⁴². Esta “carretera hídrica” permitiría transportar el excedente de agua desde esta región en donde el agua es excedentaria y no es utilizada en su totalidad, de junio a setiembre, hacia el norte con el propósito de impulsar el desarrollo de la agroindustria y potenciar la capacidad exportadora del país. La iniciativa consiste en un proyecto de cinco tramos de canalización que permitirían transportar agua desde la Región del Bio Bío en una longitud de 3.900 kilómetros bajo forma de concesión público-privada. La iniciativa propone solucionar el problema hídrico de muchas regiones, ciudades y comunas entre la VIII y III Región, zonas que tienen un alto potencial agrícola que hoy no pueden ser explotadas a su máxima capacidad debido a las

⁴¹ WRI 2019. Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. <https://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world-s-most-water-stressed-countries-2040>

⁴² Ibid. 11.

limitaciones hídricas⁴³. Si bien la propuesta pudiera ser técnicamente viable, existe resistencia social de las comunidades al proyecto debido al temor de quedar sin el recurso hídrico en la región de origen y a las expropiaciones de tierras que se requerirían además de los necesarios estudios de impacto ambiental.

2.- MANEJO DEL CARBONO Y LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS

Los suelos y su manejo como medida de adaptación pueden coadyuvar a los esfuerzos tendientes a disminuir el cambio climático gracias a los servicios ecosistémicos claves para todas las expresiones de vida en el planeta y desempeñando un rol estratégico e insustituible en el ciclo del carbono⁴⁴. El manejo del suelo puede ser crítico en las circunstancias del cambio climático y la agricultura, al afectar el contenido de carbono conduce a que el suelo en lugar de ser un sumidero de carbono pase a ser un emisor importante de GEI. Por eso, en el mundo de hoy, cobra importancia que las prácticas agrícolas y silvícolas recuperen y mantengan la potencialidad de los suelos e influyan asimismo en la cantidad de carbono que estos puedan almacenar⁴⁵.

Entre los procesos que inciden en la adaptación frente al cambio climático y las nuevas oportunidades agrícolas a nivel nacional, el manejo de los suelos andisoles del sur de Chile cobra importancia. Estos suelos están caracterizados por poseer un alto contenido de fósforo (rango de concentración de fósforo total 1150 a 4011 mg P Kg⁻¹) y una significativa capacidad de retener más del 6% del carbono en stock presente en el suelo, cobra relevancia⁴⁶. En este contexto las praderas destinadas a la producción de carne y leche son interesantes desde un punto de vista de manejo sustentable ya que los andisoles tienen la ventaja de incorporar mucho carbono disponible. Sin embargo, la producción de praderas es altamente extractiva en fósforo, formando compuestos orgánicos estables conocidos como fitatos. Cuando se fertiliza con fósforo, al ir incrementando la dosis (Fig. 8) comienza a aumentar el carbono biomásico presente en el suelo debido a que los microorganismos requieren de carbono y nitrógeno como fuente de energía para llevar a cabo su función, permitiendo de este modo el aumento de P-Olsen en el suelo. Sin embargo, la actividad fosfatasa de los microorganismos en cierto punto disminuye dado a que se le está entregando fósforo soluble

⁴³ Corporación Reguemos Chile. 2015-2019 <http://www.reguemoschile.cl/>

⁴⁴ Burbano Orjuela, H. 2018. El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. Revista de Ciencias Agrícolas, ISSN-e 2256-2273, ISSN 0120-0135, Vol. 35, N°. 1, pp. 82-96

⁴⁵ Agencia Europea del Medio Ambiente. (2015). El suelo y el cambio climático. Recuperado de

<http://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/el-suelo-y-el-cambio-climatico>

⁴⁶ Mora, M.L. 2020. Manejo de suelos para una producción sostenible en el Sur de Chile frente al cambio ambiental. Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl

y no es necesario que lleve a cabo su actividad.

Desde una perspectiva de fertilización tradicional, se ha puesto mucho interés en la fertilización con N, P y K pero esta debe ser complementada con otro tipo de estrategias ya que el fósforo es un recurso no renovable y su función al interior de la planta no es reemplazable. Actualmente, la eficiencia global de P es menor a un 20%, más de un 50% de la producción primaria se concentra en los 5 millones de hectáreas de suelos volcánicos y este tipo de suelo puede inmovilizar hasta 3.000 Kg P ha⁻¹.

sostenible. El uso de las biotecnologías ha permitido el desarrollo de nuevas estrategias para combatir el cambio climático utilizando residuos, ya sea de cosecha, excretas de vacuno o guano de pollo para la formación de complejos enzima – nanoarcilla y consorcios bacterianos micro encapsulado. Las nanopartículas de arcilla⁴⁷ permiten la formación de grandes complejos que atraen a la materia orgánica y a los compuestos carbonados, evitando su liberación.

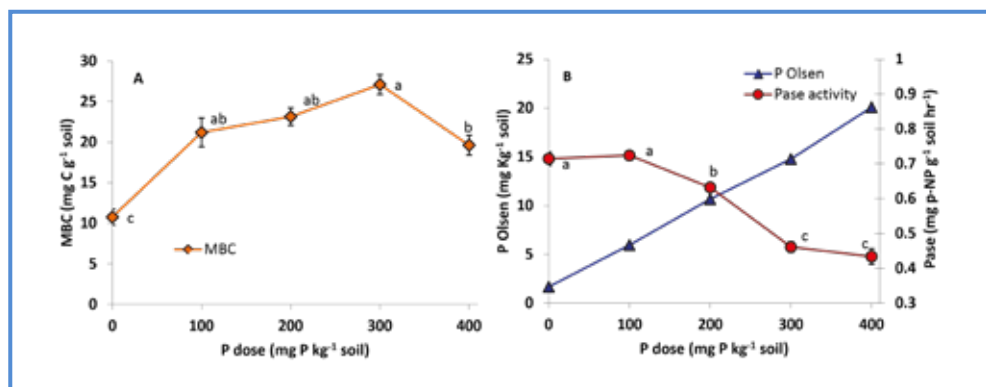


Figura 8. Cambios en C biomásico, fósforo soluble y actividad fosfatasa en suelos andisoles frente a dosis crecientes de fósforo. Fuente: María de la Luz Mora, Universidad de la Frontera

Si bien como medida de mitigación debe corregirse que los sistemas intensivos de producción agrícola con manejo inadecuado de residuos sigan aportando emisiones de gases de efecto invernadero, se debe desarrollar sistemas y procesos biológicos complementarios de adaptación para lograr una producción

3.- CONSORCIOS MICROBIANOS Y SIMBIOSIS FUNCIONAL

Las plantas en ecosistemas naturales o agroecosistemas establecen consorcios microbianos con efectos importantes

⁴⁷ Lerma, T.A., E. Combatt y M.Palencia. 2018. Compositos híbridos miméticos del suelo basados en arcilla, polímeros y bacterias fijadoras de nitrógeno para el desarrollo de sistemas de remediación de suelos degradados. Journal of Science with Technological Applications 4 (2018) 17-27 www.jsta.cl ISSN 0719-8647

sobre el rendimiento y la tolerancia de la planta a los efectos del estrés⁴⁸. Las simbiosis funcionales que se establecen entre estos consorcios y las plantas son asociaciones permanentes entre dos o más organismos distintos durante una parte del ciclo de vida y tienen un enorme potencial para la adaptación de las plantas frente al cambio climático⁴⁹. Es conocido que los hongos mutualistas pueden conferir tolerancia a la sequía, salinidad, metales pesados, enfermedades, calor y plagas, y / o promover el crecimiento, la adquisición de nutrientes y mejorar eficiencia del uso del agua⁵⁰ aportando beneficios para la adaptación de la planta al estrés ambiental y pueden actuar como conductos para la señalización entre plantas, incluso entre plantas de diferentes especies, actuando como un sistema o red de alerta temprana para las limitaciones ambientales⁵¹.

El uso de micorriza vesicular arbuscular está en desarrollo en cultivos anuales mientras que en huertos de árboles la relación simbiótica es por medio de ectomicorizas. La aplicación de esta tecnología en tomates, lechugas y hortalizas mejora el uso del agua, la tolerancia

al estrés hídrico y por salinidad. En el caso del fósforo, los consorcios bacterianos tienen por objetivo proteger a la fosfatasa inmovilizada de ser digerida por los microorganismos y poder llevar a cabo su función. Consorcios bacterianos aislados de la rizósfera del pasto “Guinea” (*Panicum maximum*) en Colombia fueron efectivos en la tolerancia al estrés hídrico resultando 48,9% más biomasa y 14,1% más elongación que las plantas estresadas no inoculadas, así como mayor acumulación de prolina y contenido de carotenoides⁵². Los consorcios de microorganismos representan un amplio espacio para la investigación sobre las simbiosis funcionales y la bioestimulación de resistencia adquirida⁵³ de las plantas como respuestas adaptativas de la agricultura al cambio climático de bajo riesgo para la salud humana, con casi ningún efecto residual y con impactos positivos sobre los rendimientos y la tolerancia a estreses bióticos y abióticos⁵⁴. Gracias a estos desarrollos, se están produciendo nuevos biofertilizantes con efecto *P-priming*, que permite que la materia orgánica que se encuentra unida

⁴⁸ Brundrett, M. et al 2006 (Eds.) Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture; ACIAR Monograph 32: Canberra, Australia, 2006; p. 374.

⁴⁹ Ibid. 32

⁵⁰ Dickie, I. et al. 2014 Mycorrhizas in changing ecosystems. *Botany*, 2014, Vol. 92, No. 2: pp. 149-160 <https://doi.org/10.1139/cjb-2013-0091>

⁵¹ Babikova, Z., et al. 2013. Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecol. Lett.* 2013, 16, 835–843.

⁵² Moreno Galván, A. 2017. Mitigación de sequía sobre *Panicum maximum* mediante consorcios bacterianos tolerantes y no tolerantes al estrés. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Bogotá. Tesis de: Magister en Ciencias - Microbiología

⁵³ Izquierdo, J. 2019. Bioestimulantes en la Agricultura. Presentación. Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. <http://www.academiaa-agronomica.cl/>

⁵⁴ Kumar, S.; Singh, A. Biopesticides for Integrated Crop Management: Environmental and Regulatory Aspects. *J. Biofertil. Biopestic.* 2014, 5, e121.

al fósforo más recalcitrante sea mineralizado y reincorporado en fracciones más solubles y de este modo, bajar la carga química manteniendo a los microorganismos y al carbono en el suelo⁵⁵.

4.- NUEVOS CULTIVARES A TRAVÉS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO Y LAS NUEVAS BIOTECNOLOGÍAS

Reducir la vulnerabilidad de los sistemas productivos puede ser alcanzado por medio de la adaptación vía mejoramiento genético, el uso de prácticas agronómicas eficientes y a través de la simbiosis funcional entre plantas y microorganismos que pueden producir plantas con mayor tolerancia al estrés biótico y abiótico. Esto cobra relevancia en regiones con Clima Mediterráneo ubicadas en Australia, Sudáfrica, California (EE. UU), la cuenca del mediterráneo y Chile, las cuales están siendo amenazadas por el aumento de la sequía y los eventos de altas temperaturas asociados con el cambio climático.

El objetivo del mejoramiento genético es generar u obtener , en un mismo cultivar (genotipo o población), una variación genética que permita una mejor y sostenible producción, una adaptación que otorgue tolerancia o resistencia a nuevos escenarios abiótico (sequía, salinidad, temperaturas, vientos, etc.), y bióticos (plagas y enfermedades), y

características que permitan una adecuada aceptación por el comercio y los consumidores (aspectos organolépticos, conservación, resistencia al transporte, nutrición, salud). Esta pléyade de atributos requiere de una diversidad de técnicas que permitan identificar el individuo o población más adecuado. Para ello se cuenta al presente además de las clásicas herramientas de mejora genética (inducción de mutaciones, cruzamientos dirigidos y poliploidías, selección fenotípica), de nuevos métodos de selección, y de generación de la variación genética.

En Chile, como ejemplo de adaptación al comparar el rendimiento de variedades comerciales y variedades INIA, se ha observado que hay un importante progreso genético en los últimos 45 años en los rendimientos de trigos primaverales e invernales (Fig 9) y que ello estaría fuertemente asociado al índice de cosecha⁵⁶. Sin embargo, las condiciones ambientales están cambiando, por ejemplo, menor disponibilidad de agua, por tanto, se deberán incluir otros caracteres efectivos de selección para ambientes con limitaciones hídricas o altas temperaturas. Para ello, es importante comprender mejor la base fisiológica del potencial de rendimiento bajo condiciones de estrés con el fin de seleccionar rasgos o caracteres deseables, se debe llevar a cabo técnicas de

⁵⁵ Mora, M.L. 2020. *Manejo de suelos para una producción sostenible en el Sur de Chile frente al cambio ambiental*. Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl

⁵⁶ Ibid. 32.

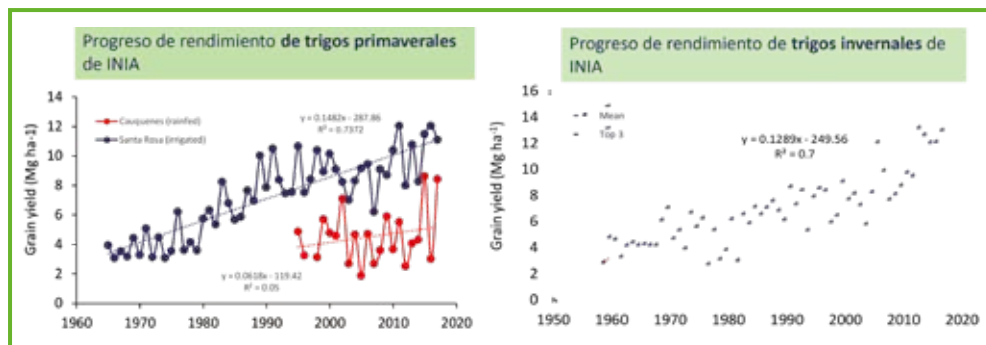


Figura 9. Progreso genético de trigos primaverales e invernales bajo condiciones de riego y seco. Fuente: INIA Chile. Datos presentados por del Pozo, 2020⁵⁷.

fenotipado y genómica, que permitan relacionar el fenotipo con el genotipo y lograr identificar aquellos genes o regiones cromosomales relacionados al estrés. Estas regiones cromosomales con tolerancia a la sequía se pueden potencialmente incorporar a los programas de mejoramiento genético usando métodos tradicionales de mejoramiento (por ej. cruzamientos dirigidos), o bien, usando nuevas herramientas biotecnológicas.

