CNR
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

yo cuido el agua

ESTUDIO BÁSICO
DIAGNÓSTICO, EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y ACUMULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS (SCALLS)

RESUMEN EJECUTIVO

2024

REALIZADO POR

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO

Wilson Ureta Parraguez
Director Ejecutivo

Marianela Matta Lagos
Jefa División de Estudios, Desarrollo y Políticas

Norberto Werner Sánchez
Coordinador Unidad de Estudios

Leonardo Machuca Silva
Supervisor del Estudio

Cristian Navarrete González
Especialista agronómico

Gustavo Roa Figueroa
Especialista agronómico

Patricio Espinoza Caniullán
Especialista SIG.

Tamara García Quevedo
Especialista en Recursos Hídricos

Karina Pilquil Alecoy
Especialista PAC

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

L. Octavio Lagos Roa
PhD, Ingeniero Civil Agrícola
Jefe de Estudio.

Andrés Pérez Barriga
Mag. Ingeniero Civil Agrícola
Coordinador y Especialista SIG.

José Contreras Urízar
Ingeniero Agrónomo
Especialista en diseño de proyectos de riego.

Henry Murillo López
Ingeniero Agrónomo
Encuestador

Susana Villar Gómez
Mag. Ingeniero Comercial
Especialista económico.

Blanca Rivera Flores
Antropóloga
Especialista Ciencias Sociales.

Oscar Viveros Pino
Ingeniero Civil Agrícola
Apoyo Técnico

Erick Ruiz Estrada
Ingeniero Civil Agrícola
Apoyo Técnico

Katherine Pávez Ulloa
Ingeniera Ambiental
Apoyo Técnico

INDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN 5

2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO 7

2.1 Objetivo general 7

2.2 Objetivos específicos 7

3 ANTECEDENTES TERRITORIALES 8

4 UNIVERSO DE SCALLS 9

5 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE LOS SCALLS 10

5.1 Región de O'Higgins 10

5.2 Región de Maule 11

5.3 Región de Ñuble 13

5.4 Región de Biobío 14

5.5 Región de La Araucanía 16

5.6 Región de Los Ríos 17

5.7 Región de Los Lagos 18

5.8 Región de Aysén. 19

5.9 Región de Magallanes. 20

5.10 Conclusiones de diagnóstico. 22

5.10.1 Captación 23

5.10.2 Conducción 23

5.10.3 Filtración 24

5.10.4 Acumulación 24

5.10.5 Riego 25

5.10.6 Invernaderos 26

5.10.7 Diseño y construcción de SCALL 29

5.10.8 Aportes de los agricultores 30

6 RECOMENDACIONES DE MEJORA DISEÑO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS SCALL 31

6.1 Componentes de un sistema de acumulación de aguas 33

6.1.1 Captación 33

6.1.2 Conducción de las aguas 35

6.1.3 Acumulador 37
6.1.4 Cabezal de control 40
6.1.5 Caseta de riego 41
6.1.6 Red de distribución 42
6.1.7 Líneas de riego 42
6.1.8 Nodos de control o válvulas sectoriales 43
6.1.9 Uso de ERNC 43
6.1.10 KIT de reparaciones 43
6.2 Invernaderos 43
6.2.1 Sistemas productivos de hidroponía y NFT 44
6.3 Optimización del diseño. 45
6.4 Desarrollo de un manual de diseño, operación y mantención de los SCALL 45
7 IMPACTO ECONOMICO 46
8 ASOCIATIVIDAD Y VINCULACIÓN 47
9 RELACIONAMIENTO COMUNITARIO 49
10 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO 51
11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 52
11.1 Conclusiones. 52
11.2 Recomendaciones. 54

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los sectores más afectados por el cambio climático es la agricultura, donde se prevé que los cultivos se desplazarán hacia el sur, acompañados con una menor disponibilidad de agua para riego, lo que producirá cambios en la forma de producción, generando por una parte, un cambio cultural en como regar y hacer agricultura y por otra una disminución de los rendimientos y la calidad, lo que por ende repercutirá en los ingresos económicos, donde los más vulnerables serían los agricultores, entre las regiones de Valparaíso y del Biobío (MMA, 2017).

La actividad agrícola utiliza entre 70 y 80% del agua de uso consuntivo en nuestro país (DGA, 2012; Valdés-Pineda et al., 2014). Claramente ante un escenario de disminución de la disponibilidad de agua, dada la disminución de las precipitaciones en la macrozona Centro-Sur de Chile, entre 100 y 400 mm en los últimos 10 años (Vásquez, 2019), la cantidad de agua dulce se verá restringida, y su uso para fines domésticos será prioritaria, disminuyendo la disponibilidad para agua de riego. En Chile se estima que a la fecha sólo un 40% de la superficie regada utiliza sistemas de riego presurizados (Martin, 2018), lo que indicaría que gran parte del 80% del consumo de agua para riego se debe a las ineficiencias de los sistemas utilizados.

La pequeña agricultura por lo general tiene limitado acceso a los recursos hídricos, lo que la pone en situación de alta vulnerabilidad. Por esto, se requiere diseñar sistemas de riego y de conservación de agua acordes con las características económicas y tecnológicas de estos agricultores, a bajo costo, aplicable a pequeñas escalas. Mucho de estos sistemas pueden ser de autoconstrucción como los sistemas de cosecha de aguas lluvia, los sistemas de infiltración para recargar el agua del suelo y los sistemas de riego subsuperficial. Importante es realizar una recopilación de técnicas tradicionales, las cuales fueron abundantes en el período precolonial en la región. Junto con la tecnificación de las prácticas de riego a nivel predial, se requerirá de un esfuerzo sistemático por mejorar los sistemas de distribución del agua entre los diversos sectores de riego y al interior de cada sector.

Las recientes sequías severas, las preocupaciones sobre el impacto ambiental de la escorrentía de aguas pluviales y el aumento de la demanda de agua han generado interés en los sistemas de recolección de agua de lluvia en regiones húmedas.

La cosecha de agua de lluvia es una práctica cada vez más común en Chile. La creciente demanda de la población y la disminución del suministro de agua dulce disponible hacen que el agua de lluvia recolectada sea una alternativa atractiva para usos potables y no potables. Se está produciendo una mayor utilización del agua de lluvia recolectada no solo en Chile sino en muchas otras partes del mundo, incluidos Bangladesh, Corea y Australia. A medida que aumenta la preocupación por el

cambio climático y los recursos hídricos se vuelven más estresados, las personas continúan modificando sus viviendas y diseñando sistemas para utilizar el agua de lluvia recolectada.

La elección de una solución técnica para el sistema de recolección de agua de lluvia es importante desde el punto de vista de quien invierte, ya que influye en los resultados financieros, que son un factor importante que afecta la implementación de dichos sistemas en los edificios. La aplicación de un sistema de cosecha está sujeta a las mismas leyes económicas de pérdidas y ganancias que otras inversiones. Por lo tanto, existe la necesidad de realizar análisis técnicos y económicos en el proceso de toma de decisiones, especialmente el análisis del costo del ciclo de vida.

Debido a la importante cantidad de sistemas instalados a nivel nacional es pertinente y necesario realizar una evaluación técnica y económica de los sistemas de capturas de aguas lluvias actuales. La revisión debe considerar aspectos técnicos como el análisis de las metodologías de diseño que normalmente utilizan datos mensuales (y no diarios) a nivel comunal, las metodologías que determinan el dimensionamiento de los componentes (tuberías de conducción y acumulación generalmente), la necesidad de definir los requerimientos mínimos de sistemas de limpieza como mallas y filtros muy necesarios en el sistema, el análisis de alternativas de acumulación y su efecto en la calidad de agua, el análisis de los actuales y potenciales usos del agua (riego, bebida de animales y uso doméstico) y la incorporación de sistemas de bombeo fotovoltaicos asociados a pequeños sistemas de micro riego, entre otros. En cuanto a aspectos económicos es necesario determinar costos y beneficios actuales de los sistemas considerando los usos normales de estos recursos que en general se destinan al autoconsumo, a la venta de productos y la producción animal.

