



Este proyecto está cofinanciado por la Unión Europea

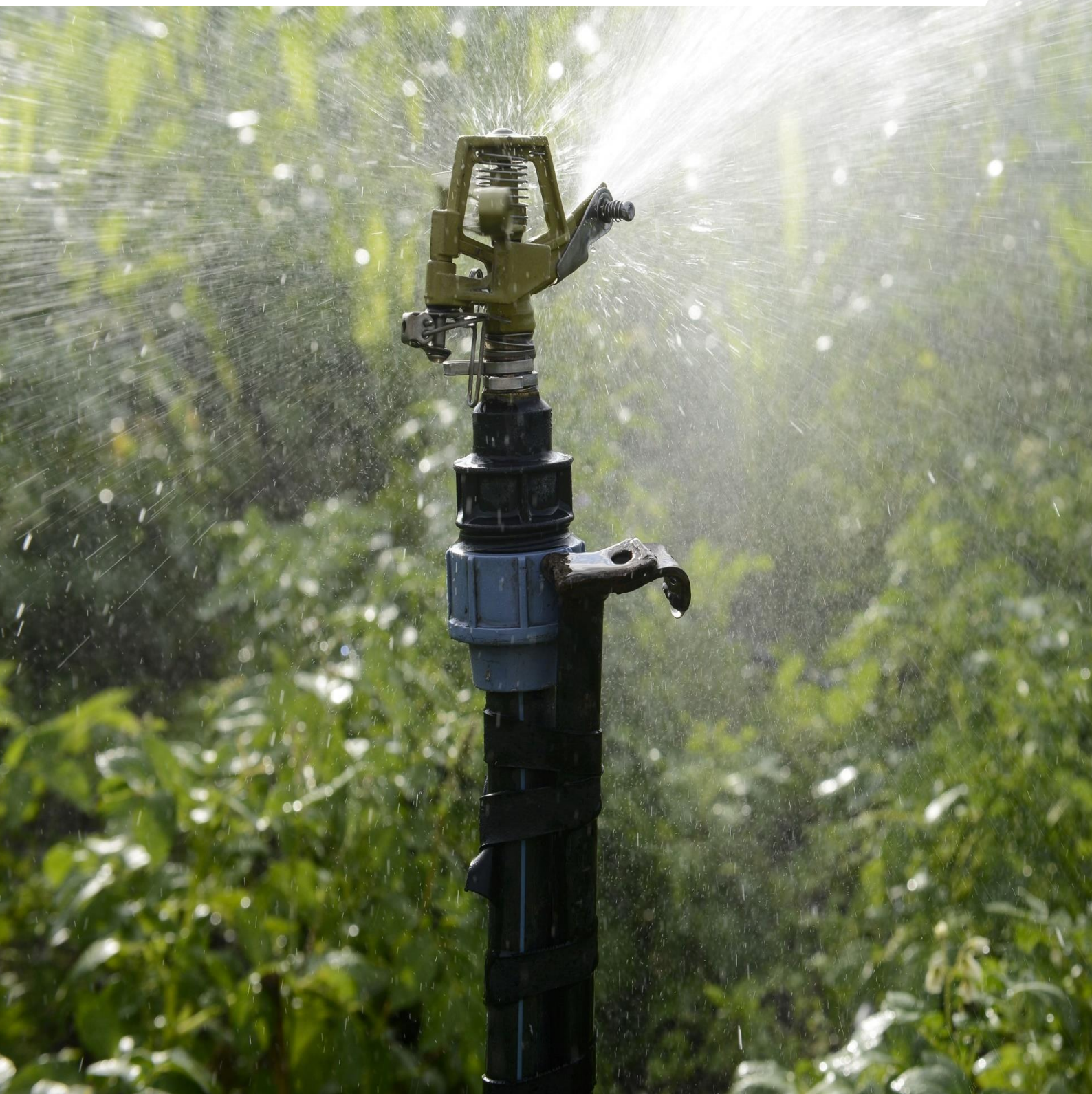


cooperación alemana
DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

POWERING AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE FOR DEVELOPMENT

nexus



TRANSVERSALIZACIÓN DEL ENFOQUE NEXO EN EL CONTEXTO DEL BOMBEO SOLAR PARA RIEGO



This report is a collaboration between the EU-Co funded <https://www.water-energy-food.org/nexus-platform-the-water-energy-food-nexus/> and [Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture](#), implemented by GIZ.

The Nexus Regional Dialogue Programme (NRD) is a programme funded by the European Union and the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development.

The report represents an in-kind contribution by the German Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ), through GIZ, to the work of Powering Agriculture: An Energy Grand Challenge for Development, as one of the Founding Partners. The other Founding Partners are the United States Agency for International Development (USAID), the Swedish Government, Duke Energy, and the Overseas Private Investment Corporation (OPIC). Further information about Powering Agriculture can be found at www.poweringag.org

Picture title page: GIZ/Böthling

Publicado por:

Nexus Regional Dialogue Programme (NRD)



and Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture

POWERING AGRICULTURE:

AN ENERGY GRAND CHALLENGE
FOR DEVELOPMENT

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Registered offices Bonn and Eschborn, Germany
Friedrich-Ebert-Allee 40
53113 Bonn, Germany
| www.giz.de



Global Nexus Secretariat

c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
T +49 228 44 60-1878
E nexus@giz.de
| www.nexus-dialogue-programme.eu
www.water-energy-food.org
@NEXUSPlatform #Nexusplatform
| www.facebook.com/nexusresourceplatform/

Sustainable Energy for Food – Powering Agriculture

T +49 228 44 60-3653
E powering.agriculture@giz.de
| www.poweringag.org
https://energypedia.info/wiki/Portal:Powering_Agriculture
https://energypedia.info/wiki/Toolbox_on_SPIS

Lugar y fecha de publicación

Santiago de Chile, septiembre 2019

Autores



Este documento ha sido preparado por AricaSolar.
Reinhold Schmid E.I.R.L.
Arica – Chile
Cel. +56 99 16 30 677
E-mail: reinhold.schmidt@gmx.net

Equipo profesional que elaboró el informe:
Ramón Granada, Roberto Pizarro, Reinhold Schmidt

TABLA DE CONTENIDO

EXECUTIVE SUMMARY	9
RESUMEN	11
1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES DE SPIS	13
2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA	16
2.1 Objetivos	16
2.2 Metodología	16
3 EL ENFOQUE NEXO	18
3.1 Interrelaciones prioritarias entre el agua, la energía y la alimentación en Chile	18
3.2 Estructura de Gobierno	19
4 PRINCIPALES ACTORES EN LA PROMOCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SPIS	23
4.1 Actores públicos	23
4.2 Actores privados	27
4.3 Instrumentos de fomento.	27
5 CHILE Y LA SITUACIÓN HÍDRICA	31
6 LOS SPIS EN CHILE	33
7 ANÁLISIS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO	35
7.1 Hidrología Coquimbo	35
8 EVALUACIÓN TÉCNICA-SOCIO ECONÓMICA DE SPIS	47
8.1 Perfil de agricultores entrevistados	48
8.2 Descripción técnica de los sistemas de bombeo FV:	48
8.3 Evaluación de beneficios	51
9 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	54
9.1 Gestión hídrica y gestión de información	54
9.2 Programas de fomento	55
9.3 Diseño e implementación de SPIS	57
9.4 Desarrollo de capacidades	58
9.5 Priorización de las recomendaciones.	59
10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
11 ANEXOS	63
Anexo 1: Mann-Kendall	64
Anexo 2: Alternativas de sistemas de bombeo con fotovoltaico	65
Anexo 3: Encuesta aplicada en visita a terreno Coquimbo	66
Anexo 4: Minuta reunión taller	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales actores públicos Nexo y en SPIS en Chile	21
Figura 2: Fórmula de cálculo para factor de cobertura de proyectos con ERNC en CNR	24
Figura 3: Principales promotores de SPIS en relación al número de proyectos instalados	33
Figura 4: Cantidad y distribución de sistemas instalados por INDAP	34
Figura 5: Demanda de agua en la Región de Coquimbo	35
Figura 6: Estaciones fluviométricas utilizadas para análisis	36
Figura 7: Tendencias en precipitaciones mensuales	38
Figura 8: Tendencias en precipitaciones anuales	38
Figura 9: Estaciones DGA utilizadas para análisis de caudales	39
Figura 10: Tendencias en caudales mensuales	42
Figura 11: Tendencias en caudales anuales	42
Figura 12: Pozos utilizados para el análisis de comportamiento	43
Figura 13: Niveles de pozos bimensualmente	45
Figura 14: Tendencia en nivel de pozos	45
Figura 15: Ubicación de los SPIS visitados	47
Figura 16: Ejemplos de aspectos de instalaciones eléctricas que deben ser mejorados	50
Figura 17: Estrategias de los usuarios frente a los escasos hídrica	50
Figura 18: Costo específico de agua de riego, diferentes alternativas	52
Figura 19: Costos de inversión, operación y mantención, diferentes alternativas	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Demanda de agua en la Región de Coquimbo	35
Tabla 2: Tendencias mensuales y anuales para las precipitaciones	37
Tabla 3: Resumen de las tendencias mensuales y anuales	37
Tabla 4: Tendencias mensuales y anuales para los caudales máximos, mínimos y medios	40
Tabla 5: Resumen de tendencias para los tres tipos de caudales analizados	41
Tabla 6: Nivel de los pozos	44
Tabla 7: Resumen de tendencias de los pozos Región de Coquimbo	44
Tabla 8: Perfil agricultores entrevistados	48
Tabla 9: Suministro energético predios y sistemas de bombeo solar	49
Tabla 10: Descripción de los sistemas de bombeo solar instalados	49
Tabla 11: Costos de inversión, operación y mantención, costo específico	52

SIGLAS UTILIZADAS EN EL DOCUMENTO

CAPP	Centro de Análisis de Políticas Públicas
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CNE	Comisión Nacional de Energía
CNR	Comisión Nacional de Riego
CONADI	Corporación Nacional de Desarrollo Indígena
CONAF	Corporación Nacional Forestal
CORFO	Corporación de Fomento de la Producción
CR2	Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia
DGA	Dirección General de Aguas
DOH	Dirección de Obras Hidráulicas
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FIA	Fundación para la Innovación Agraria
FV	Fotovoltaico
GEF	Global Environment Facility
GEI	Gases Efecto Invernadero
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GORE	Gobierno Regional
INDAP	Instituto de Desarrollo Agropecuario
INIA	Instituto de Investigaciones Agropecuaria
MINAGRI	Ministerio de Agricultura
MINENERGIA	Ministerio de Energía
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
MOP	Ministerio de Obras Públicas
ODEPA	Oficina de Estudios y Políticas Agrarias
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
SERCOTEC	Servicio de Cooperación Técnica
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SPIS	Solar Power Irrigation System (Sistemas de riego con energía solar)
UN	Naciones Unidas

EXECUTIVE SUMMARY

The Nexus approach highlights the interrelationships between water, land use and food production, and energy, considered as fundamental elements for human development and well-being, from the point of view of sustainable development.

Each of the Nexus elements presents a broad problem-setting in itself, involving the participation of diverse actors at both the public and private levels, and generating interrelationships that are necessary to identify, both from the point of view of the dependence of one resource on another, as well as the impacts generated between each sector. In this context, the Nexus approach offers an opportunity for regional and national dialogue on public policies for the management of the interconnections between water, energy and food.

Within this framework, the present study describes the priority Nexus interrelationships that identified in Chile, with a special focus on the development and promotion of Solar Powered Irrigation Systems (SPIS).

In Chile, since 2008 the energy and agriculture sectors have encouraged the installation and promotion of photovoltaic pumping systems for irrigation. The metric that has been used to evaluate sectoral progress in these areas is the amount of irrigation surface area that is equipped year after year with these systems, from an agricultural point of view, and the installed power from the energetic perspective.

In recent years (2014 to date) there has been close work between the institutions involved in the promotion of SPIS, which are the Renewable Energy Division of the Ministry of Energy, the Agricultural Development Institute (INDAP), and the National Irrigation Commission (CNR).

With regard to water resources, in Chile water use rights are granted by the body in charge, the General Water Directorate (DGA) of the State, which carries out a registry management, mainly with the purpose of identifying extractions, but also for providing the necessary documentation that allows users to apply for competitive funds for irrigation projects. Some improvements in information flows have been identified, which are recommended to be put into practice in order to guarantee the sustainability of water resources.

Most photovoltaic pumping systems are associated with small-scale agriculture, which presents an integral challenge, demanding for the equal consideration of water use and availability and cost of energy being part of the same issue and both finally contributing to productivity. Most of the SPIS installed in Chile have been implemented with partial or total financing from public funds. Thus, different governmental programs considered SPIS in their types of solutions, mainly as a contribution to the productive development of certain areas or as an instrument of encouragement to improve the profitability of productive units, where the energy cost represents a significant factor within the total production costs.

The scenarios and projections of lower water availability, especially for irrigation, impose a need for intersectoral work, especially of the DGA, INDAP and CNR to advance towards a management platform that ensures the sustainability of resources, especially water, with a country view on the relationship between water, energy and food production. By not sharing information on the different programs, projects and plans of each of the sectors, the sustainability of the pumping and irrigation systems is weakened, and in some cases they are placed in an evident operational risk, given the changes that can occur in the levels of the aquifers, with respect to the conditions under which they were designed. Installing a large number of photovoltaic systems achieved its goal in terms of expanding the solutions with solar energy, but because of being focused only on the installation of equipment, in some cases this did not offer solutions to the real need of farmers. This is the reason for why the objective and

implementation of some programs should be reviewed, especially those that have a productive target and in practice are used as social aid.

The water resource presents the greatest challenges from the point of view of its availability, as well as the knowledge of the dynamics in local systems, so its study and characterization should be deepened, along with the promotion and installation of measurement systems, such as monitoring and follow-up of water levels in wells.

Training in the design, installation, operation and maintenance of SPIS and PV technology for irrigation managers, consultants, companies and equipment suppliers, as well as users, is a fundamental element that should be considered as part of a program of sustained work over time. The market today offers a great variety of technological solutions in the subject of solar pumping and irrigation, off-grid applications and grid-connected solar systems, which makes it necessary to deepen the levels of knowledge of the different actors.

Elaborate and present adequate strategies that allow the adaptability of production systems, reducing areas or replacing crops with less water intensive ones, in case of drought, are already elements that some farmers apply, as could be seen during the field visit to the Coquimbo Region. However, it is highly recommended to deepen these issues among all actors involved (Ministry of Agriculture, INDAP, INIA among others).

RESUMEN

El enfoque Nexo resalta las interrelaciones que hay entre el agua, el uso del suelo y producción de alimentos, y la energía, considerados elementos fundamentales para el desarrollo y bienestar humanos desde el punto de vista del desarrollo sostenible.

Cada uno de los elementos Nexo presenta una amplia problemática en sí misma, que involucran la participación de diversos actores tanto a nivel público como privado, y generan interrelaciones que son necesarias identificar, tanto desde el punto de vista de la dependencia entre un recurso y otro, como de los impactos que se generan entre cada sector. En este contexto el enfoque Nexo ofrece un diálogo regional y nacional sobre políticas públicas para la gestión de las interconexiones entre agua, energía y alimentación.

El presente estudio describe las interrelaciones prioritarias que se dan en Chile en el Nexo, con especial enfoque en el desarrollo y promoción de los sistemas de riego solar (Solar Powered Irrigation System SPIS).

En Chile, desde el año 2008 los sectores de energía y agricultura han fomentado la instalación y la promoción de sistemas de bombeo fotovoltaico para riego. La métrica que se ha utilizado para evaluar los avances sectoriales en estas materias son la cantidad de superficie de riego que se equipa año a año con estos sistemas, por el lado agrícola, y la potencia instalada desde el prisma energético.

En los últimos años (2014 a la fecha) se observa un trabajo estrecho entre las instituciones involucradas en el fomento de los SPIS, que son la División de Energías Renovables del Ministerio de Energía, el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), y la Comisión Nacional de Riego (CNR).

En cuanto a los recursos hídricos, en Chile se otorgan derechos de aprovechamiento y uso sobre el agua, por parte del órgano encargado, la Dirección General de Aguas (DGA) del Estado, quien realiza una gestión registral, principalmente con el fin de identificar las extracciones, además de proveer la documentación necesaria que permita a los usuarios postular a los fondos concursables para proyectos de riego. Como resultado, se han identificado algunas mejoras de flujos de información, que son recomendables de poner en práctica para garantizar la sustentabilidad de los recursos hídricos.

La mayoría de los sistemas de bombeo fotovoltaico está asociada a la pequeña agricultura, la cual presenta una problemática integral, en la que se deben considerar el uso del agua y la disponibilidad y el gasto de energía como parte de un mismo tema, que juntos contribuyen a la productividad final. Gran parte de los SPIS instalados en Chile han sido implementados con financiamiento, parcial o total, de fondos públicos. Así, distintos programas gubernamentales han considerado esta oferta en sus tipos de soluciones, principalmente como una contribución al desarrollo productivo de ciertas zonas o como un instrumento de fomento para hacer mejorar la rentabilidad de las unidades productivas, donde el costo energético puede ser un factor significativo dentro del total de costos de producción.

Los escenarios y proyecciones de menor disponibilidad hídrica, en especial para el riego, imponen una necesidad de **trabajo intersectorial**, en especial de la DGA, INDAP y CNR que permita avanzar hacia una plataforma de gestión que vele por la sustentabilidad de los recursos, en especial hídricos, con una mirada país sobre la relación entre el agua, la energía y la producción de alimentos. Al no compartir la información sobre los distintos programas, proyectos y planes de cada uno de los sectores, la sustentabilidad de los sistemas de bombeo y riego se ve debilitada, y en algunos casos se sitúan en un riesgo operacional evidente, dados los cambios en que se pueden producir en los niveles de los acuíferos respecto a las condiciones con que fueron diseñados.

Instalar un gran número de sistemas fotovoltaico logró su objetivo en cuanto a masificar las soluciones con energía solar, pero al ser únicamente enfocada en la instalación de equipos, en algunos casos no ofreció soluciones a la real necesidad de los agricultores, por lo que se debe revisar el objetivo e

implementación de algunos programas, en especial aquellos que tienen un objeto productivo y en la práctica se utilizan como ayuda social.

El **recurso hídrico** presenta los mayores desafíos desde el punto de vista de su disponibilidad, como también acerca del conocimiento de la dinámica en los sistemas locales, por lo que su estudio y caracterización debe profundizarse, junto al fomento e instalación de sistemas de medición, como por ejemplo el **monitoreo y seguimiento** de niveles de agua en los pozos.

La **capacitación**, en aspectos de diseño, instalación, operación y mantención de SPIS y tecnología FV, tanto de los encargados de riego, consultores, empresas y proveedores de equipos, como también de los usuarios, es un elemento fundamental que debe ser considerado como parte de un programa de trabajo sostenido en el tiempo. El mercado ofrece hoy una gran variedad de soluciones tecnológicas en el tema de bombeo solar y riego, aplicaciones off-grid y sistemas solares con conexión a red, lo que hace necesario profundizar los niveles de conocimientos de los diferentes actores.

Elaborar y contar con **estrategias adecuadas** que permitan la adaptabilidad de los sistemas productivos, reduciendo superficies o reemplazando por cultivos de una menor demanda hídrica, en caso de sequía, ya son elementos que algunos agricultores aplican, como muestra la visita a terreno a la Región de Coquimbo. Sin embargo, sería muy recomendable profundizar estos temas entre todos los actores involucrados (Ministerio de Agricultura, INDAP, INIA entre otros).

1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES DE SPIS

Chile es un país con una larga tradición agrícola. Desde antes de la época hispánica existen antecedentes de zonas de cultivo y actividad vinculada al agro, que han marcado el territorio y algunas zonas del país.

En un comienzo los sistemas de regadío utilizaron solo la gravedad y los canales para conducir el agua, pero el aumento del crecimiento urbano, y la apertura de nuevas rutas comerciales vía acuerdos de libre comercio posibilitaron una cada vez mayor exportación de productos agrícolas. Esto generó la ampliación de los territorios y zonas de cultivo, por lo que la tecnificación del riego comenzó a introducirse, tomando fuerza a partir de la década de los 80.

Los principales sistemas de riego se basaron en un comienzo, cuando el recurso hídrico se presentaba con abundancia y regularidad, en la construcción de surcos y camellones, para realizar una aplicación más localizada del agua en la zona radicular de plantas. Posteriormente, se introdujo el riego por goteo, desarrollado en Israel a mediados de los años 50, e introducido en Chile a finales de los años 70.

Estos nuevos sistemas que permitían un mayor ahorro de agua (superior al 30%) (Marín, 2018), también requerían de mayor presión para su operación, por lo que la demanda energética del sector aumentó. En el año 1984 se estimaba que en Chile existían 8.500 ha (Tosso & Ferryra, 1984) de riego con goteo u otros sistemas de riego localizado.

Por otro lado, a mediados de los años 90, Chile poseía un 50% de cobertura de electrificación rural, por lo que las posibilidades de desarrollo de sistemas de riego en zonas sin energía eléctrica, estaban limitadas a la operación de equipos generadores, en su mayoría alimentados con motores diésel.

En el mundo, a mediados de los años 70 la tecnología solar ya se fabricaba a escala comercial, con costos viables en sistemas aislados en comparación al combustible diésel o gasolina; por otro lado, los precios del petróleo comenzaron a incrementarse (crisis OPEP). Esta coyuntura permitió que poco a poco la energía solar se considerase como un suministro energético viable y más eficiente, por lo que su uso comenzó a extenderse en muchas aplicaciones.