Resultados sobre 384 genotipos de trigos primaverales donde se evaluó la acumulación de carbohidratos en los tallos bajo condiciones de sequía y riego (Fig. 10) se observó que, bajo situación de estrés la fotosíntesis se deprime, disminuye la síntesis de carbohidratos por lo que la reserva de los tallos juega un rol importante en la tolerancia a la sequía, ya que la movilización de los carbohidratos contribuye al crecimiento de los granos. Los datos muestran que

los genotipos que acumulan y movilizan más hacia el grano tienen mayor tolerancia al estrés corroborando una vez más anteriores postulados sobre la removilización de hidratos de carbono acumulados en los tallos de una leguminosa de grano frente a la situación de estrés hídrico^{58 59}.

Otros caracteres adaptativos de importancia frente al estrés son el índice de cosecha, el intercambio gaseoso en la hoja bandera en los cereales, la fotosíntesis, conductancia estomática, senescencia retardada y la discriminación isotópica de carbono (genotipos con una mayor discriminación del C_{13} son más productivos)⁶⁰ o por selección de

⁵⁸ White, J. and J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance in the common bean. In: Schoonhoven and Voysest (ed.): Common beans, research for crop improvement. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali. 980 p. Accession No: 777585, Call No: 635.6 W581(S) (LIB) Field library: RLC, FAOLAC-008

⁵⁹ Izquierdo, J. and G. Hosfield. 1983. The relationship of seed filling to yield among dry beans with differing architectural forms. Journal Amer. Soc. Hort. Science 108: 106111.

⁶⁰ Ibid. 32

⁵⁷ Ibid. 32

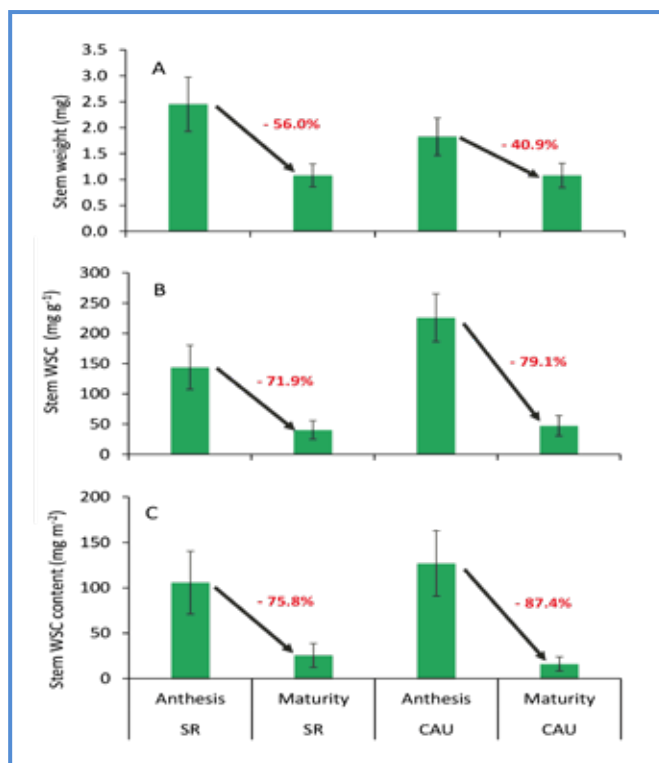


Figura 10. Removilización de carbohidratos desde el tallo bajo condiciones de estrés hídrico en genotipos de trigo primaveral. Fuente: INIA Chile y del Pozo, A., 2020

genotipos con mayor estabilidad de los rendimientos frente a ambientes variables en localización y/o año⁶¹.

Dado que el objetivo del mejoramiento genético es generar u obtener variabilidad genética, han surgido en forma creciente herramientas biotecnológicas más precisas, rápidas y de menor costo basada en la manipulación del ADN las

cuales permiten acelerar los procesos de obtención de variedades adaptadas a los nuevos desafíos⁶². Este último grupo de metodologías permite reducir significativamente los tiempos y los costos de obtención y trabajar de forma precisa en la información genética, sin afectar otras características y con teniendo la certeza de los cambios genéticos que ocurren a diferencia de las técnicas tradicionales. Cabe mencionar que este campo ocasiona controversias de muy diferentes naturalezas que no se han

superado totalmente.

La primera de estas metodologías fue la del ADN recombinante que permite incorporar genes de interés de cualquier especie y que producía 'plantas que fueron llamadas "organismos genéticamente modificados" (OGM). Esta metodología requería la incorporación de numerosos otros elementos genéticos de expresión y regulación del gen de interés, los que pudieran producir efectos adversos al ambiente y/o a la salud humana.

⁶¹ Ortiz, R., J Crossa, M Vargas and J Izquierdo. 2007. "Studying the effect of environmental variables on the genotype x environment interaction of tomato". *Euphytica* 153: 119-134 <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9248-7>

⁶² Sánchez, M.A. 2020. *Las nuevas herramientas de edición de genes en la búsqueda de variedades aptas frente al cambio climático*. Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl

El desarrollo de plantas OGM buscan- do mayor tolerancia y adaptación a los efectos de estreses abióticos (sequía y salinidad) están siendo avanzados en instituciones chilenas de investigación. Un maíz OGM resistente a la sequía a partir de genes de tomate⁶³ que puede resistir 52 días sin agua con solo una disminución del 20 % del rendimiento⁶⁴ se encuentran en desarrollo en la Universidad de Talca. Portainjertos de cítricos OGM para lograr tolerancia a la salinidad⁶⁵ se han logrado con éxito por la Pontificia Universidad Católica de Chile. En Argentina, recientemente el factor de transcripción de girasol (HaHB4) que es regulado por la disponibilidad de agua, el ácido abscísico y la salinidad del suelo fue expresado en plantas OGM de trigo que demostraron mayor tolerancia al déficit hídrico en condiciones de campo⁶⁶. En el mundo, se han desarrollado productos OGM comerciales en papas y manzanas que muestran retardo en el proceso de oxidación permitiendo disminuir el desperdicio de alimentos y con ello reducir la huella de carbono, así

como trigos sin la capacidad de producir gluten para su inserción en nuevas variedades aptas para celíacos⁶⁷.

El problema de aceptación por parte del público de estos productos radica en que, al ser transgénicos, evocan una desfavorable percepción pública y las regulaciones de bioseguridad generan barreras para su liberación y uso en la agricultura en muchos países, especialmente de la Unión Europea. Esto tiene implicancias comerciales que limitan la posible exportación de productos frutícolas chilenos mejorados por esta técnica dado que se debe demostrar que son seguros y descartar que el gen o la proteína introducidos vayan a generar un impacto negativo al medio ambiente o la salud humana en el mediano y largo plazo. Cabe mencionar que la técnica del ADN recombinante OGM difícilmente se podrá desechar en forma categórica, ya que sólo ella permite resolver algunos problemas, como es el de la resistencia a insectos basada en genes BT y que la Academia ha enfatizado la necesidad de desarrollar capacidad institucional en bioseguridad más allá del proceso de obtención⁶⁸.

Por estas razones, se han desarrollado nuevas estrategias para generar variación genética a partir de la modificación del ADN *in situ*, técnica conocida

⁶³ Orellana, S. Et al. 2012. The transcription factor SIAREB1 confers drought, salt stress tolerance and regulates biotic and abiotic stress-related genes in tomato. *Plant, cell & environment* Vol 33 N° 12 2191-2208.

⁶⁴ <http://www.lun.com/Pages/NewsDetail.aspx?dt=2019-09-23&PaginaId=228&bodyid=0>

⁶⁵ Romero-Romero, J., et al. 2019. Increased Drought and Salinity Tolerance in *Citrus aurantifolia* (Mexican Lemon) Plants Overexpressing *Arabidopsis* CBF3 Gene. *J Soil Sci Plant Nutr* 20, 244–252 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00130-y>

⁶⁶ González, F, Capella, M., Ribichich, K., et al. (2019). Field-grown transgenic wheat expressing the sunflower gene HaHB4 significantly outyields the wild type. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 70, No. 5 pp. 1669 1681

⁶⁷ Ibid. 62.

⁶⁸ Academia Chilena de Ciencias Agronómicas. 2013. Proyecto de ley sobre vegetales genéticamente modificados-Documento de Posición. http://www.academiaagronomica.cl/wp-content/uploads/2013/07/Posicion-_de_la_Academia_Final.pdf

como “gene editing”. La diferencia con los OGM consiste en que no hay incorporación alguna de material genético foráneo a la planta que se desea mejorar, eliminando los riesgos de daño que presentan los primeros. Estas técnicas se pueden asimilar a los tradicionales métodos de mutaciones por radiaciones o agentes químicos, con la ventaja que solo modifican la secuencia específica intervenida, que no son posibles de evitar por éstos. Se han utilizado factores de transcripción (dedos de zinc) que reconocen secuencias específicas de ADN a los que se les han agregado nucleasas; nucleasas efectoras de tipo activador (TALEN) o conjuntos de nucleasas bacterianas (CRIPR-Cas9). Todas ellas permiten cortes o sustituciones de nucleótidos de diversas naturalezas directamente en la célula de la planta que se desea mejorar. En la actualidad estas técnicas están siendo superadas dado que ya que se han generado nuevos métodos llamados “prime gene editing” basados en endonucleasas reversas^{69 70}. Otro ejemplo del uso de la edición génica mediante CRISPR-Cas9 es la generación de maíces con granos cerosos (waxy) en numerosas líneas híbridas de alto rendimiento (Fig. 11).



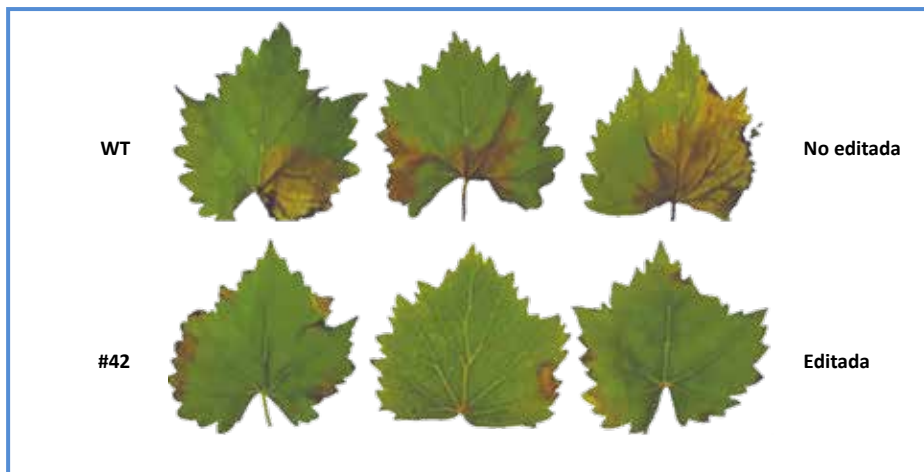
Figura 11. Granos de maíz con endosperma normal editados génicamente para expresar el carácter waxy y mazorcas de los híbridos CRISPR-cerosos. Fuente: C. Sheridan. 2019⁷¹

En el caso de la edición de genes, las técnicas se aplican específicamente en el material genético propio sin expresión de transgenes dado que la edición permite del material genético permite reemplazar un nucleótido por otro y con ello cambiar la composición de los aminoácidos modificando solo un el rango de acción de la proteína o apagar la expresión de genes con el fin de evitar la susceptibilidad a enfermedades, ataque

⁶⁹ Anzalone, A.V. et al. 2019. Search-and-replace genome editing without double-strand breaks or donor DNA. *Nature* 576:149-157

⁷⁰ Sheridan, C. 2019. *Nature Biotechnology*. doi:10.1038/d41587-019-00032

⁷¹ <https://bioengineeringcommunity.nature.com/user-s/356388-n-doane-chilcoat/posts/61316-using-crispr-to-develop-superior-corn-hybrids>



de microorganismos o mejorar la adaptación a las nuevas condiciones, etc.

En el mundo ya se están comercializando dos productos editados genéticamente (canola tolerante a herbicidas y soya rica en omega 9) obtenidos por la técnica de edición CRISPR-Cas9 y se avanza en obtener plantas de tomates tolerante al calor (para soportar temperaturas de hasta 42 °C); trigos resistentes a oídio (técnica TALEN); vides resistentes a *Botrytis* (Fig. 12) y maíces resistentes a la sequía, entre otros.