2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

2.1 Objetivo general

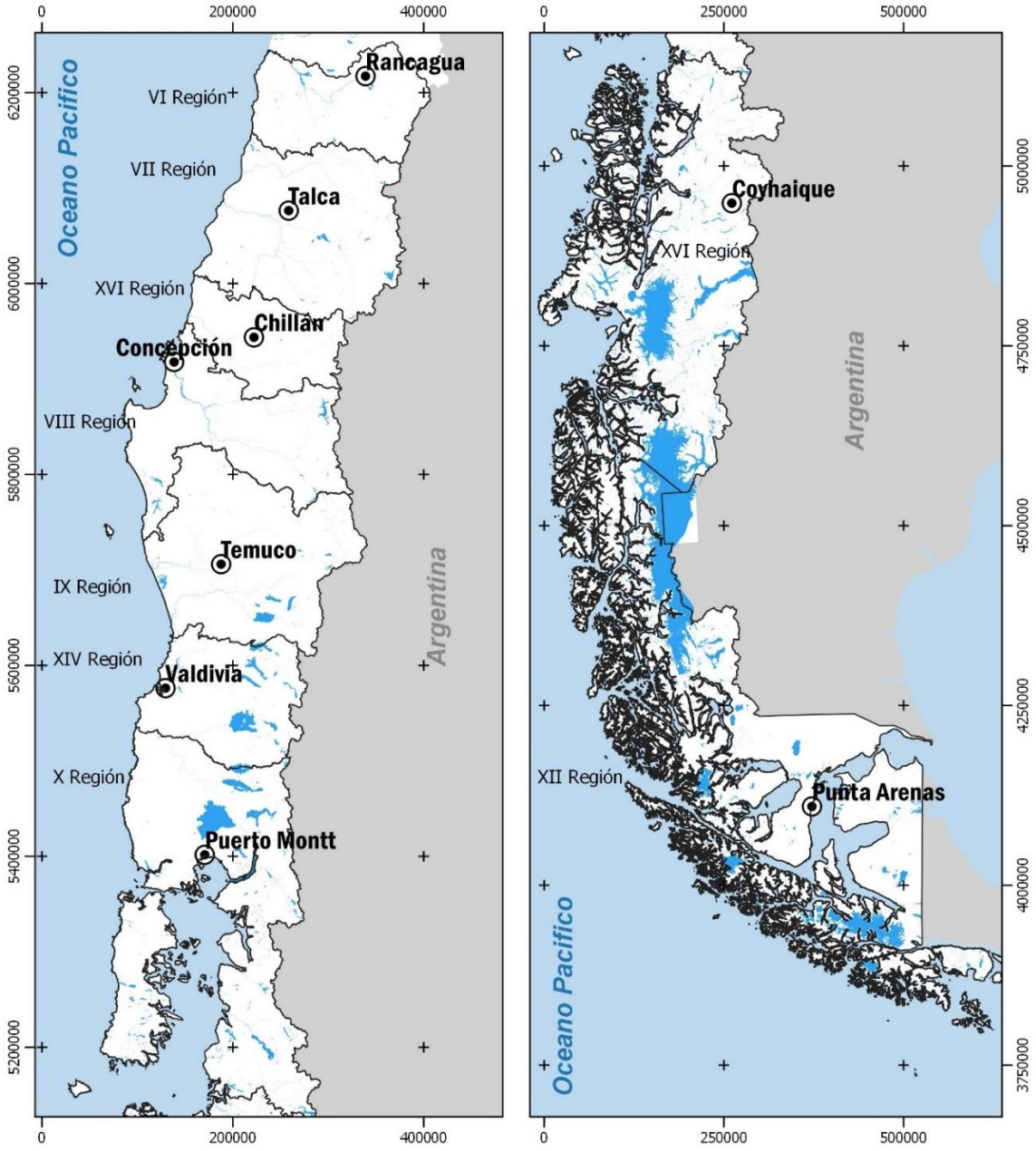
Evaluar la operación, funcionamiento y el impacto en la producción agrícola que ha producido la implementación de Sistemas de Cosecha de Aguas Lluvias (SCALLs).

2.2 Objetivos específicos

1. Diagnosticar el funcionamiento y operación de una muestra representativa del universo de SCALLs instalados entre la región de O'Higgins y la región de Magallanes.
2. En base al diagnóstico, proponer mejoras en el diseño, dimensiones de sus componentes (superficie de captación, volumen de acumulación), protección y mantención de los distintos componentes del sistema y de los invernaderos asociados.
3. Evaluar el impacto económico de la utilización de estos sistemas en la producción agropecuaria en el ámbito de la economía familiar campesina.
4. Realizar propuestas de asociatividad y cooperación para una mejor comercialización de la producción.
5. Recomendaciones de operación y mantención que recoja todos los aspectos deficitarios encontrados en el diagnóstico diferenciado por zona centro-sur (VI-VIII) y sur (IX-XII).

3 ANTECEDENTES TERRITORIALES

El área de influencia del estudio contempló la zona centro-sur (VI-VIII) y sur (IX-XII) del país, es decir, las regiones de O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío, La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes (Figura 1). Regiones que tienen un importante aporte del PIB nacional y un potencial desarrollo del sector Silvoagropecuario para su crecimiento, considerando una buena gestión del recurso hídrico.

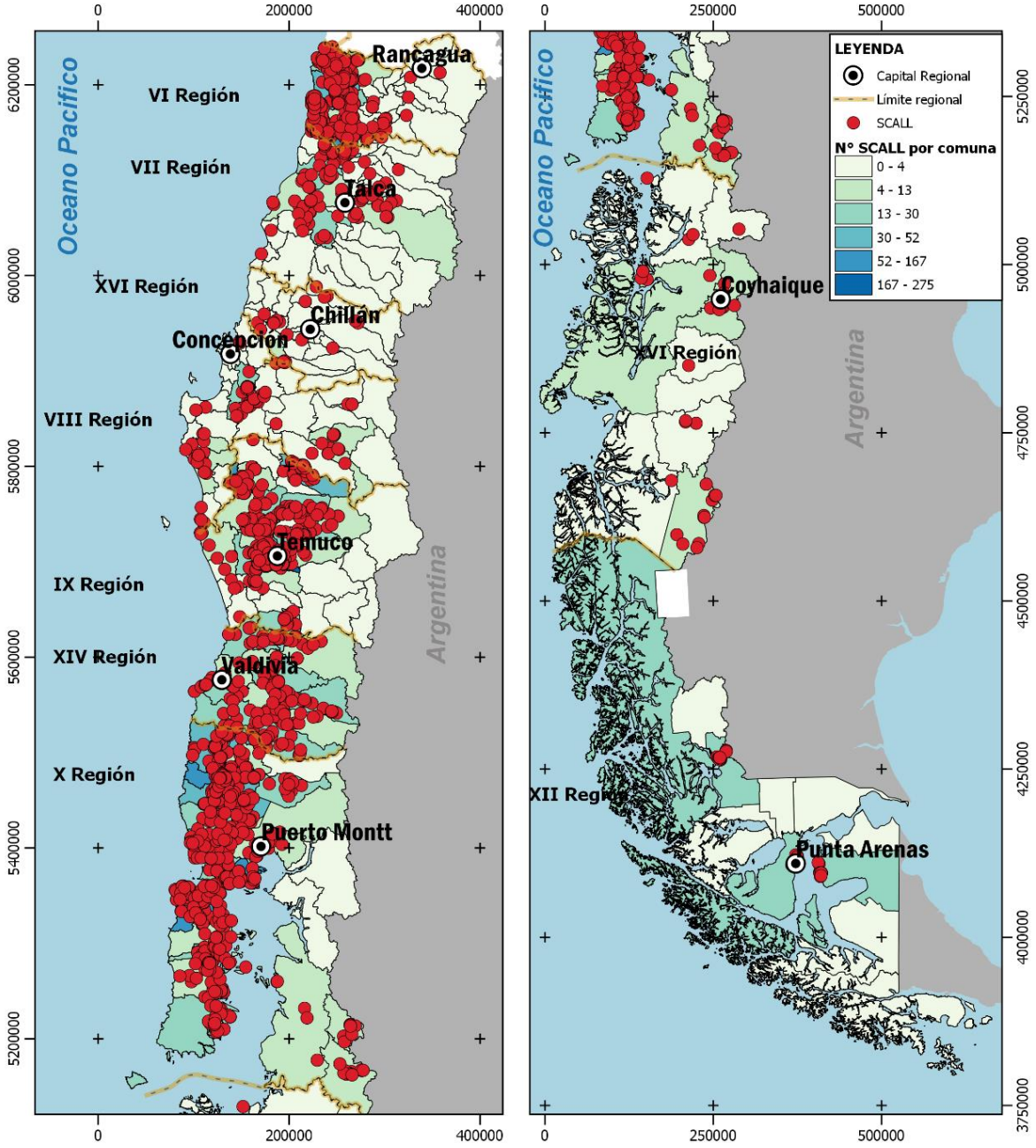


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Regiones comprometidas en el estudio.