Entre los años 1998 hasta el 2002 se realizó, por parte de GIZ uno de los primeros proyectos piloto de bombeo solar para aplicaciones de riego en Chile, Jordania y Etiopía. En Chile se instalaron 4 sistemas piloto, de pequeña escala, entre la región de Arica y Parinacota. Esto demostró la factibilidad técnica de las soluciones, pero no denotaron viabilidad económica debido a los altos costos de inversión de los equipos solares.

Teniendo estos antecedentes como contexto, Chile suscribe, en septiembre del año 2001, un acuerdo con PNUD y el Fondo Mundial del Medio Ambiente (GEF por sus siglas en inglés), para la “Remoción de barreras para la electrificación rural con energías renovables” (Proyecto CHI/00/G32), en el marco del cual se realizan las primeras instalaciones fotovoltaicas para suministro energético en el país, lo que posibilitó, el año 2008, la instalación experimental de 4 sistemas de bombeo fotovoltaico en la región de Coquimbo. Estas instalaciones, financiadas por el GEF, son uno de los primeros hitos de una política pública que ha fomentado el desarrollo de los sistemas de bombeo fotovoltaico en Chile.

Los principales actores que fomentan hoy los SPIS en Chile son la Comisión Nacional de Riego (CNR) y el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). No obstante, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), la Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (CONADI), la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y el Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC), entre otros, han incluido la tecnología de riego y bombeo fotovoltaico dentro de sus instrumentos de fomento y/o apoyo, según sea el caso.

Desde el punto privado, ha existido una importante contribución a aumentar la oferta de tecnologías, lo que ha disminuido los costos. Hace 10 años sólo era posible encontrar dos proveedores de equipos

especializados para bombeo solar (Grundfos y Lorentz) en Chile. Si se querían obtener otros equipos para diversos proyectos, se debían realizar importaciones directas. Hoy el panorama ha cambiado bastante, tanto local como globalmente, y la oferta tecnológica y comercial es amplia, tanto de sistemas completos para bombeo solar (Grundfos, Lorentz, Nastec, Fluid solar, Franklin Electric, Solartech, entre otros), cómo de dispositivos de electrónica de potencia (variadores de frecuencia solares) que permiten utilizar bombas convencionales con energía solar.

También es necesario mencionar que el actual desarrollo de los SPIS en Chile se debe a la contribución de los consultores de riego, de INDAP y CNR principalmente, que han incorporado este tipo de tecnología dentro de la oferta de servicios que prestan, lo que ha contribuido a la expansión por todo el país. Es tan fundamental la labor que ellos realizan, que el Ministerio de Energía, CNR e INDAP están trabajando en un programa de generación de capacidades técnicas para el diseño e implementación de los proyectos que consideren energía renovable en el bombeo. El Ministerio de Energía, desde año 2015, ha realizado transferencias de recursos a la CNR para impulsar el desarrollo de iniciativas de microgeneración hidroeléctrica en infraestructura de riego, con el objeto de apoyar, facilitar y promover el desarrollo de ERNC, focalizado en proyectos que beneficien a pequeños productores agrícolas y sus organizaciones, incluyendo los pueblos originarios. En octubre de 2016 realizó una transferencia de recursos por \$170 millones de pesos para desarrollo de un programa de trabajo por parte de INDAP y la Subsecretaría de Energía, en materias relacionadas con energía, enfocados a fortalecer las líneas de acción, instrumentos de fomento y de capacidades técnicas necesarias en la institución que permita impulsar el desarrollo sustentable de la pequeña agricultura en Chile, a través del uso eficiente de la energía y la incorporación de fuentes de energías renovables (Decreto exento N° 795 de 07 de octubre de 2016). Además, durante el año 2017, el Ministerio de Energía licitó la contratación de un curso semipresencial de especialización dirigido a consultores y profesionales del área de riego de INDAP y CNR para el diseño, implementación, evaluación y seguimiento de sistemas fotovoltaicos aplicados a proyectos de riego agrícola (licitación pública ID_584105-34-LP17).

Todos los esfuerzos por aumentar y/o mejorar las superficies de riego e incorporar energía renovable en la actividad agrícola generan una presión sobre los recursos hídricos que dispone el país, los que han presentado variación en los últimos años, atribuibles a factores climáticos, como también al **mayor desarrollo económico, que en Chile está asociado en gran parte al consumo de agua.**

Solo en los últimos años, el país ha comenzado a tomar conciencia acerca de la relevancia del tema hídrico, producto de prolongadas sequías en la zona norte y central, y los resultados de algunos estudios, cómo el caso del estudio denominado “El cambio climático y los recursos hídricos de Chile : La transición hacia la gestión del agua en los nuevos escenarios climáticos de Chile” (2016), realizado por Fernando Santibáñez¹ y ODEPA, plantea que los escenarios futuros presentaran importantes consecuencias hidrológicas que se reflejarán en un aumento en la escorrentía invernal, disminuyendo la estival, lo cual instalará un clima algo más amenazante para la agricultura (Santibáñez, 2016).

Estas proyecciones, que requieren un mayor conocimiento y estudio acerca de los recursos hídricos, aún no están reflejadas a nivel del presupuesto de la nación. Para el año 2018 (DIPRES, 2017) el presupuesto destinado para CNR e INDAP es superior a los \$83.000 millones (USD 128 millones, aproximadamente) para bonificación por Inversiones de riego y drenaje en el marco de la Ley N° 18.450, además de otros recursos que son transferidos desde los gobiernos regionales para estos fines en algunas de las regiones país. Esta cifra contrasta con los \$1.848 millones (USD 3 millones, aproximadamente) que posee la Dirección General de Aguas (2018) para el desarrollo de estudios que

¹ Profesor de agroclimatología, Departamento de Ingeniería y Suelos, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.

permitan mejorar la información sobre recursos hídricos y por ende realizar una mejor gestión sobre ellos.

Esta realidad que se observa a nivel presupuestario, con un bajo porcentaje (<2,2 % aproximadamente) nacional para estudios sobre recursos hídricos, refleja que la preocupación acerca de la disponibilidad de agua para fines productivos, de manera sustentable, aun no alcanza la urgencia necesaria a nivel país, o no se ve reflejada en términos presupuestarios.

En este contexto el estudio busca identificar las principales interrelaciones Nexo en Chile, y cuales han sido los principales actores que han estado presentes en el desarrollo y promoción de los SPIS en el país en los últimos 10 años, como así también describir técnicamente estos sistemas.

También se revisaron los distintos instrumentos de fomento para estos fines, y se analiza si los SPIS han significado algún impacto en el uso de agua subterránea, como también su efecto en las emisiones de gases efecto invernadero y el impacto socio económico que han tenido en los usuarios. Además de la recopilación de antecedentes en gabinete y en entrevistas con actores relevantes identificados, se realizó una visita a terreno a usuarios de sistemas de bombeo y riego fotovoltaico en la Región de Coquimbo, seleccionados por INDAP.

En base a lo anterior se identifican y elaboran recomendaciones para que se pueda transversalizar el enfoque Nexo en los distintos programas e instrumentos de fomento, como así también algunas recomendaciones que permitan que el uso de SPIS sea sustentable.

2 OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

2.1 Objetivos

El presente estudio planteo como objetivos principales los siguientes:

- Describir el estado de desarrollo de los SPIS en los últimos 10 años en Chile, tanto político como técnico.
- Analizar el uso de agua subterránea a través de bombas solares (de corriente continua y con variador de frecuencia y bomba AC), las emisiones de GEI y la afectación de la situación socio-económica de los agricultores.
- Realizar recomendaciones a las instituciones nacionales involucradas para optimizar (el diseño) sus programas y procedimientos de incentivos a objeto de permitir la expansión de SPIS de una manera sostenible, que incluso regule el uso del agua subterránea.
- Aumentar la conciencia de las ventajas de un enfoque Nexus combinado para una mayor planificación sectorial a nivel institucional.

2.2 Metodología

Para abordar el cumplimiento de los objetivos, se estructuró el trabajo de la siguiente manera:

a) Planificación y sistematización de información:

Se elaboró un plan de ejecución, de acuerdo a plazos contemplados para el estudio, y se revisó cuál información estaba disponible y cuál era necesaria solicitar a las distintas instituciones. Además, se identificaron las instituciones relacionadas con Nexo y SPIS, y un listado preliminar de entrevistas con actores relevantes.

b) Recolección de datos y análisis:

De acuerdo al levantamiento de información y actores relevantes identificados, realizados en la etapa previa, se solicitó información, principalmente de bases de datos, estadísticas y programas relacionados con el los SPIS. Además, se solicitaron entrevistas a los actores identificados, entre los cuales se contempló a la DGA, INDAP, CNR, Ministerio de Energía, DIPRES y Ministerio de Desarrollo social. Respecto a la información y entrevistas que no pudieron ser obtenidas directamente en la primera solicitud realizada de manera directa, fue necesario obtenerlas mediante ley de transparencia para el caso de la información, y mediante ley del lobby para las entrevistas.

Los datos para realizar los análisis hidrológicos fueron obtenidos desde la información estadísticas de estaciones que posee la DGA, a los cuales se aplicó la prueba estadística descrita en el anexo 1. Además, se definió una pauta de entrevista y ficha de recolección de información (anexo 3), para poder recolectar información de usuarios de SPIS en terreno que tuvieran como fuente hídrica un pozo o fuente subterránea. Posteriormente se definió, en conjunto con INDAP, los usuarios a visitar en la región de Coquimbo.

En base a toda la información recolectada y las entrevistas realizadas, se realizaron los análisis que se presentan en los capítulos de este documento.

c) Recomendaciones y difusión de resultados:

De acuerdo a la información recopilada, su análisis, y la experiencia del equipo consultor, se realizan las recomendaciones, considerando el marco legal, normativo e institucional vigente en el país, que se proponen para trabajar el tema Nexo en Chile, y futuro desarrollo de los SPIS de manera sustentable, considerando los escenarios hídricos.

Los resultados preliminares del estudio se presentaron en el Diálogo Regional Político-Técnico sobre el Nexo entre el Agua, la Energía y la Alimentación, realizado en CEPAL los días 14 y 15 de mayo del año 2018.

Como actividad final de difusión, se realizó un taller el día 9 de agosto del 2018, donde se presentan los resultados y recomendaciones del estudio. En el mismo taller se realiza un trabajo de discusión con los asistentes, en el cual se priorizaron las principales recomendaciones que ellos consideraron más relevantes para el tema Nexo y SPIS en Chile.

Las recomendaciones priorizadas se presentan en el capítulo final, referente a recomendaciones y conclusiones.

3 EL ENFOQUE NEXO

En la conferencia de Bonn² en 2011, se plantea que es fundamental una mejor comprensión de las interrelaciones entre la seguridad hídrica, alimentaria y energética, el tema Nexo, para promover el desarrollo sostenible desde una perspectiva integradora. Desde esa fecha se han realizado diversos estudios, abordando distintos enfoques de la problemática Nexo que han colocado el tema en la agenda internacional.

El Nexo consiste en poder conocer e identificar las complejas interrelaciones entre el agua, la energía y la agricultura, desde diferentes dimensiones, en especial desde las condiciones climáticas, políticas, económicas y sociales, específicas de acuerdo al contexto geográfico, que nos permitan hacer un uso sostenible de los recursos naturales.

En los últimos años, este enfoque ha tomado relevancia y actualmente sociedad exige respuestas basadas en el conocimiento para resolver los problemas actuales, en los cuales se requiere la búsqueda de soluciones en la asignación de los recursos (agua, energía y alimentación) cada vez más demandados (Lars Ribbe, 2017), debido principalmente a que el desarrollo económico de muchos países aún se basa en la explotación de materias primas, por lo que la tensión entre los distintos sectores y actores cobra cada vez mayor relevancia.

Un ejemplo de esto se puede evidenciar en que la Asamblea General de Naciones Unidas (UN), aprobó en el año 2015 la Agenda de Desarrollo Sostenible (Agenda 2030), la cual está compuesta por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) entre los cuales se incluye el ODS 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible; ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos; y el ODS 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Cada uno de ellos se relaciona con un componente Nexo. Además, la Agenda 2030 estipula que los ODS tienen un carácter indivisible.

3.1 Interrelaciones prioritarias entre el agua, la energía y la alimentación en Chile

Chile, dada su extensión territorial, posee una gran variedad de contextos geográficos que presentan diversas realidades desde la perspectiva Nexo.

Si bien el enfoque Nexo se puede explicar y evidenciar en varios sectores y actores, en la realidad del país el agua y la energía son probablemente los dos recursos que jugarán el rol más estratégico en el desarrollo chileno dentro de los próximos años. Los asentamientos humanos se han concentrado en regiones áridas y semiáridas, habiendo comenzado a aparecer significativos cuadros de déficit hídrico para la minería y la agricultura desde la ciudad de Santiago al norte.

Esto impone un desafío para fomentar e implementar una efectiva política de mejoramiento en la eficiencia de uso, en la generación de nuevas fuentes de agua a diferentes escalas, y, probablemente el diseño de una estrategia de desarrollo territorial que acerque a las actividades económicas a las importantes fuentes de agua que el país tiene en latitudes australes. (Santibañez, 2016).

El agua ocupa un rol extremadamente estratégico como resultado del aumento del consumo, el aumento en la variabilidad del ciclo hidrológico y la disminución de su disponibilidad en la mayor parte de las cuencas. Tradicionalmente, la oferta superaba la demanda en varias zonas (Maule al sur), por lo

² Conferencia de Naciones Unidas sobre cambio climático.

que sectores como la agricultura no tenían la necesidad de preocuparse por la disponibilidad hídrica, razón por la cual la mayoría de los derechos de uso fueron otorgados para la generación de energía eléctrica, y la demanda agrícola creció a tasas no controladas. En los últimos 20 años esta situación ha cambiado, y el estrés al que están sometidos varias cuencas ha tensionado la relación por el múltiple uso del agua para fines energéticos y riego, dado que cuando el sector energético utiliza el agua es principalmente en invierno y el sector agrícola en primavera-verano.

Por otro lado, La Comisión Nacional de Energía (CNE) registra una caída histórica de diez años en el uso del recurso hídrico para la generación de energía eléctrica, de un 50% en 2006 a un 29% en 2016.

Otro de los elementos importantes a tener en cuenta, desde el punto de vista energético, tiene relación que, con el mayor fomento y aumento en la matriz energética nacional de fuentes renovables (principalmente solar fotovoltaica, que hoy ocupan un 14,88%³ de la matriz). Los embalses hidroeléctricos (14,87%⁴ de la matriz) se transforman en el complemento perfecto para el almacenamiento de energía, y generación cuando las renovables no pueden operar, con el fin de contribuir a mantener precios de energía bajos.

Desde la mirada agrícola es necesaria una planificación y racionalización de las superficies de riego y cultivo. Los diversos estudios de adaptación y cambio climático realizados (Ambiente., 2017) (Santibañez, 2016) (CAPP, 2015) (CR2, 2015), concluyen en su mayoría escenarios más frecuentes y prolongados de escases hídrica, por lo que no será posible abastecer la actual demanda agrícola, principalmente de Maule al norte, si no se toman las medidas necesarias, como podría ser un plan de embalses, u otras acciones que tiendan a captar la esorrentía de las aguas que se producirá en la época invernal.

Especial relevancia tiene el conflicto entre el sector agrícola y la generación hidroeléctrica, dado el interés de ambos sobre el mismo recurso hídrico, pero en épocas distintas. La agricultura busca almacenar el agua en los embalses para la temporada de riego, mientras que la generación hidroeléctrica favorece su operación cuando el recurso es más abundante.

Estos efectos también tensionaron la actual institucionalidad y legislación, principalmente relacionada con los recursos hídricos, dado que se establecieron en una época en que el cambio climático y sus efectos no eran parte de la temática de discusión nacional e internacional.

3.2 Estructura de Gobierno

Chile posee una estructura de gobierno jerarquizada, en la cual las políticas públicas que se implementan se originan mayormente de manera sectorial. La Figura 1 muestra principales sectores y actores que tienen relación con el Nexo y los SPIS en Chile, en la cual se evidencian los organismos que dependen de un Ministerio que tiene una estructura muy vertical y pocas veces espacio para trabajo intersectorial. Las políticas que se implementan a nivel sectorial tienen cobertura nacional.

Al analizar los principales actores que tienen relación con el enfoque Nexo en Chile, se observa que los Ministerios directamente relacionados, y con un mayor protagonismo, son Obras Públicas, Agricultura y Energía, quienes tienen claramente un rol relevante en los temas de agua, alimentación y energía respectivamente.

Un Ministerio que presenta un rol relevante dentro del enfoque es el Ministerio de Hacienda, él cual es el encargado de la asignación de recursos para cada uno de los programas que implementan las distintas reparticiones y servicios públicos. Además, controlan los indicadores de cumplimiento y

³ <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/>

⁴ <http://energiaabierta.cl/visualizaciones/capacidad-instalada/>

gestión, que se definen para cada uno de ellos desde el punto de vista presupuestario y el cumplimiento de objetivos. Los recursos asignados por el Ministerio de Hacienda son aprobados por el Congreso Nacional el año anterior a su ejecución en la ley de presupuestos para el sector público anualmente.

El Ministerio de Desarrollo Social, tiene un rol fundamental dentro del sistema de inversiones públicas, porque evalúa la rentabilidad social de las iniciativas de inversión y para proyectos que sean presentados a la Ley N° 18.450 de Fomento al Riego sobre 15.000 UF (600.000 USD). Durante el proceso de evaluación se realizan estudios hidrológicos para prospectar la disponibilidad de recursos hídricos durante la vida útil de la obra.

Los programas y proyectos de SPIS solo poseen evaluación técnica de la CNR o INDAP, según corresponda al programa de financiamiento.



Figura 1: Principales actores públicos Nexo y en SPIS en Chile
 Fuente: Elaboración propia en base a levantamiento de información y entrevistas.

La Figura 1 muestra cuales son los principales actores y protagonistas del sector público de Chile relacionados con el Nexo y los SPIS.

- En color verde claro, se observan las principales instituciones que tienen relación directa y programas de financiamiento para la implementación de SPIS (excepto DGA, quien se relaciona por medio de la documentación de los derechos de agua de los usuarios).
- El Consejo de Ministros que encabeza la Comisión Nacional de Riego, está conformado por los ministerios de Hacienda, Desarrollo Social, Economía, Obras Públicas y Agricultura que lo preside. En la figura son identificados con una estrella.
- Los organismos de color gris más claro, tienen una relación indirecta con los SPIS, ya que en el caso de la DOH ellos desarrollan e implementan sistemas para bombeo de consumo humano en zonas rurales, y en el último tiempo también han incorporado la energía renovable como alternativa; además realizan las labores de inspección de obras de riego bonificadas por la Ley 18.450, incluidos los SPIS. ODEPA colabora en la elaboración de las políticas y planes correspondientes al sector silvoagropecuario, conforme a las políticas y planes nacionales.
- La Fundación para la Innovación Agraria y la Corporación de Fomento de la Producción han contribuido tempranamente a la implementación de SPIS desde el punto de vista de la innovación.
- El Ministerio de Hacienda, es quien provee el financiamiento para los distintos programas y además se encarga de la evaluación y seguimiento de los indicadores de cumplimiento de cada uno.
- Los Ministerio de Economía y Desarrollo Social, participan en el consejo de ministros de la CNR donde aportan sus miradas sectoriales en el contexto Nexo.
- Los organismos de gris claro, representan las definiciones de políticas en materia de fomento para SPIS, y los que dependen del Ministerio del Interior proveen financiamiento para las instituciones que aplican instrumentos de fomento para SIPS directamente.
- La línea gris oscura representa los convenios de transferencias de recursos entre las distintas instituciones, principalmente para el financiamiento de SPIS.

4 PRINCIPALES ACTORES EN LA PROMOCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SPIS

4.1 Actores públicos

Chile es un país con un desarrollo agrícola que significa una proporción importante del PIB, porcentaje que para su concreción depende de la disponibilidad y eficiencia en el uso de los recursos hídricos.

Este factor ha llevado a que el Estado desarrolle programas para apoyar la instalación y fomento de sistemas tecnificados de riego, con el objetivo de que la competitividad se mantenga o mejore, y por otro lado incorporar nuevas superficies de suelo al riego.

La ventaja de los SPIS para los pequeños agricultores radica en que pueden bombear agua a sus cultivos sin costo operativo, y además pueden reducir el consumo de la cuenta eléctrica, lo que se alza como una gran ayuda. Además, en zonas donde hay un suministro energético deficiente, permite asegurar el riego.

Paradójicamente, la mayoría de las bondades de los sistemas de bombeo fotovoltaico justificaron su aplicación en una época y zonas que habían sido muy afectadas por la sequía, por lo que se posibilitó la extracción de agua en zonas de difícil acceso o en nuevos pozos que se construyeron para abastecer de agua a nuevas plantaciones o cultivos existentes.

La mayoría de los ministerios poseen servicios públicos que ejecutan e implementan la política pública que define el sector, y en los casos en que estos organismos ejecutores no existan en, los ministerios establecen alianzas o convenios con otros organismos públicos que sí tienen posibilidades de ejecución, como es el caso del Ministerio de Energía, o los Gobiernos Regionales que transfieren recursos para programas específicos a INDAP; CNR o FIA para el caso de riego.