El rápido progreso de la biotecnología y la mayor asequibilidad a nuevas herramientas y métodos más rápidos, eficientes y de menor costo facilitan estudiar la genética de las plantas. Entre ellos, el genotipado y el fenotipado permiten la selección de individuos superiores en forma más precisa, masiva y eficiente. Estas tecnologías, previamente inaccesibles posibilitan la identificación de genes responsables de las características de interés. Ello, en acople con las nuevas técnicas de edición génica, permiten

Figura 12. Edición genómica para tolerancia a *Botrytis* en vid.
Fuente: X. Wang, 2018⁷²

superar el logro de resultados del mejoramiento genético convencional en parámetros tales como eficiencia fotosintética, uso del agua y nutrientes, tolerancia a la sequía y a la salinidad, entre otros. El sistema no transgénico de edición genómica CRISPR-Cas9 como parte de las nuevas técnicas de mejoramiento genético (NBT) pueden tener un impacto notable en crear productos finales que no contienen un transgén y, por lo tanto, son similares a los cultivos producidos por métodos de mejoramiento genético “convencional”. Usar las nuevas biotecnologías de edición génica permitiría generar funciones mejoradas o novedosas, las que están dando excelentes ejemplos de buenos resultados en otras especies. Dado que la tolerancia al estrés abiótico

⁷² Wang, X. et al. 2018. CRISPR/Cas 9-mediated efficient targeted mutagenesis in grape in the first generation. *Plant Biotechnology Journal* 16 pp. 844-855 doi:10.1111/pbi.12832

es un carácter complejo (multigénico y con fuerte impacto del ambiente en la expresión del fenotipo), se hace improbable que todo el mejoramiento sea dirigido solo a incorporar uno o unos pocos genes que confieren la tolerancia a la sequía/salinidad^{73 74}. Los avances en genómica, fenómica y recursos bioinformáticos han llevado a poder contar con enfoques y metodologías, intensivas en conocimiento, que permiten acelerar las ganancias genéticas en diversos cultivos. A su vez, contar con una mayor capacidad de almacenamiento, recuperación y análisis de datos ha facilitado el desarrollo de modelos genotipo-fenotipo, mejorando la eficiencia de la selección y posibilitando aumentar significativamente las ganancias genéticas⁷⁵. Lo anterior hace relevante el desarrollar a nivel nacional las técnicas de genotipado y fenotipado que permitan complementar en forma adecuada las técnicas tradicionales de mejoramiento con las nuevas herramientas biotecnológicas para el mejoramiento de los cultivos.

5.- AGRICULTURA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE Y DIGITAL

Desde su adopción la agricultura ha pasado, desde su origen neolítico, por varias revoluciones entre las que se cuentan la adopción de cultivares genotípicamente estables del siglo XIX, los cultivares híbridos del comienzo del siglo XX, la revolución verde de fines del siglo XX, en la cual se desarrolló simultáneamente el mejoramiento genético, la mecanización, el riego y el uso de insumos agroquímicos. La revolución verde se perfeccionó con la agricultura de precisión, revolución verde, en donde se desarrolló el mejoramiento genético, la mecanización, el riego y el uso de insumos agroquímicos.

La agricultura de precisión con gran desarrollo en estos momentos está dando paso rápidamente a la agricultura digital constituyéndose en una oportunidad para evaluar de manera integral los impactos del cambio climático y diseñar *a priori* las mejores estrategias de adaptación⁷⁶. Paralelamente los aprendizajes que se derivan de la aplicación de la agricultura climáticamente inteligente también son muy útiles para abordar los impactos del cambio climático en la pequeña agricultura.

La agricultura digital se define como la aplicación de tecnologías de la información y comunicación a la agricultura,

⁷³ Fleury D, Jefferies S, Kuchel H, Langridge P. 2010. Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany* 61:3211-3222.

⁷⁴ Gascuel, Q - et al. 2017. Use of Natural Diversity and Biotechnology to Increase the Quality and Nutritional Content of Tomato and Grape. *Frontiers in Plant Science* 8:652.

⁷⁵ Dwivedi, S.L. et al. 2020. Advanced analytics phenomics and biotechnology approaches to enhance genetic gains in plant breeding. *Advances in Agronomy* 2020 Elsevier Inc. ISSN 0065-2113 <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.0021>

⁷⁶ Meza, F. 2020. *Agricultura digital como herramienta de respuesta frente a los desafíos del cambio climático*. Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl

involucra varios componentes tales como, agricultura de precisión, internet de las cosas, uso masivo de sensores y dispositivos remotos de control, “Big Data”, robótica y vehículos aéreos no tripulado⁷⁷. El Big Data permite acumular datos de toda tu explotación agrícola, analizarlos y devolver el análisis por parcelas unitarias permitiendo al agricultor ajustar el tratamiento fitosanitario o fertilizante a una determinada zona de su explotación con el consiguiente ahorro y protección al medio ambiente. Experiencias en granjas alemanas han demostrado que es posible reducir el consumo de fertilizantes, herbicidas y combustible entre un 10-20%⁷⁸.

Con la agricultura digital los manejos se puedan hacer específicos y focalizados permitiendo optimizar procesos. En estos momentos el mayor foco que tiene la agricultura digital es el productivo, incorporando las buenas prácticas y la mayor eficiencia, brinda un espacio muy importante para monitorear la huella ambiental y realizar la gestión ambiental. Dado que la agricultura digital tiene elementos de robótica, estos pueden ser utilizados en procesos relacionados al monitoreo de las condiciones de producción de los cultivos y brindar sistemas de soporte para la toma de decisiones en función de inteligencia artificial con una mayor probabilidad de ser correctas.

La agricultura digital comprende un conjunto de tecnologías (conformado

por imagen y sensores), tanto aerotransportada como satelital, que se integran con el Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) además de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La información obtenida puede ser utilizada para evaluar con mayor exactitud la cantidad apropiada de agroquímicos y fertilizantes a usar, la densidad poblacional óptima, y pronosticar con mayor precisión el rendimiento y la productividad. Esta información también puede ser utilizada por las tecnologías de aplicación variable (VTR) para optimizar la distribución de semillas, fertilizantes y agroquímicos, entre otros. En consecuencia, la agricultura digital de precisión va a jugar un rol muy importante en los sistemas agrícolas sostenibles en el futuro, que serán muy relevantes para manejar los distintos impactos adversos asociados al cambio climático a nivel nacional.

Las tecnologías de comunicación y las aplicaciones en la nube han abierto el mundo digital a la agricultura y permiten integrar y gestionar dicha información de forma eficaz. El uso de sensores avanzados (instalados en campo, o a bordo de máquinas, o volando en drones) nos permite captar gran cantidad de información mientras que la automatización y la robótica (eliminación autónoma de malezas, control de insectos punto-a-punto, recolección de hortalizas en invernaderos) permiten racionalizar

⁷⁷ Ibid. 76

⁷⁸ <https://lahuertadigital.es/agricultura-digital/>

las tareas agrícolas y ser a su vez respetuosos medioambientalmente⁷⁹.

El fenotipado a nivel del campo permitirá generar grandes bases de datos e información de la cual se podrá tomar decisiones con la ayuda de la inteligencia artificial y manejar aplicaciones sitio específico de acuerdo con las necesidades y mediado por instrumentos que permiten hacerlo de forma remota. Asimismo, el uso de técnicas moleculares y de imagen (fluorescencia, termografía, etc.) permite descifrar los mecanismos de regulación de procesos vegetales complejos tales como la respuesta de la planta huésped a la infección por patógenos⁸⁰.

Existe tecnología y servicios disponibles que se ofrecen por medio de drones, imágenes satelitales, vehículos comandados de manera remota, sensores, etc. (Fig. 13) lo que está siendo beneficioso para el sector agrícola dado que son aplicaciones con potencial de ser muy favorables para el medio ambiente al disminuir considerablemente la cantidad de agroquímicos aplicados y al ser mucho más precisos, ya que controlan volumen, el momento y respetando carencias. En el momento actual el agricultor cuenta

con tecnologías digitales para el uso óptimo del agua de riego, el manejo integrado de nutrientes y plaguicidas sitio específicos, la planificación de cultivos y la nivelación láser de tierras⁸¹.



Figura 13.- Vehículo aéreo no tripulado y equipo de fenotipado automático experimental. Fuente: F. Meza 2020.

Estos procesos están demandando mayor inteligencia integrada en nuevos

⁷⁹ Valero, C. 2019. La evolución de la agricultura de precisión. Universidad Politécnica de Madrid. Revista de Fruticultura • N°68 marzo | abril 2019, http://oa.upm.es/56889/1/Fruticultura_N.68_pags_30_39.pdf

⁸⁰ Barón, M. 2018. Fenotipado de plantas: del laboratorio al campo, de la cámara al dron. Estación Experimental del Zaidín. CSICGranada. Master y Programa de Doctorado "Biología Celular y Molecular" y el Departamento de Microbiología de la Universidad de Málaga-Andalucía-Tech. <https://hdl.handle.net/10630/15802>

⁸¹ Khatri-Chhetria, A., P.K. Aggarwal, K. Joshib and S. Vyasc. 2017. Farmers' prioritization of climate-smart agriculture technologies. *Agricultural Systems* Vol. 151, February 2017, Pages 184-191 <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.10.005>

sistemas a través de la interconexión y del análisis de datos.

Existe un gran desarrollo por parte de las empresas por aplicar estas tecnologías. Uno de los grandes desafíos es conocer la evapotranspiración real de los cultivos. Si bien existen ecuaciones que a través de constructos permiten estimarla no es lo que se busca hoy en día en la era de la precisión y digitalización. Gracias a la agricultura digital, mediante el uso de drones, imágenes de satélites, etc. se pueden realizar monitoreos en tiempo real del consumo hídrico por parte de las plantas, estimar el efecto de los riegos deficitarios o mapear en estadios tempranos a nivel de plántula la presencia de malezas en cultivos de trigo⁸². La agricultura digital permite la toma de decisiones a nivel de comercialización, postcosecha y no solo a nivel de decisiones de campo. Sin embargo, la agricultura digital puede tener riesgos de exclusión muy fuertes sino se logra el dominio de datos.

La agricultura digital permitirá entender el comportamiento real de los cultivos, más allá de una unidad de maceta o parcela, sino que, a nivel de campo, a un terreno equivalente a varias hectáreas donde debiesen estar las respuestas a las condiciones ambientales y a través de tecnología apropiada y sostenible. En la región de Los Lagos en conjunto con

el Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) se desarrolla un proyecto de zonificación climática en donde se ha logrado modelar climas y suelos pudiéndose observar la heterogeneidad espacial permitiendo comprender la variabilidad temporal. Estas herramientas de la agricultura digital permitirían modelar y testear estrategias de adaptación sin tener que hacer experimentación directa en campo brindando de esta manera una oportunidad para formar estudiantes y profesionales con capacidades y habilidades analíticas/cuantitativas, lo que se presenta como una oportunidad para hacer un nuevo tipo de academia, más abierta, colaborativa e inclusiva.

Un estudio de ODEPA 2019⁸³ revela que las ocupaciones agropecuarias ligadas al trabajo productivo primario (siembra, cosecha, plantación, cría o engorde) y al manejo o utilización de maquinarias se verían en riesgo de ser sustituidas por herramientas digitales y robóticas al tratarse de tareas rutinarias y fácilmente protocolizadas. Alternativamente las ocupaciones ligadas a la gestión y/o supervisión de personal, como al apoyo desde la investigación científica y tecnológica, se verían complementadas por la integración de las nuevas tecnologías digitales. En términos de habilidades, destrezas y técnicas aquellos trabajadores que presentan un bajo o mediano nivel de cualificación se verían sustituidos

⁸² Torres-Sánchez, J., et al (2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103, 104–113. doi:10.1016/j.compag.2014.02.009

⁸³ ODEPA. 2019. Potenciales efectos de la agricultura digital sobre el mercado laboral agropecuario <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/InformeAgriculturaDigital2019.pdf>

por la integración de nuevas tecnologías digitales, por lo que se requerirá que éstos puedan fortalecer competencias ligadas a habilidades básicas y sociales, a destrezas cognitivas y sensoriales, y a conocimientos (o técnicas) generales y operativos sobre tecnología y negocios, con el fin de que puedan adaptarse a un futuro sector agropecuario digitalizado. La Academia considera de suma importancia considerar también los aspectos sociales de la agricultura digital dentro del contexto de la adaptación al cambio ambiental.

6.- PREVENCIÓN Y ADAPTACIÓN A NUEVOS RIESGOS FITOSANITARIOS

El cambio climático aporta incertidumbre y complejidad a la agricultura creando nuevos desafíos fitosanitarios debido al desarrollo de nuevas plagas y enfermedades en diversos cultivos agrícolas. Esto provoca mayor inseguridad alimentaria dificultando garantizar la adecuada disponibilidad de alimentos en forma segura y económica para satisfacer las necesidades de la población mundial.

Los agentes causales de plagas y enfermedades tienen capacidad para adaptarse a los impactos del cambio climático, siendo posible que se estén creando condiciones favorables para el desarrollo de nuevas plagas y enfermedades de las plantas y de los animales en nuevas regiones productivas. Al mismo tiempo, es posible que se modifiquen las actuales vías de transmisión y diseminación, creando nuevos desafíos fitosanitarios. Por lo tanto, se estima que

el cambio climático podría afectar considerablemente la composición y complejidad de la comunidad microbiana, afectando las interacciones microbianas, la estabilidad del ecosistema y en muchos casos promoviendo el desarrollo de plagas y enfermedades de las plantas. Importantes cambios podrán ocurrir también en las plagas y las enfermedades infecciosas de los animales, particularmente de enfermedades sensibles al clima, tales como malaria y dengue, las que son transmitidas por algunos artrópodos (ej. mosquitos). Al mismo tiempo, en respuesta a las variaciones térmicas y a la humedad ambiental, las poblaciones de ciertos insectos podrían extender la zona geográfica donde viven y exponer al hombre los animales y las plantas a enfermedades contra las cuales no tienen inmunidad natural⁸⁴. El cambio climático tiene efectos drásticos sobre la expresión de nuevas enfermedades. Este es el caso de la producción de cacao africano que esta siendo afectada por sequías prolongadas seguidas de inundaciones condiciones que debilitan a las plantas y promueven la expansión de los virus y las infestaciones por hongos y las plagas. En particular la enfermedad del retoño hinchado del cacao en Ghana⁸⁵, transmitido por la cochinilla *Pseudococcus calceolariae*, alcanzó en 2019 un nivel tal

⁸⁴ <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/010/i0142s/i0142s06.pdf>

⁸⁵ Chingandu, N., et al. 2017. The proposed new species, cacao red vein virus, and three previously recognized badnavirus species are associated with cacao swollen shoot disease. *Virology Journal* 14:199 DOI 10.1186/s12985-017-0866-6

que hizo que el país tuviese que reducir sus compromisos de entrega al mercado mundial y afectando al 16 % de los árboles de cacao⁸⁶.