4 UNIVERSO DE SCALLS

Según la recopilación de información, en las regiones del estudio, se determinó un universo a noviembre del año 2023 de 3.407 SCALL instalados, cuya gestión ha sido realizada por diversas instituciones públicas como CNR, INDAP, INIA, CONADI, GORE, Municipios a través de sus programas PDTI y PRODESAL, instituciones privadas, etc. La Figura 2 muestra la distribución espacial de estos sistemas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Distribución espacial de SCALL que cuentan con referencia coordenada.

Las regiones de Los Lagos y O'Higgins comprenden el 56,88 % del total de equipos y Ñuble es la región que posee la menor cantidad con 42, que equivale al 1,20%. Llama la atención el reducido número de instalaciones en Aysén, 49 unidades, puesto que, por su clima lluvioso en primavera, el uso de estos equipos es una muy buena alternativa para almacenar agua y utilizarla en verano.

5 DIAGNÓSTICO DEL FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE LOS SCALLS

Se aplicó una encuesta de diagnóstico a 510 SCALL. Las encuestas fueron distribuidas espacialmente en función del distrito agroclimático donde se ubicaba el SCALL. Para esto, inicialmente se determinó el número de proyectos SCALL por cada región y en función de su presencia por región se determinó un porcentaje muestral por cada una de ellas (Tabla 1). Luego, de común acuerdo con CNR se ajustó la metodología y se determinaron los valores presentados en la siguiente tabla para velar por la correcta representatividad regional.

Tabla 1. Distribución de muestras de sistemas SCALL por cada región.

Región	%	Número de SCALLs por región	Numero de SCALLs georreferenciados	Visitas por región
O'Higgins	26,97	919	394	117
Maule	4,55	155	117	49
Ñuble	1,23	42	24	17
Biobío	4,49	153	96	55
La Araucanía	20,58	701	639	80
Los Ríos	8,54	291	183	59
Los Lagos	29,91	1.019	756	99
Aysén	1,44	49	37	14
Magallanes	2,29	78	61	20
TOTAL	**100,00**	**3.407**	**2.307**	**510**

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la aplicación de estas encuestas fueron procesados y se realizó un diagnóstico para cada región del estudio. A continuación, se entrega para cada región un diagnóstico del funcionamiento y operación de los sistemas SCALLs, realizado en base a lo observado por los encuestadores de terreno.

5.1 Región de O'Higgins

La cantidad de encuestas efectuadas en la región es de 117. El 70% de los predios encuestados se concentran en el secano interior y costero, estando constituidos por pequeñas superficies que poseen en promedio 6,9 hectáreas con un rango que va desde los 500 m^2 hasta las 73 ha y el 49% de las propiedades es menor a 1 hectárea.

La región de O'Higgins presenta oportunidades de mejora en los Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (SCALL). A pesar de un fuerte impulso inicial en su implementación, se recomienda

complementar los sistemas existentes aumentando la capacidad de almacenaje de los estanques e incorporando las superficies captadoras disponibles en los predios, lo que permitiría disponer de más agua.

Existe amplia evidencia que sugiere que el fracaso de la mayoría de los esquemas de riego se puede atribuir a una formación académica y técnica deficiente o inadecuada de los tomadores de decisiones en sistemas de riego intra y extrapredial, entre otros factores. Por ello, y según lo observado en terreno, es necesario implementar programas de formación enfocados tanto a agricultores como a extensionistas rurales, ya que la participación de los equipos técnicos locales en lo concerniente a SCALLs y tecnificación del riego es fundamental para la adopción de estas tecnologías.

Existe una preocupación generalizada entre los agricultores respecto a la obtención de ayuda una vez que los sistemas presentan fallas. Generalmente, los consultores e instaladores no realizan un servicio "postventa" (término que se debería evaluar en función de las características específicas del proyecto). No existe un servicio de ayuda o acompañamiento después de la implementación del sistema, lo que provoca que, una vez que falle el sistema, este quede abandonado debido al poco conocimiento del agricultor para realizar mejoras y/o reparaciones al sistema.

En la Fotografía 1 se muestra una de las fallas encontradas en las visitas realizadas en la región de O'Higgins

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 1. a) Laterales fuera del área de riego durante el invierno, en O'Higgins, b) Bomba utilizada con alargador con corriente directa desde casa

5.2 Región de Maule

Se realizaron 49 encuestas en esta región. El 65% de los equipos se concentran en las comunas del secano interior en donde las fuentes de agua superficiales son inexistentes y las precipitaciones

son muy escasas y concentradas. Los predios encuestados poseen superficies que va desde 0,1 a 20 hectáreas con un promedio de 5,5 hectáreas y el 52% de los predios posee menos de 1 ha.

Los agricultores de la región del Maule han logrado almacenar una significativa cantidad de agua a través de los SCALL, lo que representa un gran avance. Sin embargo, aún existe un potencial de mejora, especialmente en la incorporación de tecnología avanzada en el riego y en la optimización de sus instalaciones actuales. Aunque poseen una amplia experiencia en la producción de hortalizas, hay una oportunidad para desarrollar aún más sus habilidades en el manejo del riego.

Se identificaron sistemas únicos de acumulación de agua, que recogen aguas lluvias de techos y las almacenan en superficies excavadas en la tierra, revestidas con geomembranas. Aunque esta técnica ofrece beneficios significativos para el agricultor, también presenta ciertos desafíos operativos que requieren atención. Estos incluyen la prevención del ingreso de animales, así como aspectos de mantenimiento y operación del sistema. Además, se observó un claro sobredimensionamiento en algunos casos, donde se dedica una estructura de techo amplia, similar a la de una casa o bodega, exclusivamente para la captación de agua de lluvia. Este enfoque, aunque provechoso para la captación de agua, podría optimizarse para maximizar la eficiencia del espacio y los recursos. Considerar diseños más integrados y multifuncionales, donde las estructuras existentes se utilicen de manera más eficiente para la captación de agua, podría ser una solución más sostenible y rentable a largo plazo.

La colaboración con organismos y/o profesionales del extensionismo puede desempeñar un rol crucial en este proceso. Su apoyo y asesoramiento pueden ser fundamentales para ayudar a los agricultores a operar sus instalaciones de manera más eficiente y asistirlos en tareas de mantenimiento y reparación de estructuras de riego. La resolución de problemas complejos y la orientación en la gestión eficiente del agua pueden aumentar significativamente la motivación y la confianza de los agricultores en sus inversiones.

Fomentar un ambiente de cooperación y asistencia continuada es clave para asegurar que los agricultores se sientan apoyados en sus esfuerzos, y también empoderados para manejar eficazmente sus recursos y maximizar el potencial de sus cultivos.

En la Fotografía 2 se muestra un SCALL sobre un estanque enterrado y además se muestra una instalación de una electrobomba a la intemperie.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 2. a) Techumbre captadora sobre estanque enterrado en región de Maule y b) Electrobomba instalada a la intemperie.

5.3 Región de Ñuble

Se realizaron 17 encuestas en la región. Sobre el 70% de los equipos se concentran en las comunas del secano interior y los predios encuestados poseen superficies que va desde 0,2 a 15 hectáreas con un promedio de 3,5 hectáreas.

Las zonas del secano interior de Ñuble están cada verano expuestas a incendios forestales. Por esta razón se debería masificar el uso de sistemas de acumulación que permitan proteger la vivienda del agricultor, sus instalaciones y si es posible el entorno.

Se sugiere la instalación de estanques autosoportantes, estanques tipo australiano o estanques excavados de cubierta abierta, los que, por el tamaño de la superficie expuesta, permiten el acceso del recogedor de agua de los helicópteros que combaten los incendios.

También, como una manera de ayudar al agricultor se sugiere incluir en el equipamiento del SCALL una motobomba que permita la protección de la vivienda del agricultor con agua acumulada en el SCALL y el riego de sus cultivos de manera eventual ante un corte del suministro eléctrico a causa de los incendios.

Un tema recurrente en todas las regiones es la necesidad de capacitación de agricultores y extensionistas en temas de riego. Existe gran desconocimiento de parte de los agricultores de los subsidios estatales, principalmente de la Ley 18.450.

La Fotografía 3 muestra elementos que se encontraron en las visitas a los SCALL de la región de Ñuble, en la que se muestra el filtro más utilizado en la región de Ñuble y una canaleta de PVC con su distribución desconectada.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 3. a) Tipo de filtro comúnmente utilizado en Ñuble. b) Canaleta de PVC y tubería de distribución desconectada, en Ñuble.