Entre los organismos y servicios que tienen dependencia de los ministerios, directamente relacionados con la implementación de políticas y proyectos de SPIS, se destacan los siguientes:

a) Comisión Nacional de Riego (CNR)

Fue creada en 1975 y depende de un Consejo de Ministros conformado por los Ministerios de Economía, Desarrollo Social, Hacienda, Obras Públicas y Agricultura que lo preside. Su objetivo es incrementar y mejorar la superficie de riego del país (en términos reales o equivalente de nuevo riego, que se puede generar de acuerdo a la mayor disponibilidad de recursos hídricos excedentarios que se liberan por la introducción de sistemas de riego más eficientes). Desde el año 1985 administra la Ley N°18.450 que fomenta las obras privadas de riego y drenaje. Cuenta con una Secretaría Ejecutiva, cuya función principal es ejecutar los acuerdos que el Consejo adopte. La CNR depende administrativamente del Ministerio de Agricultura.

Entre sus principales objetivos destacan: Contribuir a la formulación de la política de riego nacional, mejorar la eficiencia del riego a través de proyectos de desarrollo y transformación productiva, focalizar los esfuerzos hacia el desarrollo de regiones extremas del país y grupos de productores en situación vulnerable, fomentar la inversión privada en obras de riego mediante la optimización de inversiones y la asignación de instrumentos de fomento en riego y drenaje, y evaluar la factibilidad técnica y económica de las inversiones en obras rentables de riego de las cuencas hidrográficas del país.

Desde el 2012 a abril de 2018, la CNR, a través de concursos de la Ley N°18.450, ha posibilitado la implementación de obras de riego con abastecimiento eléctrico mayoritariamente mediante sistemas fotovoltaicos (SFV) a diversas escalas por un total de 525 proyectos, con una capacidad del orden de

los 4,4 MW. A esta fecha, se encuentran instalados 209 proyectos con una capacidad de 2,5 MW. Los proyectos vigentes, aquellos que tienen asignada bonificación mediante la Ley N°18.450, pero aún no están pagados, corresponden a 316 iniciativas con una capacidad de 1,9 MW⁵.

La CNR ha ampliado los concursos en los cuales permite la incorporación de ERNC en los proyectos. Tradicionalmente el criterio de asignación de recursos considera la superficie equivalente de postulación, el costo del proyecto y el aporte del beneficiario, según lo cual se realiza un ranking que va asignando recursos disponibles dentro de cada concurso.

Este criterio generaba una distorsión respecto a los proyectos que incorporaban ERNC, dado el mayor costo para una misma superficie. Para que estos proyectos pudiesen ser competitivos, dentro de los concursos, se incorporó un factor que pondera la demanda energética suministrada con ERNC por la superficie del proyecto. De esta manera si el proyecto considera abastecer el 100% de la demanda de riego la superficie se multiplica por un ponderador que aumenta la superficie de postulación, pudiendo llegar al doble.

La expresión que explica el factor es la siguiente:

$$\textit{Superficie de postulación} = \textit{Superficie nuevo riego o equivalente} * (1 + \%P)$$

$$\text{Donde: \%P} = \frac{\textit{ERNC Generada anualmente} \left(\frac{\textit{kWh}}{\textit{año}}\right)}{\textit{Demanda energética temporada riego} \left(\frac{\textit{kWh}}{\textit{año}}\right)} ; 0 < \%P < 1$$

Figura 2: Fórmula de cálculo para factor de cobertura de proyectos con ERNC en CNR
Fuente: Bases de concursos CNR.

b) Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP)

Creado en el año 1962, con dependencia del Ministerio de Agricultura, tiene por objetivo promover el desarrollo económico, social y tecnológico de los pequeños productores agrícolas y campesinos, con el fin de contribuir a elevar su capacidad empresarial, organizacional y comercial, su integración al proceso de desarrollo rural y optimizar al mismo tiempo el uso de los recursos productivos.

Desde el año 2012 ha implementado más de 2.600 sistemas de bombeo FV por medio de distintos instrumentos como son el Programa de Riego y Drenaje Intrapredial, el Programa de Riego Asociativo, un Programa de Desarrollo de Inversiones y otros concursos especiales. Además, han implementado proyectos por medio de recursos que INDAP recibe de los gobiernos regionales, principalmente para zonas rezagadas, de los cuales no existe una cuantificación.

Dado el perfil de los usuarios de INDAP, que atiende a pequeños agricultores que poseen entre 1 a 12 ha de riego básico, este organismo no establece un criterio especial para la realización de proyectos con ERNC, sino que evalúa que las soluciones sean financiables por el monto que permite el instrumento. Así, por ejemplo, el Programa de Riego Intrapredial (PRI) financia hasta el 90% con un tope de aporte para personas individuales de hasta \$8.000.000 anuales. Este es el instrumento de INDAP mediante el cual se ha implementado la mayoría de los proyectos en Chile, considerando las licitaciones de los años 2012 y 2013.

⁵ Cifras de bases de datos de proyectos aportadas por CNR.

INDAP además posee convenios con otros organismos públicos (Ministerio de Energía, Gobiernos Regionales y Municipios), mediante los cuales también ha ejecutado proyectos de SPIS, con fondos que están destinados a mejorar territorios o población objetivo de estos últimos.

c) Dirección General de Aguas

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado encargado de promover la gestión y administración de los recursos hídricos en un marco de sustentabilidad, para permitir el desarrollo del país y mejorar la calidad de vida de las personas.

Entre sus funciones, las que se han ido perfeccionando en distintos cuerpos legales, desde el año 1969, hasta la actualidad en que se discute un nuevo marco legislativo para el agua, destacan las siguientes:

- Planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento.
- Constituir derechos de aprovechamiento de aguas.
- Investigar y medir el recurso hídrico.
- Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, proporcionar y publicar la información correspondiente.
- Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público, así como de las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.
- Ejercer la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad a quien corresponda aprobar su construcción o autorizar su demolición o modificación.
- Supervigilar el funcionamiento de las Organizaciones de Usuarios, de acuerdo con lo dispuesto en el Código de Aguas.

Hasta la fecha, el agua es un bien nacional de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas, en conformidad a las disposiciones del código de aguas.

Los derechos de aprovechamiento de agua corresponden a la facultad legal que se otorga al titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad, ya sea de manera consuntiva o no consuntiva, de ejercicio permanente o eventual; continuo, discontinuo o alternado entre varias personas, y no necesariamente significan o garantizan la disponibilidad de los recursos hídricos, cuya existencia depende de factores ambientales

En este contexto, el rol de la DGA, vinculado al riego, radica principalmente en el registro, otorgamiento y gestión de los derechos de agua, los cuales son requisitos para la mayoría de los concursos que realiza la CNR o INDAP. Una excepción lo constituye el artículo 56 del código de agua, el cual establece que cualquiera puede cavar en suelo propio pozos para las bebidas y usos domésticos, aunque de ello resulte menoscabarse el agua de que se alimente algún otro pozo.

Estos últimos organismos, como así también el Ministerio de Energía han suscrito convenios con la DGA para contratar profesionales de apoyo que contribuyan al proceso de regularización y otorgamiento de derechos del agua.

Uno de los roles principales que ejerce la DGA, respecto al uso de los recursos hídricos superficiales, tiene relación con el contexto de regular las extracciones, estableciendo restricciones cuando la disponibilidad hídrica disminuye o en caso de escasez, emitir los decretos correspondientes para establecer criterios y delimitaciones para las autorizaciones de extracción de aguas.

d) Ministerio de Energía

Chile ha sido uno de los países más exitosos del mundo en disminuir la brecha de acceso a energía para su población. Pasó desde una cobertura de electrificación rural de 50% en los años 90 a un 98,5% de cobertura nacional en el año 2015⁶.

Este logro, que ha cambiado la vida de muchas personas, ha sido posible gracias a varios esfuerzos, tanto técnicos como económicos, en el cual las energías renovables han jugado un rol fundamental para poder entregar soluciones en diversos lugares del país.

Esta política, enfocada en entregar una solución energética a las necesidades básicas de una familia, se planteó desafíos en términos de que el suministro energético no solo debía abastecer las necesidades básicas de una vivienda, en términos de iluminación y comunicaciones (radio, tv y carga de celulares), sino que también era necesario poder abastecer la demanda energética de los sistemas productivos locales, que en muchos casos satisfacían las necesidades básicas de alimentación y permitían el desarrollo de una incipiente actividad económica, limitada por el costo energético (altas tarifas o uso de diésel) en la mayoría de los casos, o la escasez hídrica en algunas zonas.

Esta situación motivó la necesidad de crear soluciones técnico-económicas viables, que permitieran dar respuestas a estas necesidades productivas, pero desde un ámbito sectorial y de manera permanente, dado el foco y limitaciones que tenía un anterior programa enfocado en viviendas. El año 2008 se crea el Programa de Energización Rural y Social (PERYS) (bajo el programa de fomento a energías renovables en su inicio) dentro de la Comisión Nacional de Energía, que posteriormente pasa al Ministerio de Energía con su creación el año 2010. Uno de sus componentes era la energización de actividades productivas con fines demostrativos para generar una política pública.

Este programa permitió, principalmente vía convenios de transferencia con municipios, el diseño y la instalación de los primeros sistemas de bombeo fotovoltaicos, a una escala productiva mayor, que posibilitó el desarrollo económico real de los usuarios en la mayoría de los casos (2009-2012).

El mayor desafío del PERYS, en la difusión e instalación de sistemas de bombeo fotovoltaico, fue la generación de capacidades para el dimensionamiento y diseño de los sistemas, así como para la inspección técnica que garantizase la calidad y duración de las instalaciones.

Una labor importante ha tomado relevancia en los últimos años con la Ley N° 20.571 (la cual permite la autogeneración de energía en base a Energías Renovables No Convencionales (ERNC) y cogeneración eficiente). Esta Ley, conocida también como Netbilling, Netmetering o Generación Distribuida, entrega el derecho a los usuarios a vender sus excedentes directamente a la distribuidora eléctrica a un precio regulado, el cual está publicado en el sitio web de cada empresa distribuidora. La División de Energías Renovables, dependiente de la Subsecretaría de Energía, ha promovido y fomentado la instalación de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo. En este contexto, en los últimos años viene realizando un importante trabajo con INDAP y CNR, como se menciona en el capítulo de INTRODUCCIÓN Y

⁶ Estadísticas División de Acceso y Equidad Energética, Ministerio de Energía.

ANTECEDENTES DE SPIS, para, por un lado fomentar que los proyectos de riego que consideren energía renovable se puedan conectar a la red, con lo cual se contribuye a la diversificación energética de la matriz, y por otro lado, que los costos operacionales de los sistemas de riego disminuyan para los usuarios. Además, se trabaja en la generación de capacidades en el dimensionamiento y aplicación de la normativa de los sistemas.

4.2 Actores privados

El sector privado también ha jugado un rol fundamental en la promoción y desarrollo de los SPIS en Chile.

Dentro de ellos es importante destacar la empresa Grundfos, que durante muchos años fue el único proveedor para sistemas de bombeo con energía renovable en Chile.

En los años 2010-2011 se instaló en Chile la empresa, que trajo la representación de la marca Lorentz, especialistas en sistemas de bombeo fotovoltaico, y se adjudicaron la primera licitación de INDAP en los años 2012-2013 responsable de la instalación de 374 sistemas.

Dentro de los actores que privados también destacan la labor de Cosmoplas y Koslan, quienes son grandes proveedores de equipos de bombeo y riego, los cuales han traído al mercado nuevas marcas y opciones para riego con energía renovable, lo que ha disminuido mucho los costos y aumentado la oferta tecnológica.

4.3 Instrumentos de fomento.

En Chile existen diversos instrumentos y programas de fomento que financian total o parcialmente la instalación de SPIS. Si bien la mayoría de los instrumentos son de acceso directo a los usuarios, requieren la intermediación de un consultor que elabore el proyecto técnico de acuerdo a los requerimientos y especificaciones técnicas de cada institución y concurso. Entre estos instrumentos, destacan por impacto y cobertura los siguientes:

a) Ley de Fomento al Riego N°18.450 (presupuesto 2018: 100,3 Millones USD (DIPRES, 2017)).

Es administrado por la CNR y tiene por objetivo incrementar el área de riego, mejorar el abastecimiento de agua en superficies regadas en forma deficitaria, mejorar la calidad y la eficiencia de la aplicación del agua de riego o habilitar suelos agrícolas de mal drenaje y, en general, toda obra de puesta en riego u otros usos asociados directamente a las obras de riego bonificadas, habilitación y conexión, cuyos proyectos sean seleccionados y aprobados en la forma que se establece en esta ley.

Esta fuente de financiamiento permite acceder a un instrumento de fomento que financia la suma del costo de las obras y el monto de las inversiones que presenten los proyectos intraprediales hasta en un 90% si los postulantes poseen menos de 12 ha de riego, hasta un 80%, si tienen menos de 40 ha de riego, o hasta un 70% si poseen más.

Su postulación es por medio de un consultor de riego, inscrito en los registros de la CNR, y financia directamente proyectos de riego con SPIS.

b) Programa de riego INDAP (Presupuesto 2018: 23,5 Millones USD (DIPRES, 2017))

Es administrado por INDAP y su objetivo es mejorar el acceso, disponibilidad y gestión del recurso hídrico a nivel predial, a través de la ejecución de proyectos de inversión en obras de

riego o drenaje intrapredial, y de inversiones complementarias cuyo destino sea la bebida animal, uso doméstico y el riego de huertas familiares.

Está dirigido a personas de la Agricultura Familiar Campesina, que en forma individual o asociativa manifiesten interés en desarrollar un proyecto de riego o drenaje intrapredial atendiendo a sus objetivos de desarrollo agropecuario o de actividades conexas (turismo rural, artesanías, agregación de valor o servicios)., los cuales deben tener menos de 12 ha de riego, y se requiere: Estar acreditado como usuario(a) de INDAP y en el caso de grupos u organizaciones, estar acreditados o bien demostrar que están mayoritariamente conformados por usuarios de INDAP; • No estar recibiendo simultáneamente otro incentivo para el mismo objetivo; • No tener deudas morosas con INDAP; • Manifestar interés y compromiso en participar en el programa, lo que incluye financiar el aporte propio.

Fomentan directamente la instalación de SPIS. INDAP financia hasta un 90% del costo total bruto (incluido el IVA) de las inversiones requeridas para la ejecución de las obras. El 10 % restante, deberá ser aportado por el beneficiario. El incentivo económico que entrega el programa será de un máximo anual de \$8.000.000 para persona individual y \$15.000.000 para personas jurídicas.

c) Programa Riego Asociativo (PRA)

Es administrado por INDAP y su objetivo es mejorar el acceso, disponibilidad y gestión del recurso hídrico en los predios de pequeños productores agrícolas, a través de la ejecución de proyectos de inversión en obras de riego o drenaje asociativas extraprediales o mixtas.

Está dirigido a personas de la Agricultura Familiar Campesina, que en forma asociativa manifiesten interés en desarrollar una obra de riego o drenaje extrapredial o mixta, atendiendo a sus objetivos de desarrollo agropecuario o de actividades conexas (turismo rural, artesanía, agregación de valor o servicios), y se requiere que la organización o grupo debe estar acreditada como usuario(a) de INDAP o bien demostrar que está conformada mayoritariamente por usuarios (as) de INDAP; no estar recibiendo simultáneamente otro incentivo para el mismo objetivo; no tener deudas morosas con INDAP; manifestar interés y compromiso en participar en el programa, lo que incluye financiar el aporte propio.

Fomentan directamente la instalación de SPIS. INDAP financia hasta un 90% del costo total bruto (incluido el IVA) de las inversiones requeridas para la ejecución de las obras. El 10 % restante, deberá ser aportado por el beneficiario. El incentivo económico que entrega el programa será de un máximo anual de \$60.000.000 por proyecto.

d) Programa Riego Obras Menores (PROM)

Es administrado por INDAP y su objetivo es mejorar el acceso, disponibilidad y gestión del recurso hídrico de predios de pequeños productores agrícolas afectados por situaciones de déficit hídrico prolongado, condiciones climáticas adversas o cuando esté en riesgo la condición normal de funcionamiento de una obra, a través de la ejecución de proyectos de inversión en obras de riego o drenaje.

Está dirigido a personas de la Agricultura Familiar Campesina, afectadas por una situación de riesgo de sus sistemas productivos, que requieran el desarrollo de obras de riego o drenaje, individuales, asociativas, extraprediales o mixta. y se requiere estar acreditado como usuario(a) de INDAP. En el caso de proyectos asociativos, la organización o grupo debe estar acreditada como usuario de INDAP o bien demostrar que está conformada mayoritariamente

por usuarios (as) de INDAP; no estar recibiendo simultáneamente otro incentivo para el mismo objetivo; no tener deudas morosas con INDAP; manifestar interés y compromiso de participar en el programa, lo que incluye financiar el aporte propio.

Permiten la instalación de SPIS. INDAP financia hasta un 95% del costo total bruto (incluido el IVA) de las inversiones requeridas para la ejecución de las obras. El 5% restante, deberá ser aportado por el beneficiario. ▪ El incentivo económico que entrega el programa alcanza un máximo anual de hasta \$3.500.000 para obras individuales y \$35.000.000 para obras asociativas, con un tope de \$3.500.000 por usuario.

e) Programa desarrollo de inversiones (PDI):

Es administrado por INDAP y su objetivo es apoyar el desarrollo de proyectos de inversión individuales o asociativos para la incubación, ampliación y/o diversificación de negocios agropecuarios o conexos de la Agricultura Familiar Campesina.

Está dirigido a personas de la Agricultura Familiar Campesina, a Empresas Asociativas Campesinas (EAC) u otro tipo de organizaciones formales o informales, que presenten demandas de inversión en forma individual o asociativa, se requiere estar acreditado como usuario(a) de INDAP; no estar recibiendo simultáneamente otro incentivo para el mismo objetivo; no tener deudas morosas con INDAP; manifestar interés y compromiso en participar en el programa, lo que incluye financiar el aporte propio. Permiten el financiamiento de SPIS. INDAP financia hasta un 60% del valor total bruto de la inversión. Este valor puede llegar a 90% en el caso de proyectos de sustentabilidad ambiental, o bien de jóvenes, mujeres o pueblos originarios. El porcentaje restante, deberá ser aportado por el postulante en forma de aporte monetario o valorizado. El incentivo económico permite financiar hasta \$2.500.000 por productor individual al año, y entre \$25.000.000 y \$35.000.000 para postulantes asociativos informales y formales, respectivamente.

El Ministerio de Energía posee otros instrumentos que también han tenido un impacto en el fomento de los SPIS en Chile, pero que no tienen acceso directo a los usuarios, los cuales tienen relación con el Fomento ERNC (kW Instalados y/o kWh generados). Estos son:

a) Programa de Apoyo al Desarrollo de ERNC

Este programa está bajo la División de Energías Renovables, y busca diversificar la matriz energética y fomentar el mercado de soluciones con ERNC por medio de la generación de carteras de proyectos. No destina la totalidad de su presupuesto para proyectos de SPIS.

Su operación es por medio de convenios de transferencia a otras entidades públicas, y actualmente tiene un convenio con INDAP para mejorar el diseño e implementación de los SPIS, por medio de la realización de estudios de diagnóstico y capacitación, además de financiar la instalación de un equipo de profesionales para apoyar los temas de energía renovable dentro de la institución.

También poseen un convenio de transferencia de recursos con la CNR para la realización de un concurso especial para proyectos de ERNC y Microhidro dentro de la ley 18.450.

El objetivo de este programa ha sido mejorar el estándar técnico de las instalaciones con energía renovables, de acuerdo a la normativa técnica vigente, y fomentar que los proyectos de riego que tengan energía renovable, tiendan a conectarse a la red de distribución eléctrica en el marco de la ley 20.571.

b) Programa de Acceso y Equidad Energética

Este programa está bajo la División de Acceso y Equidad Energética, y busca contribuir al acceso y mejoramiento del suministro eléctrico rural de manera equitativa, eficiente y sostenible. No destina la totalidad de su presupuesto para proyectos de SPIS.

No está abierto a los usuarios, y su operación ha sido por medio de transferencias de recursos a otras instituciones, públicas y privadas, para el fomento de los SPIS, por medio de la instalación de sistemas pilotos, a distintas escalas y con distintas tecnologías, a lo largo del país, con el objeto de derribar barreras y mejorar el conocimiento acerca de la viabilidad y limitaciones de estos sistemas, como así también difundir la tecnología y ofrecer capacitación para el diseño y dimensionamiento de SPIS.

c) Acceso a la energía para potenciar el desarrollo local

Es un nuevo programa, que está bajo la División de Acceso y Equidad Energética que busca potenciar el desarrollo local y mejorar el nivel de ingresos de las familias mediante el acceso a la energía, acorde con las necesidades energéticas de la cadena productiva, de los emprendimientos productivos en zonas rurales del país

Su aplicación se espera para el año 2019, y aún no está definido si será por medio de asignación directa a los usuarios o por medio de convenios de transferencia con otras entidades que sean contraparte de la División.

Este programa se focalizará en entregar un suministro energético, continuo y/o de calidad, dentro los cuales es factible la instalación de SPIS.