Según FAO, una zona libre de plagas corresponde a un área geográfica donde una plaga específica está ausente, demostrado con evidencias científicas y en la cual, cuando sea apropiado, dicha condición esté mantenida oficialmente⁸⁷. Los cambios climáticos afectan tanto a los micro como a los macroorganismos (plantas, ácaros e insectos) e induce cambios en la estructura, abundancia, composición y actividad funcional de los taxones microbianos asociados a las plantas⁸⁸. Por lo tanto, zonas geográficas consideradas actualmente libres de plaga, bien podrían perder esta condición como resultados de los cambios climáticos. Las temperaturas más cálidas en general aumentarán significativamente la incidencia de algunas plagas, acelerando sus ciclos biológicos y reduciendo sus estadios vulnerables, mientras que, las temperaturas más cálidas en invierno aumentarán la sobrevivencia y la dispersión de patógenos e insectos⁸⁹. Una baja humedad relativa (HR) y altas

temperaturas hacen más vulnerables a los cultivos, aumentando la prevalencia de algunas enfermedades. También existen pronósticos de mayor incidencia de nemátodos bajo dos escenarios: un escenario con temperaturas más frías donde posiblemente la incidencia se mantenga similar a la situación actual. Sin embargo, la situación más grave se espera que emerja bajo un escenario más cálido⁹⁰. Dentro de este contexto cada día es más necesario vincular la distribución de la diversidad microbiana y el funcionamiento del ecosistema para comprender mejor las respuestas de los ecosistemas al entorno cambiante. Los cambios climáticos afectarán a los taxones microbianos del suelo, grupos que son imprescindibles ya que desempeñan funciones importantes y fundamentales en el ciclo biogeoquímico, y necesarios para obtener un óptimo crecimiento de las plantas.

La genómica (meta genómica) permite analizar conjuntamente el genoma de todos los organismos de una comunidad, sin aislarlos, muestra un gran potencial para la identificación de grupos microbianos aún sin identificar, difíciles de cultivar, permitiendo conocer en mejor forma la diversidad microbiana existente y de este modo abordar en mejor forma los efectos del cambio climático⁹¹.

⁸⁶ <https://www.investigacionciencia.es/noticias/la-mayor-amenaza-desde-que-existe-el-chocolate-18292>

⁸⁷ FAO 1996: Guía para la aplicación de normas fitosanitarias en el sector forestal. [www.000AQ_FP164-S-Phytosanitary Guide_Printing.pdf](http://www.000AQ_FP164-S-Phytosanitary-Guide_Printing.pdf)

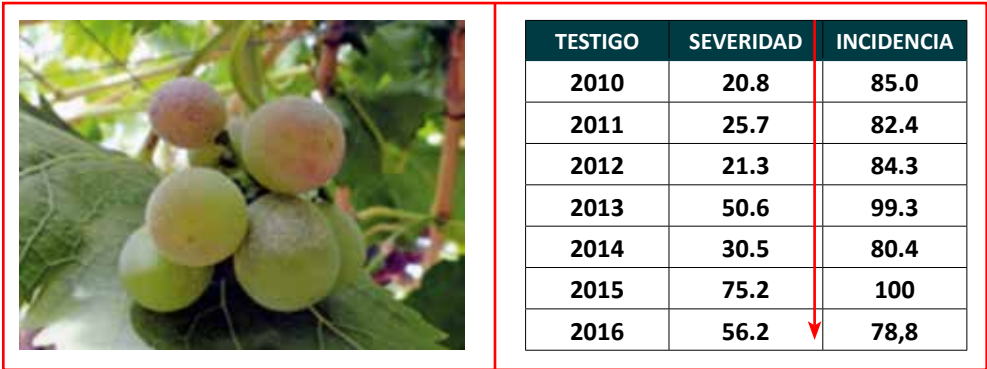
⁸⁸ Sergaki, C. et al. 2018. Challenges and Approaches in Microbiome Research: From Fundamental to Applied. *Frontiers in Plant Science* 9 August 2018 DOI: 10.3389/fpls.2018.01205

⁸⁹ Dubey, A., et al. 2019. Soil microbiome: a key player for conservation of soil health under changing climate. *Bio-*

divers Conserv 28, 2405–2429 <https://doi.org/10.1007/s10531-019-01760-5>

⁹⁰ Besoain, X. 202. *Desafíos a la fitosanidad de los cultivos frente al cambio climático*. Presentación en X Seminario de la Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, Santiago, www.academiaagronomica.cl

⁹¹ Ibid. 89



Infección del testigo (2010-2016)

Altos niveles de CO₂ se anticipan como consecuencia del cambio climático. Un exceso de CO₂ producirá que ciertas enfermedades (ej. *Pseudomonas syringae*, TMV y otras) se vean afectadas gracias al aumento de la síntesis de ácido salicílico, situación que permitiría proteger en mejor forma las plantas de algunos patógenos. Para el caso de *Botrytis cinerea*, el aumento de CO₂ bloquearía el efecto del ácido jasmónico que previene el desarrollo de *B. cinerea*⁹². En el caso de Chile para *Botrytis*, se prevé que el aumento de la temperatura y baja HR en las zonas centro y/o centro norte sean condiciones desfavorables para el desarrollo de este patógeno. En cambio, con el aumento de la temperatura media anual de la zona centro-norte se estima que aumentarán las temperaturas mínimas de invierno y disminuirán la incidencia de heladas,

Figura 14.- Aumento en la severidad de oidio en ensayos en uva de mesa. Fuente: Riveros, 2017 citado por X. Besoain 2020.

mientras que las precipitaciones se concentrarán en el periodo de invierno es previsible que aumente la prevalencia de enfermedades como oidios (Fig. 14) y royas que se favorecen con altas temperaturas y baja HR⁹³. En este caso particular ha sido detectada en la zona de Coquimbo una nueva enfermedad causada por oidio que afecta a mandarinos (se manifiesta en hojas, tallos y a nivel de fruto como un “russet”) la cual también ha sido reportada en la región metropolitana (Fig. 15).

Considerando la realista predicción de una disminución del frío invernal para la zona central de Chile⁹⁴ hay informes sobre la nueva incidencia de *Phytophthora cinnamomi* causando daño sobre especies de nogales y de *Quercus* situación extraña al patógeno dado que su ataque es habitual bajo condiciones

⁹² Kazan, K. 2018. Plant-biotic interactions under elevated CO₂: A molecular perspective. Environmental and Experimental Botany Volume 153, September 2018, Pages 249-261 <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.06.005>

⁹³ Ibid. 90

⁹⁴ Fernández, E., et al. 2019. Prospects of decreasing winter chill for deciduous fruit production in Chile throughout the 21st century. Climatic Change <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02608-1>

de saturación de agua. De igual modo, *P. cinnamomi* ha afectado también cultivos de paltos lo que puede correlacionarse a que si la temperatura del suelo no baja de 8°C *P. cinnamomi* no entra en un proceso de receso y se mantiene activa, causando más daño en primavera, debido a que se dan las condiciones de crecimiento⁹⁵. Esto explicaría que muchos países estén reportando este problema. Otra variable que favorece el ataque de *P. cinnamomi* es la aplicación de nitrógeno a través del riego durante el mes de enero, porque la raíz se encuentra en un estado más succulenta y es más propensa al ataque.



Figura 15.- Aparición de nuevas enfermedades causadas por oidio. Fuente: J. Comejo, 2019⁹⁶.

De igual modo, el aumento de las temperaturas trae consigo un aumento de riesgo de infección por el viroide ARN CCaVd (“cachexia de los cítricos”) que ocasiona disminución de los rendimientos, afecta la calidad de los frutos y produce la muerte de los árboles. En otro escenario, bajas precipitaciones y altas temperaturas ocasionan un estrés hídrico que predisponen a la planta a la activa aparición de enfermedades causadas por hongos endófitos que se encuentran en la planta y que afloran exclusivamente bajo una condición de estrés. Tal es el caso de la *Botryosphaeriaceae* (muerte de brazos en vid), enfermedad de consideración mundial asociada al cambio climático y donde en Chile se han incrementado el número de especies afectadas. En 2008 se estudió la muerte de brazo en uva de mesa y luego en uva Cabernet Sauvignon, donde si bien se hizo manejo de la enfermedad, el problema ha persistido causando grave disminución del rendimiento.

A nivel global existen dos pandemias emergiendo con gran impacto, la *Xylella fastidiosa*, enfermedad bacteriana que afecta a olivos, vid y arándanos y que causa daño a nivel vascular especialmente en aquellas zonas donde se prevé un aumento de la temperatura. La enfermedad está presente en zonas de Italia y España y también en Argentina en cultivos de cítricos. La segunda es Huanglongbing en cítricos, enfermedad

⁹⁵ Ibid. 90

⁹⁶ Comejo, J., K. Elfar and B.Latorre.2019.First report of powdery mildew caused by *Podosphaera pannosa* on

mandarin “W.Murcott” in Chile. APS Publications. doi.org/10.1094/PDIS-04-19-0714-PDN

provocada por bacterias (y un vector) y que afecta diversas especies de plantas del género *Citrus*, (entre ellos limón, naranja y mandarina). La enfermedad presenta una dispersión acelerada que impide su erradicación. La enfermedad posee un largo periodo de incubación e hizo decaer el 50 % de la producción en California habiéndose reportado su incidencia en Argentina y Perú.

En el caso de los insectos, el efecto de las altas temperaturas ha favorecido la presencia de mosquita blanca en la región de Arica trayendo consigo virus sumamente intensos por lo que, las producciones de tomates deben hacerse bajo malla de lo contrario, las plantas son totalmente improductivas (Fig. 16).

Respecto del problema de plagas, existe la alta probabilidad de que un

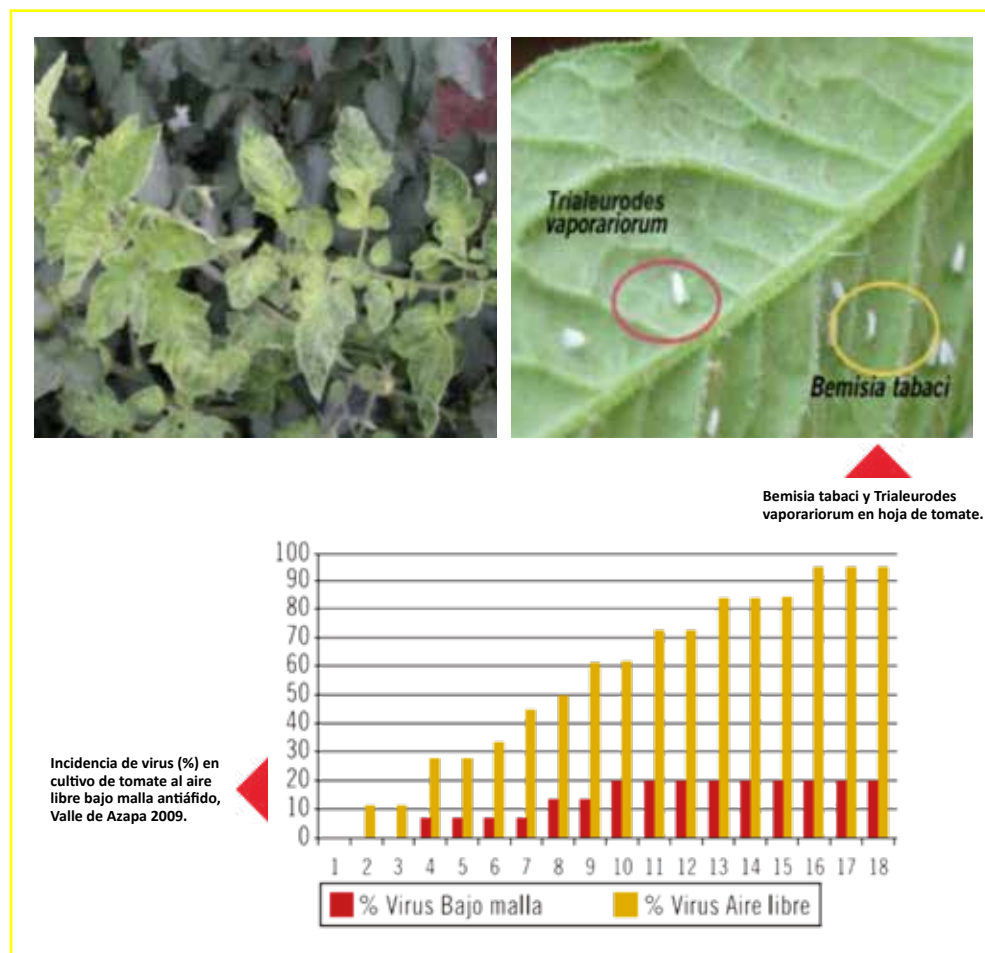


Figura 16.- Alta presencia de mosquita blanca y virosis en Arica.