5.4 Región de Biobío

En la región, se realizaron un total de 55 encuestas, de las cuales un 85% corresponden a predios ubicados en el secano interior y costero. Estos predios se caracterizan por ser de pequeña extensión, con un tamaño promedio de 5,2 hectáreas, abarcando un rango que va desde los 1.000 m² hasta las 80 hectáreas. El 40% de estas propiedades tiene una superficie menor a 1 hectárea. Este patrón de distribución de la tierra resalta la predominancia de pequeñas explotaciones agrícolas en la región, subrayando la importancia de desarrollar estrategias y soluciones de manejo del agua y de cultivo que sean adecuadas y accesibles para pequeños agricultores.

En la región del Biobío, los SCALL presentan ciertas limitaciones que afectan su operatividad. Por ejemplo, se utiliza filtros de malla pequeños para recolectar las primeras basuras, lo que no siempre es suficiente para mantener la calidad del agua.

Los estanques tipo australiano, una forma común de almacenamiento de agua en la región, podrían beneficiarse de una mayor protección contra la acumulación de residuos y la evaporación. Una mejora posible sería la complementación con sistemas de captación y distribución de agua de lluvia desde las techumbres, lo que mejoraría la eficiencia y la calidad del agua almacenada. Dada

la naturaleza forestal de zonas como Santa Juana y Hualqui, y el alto riesgo de incendios en estas áreas, sería prudente promover la implementación de sistemas de acumulación más extensivos. Estos sistemas protegerían las viviendas de los agricultores y sus instalaciones, y también podrían servir como recursos en la lucha contra los incendios forestales. Los estanques autosoportantes o los estanques excavados de cubierta abierta, por ejemplo, podrían facilitar el acceso a las fuentes de agua para los helicópteros de bomberos. Adicionalmente, se sugiere incluir en el equipamiento del SCALL una motobomba. Este dispositivo sería útil para la protección de las viviendas de los agricultores en caso de incendios y permitiría el riego de los cultivos en situaciones donde se corte el suministro eléctrico.

Un tema recurrente en todas las regiones es la necesidad de una mayor capacitación en temas de riego, tanto para agricultores como para extensionistas. Hay un desconocimiento notable sobre los subsidios estatales disponibles, especialmente en lo que respecta a la Ley 18.450. Abordar esta brecha informativa mediante programas de formación y divulgación puede empoderar a los agricultores, permitiéndoles acceder a recursos que mejoren sus prácticas de riego y gestión del agua, y aumenten la resiliencia de sus explotaciones agrícolas.

En la Fotografía 4 se muestran elementos de SCALLS que fueron encontrados en las visitas en la región del Biobío, un estanque australiano con algas producto de no instalar malla sombreadora y un invernadero de plástico transparente con su estructura de madera.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 4. a) Estanque tipo australiano con algas en el agua, región Biobío. b) Invernadero de plástico transparente y estructura de madera en Biobío.

5.5 Región de La Araucanía

En la región se llevaron a cabo un total de 80 encuestas. Los predios encuestados tienen en promedio 8,3 hectáreas, lo que indica una distribución diversa de tamaños de propiedad. Estos predios están distribuidos ampliamente a lo largo de la región, abarcando la mayor parte de las zonas agrícolas.

Los agricultores de esta región poseen un enorme potencial para captar y almacenar agua, debido a los altos niveles de precipitación. Sin embargo, actualmente este potencial no está siendo aprovechado al máximo, tal como se refleja en las cifras disponibles. Los agricultores a menudo expresan que los estanques actuales no captan suficiente volumen de agua. Para abordar esta situación, se recomienda que las futuras instalaciones se centren en estanques de mayor capacidad y dimensionados bajo algún método de balance hídrico.

Otro desafío importante es la falta de conocimientos específicos y capacitación entre los agricultores en cuanto a la reparación y mantenimiento de los SCALL. Muchos no han recibido formación en este aspecto y carecen de redes de apoyo para el mantenimiento de los equipos. Además, se ha observado que, desde los municipios, en muchas ocasiones, tampoco se cuenta con experiencia suficiente en el tema.

Un aspecto fundamental para la instalación exitosa de un SCALL con riego tecnificado es la disponibilidad de electricidad. Se han identificado casos donde se instalaron bombas eléctricas en predios que no cuentan con suministro eléctrico y no se consideró la inclusión de paneles fotovoltaicos como una alternativa. Esta situación subraya la necesidad de una planificación cuidadosa y una evaluación exhaustiva de los recursos disponibles antes de instalar estos sistemas. Para maximizar el potencial de los SCALL en la región, es esencial abordar estas brechas mediante programas de capacitación para los agricultores, mejorando el acceso a la información y asesoría técnica.

En la Fotografía 5 se muestra un sistema de acumulación de Minitranque sin estructura de captación y un cabezal de riego sin caseta de protección, encontrados en La Araucanía.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 5. a) Minitranque de acumulación sin estructura de captación, en La Araucanía. b) Cabezales de riego a la intemperie en la región de La Araucanía.

5.6 Región de Los Ríos

La cantidad de encuestas efectuadas en la región es de 59. Los predios encuestados, en promedio poseen 10,2 hectáreas y se reparten dentro de la región cubriendo la mayor parte de las zonas agrícolas.

Un aspecto positivo en la región es la presencia de invernaderos robustos con estructuras metálicas y cubiertas de policarbonato alveolar. Estos materiales ofrecen una mayor resistencia a las condiciones climáticas adversas, lo que es especialmente beneficioso en una región con potencial de lluvias intensas y otros desafíos meteorológicos. La existencia de estos invernaderos robustos y bien diseñados es un activo significativo para la agricultura en la región, ya que permite a los agricultores extender la temporada de crecimiento y proteger sus cultivos de las fluctuaciones climáticas. Además, la posibilidad de integrar sistemas de riego eficientes y tecnologías como paneles solares en estos invernaderos puede llevar a un aumento significativo en la eficiencia.

La región posee un alto potencial de acumulación de agua de lluvia que, en este momento, no está siendo completamente aprovechado. Para maximizar este potencial, sería beneficioso implementar estructuras de acumulación de mayor volumen, implementando algún método de balance hídrico para su dimensionamiento. Estas estructuras podrían almacenar una cantidad

significativa de agua durante la temporada de lluvias, lo que a su vez permitiría extender la temporada de riego o incrementar la superficie destinada a cultivos.

Además, la instalación de paneles solares representa una oportunidad para reducir los costos energéticos asociados con el riego y otros procesos agrícolas.

En resumen, la implementación de estructuras de acumulación de agua de gran volumen y la instalación de paneles solares son pasos clave hacia la optimización del potencial agrícola de la región, permitiendo un uso más eficiente de los recursos naturales y reduciendo el impacto ambiental de las actividades agrícolas.

En la Fotografía 6 se muestra canaletas en malas condiciones encontradas en la visita a terreno y una cisterna flexible en proceso de llenado.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 6. a) Canaleta en malas condiciones región de Los Ríos. b) Cisterna flexible de 50 m^3 en proceso de llenado en región Los Ríos.

5.7 Región de Los Lagos

La cantidad de encuestas efectuadas en la región es de 99. Los predios encuestados, en promedio, poseen 11,7 hectáreas y se abarcó todas las zonas geográficas de la región, incluyendo Chiloé insular y Chiloé continental. Las regiones de Los Ríos y Los Lagos presentan similitudes en los SCALL, las que se podrían atribuir a que en ambas zonas trabajan los mismos diseñadores y presentan soluciones "tipo" para la zona. No se visualizaron diferencias en estructuras ni materiales.

Esta región, junto con La Araucanía y Los Ríos, destaca por presentar algunos de los SCALL más robustos que se han visitado. A pesar de este importante avance, aún existe un gran potencial de acumulación de agua de lluvia que no está siendo completamente aprovechado. Utilizar la mayor cantidad de superficies captantes disponibles permitiría almacenar una cantidad mayor de agua durante la temporada de lluvias, lo que a su vez posibilitaría extender la temporada de riego y potencialmente aumentar la superficie cultivable.

Además, la asociación de los SCALL con la instalación de paneles solares al igual que en las regiones vecinas podría representar un avance significativo en términos de ahorro energético para el agricultor.

Al igual que en la región de Los Ríos se destaca la presencia de invernaderos robustos, con algunos aspectos a mejorar, como lo es el aumento de tornillos de sujeción para el policarbonato y el sellado del invernadero para evitar el ingreso de roedores o animales pequeños.