5 CHILE Y LA SITUACIÓN HÍDRICA

El agua es considerada el recurso natural más importante del país. En él descansan los principales sectores productivos de Chile: el minero, el forestal, el agrícola, el industrial, el sanitario, el turístico y el energético, que, en conjunto, representan más del 60% del PIB según cifras de la ex Delegación Presidencial de Recursos Hídricos (Ruiz, 2015). Asimismo, y derivado de lo anterior, toda la estructura productiva del país se encuentra relacionada con el agua. Si se asume que el país ha tenido un importante crecimiento económico, existe certeza de que, para alcanzar dicho crecimiento, el país debió haber usado volúmenes importantes de agua para sostenerlo.

En este marco, se desprende de lo anterior que en Chile existe una creciente demanda por agua y que sus demandas superficiales han sido suplidas por la extracción del recurso hídrico subterráneo. Este proceso no ha considerado aspectos que compensen los desequilibrios hídricos a nivel de las cuencas hidrográficas y de los acuíferos afectados, como tampoco la búsqueda de fuentes alternativas como el reciclaje de las aguas, la recarga de acuíferos o el uso adecuado de las aguas lluvias.

No obstante, lo anterior, Chile posee una disponibilidad de agua de 57.000 m³/habitante/año, lo que nos sitúa en el lugar 24 de disponibilidad de agua en el mundo. Pero, el problema se presenta por la alta variabilidad de la oferta. Si se considera que, según la Unesco (UNESCO, 2015), la disponibilidad límite para la adecuada sustentabilidad humana es de 1.700 m³/habitante/año, entonces la cifra global país entregada, está más que adecuada a nuestras necesidades. Sin embargo, de Santiago al norte, zona en la cual se ubica la mayor proporción de población en el país, la disponibilidad de Chile es de solo 1.000 m³/habitante/año, lo que habla de la necesidad de establecer criterios racionales de uso del agua, en una perspectiva de futuro.

El escenario actual y futuro requiere de liderazgo en la sustentabilidad del agua. Frente a su evidente escasez, que parece incrementarse; a las sequías extremas producto del cambio climático; y al desconocimiento acerca de cómo funcionan los ecosistemas en relación a los recursos hídricos superficiales y subterráneos, la opinión pública y las autoridades empiezan a otorgarle una mayor importancia a los recursos hídricos, tanto por su valor productivo como por su rol ambiental. Este reconocimiento se hace dramático ante la ocurrencia de incendios, grandes tormentas, aluviones y erosión y desertificación de suelos. Así lo demuestra, entre otras cosas, el interés por modificar el código de aguas, es decir la institucionalidad del país relacionada con el tema, y el establecimiento de políticas públicas en investigación y desarrollo en torno al agua, aunque aún de forma muy incipiente. En el mismo marco, la gestión integrada de recursos hídricos no se traduce solamente en una preocupación sobre los cursos de agua o los volúmenes de agua circulantes a nivel superficial y subterráneo, sino que a todo el ecosistema; esto es, las personas y las actividades que en ellos se desarrollan, la fauna, la flora, las relaciones eco-sistémicas y sobre todo, el complejo suelo-vegetación, que por naturaleza propia, es un regulador gravitante de los procesos que envuelve el ciclo hidrológico. El conocimiento de todos estos componentes hace posible identificar con mayor objetividad cuáles son los principales desafíos y cuáles son las principales medidas para enfrentarlos, desde el punto de vista de la sustentabilidad.

La situación de alta relevancia que constituye el agua para Chile y ello desde una perspectiva ambiental, social y productiva, contrasta con la relevancia que se le otorga al agua como objeto de investigación científica y tecnológica. Así, Chile destina a la investigación científica y tecnológica (I+D+I, Investigación, Desarrollo e Innovación) aproximadamente un 0,38% (EMOL, 2017) del Producto Interno Bruto, cifra que está muy por bajo la media de los países de la OCDE. En comparación, Suecia muestra una inversión cercana al 3,39 % y China el 1,76% de un PIB gigantesco. Este aspecto limita sobremanera la opción por un adecuado desarrollo de políticas públicas o la posibilidad de generar

bienes y servicios como producto de contextos innovadores. Pero, al agua se destina solo un 0,0025% según el Comité Chileno para el Programa Hidrológico Internacional de la Unesco, lo que habla de un alto nivel de descompensación (Pizarro, 2018).

Por otra parte, en los últimos años, el escenario nacional enfrenta una alta incertidumbre derivada de los procesos de variabilidad y cambio climático global, lo cual está modificando los distintos componentes del ciclo hidrológico. Por lo anterior, la gestión de los recursos hídricos, que por sí misma es compleja, lo será aún más en un territorio muy particular desde el punto de vista hidrológico, como el de Chile.

En este contexto es necesario relevar la importancia que el complejo suelo vegetación posee. El cambio climático está alterando el rol de los suelos y la disponibilidad de vegetación, situación que incide en los procesos de regulación de los cursos de agua y la disponibilidad de este elemento. Esta condición modifica, además, los regímenes de incendios forestales, los que inciden directamente en los procesos de escorrentía y pérdida de nutrientes, dando lugar a la desertificación.

Un desafío clave para quienes poseen la responsabilidad de la gestión administrativa y productiva de los ecosistemas terrestres – especialmente el suelo, el agua y la vegetación natural – es maximizar los beneficios que estos entregan, sin afectar negativamente la disponibilidad del agua y sus funciones eco-sistémicas. Para enfrentar este desafío, tanto en Chile como en los foros internacionales, se le ha dado carácter de urgente a la necesidad de entender mejor la interacción entre el complejo suelo-vegetación y el agua, particularmente la de origen subterránea. Esto, porque es este recurso al que se acude inmediatamente cuando las disponibilidades superficiales se ven limitadas, lo cual se verifica con mayor fuerza en zonas áridas y semiáridas.

En este contexto, se seleccionó la región de Coquimbo por parte de INDAP como estudio de caso para analizar la disponibilidad recursos hídricos y evaluar si se puede atribuir a los SPIS algún impacto en los niveles de agua de los acuíferos.

6 LOS SPIS EN CHILE

Chile es un país que ha introducido de manera exitosa los sistemas de bombeo fotovoltaico y la implementación de energía renovable asociada a proyectos de riego, principalmente fotovoltaica, debido al perfecto acople entre la demanda de energía y la disponibilidad del recurso solar en la misma época.

Esto ha permitido que hoy, a lo largo de todo el país, se hayan instalado, con financiamiento total o parcial de fondos públicos, un número cercano a los 3.000 sistemas de bombeo para riego con energía solar, además de los esfuerzos que ha realizado el sector privado.

Los primeros antecedentes de SPIS datan desde el año 1998, los cuales se implementaron en el marco de la cooperación internacional de GIZ.

Desde el año 2008, a la fecha (2018) en el país se han implementado sistemas de manera constante, siendo los años 2012-2013 cuando se instala un mayor número de ellos, debido a las licitaciones que efectúa INDAP con el objetivo dotar a los pequeños propietarios agrícolas de dispositivos de riego accionados por energía solar, especialmente en lugares sin acceso a la red eléctrica, para fomentar el desarrollo de sus negocios de manera sustentable y productiva.



Figura 3: Principales promotores de SPIS en relación al número de proyectos instalados
Fuente: Elaboración propia en base información sobre proyectos recopilada.

La mayoría de los proyectos instalados corresponden a sistemas con bombas diseñadas para sistemas solares, como Lorentz o Grundfos, y tienen una potencia entre 1 y 30 kWp.

Su aplicación está vinculada mayoritariamente al riego por gravedad, es decir que los SPIS elevan agua hacia un estanque de acumulación y desde ahí se alimentan los sistemas de riego. En los últimos años también se observan instalaciones con riego directo, con algunas innovaciones, tanto en la estructura de los paneles FV para mejorar la curva de generación, como también en el diseño de los sistemas de riego, que se ajustan a la curva de producción energética diarias.

La evaluación de estos sistemas, ha despertado el interés de instituciones como el Comité Centro Nacional para la innovación fomento de las energías sustentables, (CIFES) quien durante el año 2016 y 2017 realizó, en conjunto con INDAP, el estudio denominado: "Evaluación de los proyectos de energía solar fotovoltaica cofinanciados por el instituto de desarrollo agropecuario INDAP y por la Comisión

Nacional de Riego – CNR”, el cual arrojo que de las muestras evaluadas, entre el 11% y 13% de los sistemas habían presentado fallas.

Actualmente el Ministerio de Energía está desarrollando el estudio denominado: “Diagnóstico e impactos de los sistemas fotovoltaicos en la producción agrícola asociados a energía con énfasis en la aplicación de la ley de generación distribuida”.

La mayor cantidad, y los primeros sistemas se han instalado en la Región de Coquimbo, por lo que es allá donde se centraran los análisis hidrológicos y la evaluación en terreno.

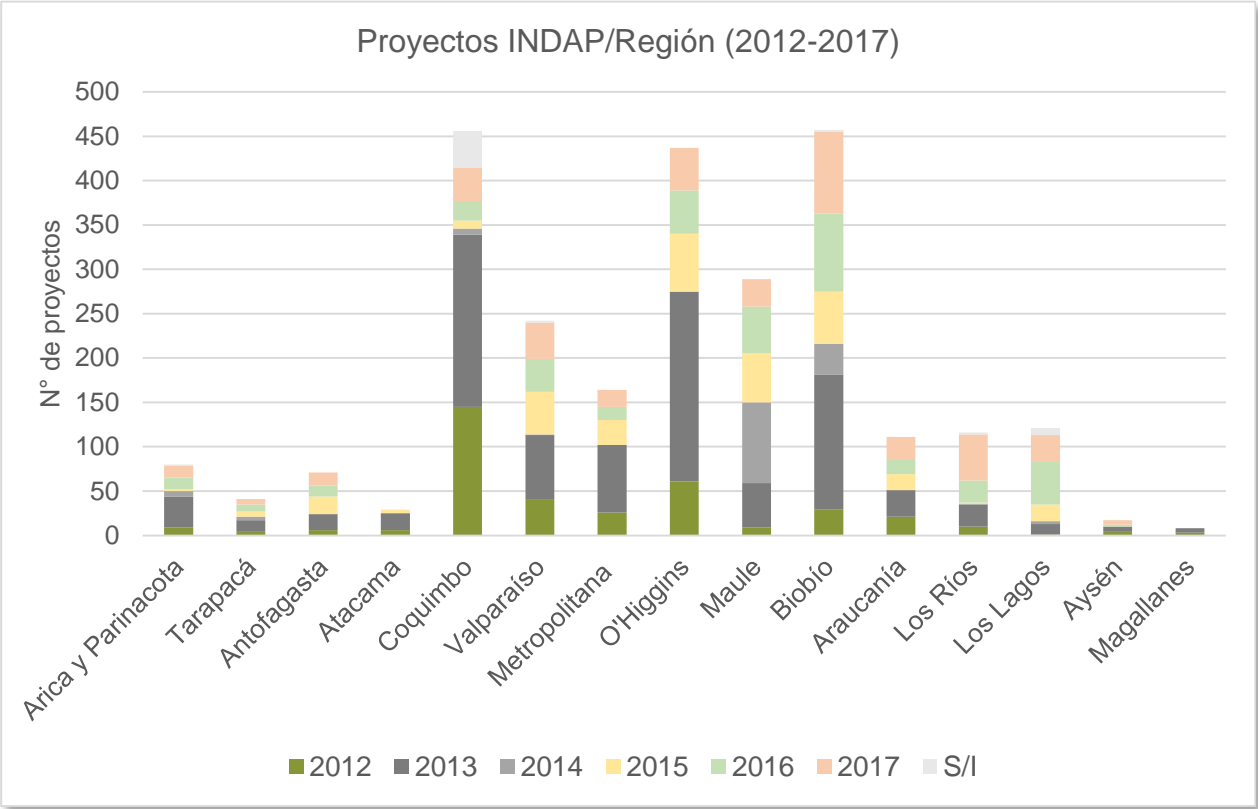


Figura 4: Cantidad y distribución de sistemas instalados por INDAP
Fuente: Base de datos INDAP.

7 ANÁLISIS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO

7.1 Hidrología Coquimbo

7.1.1 Demanda

En relación a la demanda de agua en la región (ver Tabla 1 y Figura 5), destaca el uso de agua en el sector agropecuario (91 %), el sector minero e industrial presentan un 3 %, agua potable un 6 %. El consumo total de agua en la región tiene un valor de aprox. 30 m³/segundo (DGA, Atlas de Agua, 2016).

Tabla 1: Demanda de agua en la Región de Coquimbo

Demanda de Agua	m³/s
Agropecuario	27,19
Agua potable	1,89
Industrial	0,25
Minero	0,71
Total	30,04

Fuente: Atlas del agua DGA 2016

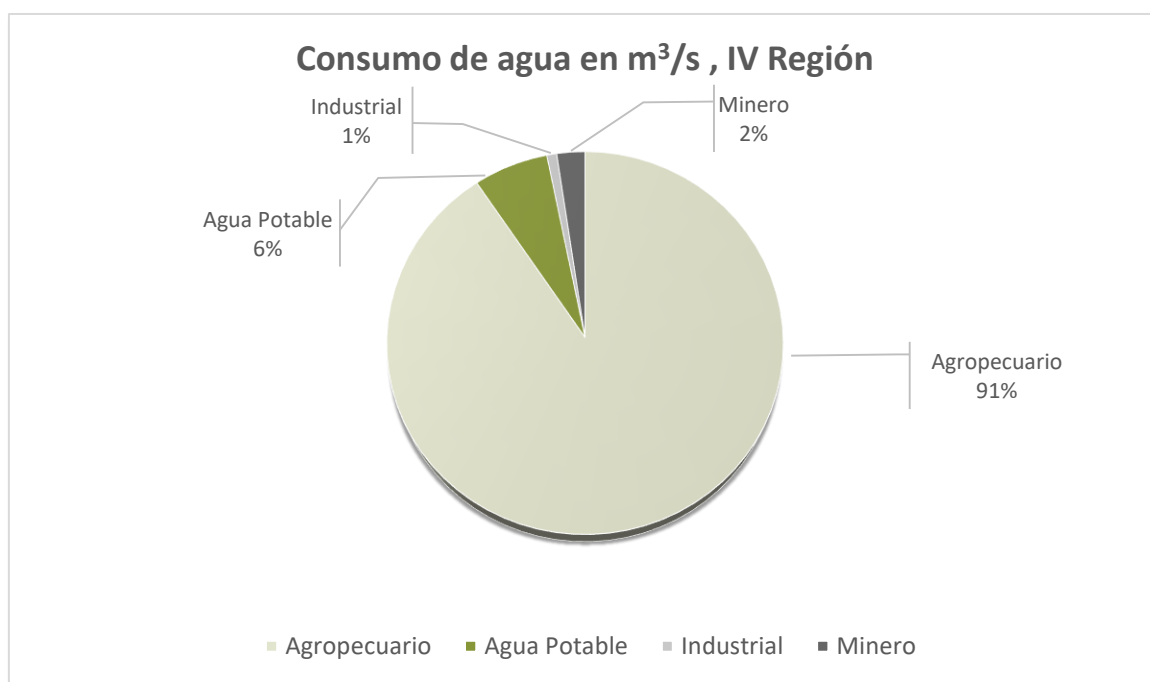


Figura 5: Demanda de agua en la Región de Coquimbo
Fuente: Atlas del agua DGA 2016.

7.1.2 Oferta

La situación hídrica de la Región de Coquimbo, a nivel global debe ser analizada partiendo por establecer el comportamiento de las precipitaciones, es decir cómo se ha comportado la oferta de agua en el tiempo. Si esta se ha mantenido constante o no, es un indicio para poder definir de qué forma dichas ofertas pueden haber estado incidiendo en la oferta de agua de tipo superficial o subterránea. Asimismo, sería adecuado plantearse cómo han respondido en el mismo tiempo los caudales superficiales, que son la expresión de las aguas almacenadas previamente (caudales medios o mínimos) y las aguas que circulan producto de las crecidas generadas por lluvias intensas o deshielos

(caudales máximos), para el mismo tiempo. Si a ello se le adiciona el análisis del comportamiento del nivel estático de los pozos, en el mismo tiempo, se podría saber cómo ha variado dicho nivel, lo que es un indicio del uso o del proceso de recarga de acuíferos, toda vez que las velocidades de las aguas subterráneas son mucho más bajas que las superficiales.

Ahora bien, las tendencias de los datos, pueden ser analizadas por diversas metodologías, utilizándose para este caso la metodología de Mann-Kendall, que permitirá determinar si dichas tendencias han bajado o subido en el tiempo, y si lo han hecho significativamente o no. La caracterización de la prueba de Mann-Kendall, se explicita en el Anexo 1.

a) Precipitaciones

Las precipitaciones fueron analizadas en base a estaciones de la Región de Coquimbo, todas controladas por la DGA, son las siguientes:



Figura 6: Estaciones fluviométricas utilizadas para análisis
Fuente: Elaboración propia.

El análisis consideró el periodo 1984-2014, es decir, 31 años. El análisis se hizo a nivel anual (precipitación del año) y a nivel de cada mes. Los resultados son los siguientes:

Tabla 2: Tendencias mensuales y anuales para las precipitaciones de la región de Coquimbo, periodo 1984-2014

Mes	Negativas	Negativas significativas	Positivas	Positivas significativas	Sin tendencia
ENE	23 (4,7 %)	0 (0 %)	14 (2,8 %)	0 (0 %)	4 (0,8 %)
FEB	12 (2,4 %)	0 (0 %)	7 (1,4 %)	0 (0 %)	22 (4,5 %)
MAR	41 (8,3 %)	4 (0,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
ABR	32 (6,5 %)	0 (0 %)	8 (1,6 %)	0 (0 %)	1 (0,2 %)
MAY	22 (4,5 %)	0 (0 %)	19 (3,9 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
JUN	0 (0 %)	0 (0 %)	41 (8,3 %)	9 (1,8 %)	0 (0 %)
JUL	41 (8,3 %)	4 (0,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
AGO	14 (2,8 %)	0 (0 %)	24 (4,9 %)	0 (0 %)	3 (0,6 %)
SEP	21 (4,3 %)	1 (0,2 %)	19 (3,9 %)	0 (0 %)	1 (0,2 %)
OCT	29 (5,9 %)	0 (0 %)	12 (2,4 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
NOV	21 (4,3 %)	0 (0 %)	19 (3,9 %)	0 (0 %)	1 (0,2 %)
DIC	26 (5,3 %)	1 (0,2 %)	3 (0,6 %)	0 (0 %)	12 (2,4 %)
Anual	33 (80,5 %)	0 (0 %)	8 (19,5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

Fuente: Elaboración propia en base a información registro de precipitaciones.

Tabla 3: Resumen de las tendencias mensuales y anuales en las precipitaciones de la Región de Coquimbo

Componente	Tendencias	Totales
Mensual	Negativas	282 (57,3 %)
	Negativas Significativas	10 (2,0 %)
	Positivas	166 (33,7 %)
	Positivas Significativas	9 (1,8 %)
	Sin tendencia	44 (8,9 %)
Anual	Negativas	33 (80,5 %)
	Negativas Significativas	0 (0 %)
	Positivas	8 (19,5 %)
	Positivas Significativas	0 (0 %)
	Sin tendencia	0 (0 %)

Fuente: Elaboración propia en base a información registro de precipitaciones.

Para el periodo 1984-2014, en la componente mensual (41 estaciones 12 meses), es decir 492 tendencias analizadas, se observa que las tendencias en las precipitaciones en el periodo estival son a la baja, pero estas en su mayoría no son significativas. A su vez se aprecia un comportamiento similar en los meses invernales, a excepción de junio donde las tendencias positivas son dominantes.

Al analizar las precipitaciones anuales se desprende que las tendencias negativas predominan, pero estas no son significativas ni a la baja ni al alza

Por tanto, si bien las precipitaciones mayoritariamente tienden a la baja a nivel mensual, (55% negativas v/s 32% positivas), estas no presentan tendencias significativas (solo un 2%), y positivas

significativas con igual cifra (2%). Por tanto, las precipitaciones en general parecen mantener un comportamiento similar en el periodo 1984-2014.

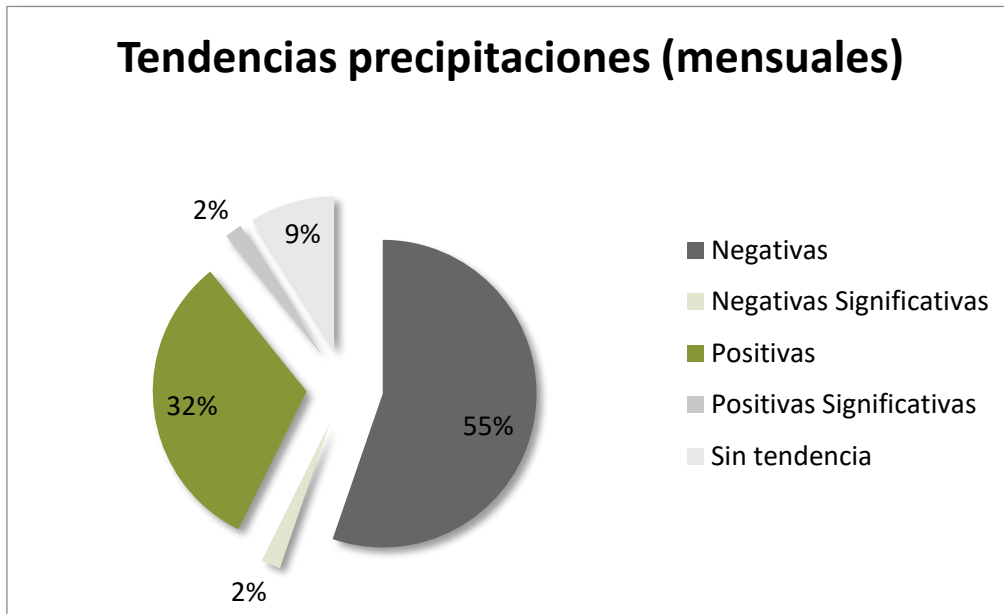


Figura 7: Tendencias en precipitaciones mensuales
Fuente: Elaboración propia en base a información registro de precipitaciones.