Fuente: Sepúlveda et al., 2009. Citado por X. Besoain 2020

aumento de la temperatura tiende a favorecer el número de generaciones de insectos y a ampliar sus nichos ecológicos en aquellos lugares donde las condiciones invernales inducían su receso o directamente afectaban su tasa de mortalidad. Es por ello de gran importancia y de forma preventiva potenciar la vigilancia agrícola y el control cuarentenario de ingreso de productos agrícolas en los puertos terrestres y marítimos del país para evitar el ingreso de plagas y enfermedades cuarentenarias ausentes que pudieran adaptarse a las nuevas condiciones ambientales. A partir del año 2008 a la fecha han ingresado plagas y enfermedades no existentes, entre éstas *Lobesia botrana*, polilla del racimo de la vid (2008); *Pseudomonas syringae* pv. *actinidae* – PSA, bacteriosis del kiwi (2011); *Drosophila suzukii*, drosófila de alas manchadas (13 junio 2017) y repetidos ingresos en este período de *Ceratitis capitata*, Mosca del Mediterráneo⁹⁷. Coincidentemente la Mosca de la Fruta de Alas Manchadas, ingresó al país desde Argentina, a través de la frontera de la Región de la Araucanía⁹⁸.

Dentro de las estrategias para mitigar la presencia de “nuevas” plagas a nivel nacional como consecuencia del cambio ambiental se debe evitar el ingreso al país aquellas pestes o enfermedades

cuarentenarias (rol de exclusión del SAG). De igual modo, propagar material sano y certificado, uso de mallas de protección (invernaderos), dispersión de organismos benéficos como las PGPB y actinomicetos, aumentar la diversidad de los cultivos, cuidar la flora nativa y mantener incluyendo el riego a los corredores biológicos ya que son fuentes de servicios ecosistémicos de gran importancia. De acuerdo con las regulaciones establecidas por el Servicio Agrícola y Ganadero⁹⁹, es posible mencionar entre las plagas existentes en la zona sur del país a las “cuarentenarias presentes y con control oficial” y las “plagas cuarentenarias ausentes”, como es el caso de *Lobesia botrana*, polilla del racimo de la especie *Vitis vinífera*, que también ataca a puede infestar a otras especies, como el arándano, motivo por el cual, países libres de esta plaga exigen fumigación con bromuro de metilo en origen a las exportaciones chilenas de las frutas hospedadoras. También debe mencionarse en este mismo sentido, el Nematodo Dorado de la Papa, *Globoidera rostochiensis*, que, en la zona productora de semilla de este tubérculo, no está presente, condición que se extiende desde Arauco al sur, incluyendo las Regiones de la Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes. Es importante destacar también que, en el grupo de plagas cuarentenarias presentes con control oficial, se encuentra *Drosophila*

⁹⁷ Academia Chilena de Ciencias Agronómicas. 2013. Desafíos de los sistemas de producción agrícola de la Región de Valparaíso-Chile, frente a la sustentabilidad territorial-Documento de Posición. <http://www.academiaagro-nomica.cl>

⁹⁸ Morales, O. 2020. Com. personal. Academia Chilena de Ciencias Agronómicas

⁹⁹ SAG 2017. Plagas cuarentenarias presentes con control oficial y Plagas cuarentenarias ausentes.

suzukii, de alto riesgo fitosanitario para la fruticultura de la zona sur, por su hábitat de bajas temperaturas y alta humedad y que su estado larvario se produce en alta proporción en el interior de la fruta. Afortunadamente su alta distribución mundial, no significa en la mayoría de los países de destino la exigencia de un tratamiento cuarentenario de frío en origen. Este insecto que se le conoce como “Mosca de Alas Pintadas”.

Entre las plagas cuarentenarias ausentes, merece destacarse la Mosca de la Fruta *Ceratitis capitata*, de la cual Chile es reconocido internacionalmente como país libre de este díptero. En los últimos años ha habido introducciones en área definidas del área centro-sur del país que han sido pronto erradicadas. Esta condición de libre de esta plaga, como uno de los pocos países con esta condición, le hace tener ventajas comparativas en el mundo. En las regiones del sur del país nunca se ha detectado, no obstante tener instalada una red de trampeo a nivel nacional que ratifican esta condición.

En este grupo de plagas cuarentenarias presentes, se menciona también a *Drosophila suzukii*, de alto riesgo fitosanitario para la fruticultura de la zona sur, por su hábitat de bajas temperaturas y alta humedad y que su estado larvario se produce en alta proporción en el interior de la fruta. Afortunadamente su alta distribución mundial, no significa en la mayoría de los países de destino la exigencia de un tratamiento cuarentenario de frío en origen.

7.- FORTALECIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA AGROEXPORTADORA FRUTÍCOLA

La expansión territorial de la hortifruticultura chilena para el período 1999-2018 revela que la concentración geográfico-productiva fue variable extendiéndose como respuesta a la mayor demanda de los mercados de destino, ampliándose y diversificándose hasta alcanzar una cobertura más extensa hacia el sur del país, principalmente de la Región de Ñuble al sur¹⁰⁰. Prácticamente en todo el territorio que se extiende desde el Valle de Copiapó a la Región de Los Lagos e incluso Chile Chico en la Región de Aysén, se realizan actividades frutícolas destinadas a la exportación, con una tendencia significativa de crecimiento en superficie en los últimos años, que se extiende sobre la mayoría de la zona tradicionalmente regada en Chile.

En las distintas regiones, mientras que, en el ámbito de la producción primaria y mediana, las empresas están dotadas de servicios eléctricos, agua potable y alcantarillados, preocupa la condición del pequeño productor que aún carece de los citados servicios¹⁰¹. Dentro de este contexto, la infraestructura está siendo debilitada por el crecimiento que esgrime el sector en superficie, producción y

¹⁰⁰ ODEPA Concentración geográfico- productiva de la fruticultura, 2015 -2016.

¹⁰¹ Méndez Notari, C. y R. Araya-Valenzuela. 2017. Cambio climático y producción de cultivos anuales esenciales: Una mirada desde la seguridad alimentaria en Chile. Revista “Política y Estrategia” N° 129, 2017, pp. 157-187 ISSN 0716-7415

volúmenes de exportación visualizándose puntos críticos tales como la propia infraestructura vial; una mayor acumulación hídrica; el necesario mejoramiento de la capacidad portuaria; aumentar la conectividad; implementar más aeropuertos claves; y reducir de costos de la energía eléctrica¹⁰². Entre los factores a considerar están:

Expansión de la producción: El mapa frutícola está evolucionando con énfasis hacia zonas australes del país¹⁰³. Según ODEPA, la variación de la superficie para el período 2003-2018 en las regiones de Biobío al sur han tenido un fuerte incremento, como es el caso de Ñuble (260%), Biobío (172%), Araucanía (326%), Los Ríos (125%) y Los Lagos (81%) siendo las especies de mayor expansión lo constituyen cerezo, avellano europeo, arándano americano, nogales y olivos¹⁰⁴. Esta expansión territorial de las superficies frutícolas que alcanza a julio 2019 las 342.671 hectáreas han mostrado una dependencia creciente de los recursos hídricos obtenidos en alta proporción de fuentes subterráneas y representan alrededor del 7% de la superficie nacional sin estar en equilibrio con la disponibilidad efectiva y sustentable de los recursos de agua, tanto subterráneas como superficiales. Solo en 2017 se plantaron más de tres millones de plantas de cerezo, lo que corresponde a cerca de 3.340 has (Asociación de Viveros

de Chile)¹⁰⁵. En los últimos cinco años (2013-2017) se han plantado más de 11.700 hectáreas de este cultivo las cuales, en su enorme mayoría aún no entra en plena producción estimándose un importante crecimiento de la superficie plantada de cerezo desde 2010 (16.700 ha) a una proyección de esta superficie para alcanzar las 36.600 en todo Chile. En la actualidad destacan en magnitud los envíos a Asia, Norteamérica y Europa, para las exportaciones frutícolas siendo los productos más destacados la uva de mesa, cerezas, ciruelas, arándanos, manzanas, paltas y peras.

Mientras que las superficies productivas se expanden con énfasis hacia zonas australes del país¹⁰⁶ el cambio climático está afectando a los cultivos y plantaciones en forma diversa en las distintas regiones:

- * Región de Coquimbo.- La superficie total plantada con frutales ha descendido en un 2,2% mientras que las hectáreas de palto han disminuido en un 21% (de 5.024 há a 3.983 há) y las de uva de mesa en un 6,5% (de 8.700 hectáreas a 8.160). Dado que ambas especies requieren abundantes recursos hídricos, la escasez del elemento en dichas zonas y la calidad de la misma, es un factor determinante en la disminución. En cambio, se ha experimentado un incremento en cítricos como las mandarinas, de 2.630

102 ASOEX y FEDEFruta 2020 El Mercurio, El Campo

103 Ibid. 11

104 <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catas-tros-fruticolas/catastro-fruticola-ciren-odepa>

105 <https://www.viverosdechile.cl/> <https://www.odepa.gob.cl/tag/asociacion-gremial-de-viveros-de-chile>

106 Ibid. 11

hectáreas a 3.783, lo que representa el 50% de estas plantaciones a nivel nacional.

- * Región de Valparaíso. Es la región del país más vulnerable al cambio climático del país¹⁰⁷, con aumentos en las temperaturas mínimas, medias y máximas de todas las comunas de la zona, conjuntamente de una disminución de precipitaciones y un grave aumento en la probabilidad de incendios forestales. La producción frutícola se orienta predominantemente al mercado externo con una superficie dedicada a frutales de 50.603 ha, convirtiéndose en el rubro más rentable y representando el 51 % del volumen frutícola nacional exportados a diferentes regiones en el mundo¹⁰⁸. Los impactos del cambio ambiental se evidencian como heladas primaverales, lluvias en época estival e incremento de las temperaturas extremas limitando la producción al afectar la época y uniformidad de floración y cosecha y favorecer la dispersión de plagas y enfermedades¹⁰⁹. Efecto palpable del cambio climático en la región, es la mega sequía que afecta a Chile Cen-

tral durante los últimos 8 años, motivo por el cual los agricultores han debido abandonar parcial o totalmente los huertos de la región. Debido a esta situación, ya en el año 2012 fueron declaradas zona de catástrofe agrícola por déficit hídrico las comunas de La Ligua, Petorca y Cabildo, las cuales pertenecen a la provincia de Petorca, primera línea de desertificación en el límite norte de la región. Su principal actividad económica es la agrícola y ganadera, la que se ha visto afectada por la sequía, originándose una disminución en producción y rendimiento de hortalizas y frutales, abandono de huertos de paltos, y muerte de ganado por falta de forraje y agua para animales. Para enfrentar la restricción hídrica, la región de Valparaíso destaca como una de las regiones donde más se ha adoptado el uso de riego presurizado a nivel nacional¹¹⁰.

- * Región Metropolitana. La superficie cultivada de uva de mesa han descendido en un 9,1% y ha dejado de ser la principal fruta de esta región, dando espacio a otras especies de menor consumo hídrico (olivo, avellano, pistacho) con crecimiento del 29% en la superficie plantada. Es decir, la superficie frutícola de la zona norte y centro-norte del país ha experimentado un descenso, contrariamente a lo que ocurre la zona sur, que ha tenido

¹⁰⁷ Ministerio del Medio Ambiente. 2016. Elaboración de una base digital del clima comunal de Chile: línea base (1980-2010) y proyección al año 2050. Disponible en http://portal.mma.gob.cl/wp-content/doc/Clima-Comunal_Informe_Final_29_08_2016-web.pdf

¹⁰⁸ Ibid. 107.

¹⁰⁹ Academia Chilena de Ciencias Agronómica 2017. Documento de Posición: *Desafíos de los sistemas de producción agrícola de la Región de Valparaíso-Chile, frente a la sustentabilidad territorial*. 18 p., www.academiaagronomica.cl

¹¹⁰ Ministerio de Agricultura. 2017. Nuestra Región. Disponible en <http://valparaiso.minagri.gob.cl/nuestra-region/vision-de-la-region/>

un importante incremento, como es posible comprobar más adelante, en las regiones localizadas al sur de la Región de Ñuble.

- * Región de Ñuble. Zona de vocación agrícola tradicional que presenta actualmente un crecimiento exponencial en nuevas plantaciones frutícolas de cerezos, arándanos, frutos secos y manzanos. La Región dispone actualmente de una superficie frutícola superior a 14 mil ha cultivadas, dentro de las cuales Itata es la provincia más importante con el 50,7 % de esta área y en la que sus principales especies están constituidas por avellano europeo, arándano, nogal, cerezo y manzano rojo. Exporta el 55 % de su producción, complementado por agroindustria y mercado interno. Tiene una capacidad de almacenaje frío de y atmósfera controlada de aproximadamente 70.000 metros cúbicos, además de cámaras de fumigación para tratamientos cuarentenarios y dispone de empresas de embalaje predial e inter-predial suficiente para su actual producción.
- * Región de Biobío. La región dispone de una superficie frutícola cercana a las 6.000 hectáreas, destacándose la especie arándano americano. El cultivo se realiza en un 80% de su producción bajo riego por goteo. De acuerdo con FEDEFruta (2019), “si en 2012 había plantadas cerca 22.700 hectáreas de frutales desde el Biobío

hacia el sur y ahora encontramos más de 30 mil, fenómeno que se da en parte por el cambio climático, ello permite cosechar este tipo de productos en estas dichas regiones. Los cultivos como el cerezo, el arándano, nogales y avellano europeo, productos de alto valor en los mercados internacionales pueden asegurar mejores márgenes de rentabilidad a los fruticultores. Por ello FEDEPRUTA considera que el sur de Chile tiene no solo un potencial, sino un presente enorme, para convertirse luego en un protagonista de la fruticultura chilena ¹¹¹.