5.8 Región de Aysén.

En esta región, en al menos 5 distritos agroclimáticos hay presencia de sistemas SCALL, y se logró la visita a 4 de ellos (Caleta tortel, Coyhaique, Puerto Aysén y Puerto Chacabuco), observando en terreno un total de 14 sistemas. En términos de precipitaciones se observa una diferencia marcada en los 4 distritos, siendo el distrito Coyhaique el que presenta la precipitación media anual más baja con 798 mm (Atlas agroclimático de Chile, 2017), mientras que la precipitación media anual más alta la tiene el distrito Puerto Aysén (2.667 mm), seguido de Puerto Chacabuco (2.341 mm) y por último Caleta Tortel (1.484 mm).

En términos generales, los sistemas SCALL de esta región son de reciente instalación, varían en su fuente de financiamiento y fines. Muchos de ellos no presentaban aún su primer uso y al menos 1 se encontraba aún en construcción.

El territorio presenta dos zonas con diferencias marcadas, siendo la zona cercana a la ciudad de Coyhaique la primera (incluyendo la zona norte a la ciudad), dominada por el distrito agroclimático Coyhaique. En esa zona se evidencia en terreno la existencia de sistemas de acumulación menos tecnificados. La segunda zona que se diferencia en la región de Aysén es entre las localidades de Puerto Tranquilo y Villa O'Higgins. En esta zona, todos los sistemas estaban en proceso de construcción, no operativos o bien, la temporada 2023 – 2024 sería su primera entrada en producción.

En la región de Aysén, se distinguen dos zonas marcadas como "norte" y "sur", cada una con características particulares en cuanto a los SCALL. En la zona norte de la región, los SCALL tienden a ser de composición más "rústica" o "artesanal". Estos sistemas generalmente no están vinculados a actividades productivas comerciales, sino que se orientan principalmente al autoconsumo. Por

otro lado, en la zona sur, los SCALL son implementaciones más recientes y muchos aún no están en operación. Respecto a la disponibilidad hídrica, la zona norte enfrenta una escasez de fuentes de agua accesibles para los agricultores, haciendo que los SCALL sean a menudo la única alternativa viable para complementar sus necesidades hídricas. En contraste, en la zona sur, aunque existen cursos de agua cercanos como ríos o esteros, la falta de derechos de aprovechamiento de aguas limita su uso por parte de los agricultores. En este contexto, los SCALL emergen como una solución alternativa para la obtención de agua. En términos de capacitación, se identifica una carencia significativa en la formación de los agricultores en áreas clave como la operación, mantención y reparación de sistemas hidráulicos. Muchos de los problemas que los agricultores enfrentan y que justifican el no uso de los sistemas están relacionados con inconvenientes menores que podrían solucionarse fácilmente. Además, la falta de conocimiento en el mantenimiento adecuado de estos sistemas a menudo complica su operación eficiente. Esto subraya la necesidad de proporcionar formación y asistencia técnica a los agricultores, en la instalación inicial de los SCALL, y también en su manejo y cuidado continuo, asegurando así su eficacia y sostenibilidad a largo plazo. La implementación de programas de capacitación y asesoramiento técnico puede ayudar significativamente a los agricultores a optimizar el uso de sus sistemas SCALL y a superar los desafíos técnicos que puedan surgir.

5.9 Región de Magallanes.

Los SCALL pertenecientes a esta región, se agrupan en su totalidad bajo el distrito "Punta Arenas", el cual presenta una precipitación media anual de 444 mm. La ubicación de estos sistemas se concentra en las comunas de Punta Arenas, Puerto Natales y Porvenir y presentan algunas diferencias entre estas agrupaciones.

En Porvenir los sistemas SCALL se encuentran en zonas cercanas al centro poblado. Esta comuna en particular presenta una alta presencia de "SCALL artesanales". Es decir, al momento de realizar el recorrido en el territorio fue común que en gran parte de los huertos existiese al menos un esfuerzo por acumular las aguas provenientes de las lluvias, presentando diversos elementos para su acumulación, desde baldes de 200 litros a estanques del tipo "IBC" (Fotografía 7). La comuna presenta un particular comportamiento relacionado al uso de sistemas de acumulación de aguas lluvias.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 7. Sistemas de acumulación a pequeña escala frecuentes en Porvenir. Foto izquierda, estanques de 200 litros; foto derecha, estanques IBC de 1.000 litros.

Al igual que en Porvenir, en Punta Arenas los SCALL se encuentran concentrados cercanos al centro poblado, principalmente en Tres Puentes, Río Seco y Leñadura. Los sistemas son destinados principalmente a pequeñas explotaciones agrícolas relacionadas a huertos de entre 0,5 a 1 hectárea.

En Puerto Natales, la mayoría de los SCALL se encuentran cercanos al centro poblado de la ciudad, principalmente en el sector denominado "Huertos Familiares", con excepción de algunos cercanos a la localidad de Cerro Castillo.

Los sistemas de captación y acumulación de lluvias en la región son generalmente bien valorados y aceptados por los agricultores, aunque existe un potencial significativo para mejoras en su diseño e instalación. Es notable que, en algunas zonas, la mayoría de los pequeños productores ya cuentan con sistemas de autoconstrucción para capturar el agua de lluvia de sus techumbres. Esta cultura de autosuficiencia en la gestión del agua crea un ambiente propicio para la implementación de programas especiales que apoyen y fomenten la implementación de sistemas SCALL más avanzados y eficientes.

Sin embargo, se identifica una clara oportunidad para mejorar el diseño de estos sistemas, particularmente en la incorporación de componentes más tecnificados, como filtros avanzados, que podrían mejorar significativamente la calidad del agua recolectada. Además, las características climáticas únicas de la región, como los fuertes vientos y las bajas temperaturas, requieren consideraciones de diseño especiales. Por ejemplo, las canaletas deben ser diseñadas para soportar los vientos fuertes, evitando que se rompan o se desprendan. Esto podría incluir una mayor superficie de apoyo o sistemas de anclaje más robustos. Además, las temperaturas extremadamente bajas, que a menudo caen bajo cero, hacen necesario considerar la aislación térmica de tuberías y otros componentes sensibles para prevenir el congelamiento del agua. La

capacitación de los agricultores en el cuidado y mantenimiento de estos sistemas es crucial, especialmente en lo que respecta a medidas preventivas contra el congelamiento.

En cuanto a los invernaderos, la selección de materiales adecuados que puedan resistir los fuertes vientos es esencial. Los plásticos utilizados deben ser lo suficientemente resistentes para soportar estas condiciones sin sufrir daños. La implementación de estructuras más sólidas y resistentes al viento no solo aumentará la vida útil de los invernaderos, sino que también asegurará una mayor protección para los cultivos. En resumen, el diseño y la implementación de sistemas SCALL en la región de Magallanes deben tener en cuenta las particularidades climáticas de la zona, adoptando enfoques diferenciados en comparación con otras regiones. Esto incluye la mejora en la calidad de los elementos de instalación, aspectos constructivos como la aislación térmica, el soporte adecuado de las canaletas y la selección de materiales resistentes para los invernaderos, garantizando así sistemas más eficientes y adaptados a las necesidades específicas de la región.

5.10 Conclusiones de diagnóstico.

Los SCALL son generalmente bien valorados en el ámbito de la pequeña agricultura familiar campesina, constituyendo una ayuda significativa en aquellos casos donde los agricultores no cuentan con una fuente de agua confiable. A pesar de su valor y aceptación, aún existen brechas notables, especialmente en aspectos de diseño, que requieren atención y mejoras. Estas brechas limitan la eficacia de los sistemas, y afectan su sostenibilidad y la capacidad de los agricultores para maximizar su potencial. Además, existe una necesidad imperiosa de capacitación en el uso y mantenimiento de estos sistemas, asegurando que los agricultores puedan operarlos eficientemente y aprovechar al máximo sus beneficios. La implementación efectiva de los SCALL requiere una combinación de mejoras técnicas en diseño y una inversión en la formación y el apoyo continuo a los agricultores.

Los proyectos asociados principalmente en Los Ríos y Los Lagos, y algunos en la región de la Araucanía, se acercan a la situación óptima de proyecto que se debería desarrollar en todas las regiones en la mayoría de sus componentes, con excepción de los filtros de aguas lluvias, que representa un desafío transversal en todas las regiones, debido principalmente a la dificultad de acceso a este tipo de filtros en el mercado. En términos de los sistemas de acumulación estas regiones varían entre cisternas flexibles y mini tranques excavados en tierra y revestidos con geomembrana, siendo estas unas de las mejores alternativas para acumular las aguas. Los invernaderos construidos en policarbonato alveolar y Metalcom, destaca entre las regiones vecinas. Al igual que las casetas de riego, tableros electros y el sistema de riego como tal.