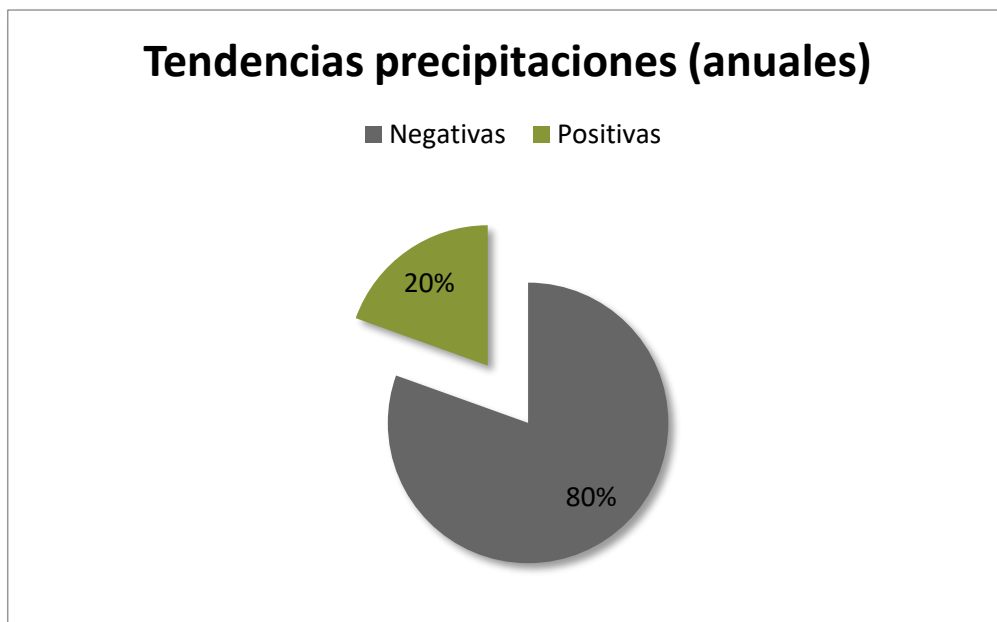


Figura 8: Tendencias en precipitaciones anuales
Fuente: Elaboración propia en base a información registro de precipitaciones.

b) Caudales

Los caudales fueron estudiados a nivel de valores anuales y mensuales en 11 estaciones fluviométricas de la Región de Coquimbo, controladas por la DGA.



Figura 9: Estaciones DGA utilizadas para análisis de caudales
Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, el análisis incorporó valores mínimos y medios (mayor influencia de las reservas de agua o aguas subterráneas) y máximos (mayor influencia de las aguas superficiales producto de derretimiento nival o de precipitaciones intensas). Así, los resultados son los siguientes:

Tabla 4: Tendencias mensuales y anuales para los caudales máximos, mínimos y medios de la Región de Coquimbo, periodo 1984-2014

Mes	Caudal	negativas		positivas	
		negativas	negativas significativas	positivas	positivas significativas
ENE	max	10 (8,3 %)	4 (3,3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
FEB	max	10 (8,3 %)	6 (5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
MAR	max	10 (8,3 %)	8 (6,7 %)	0 (0%)	0 (0 %)
ABR	max	10 (8,3 %)	6 (5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
MAY	max	10 (8,3 %)	6 (5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
JUN	max	10 (8,3 %)	2 (1,7 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
JUL	max	10 (8,3 %)	6 (5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
AGO	max	10 (8,3 %)	5 (4,2 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
SEP	max	10 (8,3 %)	5 (4,2 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
OCT	max	9 (7,5 %)	3 (2,5 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)
NOV	max	10 (8,3 %)	3 (2,5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
DIC	max	10 (8,3 %)	5 (4,2 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
Anual	max	10 (100 %)	7 (70 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
ENE	min	10 (8,3 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
FEB	min	10 (8,3 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
MAR	min	10 (8,3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
ABR	min	10 (8,3 %)	3 (2,5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
MAY	min	10 (8,3 %)	3 (2,5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
JUN	min	9 (7,5 %)	4 (3,3 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)
JUL	min	9 (7,5 %)	2 (1,7 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)
AGO	min	10 (8,3 %)	5 (4,2 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
SEP	min	10 (8,3 %)	4 (3,3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
OCT	min	10 (8,3 %)	2 (1,7 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
NOV	min	10 (8,3 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
DIC	min	10 (8,3 %)	2(1,7)	0 (0 %)	0 (0 %)
Anual	min	9 (90 %)	0 (0 %)	1 (10 %)	0 (0 %)

Continuación Tabla 4: promedios

Mes	Caudal	negativas		positivas	
		negativas	significativas	positivas	significativas
ENE	pro	10 (8,3 %)	5 (4,2 %)	0 (0 %)	0 (0%)
FEB	pro	10 (8,3 %)	4 (3,3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
MAR	pro	10 (8,3 %)	5 (4,2 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
ABR	pro	10 (8,3 %)	7 (5,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
MAY	pro	10 (8,3 %)	7 (5,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
JUN	pro	9 (7,5 %)	5 (4,2 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)
JUL	pro	10 (8,3%)	7 (5,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
AGO	pro	10 (8,3 %)	7 (5,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
SEP	pro	10 (8,3 %)	6 (5 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
OCT	pro	10 (8,3 %)	4 (3,3 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
NOV	pro	10 (8,3 %)	1 (0,8 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
DIC	pro	10 (8,3 %)	5 (4,2 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
Anual	pro	10 (100 %)	8 (80 %)	0 (0 %)	0 (0 %)

Fuente: Elaboración propia en base a información registro DGA.

Tabla 5: Resumen de tendencias para los tres tipos de caudales analizados en las 11 estaciones para el periodo 1984-2014

Componente	Caudal	Totales			
		Negativas	Negativas significativas	Positivas	Positivas significativas
Mensual	max	119 (99,2 %)	59 (49,2 %)	1 (0,83 %)	0 (0 %)
	min	118 (98,3 %)	28 (23,3 %)	2 (1,7 %)	0 (0 %)
	pro	119 (99,2 %)	63 (52,5 %)	1 (0,83 %)	0 (0 %)
Anual	max	10 (100%)	7 (70 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
	min	9 (90 %)	0 (0 %)	1 (10 %)	0 (0 %)
	pro	10 (100 %)	8 (80%)	0 (0 %)	0 (0 %)

Fuente: Elaboración propia en base a información registro DGA.

Los caudales para el periodo 1984-2014, en su componente mensual (10 estaciones para 12 meses y 120 tendencias), presentan tendencia a la baja, concentrándose la mayoría de las tendencias significativas en los caudales medios y máximos con 63 y 59 series respectivamente. En el ámbito anual se aprecia que, tanto en los caudales máximos como en los promedios, la totalidad de las series son negativas y aún más sobre un 70% de las mismas son significativas ($p < 0,05$). En el caso de los caudales mínimos, el 90% de las series son negativas, pero ninguna es significativa.

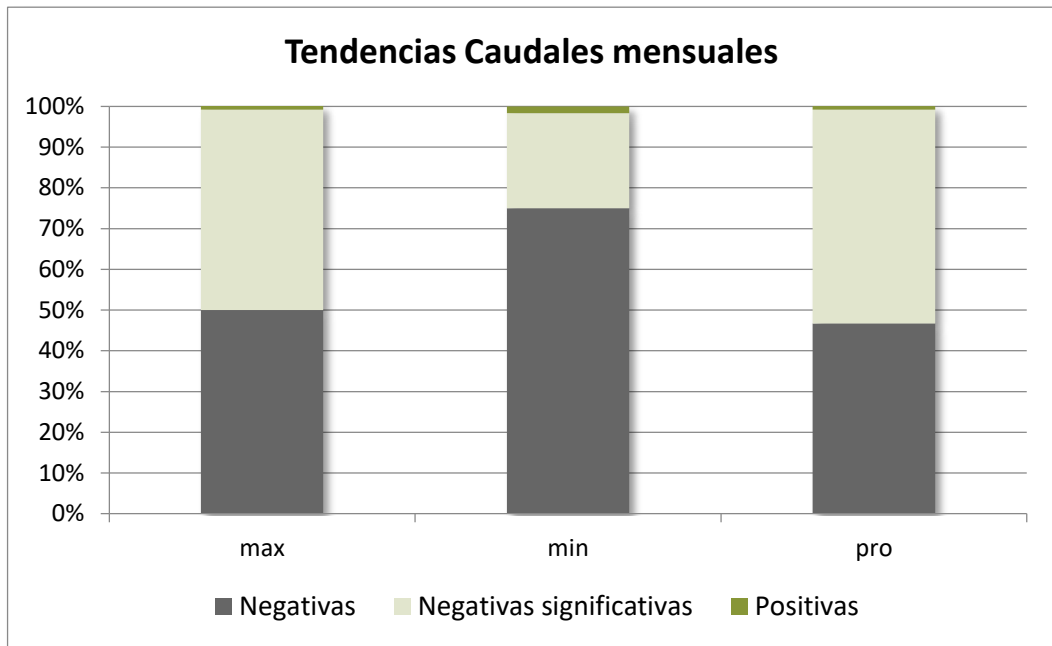


Figura 10: Tendencias en caudales mensuales
Fuente: Elaboración Propia en base a análisis estadístico.

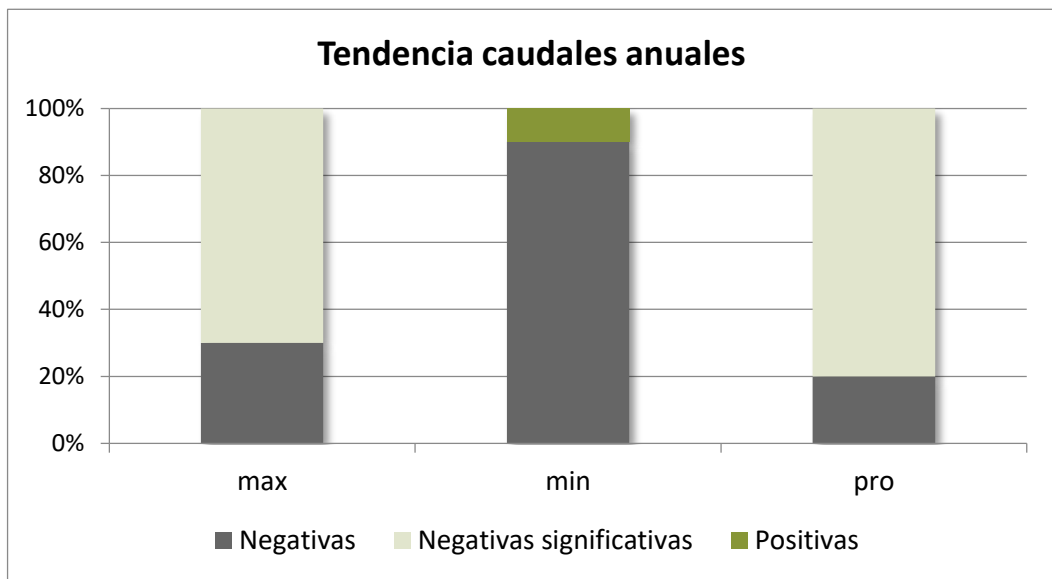


Figura 11: Tendencias en caudales anuales
Fuente: Elaboración Propia en base a análisis estadístico.

De lo expuesto se deduce claramente que las estaciones de la Región de Coquimbo, en lo que respecta a los caudales máximos y promedios, están mostrando una clara tendencia a la disminución y con características significativas, en el periodo 1984-2014, muy al contrario de lo que manifiestan las precipitaciones, que son una expresión evidente de la oferta de agua en el tiempo.

c) Comportamiento estático de los pozos

El nivel de las aguas subterráneas fue estudiado en base a 9 pozos, todos controlados por la DGA. Al aplicar la prueba de Mann-Kendall, los resultados son los siguientes:



Figura 12: Pozos utilizados para el análisis de comportamiento
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6: Nivel de los pozos

Mes	Aumenta	Aumenta significativamente	Disminuye	Disminuye significativamente	Sin tendencia
FEB	0 (0 %)	0 (0 %)	9 (15,0 %)	7 (11,7 %)	1 (1,7 %)
ABR	0 (0 %)	0 (0 %)	10 (16,7 %)	8 (13,3 %)	0 (0 %)
JUN	0 (0 %)	0 (0 %)	10 (16,7 %)	8 (13,3 %)	0 (0 %)
AGO	0 (0 %)	0 (0 %)	10 (16,7 %)	8 (13,3 %)	0 (0 %)
OCT	0 (0 %)	0 (0 %)	9 (15,0 %)	9 (15 %)	1 (1,7 %)
DIC	0 (0 %)	0 (0 %)	10 (16,7 %)	8 (13,3 %)	0 (0 %)
Anual	1 (10 %)	0 (0 %)	9 (90 %)	8 (80 %)	0 (0 %)

Fuente: Elaboración propia en base a análisis estadístico sobre pozos DGA.

A nivel mensual se aprecia que la totalidad de las tendencias muestran una disminución en el nivel de los pozos. Además, la mayoría de estas tendencias negativas, son significativas. Dicho de otra forma, la disminución del nivel de los pozos se escapa de lo esperado. Este hecho es preocupante ya que podría ser señal de una sobre demanda del acuífero.

Tabla 7: Resumen de tendencias de los pozos Región de Coquimbo

Componente	Tendencias	Totales
Mensual	Aumenta	0 (0 %)
	Aumenta Significativamente	0 (0 %)
	Disminuye	58 (96,8 %)
	Disminuye Significativamente	48 (79,9 %)
	Sin tendencia	2 (3,4 %)
Anual	Aumenta	1 (10 %)
	Aumenta Significativamente	0 (0 %)
	Disminuye	9 (90 %)
	Disminuye Significativamente	8 (80 %)
	Sin tendencia	0 (0 %)

Fuente: Elaboración propia en base a análisis estadístico sobre pozos DGA.

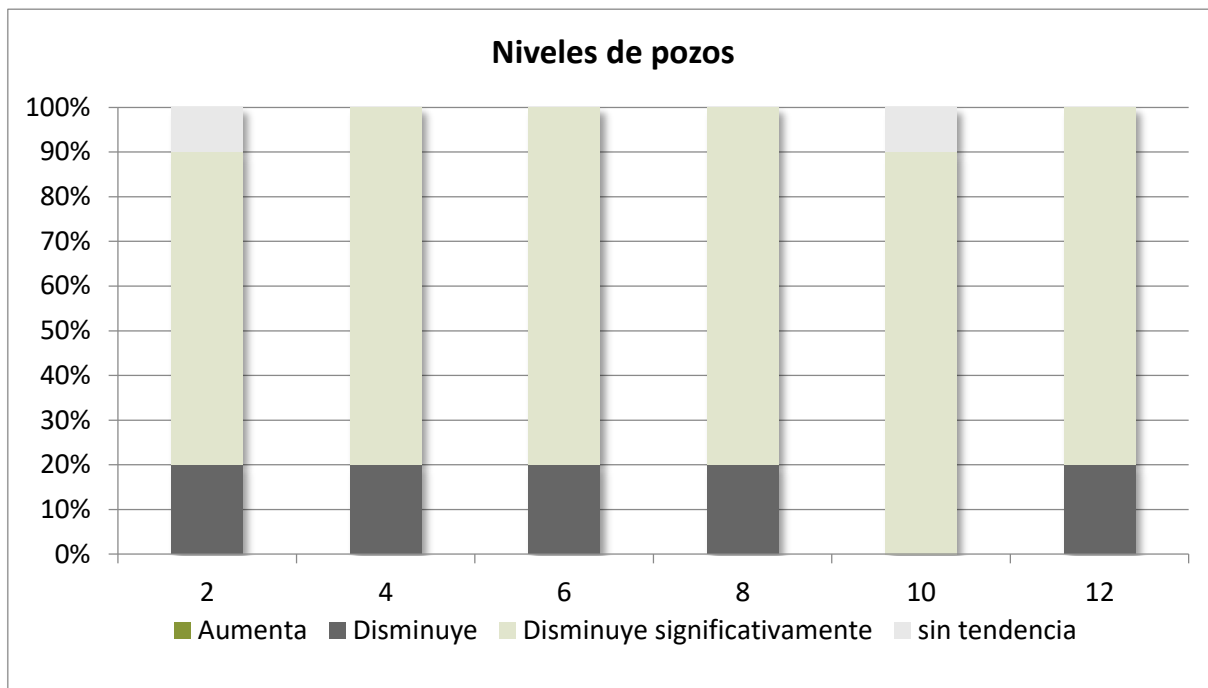


Figura 13: Niveles de pozos bimensualmente
 Fuente: Elaboración propia en base a análisis estadístico sobre pozos DGA.

Nota: Los pozos son evaluados bimensualmente y de ahí las 6 barras que representan respectivamente a febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre.

Al analizar los datos anualmente, se observa un patrón similar al mensual.

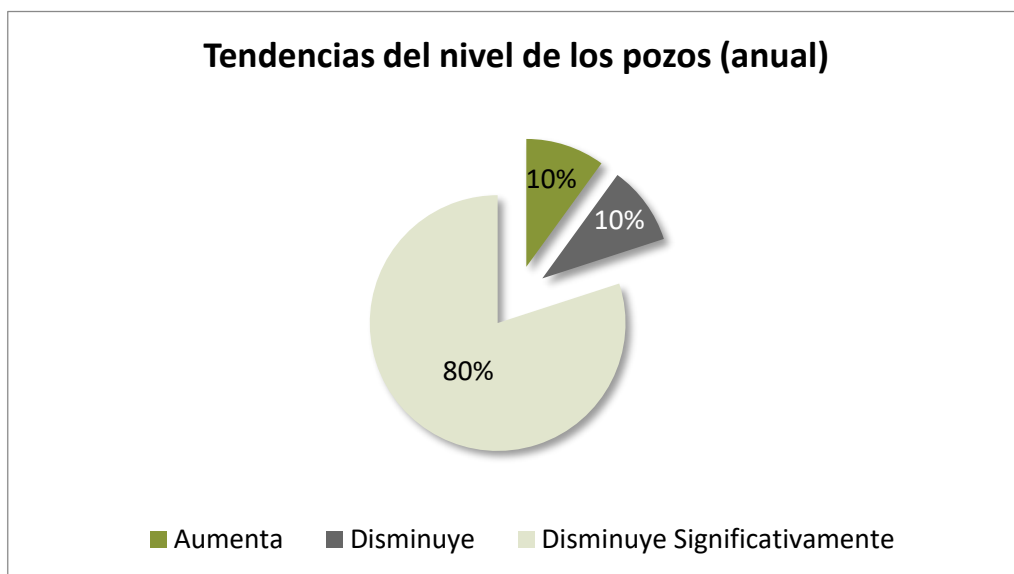


Figura 14: Tendencia en nivel de pozos
 Fuente: Elaboración propia en base a resultados de análisis estadístico.

En síntesis, mientras las ofertas de agua en los últimos 20 años, expresadas en las precipitaciones, se han mantenido relativamente constantes, sin cambios significativos, los caudales máximos y medios han decrecido significativamente en el mismo periodo, hecho que es demostrado en casi la mitad de las tendencias analizadas a nivel mensual. Los caudales máximos, que en gran medida en la Región de Coquimbo provienen de los deshielos, mostrarían entonces un menor nivel de acumulación de nieve en la alta cordillera en el mismo periodo, producto probablemente de la subida de la isoterma cero, configurando un escenario de menores ofertas sólidas de agua. En el mismo marco, los caudales medios son función en gran medida, como es lógico en zonas áridas y semiáridas, con baja presencia temporal de precipitaciones y deshielos, de las reservas de agua en la cuenca, es decir de las aguas subterráneas, las que mostrarían decrementos significativos, hecho altamente preocupante porque los recursos subterráneos poseen tiempos de residencia superiores en estas zonas a los 10 años. Sin embargo, es aún más preocupante el incremento significativo de la diferencia entre el nivel cero del suelo y la profundidad de los pozos, donde el 80% de las tendencias son positivas y significativas; este hecho habla por sí solo de un sobre uso de las aguas subterráneas y en donde se está superando de forma evidente la capacidad de recuperación y mantención de los equilibrios hidrológicos de los ecosistemas en el periodo analizado.

8 EVALUACIÓN TÉCNICA-SOCIO ECONÓMICA DE SPIS

A objeto de tener una indicación de términos técnicos, sociales y económicos de los SPIS se realizaron entrevistas en terreno. En conjunto con los encargados de riego de INDAP, se visitaron entre los días 29 y 31 de mayo del presente año 11 usuarios, los cuales previamente fueron seleccionados por INDAP, que poseen SPIS, en las comunas de Los Vilos, Combarbalá y Punitaqui, además de extraer agua desde una fuente hídrica subterránea en la Región de Coquimbo, ubicación se puede ver en Figura 15.