- * Región de la Araucanía. Con 10.503 ha de frutales, destacándose las especies de avellano europeo, manzano rojo y arándano americano y distribuidas en las diferentes comunas de la provincia de Malleco. La región destina el 73 % de la producción al comercio internacional y dispone de infraestructura de frío, atmósfera controlada y embalaje mecanizado con capacidad para más de 10 millones de cajas. Si bien la región cuenta con un potencial en el mediano plazo de alcanzar las 28 mil ha con este tipo de cultivos, para ello se requiere de financiamiento y de infraestructura hídrica para potenciar al sector frutícola para exportación y a los cultivos tradicionales, desafío que

¹¹¹ J. Valenzuela, Presidente Fedefruta, 25/01/2019 *Diario Financiero*, <https://fedefruta.cl/presidente-de-fedefruta-analiza-evolucion-de-la-fruticultura-por-el-cambio-climatico/>

está siendo planteado por los agricultores de dichas zonas australes.

- * Región de Los Ríos. Con una superficie de frutales de 3 mil hectáreas, las especies arándano americano, avellano europeo y frambueso, son los que más destacan con producciones distribuidas en las provincias de Ranco y Valdivia. La producción regional es de alrededor de 30.000 toneladas, de las cuales un 40 % se destina a la exportación. Disponen de infraestructura de frío y embalaje mecanizado. En la Región de Los Lagos hay en cultivo 2.572 hectáreas, destacándose el arándano americano, avellano europeo y frambueso. Como sistemas de riego utiliza predominantemente el riego por goteo, seguido por el riego por aspersión. Posee embalaje mecanizado e infraestructura de frío. Alcanza una producción anual de 21 mil toneladas, que se distribuyen en las provincias de Osorno y Valdivia.

- * Región de Aysén. En la región se localizan inicialmente el cultivo de 300 hectáreas dedicadas a cerezo. Su producción se eleva a 800 toneladas, con la mayor importancia en Chile Chico, que entrega un producto de buen calibre y excelentes características organolépticas y que es destinada en un 80 % al comercio internacional. Utilizan una tecnología de riego por goteo en su mayoría. Poseen infraestructura de frío y embalaje mecanizado. En Chile Chico, se están produciendo cerezas

tardías de exportación de altísima calidad y características muy especiales (mayor calibre, mayor contenido de materia seca y de sólidos solubles). En particular, el clima más seco y frío y la mayor duración de horas de luz en el verano (latitud austral) son factores coadyuvantes en estas mejores características organolépticas, diferentes de las cerezas producidas en la zona central.

Costos de producción: Según estimaciones de ODEPA (2015-2016)¹¹², los costos de producción de los berries fluctúan entre 6-8 millones de pesos por hectárea utilizando una tecnología media y riego por goteo (Tabla 1).

¹¹² ODEPA 2017. Costos de Producción y valor del suelo.

	ARÁNDANO, ARAUCANÍA	FRAMBUESO, BIO BIO
ÍTEM	(costo/ha)	
Labores	4.726.600	4.734.000
Insumos	2.620.609	623.867
Otros costos (1)	1.030.009	549.191
Total	8.387.318	5.907.048

(1) costo financiero de los costos directos.

Tabla 1.- Costos de producción del arándano y el frambueso en dos regiones del sur de Chile. Fuente ODEPA 2017.

Protección contra el viento. Un elemento altamente necesario que complementa la infraestructura en las regiones del sur, en que predominan corrientes de viento en forma regular, para una producción de alta calidad, rendimiento y calidad, lo constituyen las cortinas corta viento. Técnicamente se recomiendan las cortinas corta viento artificial de fácil y rápida implementación. Esta tecnología permite evitar los efectos perjudiciales del viento en tallos, flores, hojas y frutos en cultivos de alta sensibilidad a las corrientes de viento, como es el caso del cerezo y la frutilla. Las cortinas incrementan la efectividad del riego, al reducir la pérdida de agua por evaporación y proteger el vuelo de las abejas lo que mejora la polinización. Permiten un mejor desarrollo de los árboles y una mejor producción. Según antecedentes del INIA (95), el costo de 100 metros lineales de malla, que, incluyendo postes nativos, malla, grapas y clavos, incluyendo la mano de obra, implica un valor total de \$ 410.000 los 100 metros lineales de malla de monofilamento instalada.

Energía eléctrica: El costo de la energía eléctrica en Chile es uno de los más altos de Sudamérica¹¹³ siendo la tarifa de 15, 80 centavos de dólar por KWh (\$ 105), superando el promedio regional de 10,21 centavos de dólar (\$ 65). El sistema de horas punta le ha traído desventajas a la producción, ya que, por las características productivas del sector, no puede trasladarse su consumo a meses no afectos a esta medida.

La expansión del sector frutícola hacia el sur del país está generando necesidades y demandas de puertos, aeropuertos, red vial, infraestructura de cámaras de frío, embalaje y de tratamientos cuarentenarios de fumigación y frío, infraestructura de comunicaciones y sitios de inspección fitosanitaria e inocuidad alimentaria.

Puertos: Durante el período 2004-2014 la capacidad de contenedores de los puertos chilenos se duplicó y la productividad del transporte marítimo portuario se transformó en uno de los más altos de Latinoamérica¹¹⁴. Ello trae como consecuencia la necesidad de aumentar el

¹¹³ Información del Centro de Regulación Económica de los Servicios Públicos de la Universidad de Belgrano, Argentina.

¹¹⁴ Información actualizada de: Dirección de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Ministerio de Agricultura, OCDE, Cámara Marítima y Portuaria de Chile.

acceso a los puertos de embarque, que por el trabajo desarrollado hasta ahora y su proximidad, seguramente corresponderá al complejo de Talcahuano. Hasta el presente dicho puerto se ha destinado a los embarques de cereales y minerales por lo que será necesario implementar almacenamientos bajo frío, carga y movimiento de contenedores de frutas además de incrementar y capacitar a la mano de obra especializada.

Estos aspectos son enfatizados por el sector frutícola dado que existen déficits para los cuales, en los próximos 15 años, se deberá aumentar significativamente la infraestructura de puertos y transporte de carga del sector marítimo. Un ejemplo de ello es el Paso Libertadores, en la frontera con Argentina, sujeto a cierre por condiciones adversas cuando nieva.

Una solución planteada es concesionar más puertos, sin embargo, la Dirección de Obras Portuarias menciona en que ha habido importantes inversiones en los puertos de Valparaíso y San Antonio a través de concesionarios portuarios.

En relación con la conectividad, en ciudades como Santiago, Valparaíso y Concepción, e incluso Temuco, la conectividad funciona bien, pero alejándose 30 a 40 km es prácticamente inexistente lo que implica para los productores y exportadores una pérdida de eficiencia.

Aeropuertos: Mientras que el 90 % del comercio internacional es marítimo, en Chile los aeropuertos se han vuelto indispensables para la exportación frutícola dada la gran distancia a los mercados y la conveniencia de alcanzar ventanas

de precios con productos tempranos. Una gran parte de la carga privilegia el Aeropuerto Arturo Merino Benítez mientras que el aeropuerto de la Región de la Araucanía funciona solo para pasajeros sin contar con accesos para carga.

Red vial: La infraestructura de transporte es esencial para la adaptación al cambio ambiental. Si bien el país cuenta con amplias carreteras, *modernos* puertos y aeropuertos estos son insuficientes en número especialmente en la zona austral. Según la Dirección de Vialidad, el país posee 82.133,78 kilómetros de red vial, de los cuales el 39,9 % es de ripio, el 21% es de asfalto y el 19,6 % es de tierra¹¹⁵. La falta de caminos de asfalto limita la competitividad y calidad de los productos (daño en la fruta). Un trayecto de sólo 4 km con hoyos provoca daños en la fruta por golpes, estimado en 10 a 15 %. A pesar de que se han hecho esfuerzos en zonas rurales, los expertos consideran que las necesidades siguen siendo urgentes. En relación con la conectividad, en ciudades como Santiago, Valparaíso y Concepción, e incluso Temuco, la conectividad funciona bien, pero alejándose 30-40 km, no se tiene nada.

Infraestructura de almacenamiento: El Catastro Frutícola realizado por CIREN-ODEPA (2019)¹¹⁶, permite constatar que en las Regiones de la zona sur se dispone en la actualidad de limitada infraestructura de frío, embalaje, atmósfera

¹¹⁵ Ibid. 114,

¹¹⁶ CIREN – ODEPA, 2019

controlada y fumigación que obviamente debe incrementarse por la notoria expansión de las actividades frutícolas. El área plantada con frutales para la exportación en la zona austral de Chile ha dejado de ser incipiente y ya alcanza las 21.246 ha con una proyección a corto plazo de alcanzar las 35.000. Ello implicará dar respuesta a una mayor demanda local de distintos tipos de cámaras de almacenamiento agroindustrial de fruta fresca lo que se traduciría a su vez en aumentar potencialmente la cantidad de empresas y de cámaras con distintas capacidades (Tabla 2). Conforme a los datos analizados existen en la zona central 4.169 cámaras de almacenamiento mientras se revela un número incipiente de 311 para la zona austral. Aunque en la zona central existen diferencias de escala y de tecnología entre las empresas de procesamiento, se puede estimar una relación promedio de 266 ha de superficie plantada por empresa mientras que en la zona austral dicha relación se eleva a 452 revelando empresas con mayor tamaño o que se realizan envíos a granel de fruta fresca a la zona central para su procesamiento (Tabla 3.) mientras que el indicador promedio de hectáreas plantadas por cámara es muy similar. De todas formas, la expansión del sector frutícola hacia el sur del país generará necesidades y demandas de infraestructura de cámaras de frío, embalaje y de tratamientos cuarentenarios de fumigación y frío, infraestructura de comunicaciones, sitios de inspección fitosanitaria e inocuidad alimentaria y acceso y fuerte

reforzamiento de puertos de embarque con disponibilidad de almacenamiento bajo frío, carga y movimiento de contenedores de frutas. productivo, se deriva la imperiosa necesidad de acelerar la implementación de embalses para riego y ampliar el uso del riego tecnificado y mejorar la eficiencia de utilización del recurso hídrico disponible.

Tabla 2.- Disponibilidad de infraestructura para el procesamiento de fruta fresca, empresas procesadoras y superficie plantada frutícola en las zonas y regiones central y austral de Chile. Fuente: Catastro frutícola CIREN-ODEPA 2019¹¹⁷. Datos procesados por J.Jzquierdo, Academia Chilena de Ciencias Agronómicas, 2020.

Infraestructura de procesamiento frutícola en 2019	ZONA CENTRAL					ZONA AUSTRAL			
	Regiones					Regiones			
	Valparaíso	RM	O'Higgins	Maule	Ñuble	Araucanía	Los Ríos	Los Lagos	Aisén
Cámaras de frío	227	249	898	829	93	104	43	10	15
Cámaras de pre-frío	209	204	542	224	56	57	23	1	13
Cám. atmósfera controlada	2	57	264	484	2	45	-	-	-
Cámaras de fumigación	31	33	13	12	1	-	-	-	-
	469	543	1717	1549	152	206	66	11	28
Total de cámaras					4.169				311
Nº de empresas de procesamiento	208	172	404	202	56	20	16	2	9
Total de empresas					1.042				47
Superficie plantada (hás)	49.417	52.397	85.284	76.374	14.184	14.440	3.993	241	2.572
Total superficie plantada (hás)					277.656				21.246

Tabla 3.- Indicadores de utilización de la infraestructura para el procesamiento de fruta fresca zonas centro y austral de Chile. Fuente: extraído de Catastro frutícola CIREN-ODEPA 2019

INDICADOR	ZONA CENTRAL	ZONA AUSTRAL
Superficie plantada por empresa de procesamiento (hás.)	266	452
Superficie plantada por cámara de procesamiento (hás.)	66	68
Numero de cámaras de procesamiento por empresa	4.0	6.6

¹¹⁷ <https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/catastros-fruticolas/catastro-fruticola-ciren-odepa>

Recursos hídricos: Según FEDEFruta (2019) “el principal problema que plantea el cambio climático a la industria es la menor disponibilidad de agua y asegurar el abastecimiento del recurso hídrico debe ser la principal preocupación del país y del sector. Están apareciendo nuevos polos frutícolas, básicamente, desde la nueva Región de Ñuble hacia el sur del país, donde se han habilitado zonas agroecológicas que antes eran impensadas”. La demanda de agua de riego sigue creciendo derivado del incremento en la superficie plantada. A ello se agrega que el cambio climático ha disminuido la capacidad del recurso y de continuar acentuándose esta situación deficitaria, se tendrán restricciones hídricas más agudas. Según las estimaciones del Ministerio de Agricultura, para 2030 habrá una superficie cultivada de frutales entre 1,1-1,3 millones de hectáreas con una superficie bajo riego de medio millón de hectáreas. Considerando que durante el período invernal cerca del 85 % del agua dulce fluvial se descarga en el mar sin que tenga un previo uso productivo, se deriva la imperiosa necesidad de acelerar la implementación de embalses para riego y ampliar el uso del riego tecnificado y mejorar la eficiencia de utilización del recurso hídrico disponible.

Sostenibilidad: “El sur de Chile tiene no solo un potencial, sino un presente enorme, para convertirse a corto plazo en un protagonista de la fruticultura chilena”. Según FEDEFruta si en 2012 existían 22.700 ha de frutales desde el Biobío hacia el sur, ahora se cuentan con más

de 30 mil, fenómeno atribuible en parte al cambio climático y en donde cultivos como el cerezo, el arándano, los nogales y los avellanos europeos, productos de alto valor en los mercados internacionales, que permiten asegurar mejores márgenes de rentabilidad a los fruticultores. Según el citado Catastro Frutícola ODEPA-CIREN la superficie nacional dedicada a la fruticultura alcanza a julio 2019 las 342.671 ha y solo en 2017 se plantaron más de tres millones de plantas de cerezo, lo que corresponde a cerca de 3.340 ha (Asociación de Viveros de Chile). En los últimos cinco años (2013-2017) se han plantado más de 11.700 hectáreas de este cultivo las cuales, en su enorme mayoría aún no entra en plena producción estimándose un importante crecimiento de la superficie plantada de cerezo desde 2010 (16.700 ha) a una proyección de esta superficie para alcanzar las 36.600 en todo Chile.