5.10.1 Captación

En relación con la captación de los SCALL, la elección de las superficies de captación merece una consideración especial. Es recomendable no invertir en superficies captantes exclusivas, ya que el dinero destinado a esta finalidad podría ser más eficazmente invertido en otros componentes del SCALL o incluso en mejorar las techumbres de edificaciones existentes, como las casas de los agricultores. Esta recomendación se basa en la premisa de que optimizar y utilizar las superficies ya existentes, como los techos de las viviendas y edificaciones agrícolas, es más económico y sostenible, luego, el uso de superficies captantes exclusivas se debería relegar solo a casos extremos donde no existan superficies de captación cercanas. Al mejorar las techumbres existentes, se contribuye al mantenimiento y mejora de la infraestructura vital del agricultor, lo que representa una ayuda significativa para su bienestar y productividad. Por lo tanto, el enfoque debe centrarse en aprovechar al máximo las superficies ya disponibles, priorizando la eficiencia, la multifuncionalidad y la sostenibilidad en el diseño y la implementación de los SCALL. Por otra parte, se ha identificado una falta de criterios estandarizados en la selección de superficies para la captación de aguas lluvias. Actualmente, se utilizan superficies que a menudo están expuestas a la acumulación de hojas, polvo y otros contaminantes, sin una selección cuidadosa. Un diseño más eficiente debería enfocarse en maximizar el uso de superficies que estén directamente expuestas a la lluvia y menos propensas a la contaminación. Particularmente en el caso de pequeños agricultores, donde las superficies de techumbre disponibles son limitadas, es esencial alcanzar un equilibrio en el sistema de captación. Esto significa seleccionar áreas donde la superficie de captación sea menos vulnerable a la contaminación. Elegir superficies propensas a acumular contaminantes puede ser contraproducente, afectando negativamente la calidad del agua recogida y, por ende, la eficiencia del sistema de acumulación.

5.10.2 Conducción

En lo que respecta a la conducción del agua hacia el acumulador es esencial asegurar un diseño eficiente y una instalación adecuada de las canaletas para garantizar un flujo continuo y efectivo del agua. Un aspecto crucial en este proceso es la densidad y calidad de las fijaciones en canaletas, especialmente en regiones con condiciones climáticas adversas como fuertes vientos, que pueden causar daños o desprendimientos. Además, es fundamental establecer pendientes adecuadas en las canaletas para facilitar el escurrimiento del agua. Una pendiente correctamente diseñada evita la acumulación de agua y minimiza la posibilidad de obstrucciones, asegurando que el agua recolectada sea dirigida eficientemente hacia los estanques de almacenamiento. Este diseño detallado y considerado de la conducción del agua mejora la eficiencia de la recolección, y reduce la necesidad de mantenimiento y reparaciones frecuentes.

En relación con el material de conducción el material más utilizado para ello son las canaletas de PVC de fabricantes como Vinilit, Tigre o Hoffens. Esto se atribuye principalmente a la disponibilidad de stock en ferreterías y dimensiones estándar. Las canaletas de los 3 fabricantes mencionados poseen características similares en cuanto a dimensiones. Por ejemplo, en el caso de Vinilit, cuenta con dos modelos "P25" y "P31" donde declara poder evacuar un caudal de 3,4 y 9,4 L/s para superficies de 52 y 143 m^2 respectivamente (235 mm/h y 175 mm/h, respectivamente), lo que resultaría adecuado para la zona de estudio.

5.10.3 Filtración

El correcto funcionamiento de los sistemas de filtración SCALL es fundamental para garantizar la calidad del agua recolectada. Sin embargo, estos sistemas a menudo son subutilizados o no se eligen adecuadamente. Para asegurar una filtración efectiva, es crucial seleccionar y mantener filtros específicamente diseñados para aguas de lluvia. Durante las visitas a terreno, se observó el uso de filtros de riego, como los de malla o anillas, que, aunque comunes, no son completamente adecuados para tratar aguas pluviales. Estos filtros tienden a obstruirse con facilidad, aumentando el peso en canaletas y bajantes, lo que puede llevar a los agricultores a prescindir de su uso. Se recomendó al agricultor en terreno, la instalación de válvulas que faciliten la mantención de estos filtros, ya que, por ejemplo, en filtros que se ubicaban luego del tanque de acumulación, no contaban con una válvula de corte para realizar la limpieza, es decir, al abrir el filtro, se provocaba un vaciado del estanque. Una tecnología que se podría evaluar en este ámbito es la utilización de "mallas Coanda", cuyo principio autolimpiante podría disminuir significativamente la necesidad de mantenimiento frecuente, contribuyendo a una operación más eficiente y menos laboriosa del sistema. Además, cabe destacar que en Chile la disponibilidad de sistemas de filtración específicos para la captación de aguas lluvias es limitada, y los filtros disponibles suelen tener un costo elevado. Esta realidad lleva a los consultores y usuarios a optar por filtros comunes de riego, que, aunque más accesibles, no satisfacen plenamente las necesidades de estos sistemas y pueden generar problemas adicionales, como obstrucciones frecuentes y sobrecarga en la infraestructura de conducción. La implementación de filtros efectivos y el adecuado mantenimiento de estos sistemas son pasos críticos para asegurar la calidad del agua recolectada y la longevidad del sistema en su conjunto.

5.10.4 Acumulación

En relación con los estanques de acumulación de los SCALL, se aprecia una notable diversidad en los tipos y tamaños de estanques, reflejando las distintas necesidades y condiciones de cada región. A menudo, sin embargo, se encuentran estanques que están subdimensionados o construidos con materiales inadecuados para las condiciones climáticas de la zona.

La elección de un sistema de acumulación debe ser cuidadosa, considerando la cantidad de agua necesaria para satisfacer la demanda, y su capacidad para soportar desafíos como el congelamiento y daños estructurales debidos a condiciones climáticas adversas.

El diseño de los estanques de acumulación idealmente debería basarse en un balance hídrico, que permita estimar con precisión la oferta y demanda de agua. Actualmente, muchos de los criterios de diseño y guías utilizadas en Chile disponibles no toman en cuenta este enfoque, resultando en estimaciones inexactas que pueden llevar a sobreestimar o subestimar las necesidades hídricas y, por ende, la capacidad de los estanques. Además, se ha observado en terreno la integración de superficies de captación con acumuladores, donde se construyen techos exclusivos para la captación de agua de lluvia que se almacena directamente en un acumulador subterráneo revestido con geomembrana. Aunque esta práctica puede parecer beneficiosa a primera vista, en realidad presenta varios problemas, especialmente en términos de mantenimiento. Un desafío común es la caída de animales en estos acumuladores, lo que dificulta el rescate de los cuerpos y compromete seriamente la calidad del agua. Esta situación puede llevar al abandono del sistema, lo que indica que la construcción de techos exclusivos para la captación no es la opción más eficiente o sostenible. Este hallazgo sugiere la necesidad de reconsiderar tales prácticas y buscar alternativas que optimicen la eficacia del sistema y minimicen los problemas de mantenimiento. Principalmente en la región del Biobío se observaron algunos estanques australianos, que, si bien parecen adecuados para este fin, se debe tener en consideración el uso de cubiertas para evitar la evaporación excesiva del agua, la proliferación de algas y la entrada de agentes externos que puedan contaminar las aguas, lo mismo aplicaría para estanques enterrados revestidos con geomembrana. En resumen, es esencial que los SCALL sean diseñados con una comprensión clara de las necesidades hídricas específicas y las condiciones ambientales de cada región, utilizando métodos de cálculo precisos y materiales adecuados para garantizar sistemas de acumulación óptimos.

5.10.5 Riego

En cuanto al diseño de los sistemas de riego asociados a los SCALL, es crucial tener en cuenta las características y necesidades específicas del perfil del agricultor. Por ejemplo, un agricultor de avanzada edad y con limitada experiencia en tecnología podría enfrentar dificultades en familiarizarse con un programador de riego sofisticado o con un sistema de fertirriego. En estos casos, la instalación de tecnologías complicadas podría ser contraproducente. En su lugar, sería más beneficioso redirigir la inversión hacia otras componentes del SCALL, o incluso destinar recursos a capacitar al agricultor en la operación y mantenimiento básicos del sistema. Desde el punto de vista climático, un aspecto por considerar en algunas regiones es la protección de los sistemas de riego contra las heladas. En zonas donde las temperaturas caen por debajo de cero

grados Celsius, es común observar el congelamiento de tuberías y otros elementos sensibles del sistema de riego. Este fenómeno interrumpe la funcionalidad del sistema y puede causar la rotura de materiales, lo que a su vez aumenta la necesidad de reemplazos y reparaciones frecuentes. Por lo tanto, en el diseño de los sistemas de riego, es fundamental incorporar medidas de protección contra el congelamiento, como el aislamiento adecuado de tuberías y componentes.