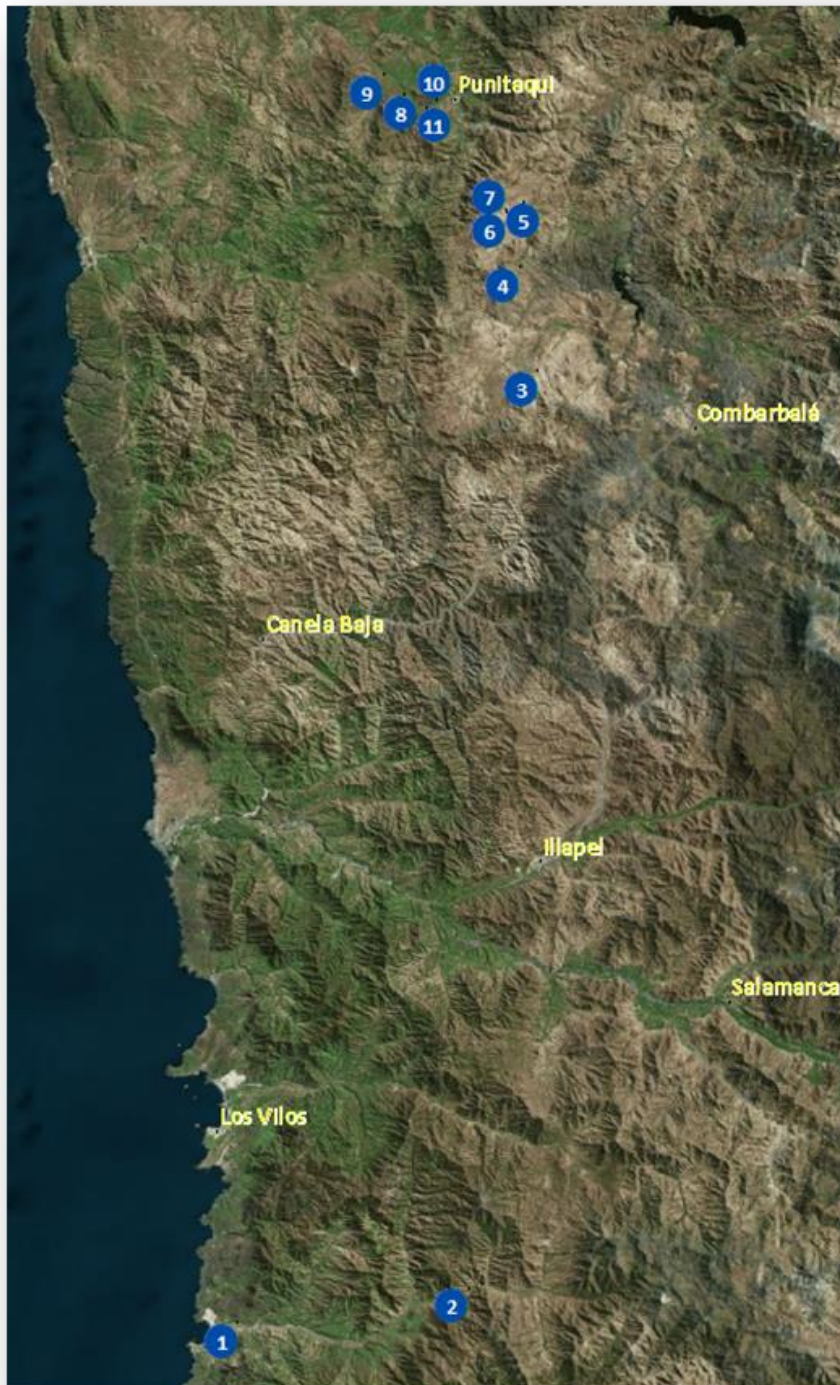


Figura 15: Ubicación de los SPIS visitados
Fuente: Elaboración propia.

8.1 Perfil de agricultores entrevistados

Estos sistemas fueron implementados en el marco de los programas de riego intrapredial de INDAP, y en el marco de convenios con el Gobierno Regional como parte del programa de zonas rezagadas.

Los usuarios visitados corresponden a pequeños agricultores que cultivan una superficie que varía entre 0,1 – 4 ha (ver Tabla 8) principalmente con cultivos de hortalizas, limón, duraznos, naranjos, paltos, nogales, olivos, uva y alfalfa, entre otros. Uno de los agricultores tiene plantación de tuna, una cactácea que destaca por su muy baja demanda hídrica pero también por cosechas muy rentables.

La mayoría de los agricultores (10) reportan ventas y comercialización de sus productos en una escala pequeña, una parcela (0,1 ha) produce solamente para autoconsumo.

El tamaño total de la superficie de los predios supera significativamente en casi todos los casos la superficie de riego, algo típico en muchos lugares de la Región de Coquimbo. Esta situación evidencia claramente que la disponibilidad hídrica es un factor limitante en la producción agrícola local.

La mayoría de los agricultores visitados declaro poseer derechos de agua constituidos, salvo uno que se encontraba en proceso de constitución.

Tabla 8: Perfil agricultores entrevistados

Nombre	Apellido	Edad (años)	Genero	Educación	Grupo Familiar	Sup total (ha)	Riego (ha)
Carlos	Martinez	77	masculino	6° básico	2	11,5	2,5
Laurence	Geraldo	64	masculino	6° básico	2	12,5	3,5
Oswaldo	Ríos	63	masculino	3° básico	5	0,4	0,1
Yolanda	Gallardo	80	femenino	8° básico	1	16	1
Lucinda	Varas	64	femenino	Ed. Técnica	1	2,5	2,5
Zulema	Alfaro	47	femenino	4° medio	3	6	1,5
Robustiano	Alfaro	82	masculino	4° básico	1	8,62	2
Claudia	Olivares	35	femenino	4° medio	4	6	1
Isidoro	Guerrero	49	masculino	8° básico	4	7	3
Luis	Bugueño	61	masculino	8° básico	2	9,9	4
Pascuala	Castillo	68	femenino	8° básico	2	68	4
Promedio		62,7			2,5	13,5	2,3

Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de terreno

8.2 Descripción técnica de los sistemas de bombeo FV:

Todos los 11 SPIS revisados en terreno corresponden a sistemas de bombeo solar autónomos, off-grid, compuesto por el generador solar fotovoltaico, la unidad de control (inversor), la motobomba sumergible o superficial y un estanque de acumulación de agua. En la Tabla 9 y Tabla 10 se entregan más detalles técnicos de las instalaciones.

Se pudo verificar, al momento de la visita a terreno, que todos (11) los sistemas de bombeo solar se encuentran operando. Es importante consignar que en 7 siete instalaciones, hubo fallas previas de motobombas e inversores, en las cuales fue necesario el reemplazo de equipos, y en un caso una nueva instalación, para mantener la operatividad de los sistemas.

La mayor parte de los predios posee conexión a red eléctrica, por medio de distribuidora de energía eléctrica de la zona, ver Tabla 9, y en este caso, el sistema de bombeo solar ayuda a disminuir el valor de la cuenta eléctrica. Sería recomendable, en estos casos evaluar la conexión on grid, en el marco de la Ley N°20.571. Esto permitiría una mejor utilización del recurso solar fotovoltaico, el cual en muchos casos no es utilizados a diario, y por otro lado mejorar la viabilidad de los sistemas al utilizar bombas convencionales en conjunto con un sistema fotovoltaico con conexión a red.

Tabla 9: Suministro energético predios y sistemas de bombeo solar

Nombre	Apellido	Red Eléctrica	Potencia empalme kW	Tipo SPIS	Potencia Peak Wp
Carlos	Martínez	Si	4,4	off grid	2.500
Laurence	Geraldo	Si	4,4	off grid	5.450
Osvaldo	Ríos	No	-	off grid	2.340
Yolanda	Gallardo	Si	4,4	off grid	750
Lucinda	Varas	Si	2,2	off grid	1.080
Zulema	Alfaro	Si	3,3	off grid	1.560
Robustiano	Alfaro	Si	3,3	off grid	1.500
Claudia	Olivares	No	-	off grid	5.720
Isidoro	Guerrero	No	-	off grid	5-500
Luis	Bugueño	Si	4,4	off grid	2.860
Pascuala	Castillo	Si	4,4	off grid	1.610
Promedio			3,9		2.806

Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de terreno

Tabla 10: Descripción de los sistemas de bombeo solar instalados

Nombre	Apellido	Potencia Peak Wp	N° Paneles	Inclinación °	Inversor/ Controlador	Moto- bomba	Fallas previas
Carlos	Martinez	2.500	10	30	Lorentz	Lorentz	si
Laurence	Geraldo	5.450	18	22	Solartech (2)	S/I (2)	no
Osvaldo	Ríos	2.340	9	S/I	Solartech	Pedrollo	si
Yolanda	Gallardo	750	3	S/I	Grundfos	Grundfos	si
Lucinda	Varas	1.080	4	31	Pedrollo fluid Solar	Pedrollo	si
Zulema	Alfaro	1.560	6	32	Solartech	Pentax	si
Robustiano	Alfaro	1.500	6	33	Solartech	Pentax	no
Claudia	Olivares	5.720	22	32	Franklin	Franklin	no
Isidoro	Guerrero	5.500	22	28	Franklin	Franklin	si
Luis	Bugueño	2.860	11	35	Franklin	Franklin	no
Pascuala	Castillo	1.610	7	28	Franklin	Franklin	si
Promedio		2.806	11	30			

Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de terreno

Respecto a los equipos utilizados para los sistemas de bombeo, se puede observar que en general se trata de equipamiento especializado para este tipo de sistemas, con marcas conocidas, que poseen garantías y representación en el país.

También se observa que se han implementado proyectos que energizan bombas “tradicionales”, diseñadas para operar conectadas a red, por medio de energía solar, lo cual disminuye los costos de implementación, y permite en caso de falla del equipo de bombeo, su reemplazo local.

Las instalaciones, en general, presentan un mejoramiento en su estándar, desde los sistemas más antiguos a los más nuevos, pero existen elementos que deben ser mejorados, principalmente lo relacionado con las conexiones eléctricas, canalizaciones y trazados de cableado. La siguiente Figura 16 muestra algunos ejemplos en los cuales se debería mejorar la instalación y cableado eléctrico según norma eléctrica vigente, sobre todo por la seguridad de los usuarios y/o quien opere el sistema.



Figura 16: Ejemplos de aspectos de instalaciones eléctricas que deben ser mejorados
Fuente: Elaboración propia en base a trabajo de terreno

Un aspecto que llama la atención es la ausencia de elementos que permitan el monitoreo y seguimiento de los sistemas, como son medidores de presión, de caudal, en la componente hidráulica, como tampoco existen elementos de monitoreo o control de variables (tensión y corriente) en la componente eléctrica.

Estrategias en caso de disminución de agua o sequía:

Desde muchos años la problemática de disponibilidad de agua y sequía es un tema y preocupación permanente en la región. En consecuencia, las entrevistas en terreno permitieron también, escuchar las opiniones de los agricultores que son afectados en forma directa en sus predios.

La siguiente Figura 17 presenta los resultados de las entrevistas en relación a la estrategia de cada uno de los agricultores en caso de disminución de agua de riego o sequía.

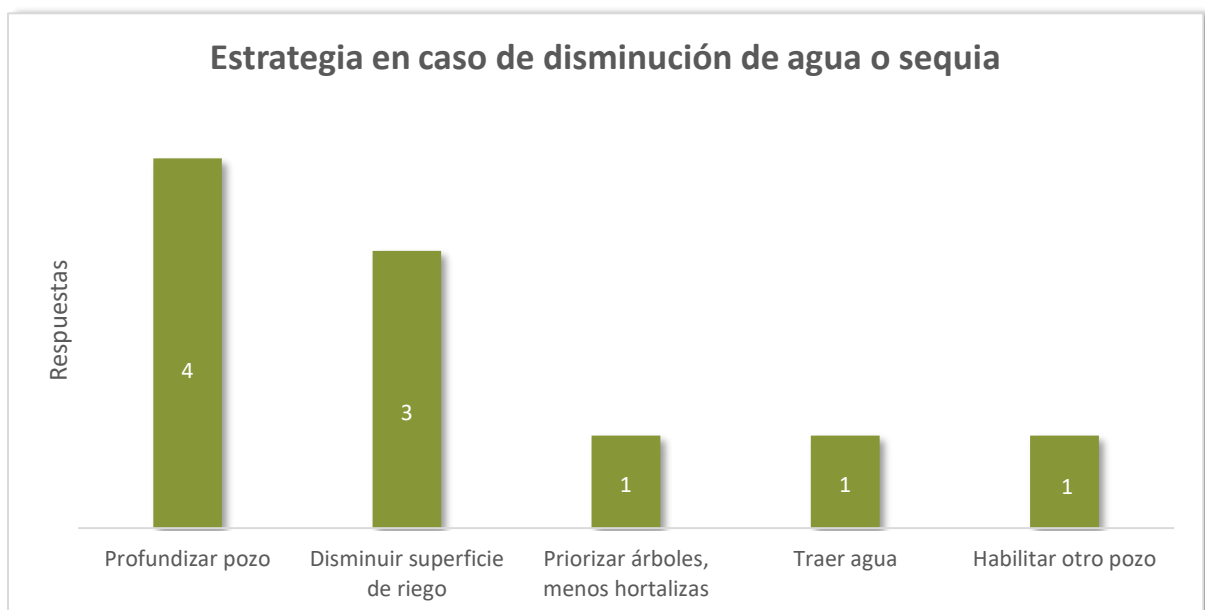


Figura 17: Estrategias de los usuarios frente a los escasos hídrica
Fuente: Elaboración propia en base entrevistas en terreno.

La mayoría de las respuestas (7/11) se refieren a profundizar el pozo existente, traer agua o habilitar otro pozo lo que pone de manifiesto que existe poca percepción acerca de la real disponibilidad de recursos hídricos; por ejemplo, profundizar el pozo existente puede resolver el problema actual pero solamente por muy poco tiempo.

Pero las respuestas indican también que algunos agricultores (36 %) ya aplican medidas más sustentables como por ejemplo disminuir la superficie de riego o priorizar el riego de árboles en vez de regar hortalizas.

Sería interesante explorar si las instituciones y/o programas que prestan asesoría técnica a los agricultores, están desarrollando alguna estrategia de adaptación ante cambio climático, o disminución de la oferta hídrica y mencionar ejemplos que entreguen una solución a estos sistemas productivos.

8.3 Evaluación de beneficios

8.3.1 Aspectos socio-económicos

Todos los agricultores mencionan una mejora de su situación económica después de la instalación y puesta en marcha del sistema solar. Esta mejora se refleja por un ahorro significativo en la cuenta de energía eléctrica (ahorro mensual de aprox. 30.000.- Pesos/ha, ver Tabla 11) y en menor gasto debido a la operación anterior del uso de una motobomba de gasolina o generador diésel (combustible y costos de mantención, ahorro mensual de aprox. 60.000.- Pesos/ha, ver Tabla 11), según es el caso.

Los mayores niveles o aumentos de producción se pueden evidenciar en aquellos casos en que el SPIS reemplaza un sistema basado en el uso de combustible, porque además del ahorro de combustible, se presenta una mayor disponibilidad de tiempo para el agricultor, dada la sencillez de operación del sistema y poca atención requerida (el sistema se detiene cuando no hay sol o cuando no hay agua en el pozo).

La calidad de los equipos de bombeo solar, su larga vida útil y como consecuencia, la confiabilidad técnica es otro aspecto clave sobre todo en comparación con bombeo-riego con grupos electrógenos. La poca confiabilidad técnica y necesidad de reparación y mantención de los equipos de bombeo convencionales (diésel, gasolina) presenta un alto riesgo en la producción agrícola. Los niveles de ingresos, pocas veces permiten reponer el SPIS.

Los precios de los paneles solares fotovoltaicos han disminuido drásticamente en los últimos años lo que hace rentable una serie de aplicaciones de energía solar fotovoltaica. Para cuantificar los costos de bombeo-riego solar y determinar su rentabilidad, se presenta a continuación una comparación de costos y determinación del costo específico del agua ($\$/m^3$) para las siguientes tres alternativas:

- Bombeo solar y riego
- Bombeo y riego con red eléctrica convencional
- Bombeo y riego con grupo electrógeno

Como ejemplo y referencia se considera una parcela de una superficie de 1 ha en la Región de Coquimbo, plantación de cultivos de hortalizas con cintas de riego y una demanda diaria de agua de riego de $V_{\text{día}} = 35 \text{ m}^3/\text{día}$, promedio anual. La siguiente y las Figura 18 y Figura 19, muestran los resultados: para esta parcela, el bombeo solar presenta también en términos económicos la mejor opción, sin embargo, el costo inicial de inversión es elevado, comparado con las otras alternativas.

Destaca también, que el sistema de bombeo solar presenta ventajas en el costo específico sobre la opción de bombeo-riego convencional con la red eléctrica (47 \$/m³ solar vs. 54 \$/m³ red convencional).

Tabla 11: Costos de inversión, operación y mantención, costo específico

Alternativa	Costos		Costo específico de agua en riego \$/ m ³
	Inversión \$	Operación – Mantención \$ - anual	
Bombeo riego solar	3.950.000	80.000	47
Bombeo riego red	1.475.000	342.500	54
Bombeo riego diesel	1.750.000	791.000	98

Fuente: Elaboración propia en base a experiencia del equipo consultor y trabajos anteriores.

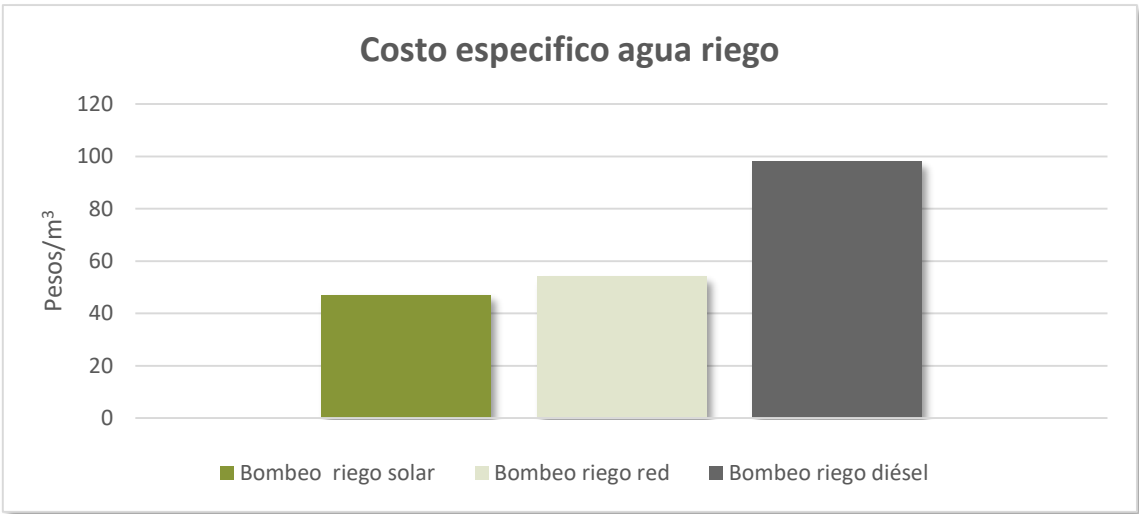


Figura 18: Costo específico de agua de riego, diferentes alternativas
Fuente: Elaboración propia en base a experiencia del equipo consultor y trabajos anteriores.

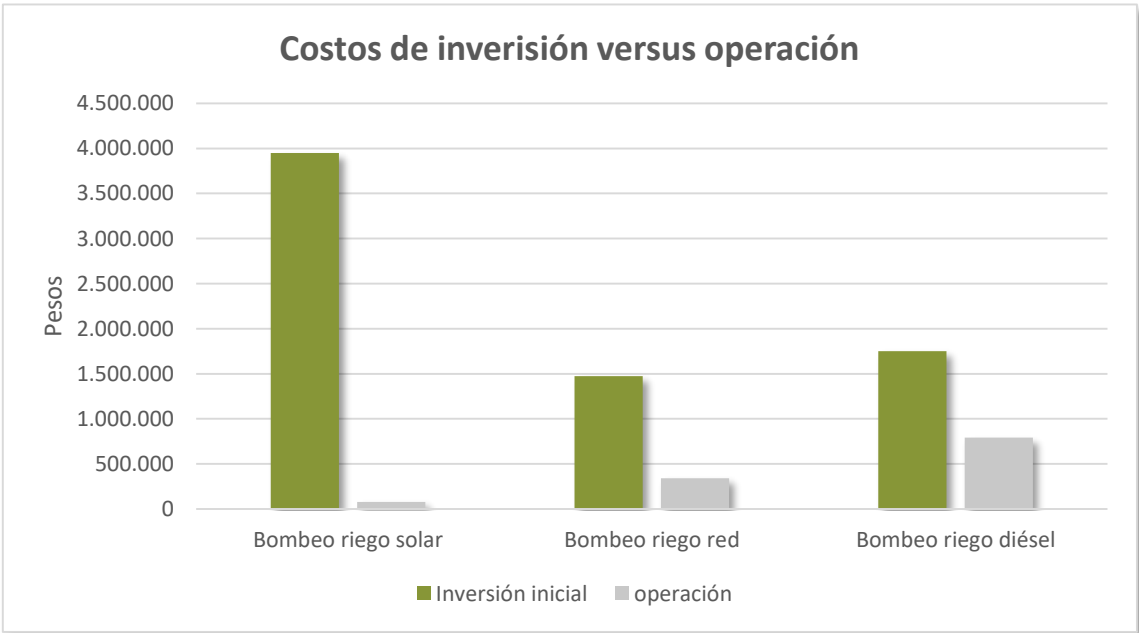


Figura 19: Costos de inversión, operación y mantención, diferentes alternativas
Fuente: Elaboración propia en base a experiencia del equipo consultor y trabajos anteriores.