Un total de 2,800 millones de toneladas de manzanas, uva de mesa, cerezas, kiwis, ciruelas, damascos, peras, nueces y otras especies fueron exportadas en 2018-19 a través de más de 360 empresas chilenas y/o internacionales a mercados localizados en 100 países de América del Norte, América Latina, Europa, Lejano, Medio y Cercano Oriente, siendo por volumen las principales especies exportadas las manzanas y la uva de mesa, mientras que las cerezas y uvas de mesa fueron las de mayor retorno económico. Este gran esfuerzo agrícola e industrial de la frutivivinicultura nacional ya representaba en 2015 el

CUADRO 1.- Principales planes y proyectos de inversión en obras públicas para las regiones del sur del MOP (2010-2020)

BIO BÍO: Expansión de los puertos de San Vicente, Lirquén, Penco, Huachipato, Penco, Coronel y Cabo Froward. construcción del embalse Puntilla y terminar las obras en Laja – Diguillín. Desarrollar proyectos de riego mediano y pequeño del sistema río Cato, Perquilauquén, embalse Lonquén. Consolidar la ruta Precordillerana como forma de integración estratégica para el sector agropecuario y de conexión para mercados. Mejorará la regulación de los embalses. Potenciar el manejo de cuencas, especialmente la del río Bío-Bío

Diseñar trasvases de cuencas. Reutilizar el recurso de agua. Implementar programas de saneamientos de derechos. Organizar, capacitar e incorporar tecnologías para disposición de usuarios y con una gestión integrada de cuencas hidrográficas

ARAUCANÍA: sistema integrado de comunicaciones vial, ferroviaria y aérea que permita un mejor acceso a los mercados nacionales e internacionales. Abastecimiento hídrico seguro y de calidad, que permita, aumentando la superficie productiva mediante drenaje y riego para lograr una meta de 100 mil ha. Construcción de embalse permanentes y de temporada. Recuperación de derechos de agua. Manejo de cuencas y restauración de ejes hidráulicos. Modificar la Ley de Aguas desde una perspectiva regional para aumentar la eficiencia en el cobro de patentes y de nuevos derechos de agua. Realizar un estudio hidrográfico regional de las aguas subterráneas.

DE LOS RÍOS: Desarrollar el sistema portuario Corral-Valdivia y su conexión con la ruta 5. Fortalecer el transporte ferroviario como elemento de conectividad.

DE LOS LAGOS: Apoyar los planes de desarrollo portuario de Puerto Montt, incluyendo vías de acceso y relocalización de puertos secos. Potenciar el uso de nuevas praderas desarrollando sistemas de riego y drenaje que permitan mejorar el aprovechamiento de los recursos hídricos para aumentar la producción ganadera por superficie en verano.

AYSÉN: Ampliar el terminal aéreo de Balmaceda. Mejorar la infraestructura de conectividad en Puerto Marín Balmaceda y establecer la factibilidad de conexión marítima entre Raúl Marín Balmaceda y Quellón. Consolidar el eje transversal Chile Chico – Guadal con la ruta 7. Desarrollar estudios de factibilidad de proyectos de conectividad entre números destinos. Establece programas multianuales para la construcción de caminos rurales y para focalizar inversiones que aseguren la calidad del servicio vial de caminos transversales y rurales.

Fuente: extractado de Gobierno de Chile. Ministerio de Obras Públicas. 2010-2020 Obras Públicas para el Desarrollo. 238 pp.

38,7% del PIB silvoagropecuario y el 1,3% del PIB nacional.

Los miembros de la Asociación de Exportadores de Frutas de Chile (ASOEX) representan el 90% del volumen exportado y el 57,1 % de las plantaciones

frutícolas de todas las especies frutícolas. La Asociación aborda la sustentabilidad de la industria frutícola a través de: la búsqueda y defensa de mercados (acciones de apertura, negociaciones y promoción); la preocupación por la fitosanidad (colaboración público-privada); y el desarrollo de política de sustentabilidad (desarrollo productivo-variedades

de uvas, cerezas, frambuesas, carozos y manzanas, investigación e innovación a través de un consorcio tecnológico, red agroclimática, inocuidad y acuerdos fitosanitarios con muchos países en conjunto con SAG, protección del medio ambiente y biodiversidad, uso eficiente de la energía y control de emisiones y gestión de residuos); responsabilidad social empresarial, inclusión laboral, relación con escuela agrícolas y; sustentabilidad económica realista, medible y verificable. La estrategia de sustentabilidad comercial de ASOEX está basada en el enfoque en: bienestar del trabajador y del cliente (consumidor); la viabilidad económica; la libre competencia y accesibilidad transparente al sector y; colaboración público-privada. Según FEDEFruta (2019) “el principal problema que plantea el cambio climático a la industria es la menor disponibilidad de agua y asegurar el abastecimiento del recurso hídrico debe ser la principal preocupación del país y del sector. Están apareciendo nuevos polos frutícolas, básicamente, desde la nueva Región de Ñuble hacia el sur del país, donde se han habilitado zonas agroecológicas que antes eran impensadas”.

El sector agroexportador, representado por ASOEX y FEDEFruta, ha identificado debilidades que afectarían la sostenibilidad de la fruticultura, entre las cuales se cuentan la necesidad de disponer de una mayor infraestructura vial pavimentada; más acumulación hídrica; necesidad de implementar una mayor capacidad portuaria en atención

al significativo incremento de los volúmenes exportados; baja conectividad del sector en comunicaciones; fijación de aeropuertos claves; y estudiar menores costos de la energía eléctrica rural.

Obras públicas: La infraestructura de transporte es esencial para la adaptación al cambio ambiental. Si bien el país cuenta con amplias carreteras, modernos puertos y aeropuertos estos son insuficientes en número especialmente en la zona austral. Mientras que en el ámbito de la producción primaria y mediana las empresas están dotadas de servicios eléctricos, agua potable y alcantarillados, de igual manera preocupa la condición de lo rural del pequeño productor que aún carece de los citados servicios. El plan decenal del Ministerio de Obras Públicas 2010-2020, en línea con la visión de Chile como potencia agroalimentaria, constituye un diagnóstico de las necesidades de desarrollo de obras públicas e identifica, en 10 líneas estratégicas, las principales medidas de infraestructura para lograr los objetivos de desarrollo regional y/o sectorial. El plan considera para cada Región del país un conjunto de ideas de desarrollo de obras públicas, entre otras líneas, obras de fortalecimiento del riego y el uso del agua; la competitividad regional; la generación de energía; y el manejo de cuencas. El Cuadro 1 presenta una síntesis de los principales planes de desarrollo e inversión del MOP para las regiones del sur y para aquellas líneas estratégicas relacionadas al sector agrícola. Con respecto a las inversiones públicas

para 2020 y para hacer frente a la prolongada sequía, el MOP dará prioridad al riego como parte del Plan Nacional de Regulación y Embalses (PRNE) con la construcción de 26 obras entre Arica y la Araucanía para alcanzar la capacidad de almacenamiento de agua en 2.681 metros cúbicos, 50% adicional a los 5.300 metros cúbicos disponibles y aumentar la superficie de riego en 404.000 hectá-

reas. También se informa la construcción de cuatro embalses, distintos a los que ya se iniciaron y a otros que se iniciarán. Estos proyectos que significan una inversión de US\$ 897 millones, son para el Valle Hermoso en Coquimbo; para la Puntilla en Ñuble y las Palmas, Petorca, en Petorca. Los 22 restantes, se encuentran en fase de estudios y consideran un total de USD 6.084 millones.





IV.- RECOMENDACIONES Y LÍNEAS DE ACCIÓN



1. HACIA UNA ESTRATEGIA NACIONAL DE ADAPTACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

El sector silvoagropecuario es uno de los más afectado por los efectos del cambio ambiental a nivel global al depender directamente de factores climáticos, por ello la adaptación del sector al nuevo escenario es perentoria. El cambio climático exacerba las desigualdades existentes al ampliar la brecha entre las personas con riqueza y las que viven en la pobreza. Tiene un impacto desproporcionado en las mujeres y las niñas, las que, en la mayor parte del mundo, tienen poca voz en las decisiones que afectan sus vidas. También supone una carga injusta para

las generaciones futuras siendo que las soluciones a estas inequidades deben también abordar las estructuras y dinámicas de poder subyacentes¹¹⁸.

El cambio climático ha traído consigo un escenario de mayor temperatura, déficit hídrico, pérdida en la calidad de los alimentos, pérdida de aptitud de los suelos de los valles productivos, emergencia de plagas y malezas, produciendo enormes pérdidas económicas. Desde la modelación del clima bajo distintos escenarios, el estudio de los potenciales

¹¹⁸ WRI –Global Center on Adaptation. 2019. Adapt now: a global call for leadership on climate resilience https://cdn.gca.org/assets/2019-09/GlobalCommission_Report_FINAL.pdf

impactos sociales ambientales y económicos a nivel local, la vulnerabilidad de los diferentes sistemas socio-ecológicos, las opciones de adaptación y las nuevas tecnologías requeridas, son algunas de las áreas que requieren del aporte de la ciencia¹¹⁹.

La Academia sostiene que un apropiado desarrollo de la investigación científica en cambio climático es fundamental para el diseño de política pública. Se hace necesario, por tanto, conectar la ciencia con la política pública, así como fomentar el desarrollo de la investigación del cambio climático en los diversos ámbitos del quehacer nacional.

El World Resources Institute (WRI) propone dos soluciones para enfrentar el estrés hídrico en los países¹²⁰. En primer término, aumentar la eficiencia agrícola utilizando el riego de precisión en lugar de inundar los campos. El informe enfatiza que “las fuentes de financiamiento pueden enfocar proporcionar capital para inversiones en productividad del agua aplicando tecnologías disponibles que mejoren la eficiencia en la agricultura”. La segunda medida es invertir en infraestructura de los países. La investigación del WRI y del Banco Mundial muestra que la infraestructura construida y la infraestructura verde (humedales y cuencas hidrográficas saludables) pueden servir en conjunto para abordar los problemas de suministro y calidad

del agua siendo importante incrementar el tratamiento y la reutilización del agua.

Los servicios de apoyo y regulación, incluyendo el ciclo de nutrientes, de formación y rehabilitación del suelo, sequestro de carbono, almacenamiento y filtración de agua, provisión de hábitat para especies, control biológico de plagas y polinización son necesarios y parte integral de la agricultura, la ganadería y la actividad forestal. Estos sectores se benefician de los servicios ecosistémicos, por lo que, frente a los impactos del cambio climático, es necesario mantener y respaldar las funciones de los ecosistemas para asegurar la competitividad del sector¹²¹. Mientras que la biodiversidad hace que los sistemas de producción y los medios de vida sean más sostenibles y resilientes a los *shocks* y situaciones de estrés, como a los efectos del cambio climático, a su vez, la reducción de la huella ecológica de la agricultura mediante prácticas sostenibles puede contribuir a la conservación de la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos (FAO, 2018)¹²².

La Academia considera que desarrollar una agricultura sostenible¹²³ implica

¹¹⁹ Ibid. 30.

¹²⁰ <https://www.wri.org/our-work/topics/climate>

¹²¹ Stickler, M., et al. 2011. Ecosystem Services Review for Impact Assessment. Introduction and Guide to Scoping. World Resources Institute. https://www.wri.org/sites/default/files/ecosystem_services_review_for_impact_assessment_introduction_a

¹²² FAO 2018. Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. <http://www.fao.org/ecosystem-servicesbiodiversity/es/>

¹²³ A los efectos del presente documento y según el Informe Brundtland de 1987, la sostenibilidad consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar

“reconciliar en el sector, las demandas ambientales, sociales y económicas de las generaciones presente y futuras”¹²⁴. La sostenibilidad no se limita a mitigar los impactos del cambio climático, sino que incluye diversos impactos ambientales como huella hídrica, salud humana, deterioro de la capa de ozono, entre otros; y temas sociales relacionados a la relación con las comunidades, proveedores y calidad de vida de los/las trabajadores/as, etc. Lograr que la hortifruticultura intensiva sea sostenible requiere de disponer de variedades adaptadas y de alto rendimiento, con calidad nutricional mejorada y resistentes al estrés biótico y abiótico así como realizar una fertilización basada en la conservación de suelos sanos, rotación de cultivos y el uso racional de fertilizante orgánico e inorgánico. El manejo integrado de plagas, enfermedades y malezas, conservación de la biodiversidad y el uso de plaguicidas selectivos y de bajo riesgo deben integrarse con la gestión eficiente del recurso hídrico para la obtención de mayor producción con menos agua, al tiempo que se reducen al mínimo las repercusiones fuera de la explotación¹²⁵, son relevantes dentro de dicho concepto. Claramente, el aumento de la eficiencia en el uso sostenible de los recursos naturales es el paso más importante para alcanzar

tanto la producción de alimentos como los objetivos de sostenibilidad. Esto significa aumentar los rendimientos de los cultivos fruti-hortícolas a tasas más altas que las históricas (lineales) reduciendo los impactos ambientales que ello conlleva y aumentando la eficiencia por unidad de superficie o de insumos utilizados^{126 127}.

La estrategia MINAGRI para enfrentar los nuevos desafíos como el cambio climático, nuevas tecnologías, nuevas exigencias de los consumidores y el impacto social, es a través de un sector agropecuario y forestal sustentable, que incorpora al sector público, privado y a la sociedad civil, con un enfoque integral y apoyada en información respecto de los ejes estratégicos económico, social y ambiental. Si bien el rol de la agricultura en las políticas de desarrollo debe considerar su contribución a la mitigación del cambio climático, significativamente se deben promover políticas que incentiven adaptarse a las nuevas condiciones climáticas (escasez hídrica, mayores temperaturas, nuevas plagas y enfermedades, entre otros). Para ello, coordinar las acciones públicas, privadas y de la sociedad civil en el logro de la carbono-neutralidad y trabajar en una imagen sostenible del sector es imprescindible¹²⁸.

la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades.