5.10.6 Invernaderos

Los invernaderos integrados a los SCALL enfrentan desafíos particulares, sobre todo en regiones con condiciones climáticas severas como fuertes vientos, nieve y temperaturas extremas, que son características de la zona sur del país. Para garantizar la protección y el óptimo crecimiento de los cultivos en su interior, es fundamental que tanto los materiales como el diseño de los invernaderos sean capaces de resistir estos factores ambientales adversos. Esto implica elegir estructuras robustas y coberturas duraderas, además de un diseño que atenúe los impactos negativos de condiciones climáticas extremas. Uno de los aspectos críticos en la durabilidad de los invernaderos es la elección de los materiales. Es común que el plástico utilizado en los invernaderos tenga una vida útil limitada a solo un par de temporadas, después de las cuales muchos agricultores no cuentan con los recursos económicos necesarios para reemplazarlo. Esta situación conduce frecuentemente al abandono del sistema completo. Por lo tanto, es esencial priorizar el uso de materiales más robustos y de mayor durabilidad. Materiales como el policarbonato alveolar, que ofrecen una mayor resistencia a los factores climáticos y tienen una vida útil más larga, pueden ser una opción valiosa. Estos materiales reducen la necesidad de reemplazo frecuente y aseguran una operación continua y efectiva del invernadero a lo largo del tiempo. La inversión en invernaderos de alta calidad y duraderos es fundamental para maximizar la eficiencia y sostenibilidad de los SCALL, especialmente en zonas donde las condiciones climáticas pueden poner a prueba la integridad de estas estructuras. Al considerar estos factores en el diseño y la selección de materiales para invernaderos, los agricultores podrían asegurar un ambiente óptimo para sus cultivos, a la vez que se garantiza la viabilidad a largo plazo de sus sistemas de captación y acumulación de lluvia.

El tipo de invernadero más común encontrado en esta zona consiste en estructura de madera de polines o maderas elaboradas y una cubierta compuesta por polietileno con o sin filtro UV.

Las dimensiones pueden ser variables, encontrándose desde 2 m hasta 10 m de ancho y longitudes que van desde los 4 a los 40 m. Se construyen con puertas y ventanas de los mismos materiales, algunos poseen una lucarna superior pero la mayoría carece de instrumentos de control medioambiental.

En general el terreno sobre el que están construidos ha recibido algún movimiento de tierra para establecer una muy baja pendiente, pero en otros casos se construyeron en terrenos con pendientes de aproximadamente 3-4%.

En la zona centro sur el invernadero se puede utilizar durante todo el año porque las condiciones climáticas lo permiten, estableciendo rotaciones de cultivos que alternan especies cuyo producto final es la hoja con especies cuyo órgano consumido es la raíz o el fruto.

El uso de invernaderos de este tipo presenta algunos inconvenientes como:

- Escasa duración de cubiertas plásticas. En las mejores condiciones los que tienen cubierta con filtro UV pueden durar 4 años; las que carecen de él, se destruyen en una temporada y en los mejores casos su vida útil se prologa por 2 años.
- La reposición del plástico es de un alto costo y no todos los agricultores están en condiciones de afrontarlo.
- El plástico no protege de las bajas ni de las altas temperaturas.
- Se debe estar atento a las condiciones ambientales interiores para eliminar el exceso de humedad relativa con la apertura de puertas y ventanas. Por las noches se deben cerrar.

En la Fotografía 8 se muestra un invernadero con cubierta plástica después de algunas temporadas de uso.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 8. Invernadero cubierta plástica zona centro.

La Fotografía 9 muestra el estado de un invernadero durante la época invernal, antes del recambio de cubierta plástica.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 9. Invernadero con cubierta de PE destruida por acción del viento y del tiempo en la región de Maule.

Esta es la condición normal de un invernadero de madera y cubierta de polietileno en condiciones de no operación por falta de recursos económicos para su reemplazo.

En la Fotografía 10 se muestra un invernadero de madera y cubierta plástica en buen estado de mantención.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 10. Invernadero de madera y cubierta PE en buen estado.

En la zona sur, los invernaderos más comúnmente encontrados están construidos en estructura metálica y cubiertos con policarbonato alveolar. Las dimensiones más comunes son de 6 m de ancho y 10 m de longitud. Poseen puertas en ambos extremos además de ventanas laterales para ventilar y eliminar la humedad ambiental.

En la Fotografía 11 se muestra un invernadero típico de la zona sur.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 11. Invernadero policarbonato zona sur.

La operación de estos invernaderos se facilita porque las ventanas y puertas tienen una estructura y forma definida que se mantiene en el tiempo, en cambio en los de PE, esta se deforma y va cambiando con el tiempo.

La duración del policarbonato es de 10 años a lo menos, pero tiene el inconveniente de acumular suciedad y hongos en el espacio de aire entre sus capas, lo que disminuye su transparencia.

Existen algunos invernaderos construidos en madera con cubierta de policarbonato, los que al transcurrir el tiempo se deterioran alterándose su estructura. Es común que se construyan con madera no completamente seca, la que al transcurrir el tiempo se deforma, produciendo separaciones entre las planchas de policarbonato por las cuales puede entrar el agua o el viento.

5.10.7 Diseño y construcción de SCALL

En relación con las diferencias de los SCALL entre diferentes regiones, las construcciones y los diseños varían según las directrices de los diseñadores, las fuentes de financiamiento y los programas especiales que han promovido estos sistemas. En la región de O'Higgins, por ejemplo, se observa un impulso inicial significativo hacia los SCALL por parte del INIA, enfocándose en estanques de alrededor de 5,4 m³ adaptados a pequeñas superficies de explotación. Este impulso

ha sido crucial para establecer la presencia de estos sistemas en el territorio. Por otro lado, en la región del Maule, es común encontrar sistemas con techos diseñados específicamente para la captación de aguas lluvias, asociados a estanques excavados y revestidos con geomembrana. En las regiones de Ñuble y Biobío, destacan sistemas del tipo australiano, mientras que, entre las regiones de La Araucanía y Los Lagos, la experiencia acumulada de consultores que se han dedicado a los SCALL ha llevado a mejoras en los aspectos constructivos. En estas últimas regiones, se observan invernaderos construidos con estructuras metálicas y policarbonato alveolar, lo que representa una mejora significativa en términos de durabilidad y eficiencia, contrastando con la problemática del rápido deterioro de invernaderos con plásticos de corta vida útil. Se observa en esta zona también, casetas de riego adecuadas para facilitar la operación del sistema. El uso de cisternas flexibles se intensifica en las regiones de Los Ríos a Los Lagos y se presenta como una solución innovadora en las zonas más australes. Estas cisternas ofrecen una alternativa flexible y adaptable para la acumulación de agua de lluvia, adaptándose a las variadas condiciones geográficas y climáticas de estas regiones. En cuanto a los sistemas de riego asociados a los SCALL, su implementación y eficacia varían considerablemente. En regiones con una tradición establecida de riego, los sistemas suelen utilizarse de manera constante, independientemente de su eficiencia. En cambio, en zonas donde la cultura de riego está en desarrollo, como en el sur de la región de Los Lagos hasta Magallanes, los sistemas de riego suelen ser subutilizados. Esta subutilización se atribuye a la falta de familiaridad de los agricultores con estas tecnologías y a sus prácticas de producción tradicionales. El fenómeno del "olvido" de apagar los sistemas de riego es común y lleva a los agricultores a preferir métodos de riego manual, lo que resalta la necesidad de capacitar y familiarizar a los agricultores con sistemas de riego más eficientes y tecnológicamente avanzados. Estos patrones reflejan la necesidad de adaptar los SCALL y sus componentes, como los sistemas de riego, a las condiciones específicas y a los perfiles de los agricultores en cada región. Además, subrayan la importancia de la capacitación y el soporte continuo para asegurar un uso eficaz y sostenible de estos sistemas en el ámbito de la agricultura familiar campesina.

5.10.8 Aportes de los agricultores

En relación con los aportes de los agricultores, se encontró en algunas ocasiones que este corresponde a, por ejemplo, la construcción de la caseta de riego. Se sugiere que se evite valorizar aportes de este tipo ya que, por lo general resulta en desmedro del proyecto, debido a que no siempre se siguen los criterios técnicos mínimos para su construcción. En su lugar, se recomienda privilegiar las horas de trabajo de un agricultor en la construcción.