Un aspecto que parece relevante revisar tiene relación con el tipo de cultivos aptos para la zona, su demanda hídrica y las posibilidades de desarrollo para los agricultores. Es necesario que se puedan introducir, ante perspectivas de escenarios de menor disponibilidad hídrica, especies que requieran menos agua o intensidad de riego, y que presenten una mejor perspectiva de desarrollo económico.

8.3.2 Aspectos medioambientales

Respecto a la emisión de Gases Efecto Invernadero, en los casos donde se han implementado sistemas off grid reemplazando motores o bombas, a gasolina o petróleo, (27%), se han eliminado completamente este tipo de emisiones.

Como referencia, se puede mencionar los datos revisados en terreno y la comparación de operar diferentes alternativas de bombeo y riego, ver capítulo. En el caso de riego de 1 ha de hortalizas con un grupo electrógeno de Diésel se calcula un consumo diario de combustible Diésel de $V_{\text{dia}} = 2,8$ litros/día, esto equivale a un consumo anual de $V_{\text{anual}} = 1.022$ litros/año.

La combustión de Diésel produce 2,64 kg de CO_2 , en resumen, el riego de 1 ha con grupo electrógeno Diésel produce 2.698 kg de CO_2 anual. Una motobomba solar fotovoltaica elimina estas emisiones completamente.

Efectos secundarios, como por ejemplo contaminación de suelos y agua por combustible y aceite, derrames de combustible son difíciles de cuantificar, pero visibles en todos los lugares y parcelas agrícolas que usan motobombas y grupos electrógenos de diésel o gasolina.

9 RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Estos sistemas, que conllevan varios beneficios para los usuarios, cómo lo es la reducción de manera importante de la cuenta de energía, implican una extracción periódica de agua, cuando la fuente es subterránea. Si bien en la mayoría de los casos los volúmenes no parecen ser significativos, sí será necesario evaluar el impacto conjunto en escenarios de restricción hídrica.

Chile ha sido categorizado como un país altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, el cual, se verá reflejado en un aumento de las temperaturas y una disminución de las precipitaciones, o la mayor ocurrencia de eventos extremos, por lo que se torna imprescindible poder establecer ex ante, medidas de mitigación y/o adaptación según sea el caso, como puede ser la introducción de nuevos cultivos de menor demanda hídrica, la construcción de infraestructuras de embalses, planes de infiltración de aguas lluvias, entre otros., relacionadas con la disponibilidad de los recursos hídricos, la producción de alimentos y los menores costos energéticos que proyectan.

En este nuevo escenario, el cual establece una presión sobre los recursos hídricos, es imprescindible que se pueda fortalecer un trabajo conjunto, alineando expectativas, entre los actores del sector agro (INDAP y CNR) y el actor del sector agua (DGA), para planificar adecuadamente el fomento y futuro de los sistemas de bombeo y riego en algunas zonas del país, donde se prevé un complejo escenario (Atacama-Biobío). Se deberán revisar los objetivos definidos para la implementación de los sistemas y su operación, la que se prevé también se vea afectada, dado que los SPIS se diseñan e implementan con un valor fijo de columna de agua, y los cambios en los umbrales (niveles de agua) en el caso de los pozos pueden disminuir por lo que la columna de agua será mayor, respecto al diseño original.

Otro elemento relevante que es necesario revisar, tiene relación con la métrica de los instrumentos de fomento, tanto del sector agro como energía. Actualmente se mide la nueva superficie de riego o los kW instalados con energía fotovoltaica, pero no se hace mención a una huella hídrica o energética, que permita incentivar o comparar el desempeño y eficiencia de las distintas unidades productivas. Podrían incorporarse indicadores como la cantidad de litros o la cantidad de kWh por unidad o kilogramo de producto dentro de los criterios de evaluación de los instrumentos de fomento.

9.1 Gestión hídrica y gestión de información

De los resultados alcanzados en capítulo referente a la hidrología de Coquimbo, se deriva una situación preocupante, ya que si bien las ofertas en términos de precipitaciones no parecen haber tenido un cambio en cantidad y frecuencia en los últimos 31 años (no presentan bajas significativas), si existe la caída significativa de los caudales máximos, lo cual señalaría una posible subida de la isoterma cero, dado que dichos caudales máximos provienen mayoritariamente en estas zonas del nivel de reservas hídricas sólidas en la alta cordillera andina y del correspondiente deshielo.

No obstante lo anterior, lo que surge de los resultados alcanzados es que los caudales promedio caen drásticamente, mucho más que la oferta de agua expresada en las precipitaciones, a lo que se suma la brutal caída del nivel estático de los pozos controlados, que rebasa todo lo anterior. Y este hecho estaría señalando **un gran nivel de consumo de las reservas de aguas subterráneas**, lo cual solo se explica por la altísima demanda que ha explicado el crecimiento económico del país y de la Región de Coquimbo. Si a ello se adicionan las facilidades de todo tipo para que el sector agrícola o el turístico acceda a tecnologías basadas en energías cada vez más baratas, entonces se configura un cuadro de alta demanda que rebasa las ofertas de agua y los equilibrios ecosistémicos en torno a las aguas subterráneas, equilibrio que es muy frágil en zonas áridas y semiáridas y que solo se puede recomponer en largos periodos de tiempo.

El conocimiento y monitoreo de los distintos recursos hídricos, se torna cada vez más crítico dentro de los elementos Nexo (agua, energía y alimentación) y lo será cada vez más en el futuro.

Existen dinámicas hídricas en ciertas zonas del país y sobre todo en la Región de Coquimbo, que requieren un mayor estudio y seguimiento, como es el caso de la delimitación y la recarga natural de acuíferos, por ejemplo, como así también, la correcta cuantificación, control, fiscalización y medición de extracciones. Es decir, se hace necesario e imprescindible conocer la real disponibilidad de agua subterránea, la demanda potencial a ser implementada y la recarga efectiva en el tiempo, de tal forma de poder definir la tasa sustentable de extracción. A este escenario debe adicionarse el impacto del cambio climático y su impacto en esta ecuación, lo que configura un escenario de alta incertidumbre. La actual institucionalidad de DGA presenta limitaciones operativas, en sus atribuciones y presupuestarias para abordar estos desafíos en el corto plazo. Existen programas sin financiamiento, como es el caso del Plan Nacional de Recursos Hídricos; a esto se suma que la DGA además no posee las facultades necesarias para coordinar las competencias del Estado, que tienen relación con el agua, como así también racionalizar el uso del recurso. **Es necesario revisar y actualizar la institucionalidad** de acuerdo a las actuales demandas del país en materia de recursos hídricos.

Dada la limitada capacidad de fiscalización que posee la DGA (no más de 100 a 120 fiscalizaciones por año respecto a los más de 300.000 agricultores), es necesario que la institución pueda disponer de la mayor cantidad información que permita retroalimentar la correcta gestión de los recursos hídricos. Para ello tanto INDAP y CNR deberían informar periódicamente acerca de los nuevos proyectos de riego que se implementen con las distintas fuentes, tanto aquellos que tengan derechos de extracción constituidos, como aquellos que se implementen bajo otras modalidades, como podría ser el autoconsumo (artículo 56 de código de aguas). En base a la información que aporten los servicios (DGA, CNR) y la utilización de imágenes satelitales, podría complementar sus procesos de fiscalización identificando zonas de cultivo o actividad agrícola donde hay derechos de agua constituidos y otras donde no los hay.

Otro elemento que sería recomendable evaluar es la creación de un registro nacional de máquinas perforadoras, que además obligue a registrar cada nueva operación de perforación que se realice y ésta retroalimentar la información de extracciones, registros y catastros de derechos de aprovechamiento disponibles, a fin de focalizar las futuras fiscalizaciones

Una mejor coordinación de los organismos técnicos (DGA, DOH, CNR e INDAP) del agua permitiría y avanzar hacia una base de datos unificada, que registre los usuarios y extracciones, son a saber, los elementos básicos que se requieren para un uso racional y sustentable del recurso hídrico en Chile. Una medida fundamental considera además el diseño e implementación de una red de monitoreo de niveles de agua subterránea en pozos representativos en las regiones del norte para bombeo convencional y solar, como elemento de partida.

El escenario actual y futuro requiere de liderazgos para la sustentabilidad productiva y ambiental del agua, frente a su evidente escasez, que parece incrementarse ante las sequías extremas producto del cambio climático y al desconocimiento acerca de cómo funcionan los ecosistemas en relación a los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

9.2 Programas de fomento

Es altamente recomendable, para la sustentabilidad de las inversiones en riego, que se pueda **mejorar el conocimiento de los recursos hídricos, previo a estas inversiones**. Una alternativa viable sería asignar recursos complementarios a estudios o campañas que tiendan a conocer la disponibilidad de

recursos hídricos. En cualquier caso, el sector debiera contar con alguna retroalimentación de la DGA, previo a la planificación de inversiones.

Respecto a los proyectos, es necesario que las instituciones puedan revisar la factibilidad de incorporar los elementos mencionados en el punto 9.3, como así también evaluar cuando los proyectos implementados tienen el objetivo de viabilizar un proyecto productivo de riego o en los casos en que la instalación contribuye principalmente a rebajar los costos energéticos operacionales.

En este último caso es recomendable que se evalúe, para los casos donde existe conexión a red, un programa en conjunto con el Ministerio de Energía para que se considere sólo la instalación de elementos de generación fotovoltaica, conectados a la red en el marco de la ley 20.571, ya que, de esta manera, el usuario podrá inyectar los excedentes de energía que se generen, obteniendo mayores ahorros en sus cuentas y el Estado puede lograr una mayor cobertura con los mismos recursos. Esto implica reformular algunos programas que posee INDAP (PRI, PDI) o crear uno nuevo, que se recomienda sea intersectorial.

Otro elemento que se recomienda sea evaluado por parte de INDAP, principalmente, está relacionado con la mantención preventiva de los sistemas. Actualmente se constató que prácticamente ningún usuario o programa se preocupa de la mantención o limpieza de los sistemas de bombeo, lo que ha significado fallas, las cuales son solucionadas en la mayoría de los casos con una nueva instalación de bombeo. Esta modalidad de sistemas “desechables”, dado que se utilizan mientras funcionen y posteriormente, son reemplazados por medio de otro instrumento de fomento, significa una pérdida de recursos.

Se debiera evaluar, la destinación de un porcentaje del monto de inversión que tiene INDAP en su programa de riego para la mantención, ya sea con personal propio o de terceros, de los equipos de bombeo fotovoltaico, por las economías de escala que se pueden generar.

El personal de INDAP, principalmente los encargados de proyectos de riego en cada área deberían poseer conocimientos intermedios acerca de los sistemas de bombeo fotovoltaico y la tecnología solar para que sean capaces realizar extensión y reforzamiento del conocimiento hacia los usuarios, en materias de detección oportuna de fallas y labores de mantención.

Junto a la entrega de instrumentos de fomento, INDAP y otros organismos relacionados debieran fortalecer el rol de asistencia técnica que poseen algunos de sus programas. Es imprescindible evaluar la introducción de cultivos o variedades resilientes a la sequía o estrés hídrico, junto con las recomendaciones técnicas necesarias para el adecuado manejo de la especie.

Dado el nivel de importancia que tiene el desarrollo de los SPIS o la incorporación de sistemas de energía renovable dentro de las unidades productivas, es recomendable que los actuales programas sean evaluados con una mirada social y para ello es recomendable que se puedan utilizar los instrumentos y experiencia que posee el Ministerio de Desarrollo Social, en especial aquellos que incorporan la evaluación social de proyectos en materias electrificación rural e incorporación de tecnologías con energías renovables.

Los usuarios juegan un rol fundamental, ya que son ellos los que están en contacto directo con los sistemas, registran las distintas condiciones de operación y reciben los beneficios.

Un elemento que llamó la atención durante las entrevistas tiene relación con las acciones que realizarían los usuarios ante una disminución de los recursos hídricos disponibles al momento de la visita. La mayoría de ellos indicó que como solución buscarían profundizar el pozo existente o ver la forma de proveer agua a sus cultivos. En algunos casos existen antecedentes de robo de agua en otras regiones, por lo que es un tema de especial sensibilidad.

Esta respuesta evidencia que ante un escenario de escasez o restricción hídrica no existen planes de acción y/o mitigación que sean sustentables a mediano plazo, como podría ser el cambio de cultivo

por otro de menos demanda hídrica, la reducción de la superficie actual, o en algunos evaluar el pago por no uso de agua.

El establecimiento de medidas de adaptación o mitigación hacia los usuarios se torna fundamental, dado que, en la mayoría de los casos, el sustento de los sistemas productivos prediales se basa en el recurso hídrico, por lo que una variación de niveles de agua en los pozos, que inhabilite el sistema de bombeo, por ejemplo, generará en la mayoría de los casos un colapso de esas unidades, por lo que crecerá la presión de ayuda hacia por parte del Estado.

9.3 Diseño e implementación de SPIS

Dentro de la información que se tuvo acceso sobre los sistemas instalados y la visita a terreno efectuada a la región de Coquimbo, se puede observar que existen oportunidades de mejora, las cuales se sugiere sean revisadas para la implementación de proyectos futuros.

- a) Monitoreo: En general se observa una ausencia de elementos que permitan el monitoreo y seguimiento acerca de la operación de los sistemas de bombeo o riego fotovoltaico. Es recomendable que en el diseño o en las especificaciones técnicas que definan los distintos programas o instrumentos de fomento, se puedan considerar a lo menos los siguientes elementos:
 - i. Contador volumétrico: que permita medir el agua que es bombeada por el sistema y entregada al área de riego en expresión de volumen y caudal.
 - ii. Medidores de presión: en la línea de salida de la bomba y en caso de existir filtro debiese ser antes y después del filtro.
 - iii. Medidor de nivel de agua: En los casos en que la fuente hídrica sea un pozo, se recomienda, dado los bajos costos de los elementos electrónicos, que se pueda implementar un medidor que entregue información al usuario e idealmente que almacene datos para contribuir al monitoreo de recursos hídricos.
- b) Seguridad de las instalaciones: Si bien en los últimos años se ha perfeccionado y/o establecido una normativa para los sistemas de bombeo fotovoltaico, es necesario normalizar los sistemas existentes en especial con atención a los siguientes elementos:
 - i. Protecciones eléctricas: todos los elementos de generación con energía renovable deberían poseer a lo menos un dispositivo de protección que resguarde la seguridad de las personas y equipos.
 - ii. Conexión a tierra: Elemento necesario como medida de seguridad hacia las personas que operan los distintos sistemas de bombeo fotovoltaico, donde los controles o interruptores de los equipos de bombeo están adosados a la estructura donde se alojan los paneles fotovoltaicos.
- c) Estructura y ubicación de la unidad de generación fotovoltaica: Dado el objetivo que persiguen los sistemas de bombeo, que es satisfacer la demanda hídrica de las distintas unidades productivas durante la temporada de riego, merece atención de ser revisado el tipo de estructura que se emplea y la inclinación y orientación que presentan las instalaciones de la

unidad de generación fotovoltaica, cuyos valores deben estar optimizadas y adaptados para el sitio de instalación.

- i. En el caso de instalación fija (sistema de bombeo hacia estanque, por ejemplo) su orientación debe ser hacia el norte geográfico y la inclinación deber ser aquella que permita obtener la mayor cantidad de energía en el mes de máxima demanda, de acuerdo a la latitud del sitio.
 - ii. Para el caso del riego directo con energía fotovoltaica, se recomienda el uso de un seguidor solar (solar tracker) o la instalación de los paneles solares en orientación este y oeste.
- d) Equipo de bombeo solar: En los sistemas clásicos de bombeo solar, la unidad del inversor viene con la motobomba como conjunto, en un paquete completo. El diseño e instalación de estos sistemas son bastante sencillas, y las compañías que desarrollan estos productos han desarrollado buenas herramientas computacionales para facilitar estos fines. Además, la eficiencia de estos equipos es bastante alta, contra un costo de inversión y reposición que también es relativamente alto.
- i. En los últimos años el mercado presenta más variedad en la selección y compra de estos equipos y algunos proveedores ofrecen inversores de frecuencia variable para la aplicación de bombeo solar, compatibles con bombas eléctricas convencionales. Si bien, este último caso reduce el costo de inversión para estos sistemas, como contrapartida se requiere de mayor conocimiento para el diseño y configuración.
 - ii. Se recomienda en la etapa de diseño, de acuerdo al objetivo del proyecto, elegir la configuración más adecuada para cada caso específico.
- e) Conexión a red: En aquellos lugares donde existe conexión a red eléctrica, se sugiere evaluar la implementación de sistemas de bombeo, con la generación de energía fotovoltaica conectada bajo la modalidad de Netbilling. Esto permitiría que la energía que se genera cuando no se está utilizando el sistema de bombeo, sea inyectada a la red, ya sea para autoconsumo por parte del usuario o para su valoración en el marco de la Ley N° 20.571.
- f) Puesta en marcha y checklist: Se recomienda efectuar una puesta en marcha de cada sistema y revisar un checklist después de la instalación para comprobar en terreno el funcionamiento correcto del sistema, previa recepción por parte del usuario o contraparte técnica.

9.4 Desarrollo de capacidades

Otra componente que es necesario abordar, tiene relación con la capacitación adecuada para todos los diferentes actores, además, educación y la generación de capacidades en el buen uso del agua y la gestión de recursos hídricos. Si bien en la mayoría de los casos se pudo constatar una tendencia hacia la tecnificación de los sistemas de riego, con la incorporación de riego por goteo o micro aspersión, es necesario que los usuarios puedan ser educados en el uso racional del recurso y cómo ahorrar agua donde sea factible. La región de Coquimbo presenta buenos antecedentes en esta línea, dado su largo período de escasez hídrica, por lo que la mayoría de los usuarios está sensibilizada.

Fundamental resulta también incorporar el concepto de monitoreo como un elemento central dentro de la gestión de recursos hídricos, por parte de los usuarios, para que sea visto no cómo una fiscalización por parte de la autoridad, sino como un elemento de retroalimentación hacia los programas de fomento, necesario para la gestión y sustentabilidad de los recursos hídricos, el cual les permita a ellos autogestionar el uso de sus sistemas de acuerdo a la disponibilidad hídrica.

Los usuarios en general buscan maximizar sus ingresos económicos, por lo que introducen especies que no siempre son las adecuadas para la zona, o requieren mayor agua que la disponible. En necesario revisar de qué manera se puede cumplir el objetivo que buscan los usuarios y, por otro lado, mejorar la sustentabilidad de las unidades productivas bajo este concepto.

9.5 Priorización de las recomendaciones.

En el taller de trabajo que se realizó en CEPAL el día 9 de agosto, se presentaron las conclusiones y recomendaciones a los asistentes, (ver listado en anexo 4) quienes después de una sesión de trabajo, priorizaron las medidas que consideran fundamentales para el desarrollo del Nexo y SPIS en Chile.