¹²⁴ FAO. (2013). Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems. SAFA Guidelines. Version 3.0. Roma.

¹²⁵ FAO 2011. Ahorrar para crecer. www.fao.org/docrep/014/i2215s/i2215s.pdf

¹²⁶ WRI 2018. Creating a Sustainable Food Future: A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050. 92 p., ISBN 978-1-56973-953-6 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

¹²⁷ Pretty, J.N. & Bharucha, Z.P. 2014. Sustainable intensification in agricultural systems. Invited Review. *Annals of Botany*, 114 (8): 1571-1596.

¹²⁸ Ibid. 7.

Dicha estrategia confluye con lo referido en el Informe especial del IPPC 2019¹²⁹ sobre cambio climático que aporta información y un marco conceptual de como el suelo “logra una interacción dinámica y profunda con el clima, a través de la evapotranspiración, el albedo, y los ciclos biogeoquímicos” por lo que se recomienda abordarlo desde la universidad, la academia y el trabajo individual así como desarrollar y transferir tecnologías para reducir las pérdidas de alimentos¹³⁰.

Debido a la alta vulnerabilidad del sector agropecuario al cambio climático y su importancia estratégica para el desarrollo sostenible del país, el MINAGRI se encuentra avanzando un proceso de actualización del Plan de Adaptación Silvoagropecuario (NAP SAP 2013-2017). El nuevo Plan será desarrollado en base a un proceso participativo y estudios sectoriales que aborden las barreras identificadas incluyendo un plan de inversión, la estrategia para la movilización de recursos, metas e indicadores de logro y superación de debilidades en la participación de los actores involucrados. Para ello, ODEPA y FAO como agencia implementadora, han postulado al Fondo Verde del Clima para emprender la planificación de una nueva agenda de acción climática a largo plazo¹³¹.

La Academia considera perentorio fortalecer la capacidad de Chile para adaptarse al cambio climático profundizando los conocimientos de sus impactos y de la vulnerabilidad del país en todo el territorio nacional y generando acciones planificadas que permitan minimizar los efectos negativos y aprovechar los efectos positivos, además de promover el desarrollo económico, social y asegurar la sustentabilidad ambiental, velando por conservar su patrimonio natural y cultural. En concreto ello implica producir sosteniblemente bajo condiciones de escasez hídrica, eventos climáticos extremos, cambios en la población de plagas y enfermedades, cambios en el desarrollo y productividad de los cultivos y erosión del suelo. La situación amerita especial consideración dado que el país se encuentra en una condición de alta vulnerabilidad dado sus áreas costeras son de baja altura, sus zonas áridas y semiáridas se encuentran en expansión, sus zonas de bosques naturales presentan una importante pérdida de biodiversidad, tiene propensión a los desastres naturales, sequía y desertificación, las zonas urbanas denotan una ingente contaminación atmosférica mientras que los ecosistemas montañosos se encuentran en situaciones de alto riesgo.

La Academia, en línea con las anteriores estrategias, propone integrar procesos de manejo sostenible del territorio, agroecología, conservación de la agricultura, agricultura ecológica, preservación de especies que polinizan y prestan servicios ecosistémicos y agricultura digital y otras

¹²⁹ IPPC 2019. El cambio climático y la tierra: Informe especial del IPPC sobre cambio climático, desertificación, degradación, gestión sostenible de la tierra, seguridad alimentaria y flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres. <https://www.ipcc.ch/report/srcl/>

¹³⁰ Ibid. 76.

¹³¹ Hernández, M.J. 2020. ODEPA, Dpto. Sustentabilidad y Normativa. Comunicación personal.

estrategias descritas en este documento, como parte de una estrategia nacional de adaptación frente al cambio climático.

Considerando que adaptarse al cambio climático particularmente en la zona austral de Chile requiere de un sistema de evaluación y prevención de riesgos, para evitar proyectos fallidos y de seguro agrícola que le permitan al agricultor la adopción de ciertos riesgos, la creación de instrumentos de fomento dentro de estrategias territoriales para la adaptación al cambio climático es de fundamental importancia. La focalización de una nueva infraestructura productiva y de procesamiento a la par de sistemas de alerta temprana a través de una red *online* agrometeorológica nacional permitiría la puesta en marcha de modelos climáticos de adaptación. A nivel nacional, la articulación institucional del recurso agua es imperativa ya que, está gestionada por muchas instituciones y privados a la vez y de manera independiente, en forma poco racional y muchas veces injusta con los usuarios. Lo anterior debe tenerse en cuenta específicamente en el ajuste de las líneas de política existentes o en nuevas líneas y/o normativas dentro de una estrategia de largo plazo.

2. LÍNEAS DE POLÍTICA

A pesar de las inversiones en ciencia y tecnología a nivel global y en Chile, los resultados de adaptación de la agricultura al cambio climático no han sido todavía significativos en su implementación.

Las acciones puestas en marcha han sido de tipo incremental (optimización de manejos agronómicos en función de nuevas condiciones-fecha de siembra- densidad de plantas- dosis de fertilizantes) y enfocadas en causas inmediatas, pero menos sistémicas o transformadoras¹³².

Establecer estrategias de adaptación a los nuevos escenarios del cambio climático, requiere contar con datos regionales actuales y confiables del estado de la agricultura. La Academia considera perentorio fortalecer la capacidad de Chile para adaptarse al cambio climático profundizando los conocimientos de sus impactos y de la vulnerabilidad del país en todo el territorio nacional y generando acciones planificadas que permitan minimizar los efectos negativos y aprovechar los efectos positivos, además de promover el desarrollo económico, social y asegurar la sustentabilidad ambiental, velando por conservar su patrimonio natural y cultural. La Academia propone la adopción seis ejes multi institucionales enfocados a:

- i. Concretar medidas para la reducción o carencias en la disponibilidad de agua a través de créditos favorables para la construcción de mini-embalses de acumulación nocturna (usando geomembranas impermeables),

¹³² Wise, R. M. et al. 2014. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change* Volume 28, September 2014, Pages 325-336 <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.12.002>

- ii. Poner en marcha un sistema de monitoreo de nuevas plagas de insectos y agentes fitopatógenos y sus métodos de prevención y biocontrol,
 - iii. Transferir información online sobre los impactos directos de climas variables (disminución del número de días de lluvia, aumento de la intensidad de las lluvias, aumento del número de días con temperaturas muy altas, aumento de la variabilidad climática, mayor frecuencia de sequías, aumento de la humedad del aire, del viento y de la nubosidad, menores tasas de productividad, etc.),
 - iv. Analizar las consecuencias del cambio en el uso de suelos y relocalización de cultivos ,
 - v. Poner en marcha un sistema de transferencia para la adopción de prácticas de adaptación por parte de los agricultores a la par de estrategias para transferir tales tecnologías a los agricultores y,
 - vi. Desarrollar un programa de estudios de valoración de los efectos del cambio ambiental sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos relacionados.
- Desarrollar capacidad institucional para el desarrollo de un programa de respuesta (alerta proactiva) para eventos de cambio climático;
 - Integrar programas gubernamentales y privados existentes en investigación y transferencia de prácticas de manejo de suelos y cultivos para adaptación al cambio climático en los diferentes sistemas de producción;
 - Insertar el concepto transversal de la importancia de la adaptación al cambio climático en las políticas y programas agrícolas y promover la planificación acorde con experiencias adquiridas;
 - Poner en marcha mecanismos de coordinación intersectorial y sensibilización sobre la resiliencia de la producción frente al cambio ambiental.

3. ACCIONES RECOMENDADAS

La Academia reitera su compromiso en la búsqueda de soluciones en la adaptación al cambio climático en el sector de la agricultura y propone como parte de los ejes multi institucionales y líneas de política las siguientes acciones de corto plazo:

Estos ejes estarían vinculados transversalmente a las siguientes líneas de política frente a los impactos :

- i. Poner en marcha de un fondo concursable, interinstitucional, de mediano plazo, con montos significativos para proyectos y programas de

- investigación en adaptación de la frutivicultura al cambio climático (tecnología, investigación e innovación público-privada) a través de canales de fomento y de motivación al sector privado con participación de escuelas agrícolas, academias, institutos y universidades en beneficio directo del sector y en pro de la adaptación al cambio climático (manejo de suelos y captura de carbono, mejoramiento genético y la nueva biotecnología, manejo de cultivos, fisiología de cultivos y bioestimulantes, MIP y biocontrol de plagas y enfermedades, utilización sostenible del microbioma del suelo, entre otras).
- ii. Favorecer alianzas y métodos productivos entre los sectores primarios, la industria procesadora y de distribución potenciando el desarrollo integral del sector (que permita alcanzar bienestar de los pequeños y medianos productores) basados en esfuerzos conjuntos entre lo estatal y lo privado.
 - iii. Aumentar el capital humano, con capacitación coordinada en institutos de formación técnico y profesional (preparar jóvenes integrados a una agricultura inteligente y digital) incorporando las bases de una agricultura inteligente como medida de adaptación al cambio ambiental dentro de los pensum institucionales.
 - iv. Mantener y apoyar una mayor inserción competitiva en los mercados internacionales (una estrategia de promoción de imagen País con agricultura limpia (buenas prácticas) en adaptación al cambio climático y altos niveles de protección y mejoramiento de las medidas fitosanitarias alcanzando niveles de excelencia internacional (productos con alto valor nutricional, sanitario, inocuidad, origen, orgánico, organoléptico, ambientales, etc.).
 - v. Fortalecer los mercados internos de la producción y comercialización de productos saludables obtenidos a través de buenas prácticas mirando también, desde una postura ética (iguales derechos de acceder a productos con estándares internacionales en tamaño, calidad y seguridad) y no solo consumir aquello que no cumple los parámetros de importación.
 - vi. Modernizar el sector con infraestructura, normativas y políticas apropiadas (adecuar la regulación del agua y control y certificación de las exportaciones).
 - vii. Revisar la regulación laboral (precariedad gremial, necesarias para el buen desempeño en un marco de bienestar y de responsabilidad social).
 - viii. Promover la salud de los consumidores con productos seguros, saludables y diversificados (marca chilena

nacional) enfocados a superar o evitar enfermedades (diabetes, cáncer, obesidad, problemas cardiovasculares, entre otras) entregando a los mercados locales e internacionales frutas y verduras que aporten fibra y antioxidantes, especialmente para el consumo de la población de infantes y mayor. Para esta condición debe destacarse el valor nutricional de los productos que Chile exporta, promover el consumo interno con productos sanos y seguros y elaborar una agenda comunicacional.

La Academia Chilena de Ciencias Agronómicas (ACHCA), luego del previo análisis de la sostenibilidad de la producción hortofrutícola del valle Central de Chile¹³³ y en base a los antecedentes relevados en este documento, considera que, el sector silvoagropecuario nacional, por su configuración territorial, social y productiva, es particularmente vulnerable a los efectos del cambio climático, lo que sumado a su creciente inserción en los mercados internacionales como exportador de alimentos, configura un enorme desafío que requiere conciliar un aumento en la productividad del sector y satisfacer una creciente demanda mundial por sus productos al mismo tiempo que se incorpore el uso sostenible de los recursos naturales.

El presente documento desea enfatizar que, considerando las estrategias desarrolladas *in extenso* en los puntos III y IV, se sostiene que esta temática, de gran importancia nacional, debe ser abordada a la par de considerar los avances en curso, tecnológicos, modernos, adaptativos y con la infraestructura necesaria para enfocar la solución de los desafíos aquí presentados.

Lograr una producción sostenible frente cambio climático debe considerar que la fruta, como alimento sano, inocuo, de alta calidad y valor agregado, depende del recurso hídrico. Para ello se debe abordar sin exclusiones y con criterio amplio las múltiples alternativas incluyendo la inversión privada para los procesos de desalinización y transporte de agua (carretera hídrica), los embalses concesionados y la recuperación de acuíferos, procesos y temas largamente estudiados.

El cambio climático y la apertura de mayores zonas frutícolas australes, así como también las nuevas tendencias de consumo en mercados tradicionales y emergentes, están dando espacio al crecimiento de áreas de producción de frutales de alto valor como cerezas, arándanos, avellanos europeos, nueces y “berries” así como especies subutilizadas (maqui, zarzaparrilla y calafate, entre otros). En este contexto se vuelve imperativo traspasar tecnologías para un desarrollo sostenible del nuevo “boom” frutícola en el Sur de Chile basado en la nueva genética con variedades de mayor rendimiento y tolerancia a estreses bióticos y abióticos

¹³³ Academia Chilena de Ciencias Agronómicas. 2019. La producción hortofrutícola intensiva: desafíos científicos, institucionales y ambientales: Una visión desde el Valle Central de Chile. 60 p. (ed. J. Izquierdo). <http://www.academiaagronomica.cl>

considerando asimismo que los cambios proyectados en la producción frutícola se traducirían en mayor demanda de mano de obra en el sector rural. Si bien en la zona central se ha establecido la tendencia de un constante poblamiento de las urbes en desmedro de las zonas rurales, en la zona sur podría ocurrir el fenómeno inverso de una inmigración atribuida a un aumento de la demanda de mano de obra asociada al desarrollo productivo frutícola.

La Academia concluye que el fenómeno del cambio climático, que ya ha tomado forma en el país, conllevará a numerosas alteraciones ecosistémicas que afectarán negativamente a la producción hortofrutícola nacional. Por lo tanto, es indispensable disponer del mejor conocimiento científico que sea posible para formular estrategias y políticas que permitan minimizar y adaptarse a los efectos asociados al cambio ambiental.