Entre las medidas priorizadas destacan las siguientes:

Medida	Acciones	Prioridad
Coordinación Institucional	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar canales de comunicación e información entre instituciones. Alinear metas institucionales comunes Incorporar NEXO dentro de las políticas públicas. Establecer una mirada común sobre la temática NEXO en las instituciones. 	1
Manejo de información	Establecer una base de datos común y mejorar la disponibilidad de información hídrica y de proyectos	2
Desarrollo de capacidades y transferencia del conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar conocimiento y formación en recursos hídricos. Mejorar la oferta de Educación técnico profesional en las temática NEXO, en especial en temas hídricos. Capacitar en gestión de agua transversalmente (Usuarios, funcionarios públicos, etc.) 	2
Instrumentos de fomento	<ul style="list-style-type: none"> Definir indicadores objetivos en los instrumentos de fomento (cambiar superficie por eficiencia, por ejemplo). Establecer mecanismos para la medición, verificación, reporte (MRV) en los programas e instrumentos relacionados con SPIS. 	3

	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar información acerca de la disponibilidad sobre recursos hídricos para los distintos programas. • Fomentar la eficiencia en el uso del agua. • Transversalizar, no solo financiar iniciativas, sino dar respuesta a necesidades de usuarios, e incorporar el monitoreo 	
--	--	--

Transversalmente, la medida identificada más urgente de implementar está relacionada con establecer un canal de comunicación o instancia de coordinación en los organismos del sector público, mencionados e identificados en las páginas previas del este documento, que permita trabajar el tema Nexo de manera integral en las políticas públicas. Establecida esta instancia se podrá discutir y establecer una hoja de ruta que, por un lado, garantice la sustentabilidad de los SPIS, y se puedan revisar y mejorar los programas e instrumentos de fomento que los promueven.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambiente., D. d. (2017). *Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022*. Santiago: Ministerio del Medio Ambiente.
- Best, S. (2014). *Growing Power: Exploring energy needs in smallholder agriculture*. Londres: IIED.
- Brears, R. C. (2018). *The Green Economy and the water-energy-food nexus*. UK.
- CNE. (Diciembre de 2017). Norma técnica de calidad de servicio para sistemas de distribución. Santiago.
- DIPRES. (27 de 12 de 2017). *Dirección de presupuestos*. Obtenido de http://www.dipres.gob.cl/597/articles-172496_doc_pdf.pdf
- DIPRES. (2018). *Ley de presupuestos 2019*. Santiago.
- DIPRES. (2019). *Formulario A1 ficha definiciones estratégicas año 2019-2022*. Santiago: Dipres.
- EMOL. (9 de Mayo de 2017). *Capital Humano*. Obtenido de EMOL: <https://capitalhumano.emol.com/6100/chile-pais-ocde-menos-invierte-id-relacion-pib/>
- ENERCTEC SpA. (2016). *Evaluación de los proyectos de energía solar fotovoltaica cofinanciados por INDAP Y por la CNR*. Santiago.
- EU Energy Initiative Partnership Dialogue Facility/GIZ . (2013). *Productive Use of Energy*. Eschborn.
- FAO. (2006). *Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación*. Roma.
- FAO. (2009). *Cerrar la brecha*. Roma.
- FAO. (2011). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2010-211*. Roma: FAO.
- FAO. (2014). *Agricultores familiares*. Roma: FAO.
- FAO. (2017). *El Estado mundial de la Agricultura y la Alimentación*. Roma: FAO.
- FAO/UNIDO. (2008). *Agricultural mechanization in Africa. Time for action*. Roma: FAO.
- Ferreyra, R., & Tosso, J. (1984). Manejo de riego por goteo. *Ipa, La Platina N° 25, 27*.
- Gobierno de Chile. (13 de 02 de 1990). <https://www.leychile.cl>. Obtenido de <https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30282&buscar=18910>
- Granada, R., Pizarro, R., & Schmidt, R. (2018). *Transversalización del enfoque Nexo en el contexto del bombeo solar para riego*. Santiago: NEXO CEPAL-GIZ / BMZ-EU.
- Herrera Muñoz, R. (2009). *Estudio sobre turismo rural en Chile*. Valdivia: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura- IICA Oficina en Chile.
- INDAP. (2014). *Lineamientos Estratégicos 2014-2018*. Obtenido de <https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/lineamientos-estrategicos.pdf>
- INDAP. (2018). *INDAP 2014-2018 Acciones y Resultados*. Santiago: INDAP.
- INDAP. (2018). *La Agricultura Familias Campesina en Chile y Los Usuarios de INDAP*. Santiago.
- INE. (2007). *Informe Metodológico VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal*. Instituto Nacional de Estadísticas.
- Lars Ribbe, M. A.-S. (2017). *Nexus Outlook: assessing resource use challenges in the water, energy and food nexus*. Köln: Nexus Research Focus, TH-Köln, University of Applied Sciences.
- Marin, C. (04 de 2018). *Camara Chileno Americana de Comercio*. Obtenido de <https://www.amchamchile.cl/2018/04/el-gran-reto-para-convertir-a-chile-en-potencia-agroalimentaria/>
- Marín, C. (04 de 2018). *Camara Chileno Americana de Comercio*. Obtenido de <https://www.amchamchile.cl/2018/04/el-gran-reto-para-convertir-a-chile-en-potencia-agroalimentaria/>
- Ministerio de Desarrollo Social. (05 de 2013). *Marco Logico*. Santiago.

- Ministerio de Energía. (2018). *Ruta Energética 2018-2022*. Santiago.
- ODEPA. (2016). *Desafíos y políticas sectoriales para una agricultura competitiva, inclusiva y sostenible al año 2030. Visión desde las regiones*. Santiago: ODEPA.
- ODEPA. (2017). *Agricultura Chilena, Reflexiones y desafíos al 2030*. Santiago: Centro de Información Silvoagropecuaria (CIS).
- Ortegón, E., Pacheco, J. F., & Prieto, A. (2005). *Metología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas*. Naciones Unidas.
- Pizarro, R. (21 de 06 de 2018). Obtenido de El Mostrador:
<http://www.elmostrador.cl/noticias/opinion/columnas/2018/06/21/el-agua-deuda-cientifica-de-chile/>
- Practical Action. (2013). *Annual Report*. Warwickshire.
- RIMISP & DEMOSCOPICA. (2018). *Línea Base de los usuarios de INDAP 2015*. Santiago.
- Ruiz, R. (2015 de Agosto de 2015). *Gobernanza del Agua para asegurar su disponibilidad*. (M. CHILENA, Entrevistador)
- Santibañez, F. (2016). *El cambio climático y los recursos hídricos de Chile*. Santiago de Chile.: ODEPA.
- UNESCO. (2015). *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo*.
- UTZ. (2011). *UTZ Certified Annual Report*. Amsterdam.

11 ANEXOS

Anexo 1: Prueba de Mann-Kendall

Anexo 2: Alternativas de sistemas de bombeo con fotovoltaico

Anexo 3: Encuesta aplicada en visita a terreno Coquimbo

Anexo 4: Minuta reunión taller

Anexo 1: Mann-Kendall

El test estadístico Mann-Kendall ha sido utilizado frecuentemente para calcular la significancia de tendencias en las series de tiempo hidrometeorológicas. La principal razón de aplicación de este test, en relación con otras técnicas paramétricas, radica en ser el indicado para distribuciones que no presentan normalidad estadística (Song et al., 2012), como frecuentemente sucede con las series hidroclimatológicas. Este estudio presenta la aplicación del test Mann-Kendall para estimar tendencias temporales en los caudales máximos (Puertas et al., 2011).

El test comprueba una posible hipótesis nula de ninguna tendencia, H_0 , es decir, las observaciones x_i se ordenan de forma aleatoria en el tiempo. Al contrario, la hipótesis alternativa H_1 , señala que hay una tendencia positiva o negativa.

Para su cálculo, esta prueba requiere primeramente del estadístico S de Kendall y de su varianza $Var(S)$. Con ellos se obtiene un estadístico Z estandarizado cuando el tamaño de la muestra es mayor o igual a 8 (Yue et al., 2002), cuyo signo y valor determinará la orientación y significancia de la tendencia, respectivamente. Para el estadístico S , se utiliza la siguiente expresión:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{signo}(x_j - x_k)$$

Donde la función $\text{signo}(x_j - x_k)$ se describe como:

$$\text{signo}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{si } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{si } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{si } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Donde x_j y x_k son valores consecutivos de la variable en estudio. Luego, la varianza $Var(S)$ se describe como:

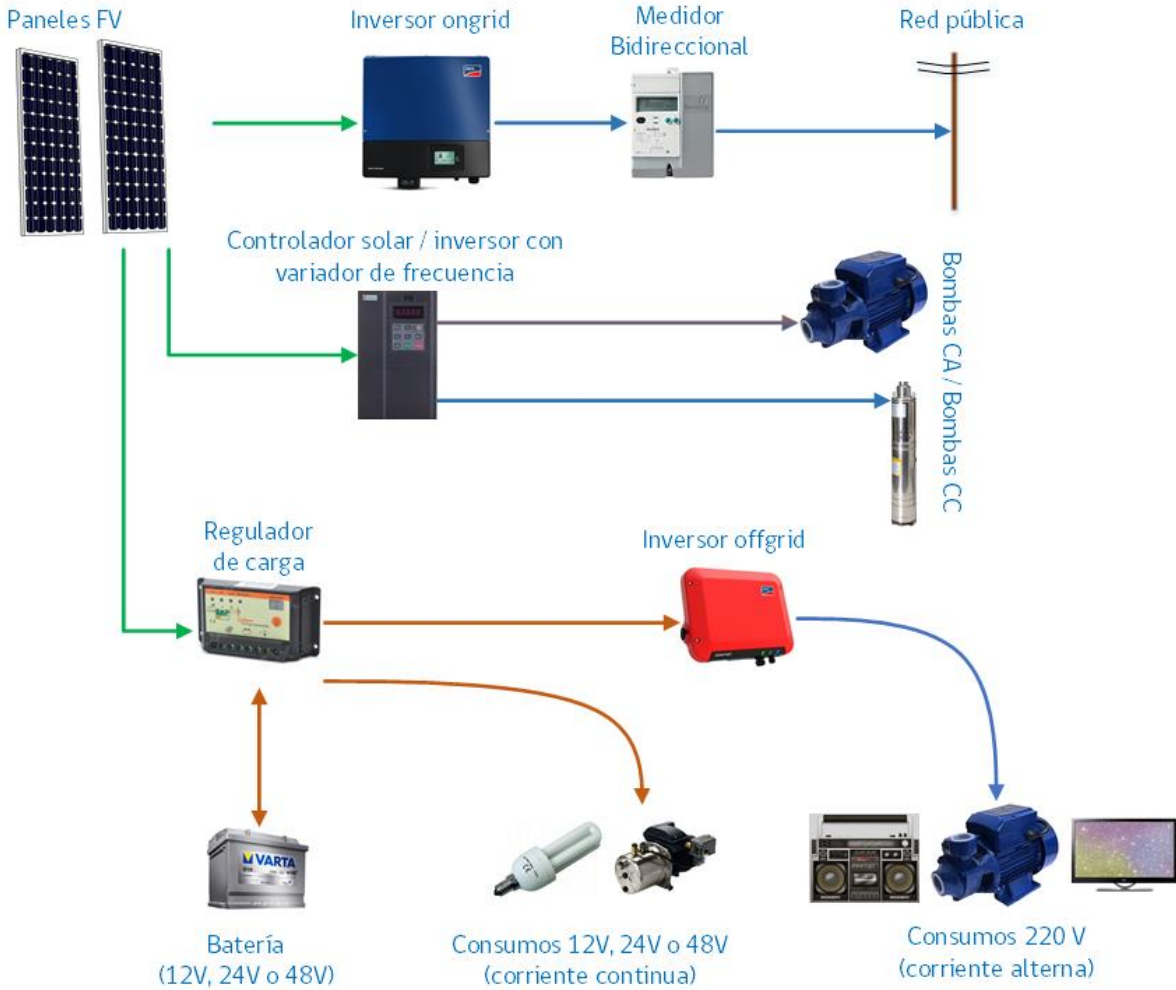
$$Var(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

Con estos valores, se evalúa la expresión del estadístico Z :

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & ; \text{ si } S > 0 \\ 0 & ; \text{ si } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & ; \text{ si } S < 0 \end{cases}$$

Finalmente, para verificar la significancia de la tendencia se contrasta el estadístico Z obtenido con los valores tabulados de la distribución normal.

Anexo 2: Alternativas de sistemas de bombeo con fotovoltaico



Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Encuesta aplicada en visita a terreno Coquimbo

SISTEMA DE BOMBEO

N° ficha		Fecha	/05/2018
----------	--	-------	----------

Identificación del beneficiario

Nombre		Apellido		RUT	Edad	Sexo	Teléfono
Nivel educación		Grupo Familiar		Antigüedad en terreno		Mail	
Predio							
Región	Comuna	Coord. X	Coord Y	Sup Total	Sup Riego	Tenencia	

Energía

	Si	No	N° Cliente	Empresa
Conexión a red Eléctrica				
Monofásica			Potencia	
Trifásica				
Generador				
\$/ temporada				

Energía Renovable & Bombeo

Potencia instalada		N° paneles		Marca
Inversor		Potencia		
Baterías				
Tipo bomba		Profundidad		
Año instalación				
Mantenciones				
Fallas				

Recursos hídricos

Tipo fuente	Caudal	Profundidad	N. Max	N. Min	Años secos	Recuperación
Pozo						
Canal de riego						
otro						
D° de agua		Época de uso				
¿Dispone de agua para ampliar superficie?						

Estrategia en caso de disminución de agua	
¿Permitiría medir el agua que usa?	

Cultivo

Especie					
Edad					
Marco de plantación					
Nivel de producción					
Recibe asesoría técnica					

Sistema de riego existente

Goteo		Tipo		
aspersores				
surcos				
Otro				
¿Por qué selecciono este método de riego?				

Evaluación económica

Ingresos estimados				
¿Mejora situación económica con SPIS?				
¿Es capaz de reponer el sistema en caso de fallas?				
Financiamiento		Monto		Aporte

Observaciones y antecedentes

Anexo 4: Minuta reunión taller

Santiago de Chile, CEPAL, Salón Ejecutivo, 9 de agosto 2018

REUNIÓN DE TRABAJO: TRANSVERSALIZACIÓN DEL ENFOQUE NEXO EN EL CONTEXTO DE BOMBEO SOLAR PARA RIEGO EN CHILE

Como parte de las actividades de cierre del trabajo de consultoría solicitado por GIZ, en relación a la transversalización del NEXO en el contexto del bombeo solar para riego en Chile, se realiza un taller en el cual se presentan los principales resultados del estudio, y posteriormente se otorga un espacio de participación y diálogo a los asistentes.

En este espacio de participación, se plantea que si bien el tema nexo posee múltiples dimensiones desde las cuales puede ser abordado, es necesario focalizar y definir cuál es el alcance con que se pretende abordar en esta iniciativa en Chile, puntualizando que se quiere lograr o que brechas son necesarias subsanar.

En el marco de los objetivos del estudio, como punto de partida, se resalta que el enfoque principal que se quiere abordar en esta instancia se focalizará en:

- a) Coordinación – Institucionalidad
- b) Instrumentos de fomento
- c) Gestión de recursos hídricos
- d) Bombeo fotovoltaico
- e) Capacitación

Otro tema relevante que se plantea como necesario abordar por parte de los asistentes, tiene relación con el componente social que tiene NEXO, dado el rol del usuario en la adopción tecnológica, para los cuales en muchos casos la incorporación de sistemas de bombeo fotovoltaico, derriba barreras que posibilitan el desarrollo de nuevos suelos productivos, o generan ahorros de costos energéticos significativos, por lo que es necesario un mejor acompañamiento y asesoría técnica a los usuarios y beneficiarios de los programas.

Además, se plantea que es necesario avanzar en los estudios de tendencias hidrológicas y cambio climático, considerando que el tema NEXO no es solo agua-energía-alimentación, sino también el tema suelo y la gestión integrada de cuencas. Este tema es vital importancia y debe ser discutido a los más altos niveles del país, a fin de evitar las miradas sectoriales, considerando un tema fundamental en la capacitación de los actores, tanto públicos como privados, en la gestión de los recursos hídricos.

Existe concordancia transversal en que el recurso agua, es el factor más crítico en el tema NEXO para el caso de Chile, en la zona centro norte del país

Dentro de las iniciativas que se mencionan relacionadas con NEXO, existe una experiencia de coordinación que ha desarrollado CORFO en el norte chico, con buenos resultados desde el punto de vista de convocar distintos actores y sumar esfuerzos, en especial incorporando tecnologías al sector agro (Smart agro solar) y con talleres de innovación social. Dentro de la metodología mencionan la elaboración de un marco integrado de coordinación de iniciativas de fomento, el cual ha permitido un conocimiento transversal de los proyectos de cada institución que participa.

El elemento que más resalta dentro de la discusión, es la falta de coordinación sectorial e institucional, como así también la falta de intercambio de información. **También es relevante una mirada integral del recurso hídrico** y que se esté sea preponderante dentro de las políticas públicas, sobre todo en las políticas relacionadas con el territorio.

Después de la discusión general se realiza una sesión de trabajo grupal, para lo cual los asistentes se dividen en tres grupos, dentro de cada cual se analizan y discuten los 5 temas que se priorizaran en esta instancia. Se les solicita seleccionar los 3 que consideren más relevantes y exponerlos en una reunión plenaria.

De los resultados del proceso de discusión grupal, se presentan los temas relevados por cada grupo, en tres categorías, los cuales se repiten de manera transversal:











Coordinación Institucional	Gestión del conocimiento y transferencia de capacidades	Instrumentos de fomento
<ul style="list-style-type: none"> •Es urgente mejorar mejorar canales de comunicación e información entre instituciones. •Falta alinear metas institucionales comunes •Incorporar NEXO dentro de las políticas públicas. •Se requiere una mirada común sobre la tematica NEXO en las instituciones. 	<ul style="list-style-type: none"> •Mejorar conocimiento y formación en recursos hidricos. •Mejorar la oferta de Educación técnico profesional en las tematica NEXO, en especial en temas hidricos. •Capacitar en gestión de agua transversalmente (Usuarios, funcionarios publicos, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> •Indicadores objetivos. •Medición, verificación, reporte (MRV). •Mejorar información disponible sobre recursos hidricos. •Fomentar la eficiencia en el uso del agua. •Tranverzalidad, no solo financiar iniciativas, sino dar respuesta a necesidades de usuarios, e incorporar el monitoreo

También se mencionan como relevantes las actividades de difusión y extensión, que permitan conocer las distintas iniciativas que se desarrollan en el ámbito NEXO, además de compartir la información que se genere.

Una iniciativa interesante de resaltar tiene relación con la falta de disponibilidad de información sobre recursos hídricos, la cual se podría avanzar de manera similar a como está hoy disponible la información sobre recursos energéticos en el Ministerio de Energía (explorador solar y eólico).

Otro tema que se menciona como necesario de evaluar, es la incorporación de opciones tecnológicas de desalinización a pequeña escala, para mejorar la disponibilidad de agua dulce a nivel de caletas o comunidades costeras, como así también en ir evaluando su viabilidad de incorporación para algunas cuencas.

Se solicita distinguir entre acciones corto plazo y largo plazo, en base a la legislación vigente en el país. Finalmente se solicita a cada institución que mencionen cuales pueden ser los aportes que podrían realizar a los 5 temas mencionados, con el fin de evaluar los siguientes pasos de NEXO en Chile:

	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrece plataforma de instrumentos con capacidad para convocar y coordinar acciones con distintos actores. • Menciona como ejemplo IFI AGUA: 2 pilotos con ER (pilotos Nexo) pronto a cerrar la fase de estudios: a) interconexión de 2 APR: Chungungo y la Higuera con desaladora existente y energía renovable y b) estudio desalación con uso de mar industrial a 30 grados.
	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrecer información estable con actores relevantes (CNR-DOH). • Recomienda crear un “fondo común” donde lleguen todas las respuestas de DGA y que puede ser visto por todos: publicación, revisión entre pares.
	<ul style="list-style-type: none"> • Propone una próxima reunión en la cual se puede presentar resultados de evaluación SPIS (ENERGIA-INDAP). • Propone trabajar en una base de datos concreta sobre recursos hídricos dentro de INDAP para
	<ul style="list-style-type: none"> • Colocar la información disponible de ODEPA sobre recursos hídricos y sueño, y en especial apoyar en labores de coordinación.
	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo en coordinación y respaldo a actividades relacionadas con NEXO • Ampliar y mejorar convenios existentes con INDAP y CNR.
	<p>Se ofrece como rol articulador en mesas de trabajo en base a al trabajo que realizan con INDAP, DGA, ENERGIA.</p>
	<p>Trabjará el tema de gobernanza del agua, y tiene pensado desarrollar un estudio en Chile, con el grupo de políticas agroambientales. Puede ser posible incorporar indicadores WEF.</p>
	<p>Levantar tema de agua en política de ordenamiento territorial para incorporarlo como tema relevante.</p> <p>Sostener conversaciones con DIPRES acerca de evaluación de programas para conocer que programas se están evaluando y cómo se hace.</p>
	<p>Fomento a la investigación en torno al agua para retroalimentar las políticas públicas en torno al agua.</p>
	<p>Ofrecen sus instalaciones como centro de reunión y colocan a disposición toda la información y experiencia NEXO en otros países.</p>

Listado de asistentes al taller

Institución	Participantes
CEPAL	<ul style="list-style-type: none"> • Andrei Jouralev, Oficial para Asuntos Económicos, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
GIZ	<ul style="list-style-type: none"> • Reinaldo Peñailillo, Programa Diálogos Regionales NEXO CEPAL-GIZ / BMZ-EU Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH • Ramón Granada, Consultor GIZ • Roberto Pizarro, Consultor GIZ • Reinhold Schmidt, Consultor GIZ
CORFO	<ul style="list-style-type: none"> • Patricia Fuentes, Asesor senior agricultura, División capacidades tecnológicas. • Orlando Acosta, Consultor
INDAP	<ul style="list-style-type: none"> • Jorge Ulloa, Asesor Director Nacional • Carolina Sepulveda, Jefe Equipo de Energía Convenio INDAP – Subsecretaría de Energía Departamento de Riego y Energía División de Fomento.
DGA	<ul style="list-style-type: none"> • Juan Jose Crocco, Asesor Director Nacional • Adrián Lillo, Jefe División de Estudios y
Ministerio de Energía	<ul style="list-style-type: none"> • Marcel Silva, Jefe unidad autoconsumo, División Energías Renovables. • Marcelo Martinez, Profesional, División Energías Renovables.
CNR	<ul style="list-style-type: none"> • Jaime Yañez, Coordinador Unidad de Políticas División Estudios.
ODEPA	<ul style="list-style-type: none"> • Daniel Barrera, Sectorialista Forestal, Apicultura y Energía.
Ministerio Desarrollo Social	<ul style="list-style-type: none"> • Andrea Alvarado, Jefa División Evaluación Social de Inversiones.
FAO	<ul style="list-style-type: none"> • Sally Bunning, Oficial Principal de Sistemas Agrícolas, Tierras y Aguas. Santiago, Chile. • Emanuel Salgado, Profesional Sistemas Agrícolas, Tierras y Aguas. Santiago, Chile.