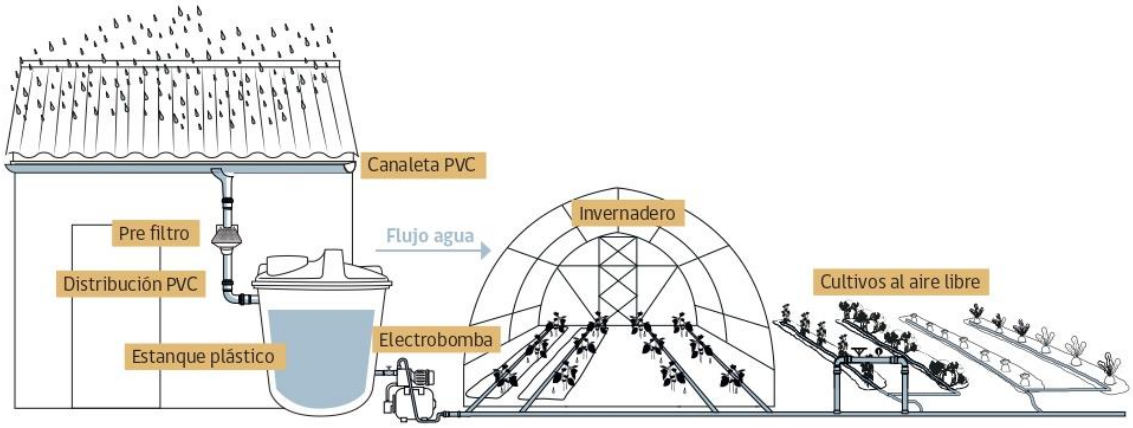
6 RECOMENDACIONES DE MEJORA DISEÑO, OPERACIÓN Y MANTENCIÓN DE LOS SCALL

Respecto a todas las recomendaciones que se dan en este capítulo, que buscan optimizar los diseños de los SCALL, se debe destacar que se dio preferencia a los criterios técnicos por sobre los económicos para abordar un diseño optimizado, debido a que se asume que los costos de la construcción del SCALL son financiados por los concursos de la Ley 18.450, cuya cobertura alcanza las 1.000 UF para este tipo de proyectos, no siendo necesario poner énfasis en la optimización económica.

En cuanto a las recomendaciones de mejoras se observa que si bien existen particularidades en los distintos territorios hay muchas de las recomendaciones que son transversales e independientes del territorio.

En las figuras siguientes se muestra esquemáticamente los tipos más comunes encontrados en las instalaciones SCALL en las diferentes regiones.

La Figura 3 muestra un SCALL encontrado frecuentemente en las regiones de O'Higgins a La Araucanía. El concepto se repite, variando solamente el número de estanques y/o el volumen acumulado.



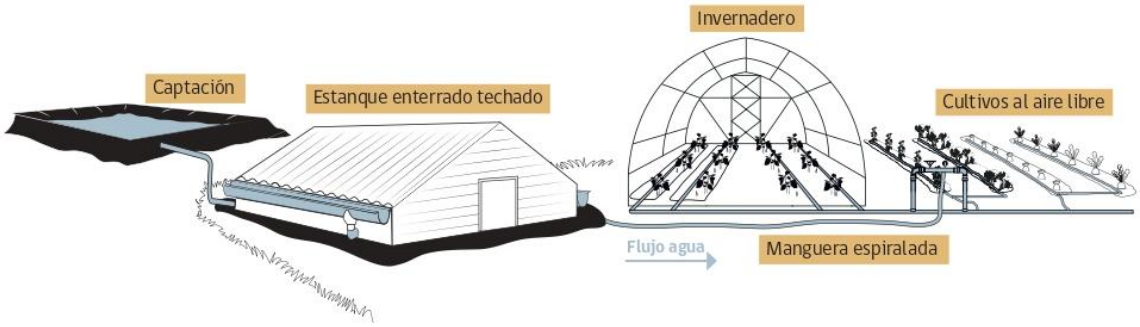
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Esquema instalación SCALL con estanque plástico a nivel de suelo.

Las aguas se captan por lo general desde techumbres de casa habitación, bodegas u otras, es recogida por canaletas de PVC que a través de una tubería de distribución del mismo material son conducidas hasta la acumulación de agua.

El agua continúa por una tubería de PVC hasta la electrobomba que impulsa el agua hasta el sector de riego consistente en un invernadero y un terreno al aire libre. El riego se efectúa por tuberías laterales de PE o cintas.

La Figura 4 muestra un SCALL muy común de encontrar la región de Maule, el cual consiste en dos captaciones; la primera es una ladera recubierta con geomembrana de aproximadamente 250 m^2. El agua de lluvia que se capta es conducida por la pendiente hasta una tubería de PE que la conduce en forma subterránea hasta el estanque enterrado de acumulación, también recubierto con geomembrana. La segunda es la techumbre construida sobre el estanque de acumulación la que por medio de 2 canaletas lleva el agua hasta el estanque enterrado.



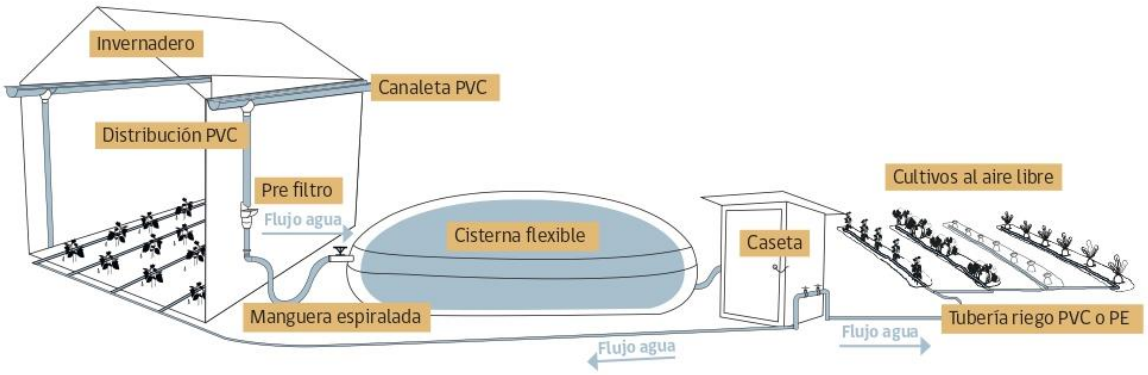
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Esquema instalación SCALL con estanque enterrado y captación en ladera.

Por lo general el agua sale por gravedad hasta el área de riego constituida por invernadero y un terreno con cultivos al aire libre.

La conducción del agua desde el estanque enterrado o de la cisterna flexible hasta las áreas de riego, es a través de distancias no mayores a 10 m y en la mayoría de los casos es efectuada por medio de una manguera espiralada de 2 pulgadas. El costo de este material es casi 6 veces más elevado que el PVC hidráulico del mismo diámetro, pero su uso se ha generalizado por su facilidad para efectuar curvas y afrontar desniveles sin utilizar otros accesorios como es el caso del PVC.

La Figura 5 muestra un SCALL muy común de encontrar las regiones de Los Ríos a Magallanes, consistente en una cisterna flexible que almacena las aguas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Esquema instalación SCALL con cisterna flexible.

El agua es captada por las canaletas adosadas a la techumbre del invernadero de policarbonato, son conducidas hasta un prefiltros que separa las basuras provenientes de la captación y por medio de una tubería de PVC y posteriormente una manguera espiralada que está bajo tierra es llevada hasta la cisterna.

Desde ella, el agua pasa al cabezal de control y la electrobomba le entrega la presión necesaria para el riego del invernadero y sectores al aire libre.

En los siguientes apartados se entregan una serie de recomendaciones a tener en consideración a la hora de diseñar un SCALL.

6.1 Componentes de un sistema de acumulación de aguas

6.1.1 Captación

La captación más utilizada es la techumbre, constituyendo el 85% de las encuestas. En todas las regiones es la más utilizada y en O'Higgins es prácticamente el único tipo de captación existente. Las techumbres de casa habitación son las que más se utilizan para captar el agua y en los casos de estanques enterrados recubiertos con geomembranas se utiliza la techumbre de este mismo para la captación.

Si bien, en su mayoría las superficies de captación se encontraban en buen estado, existen algunas oportunidades de mejora en las superficies captantes, sobre todo en aquellas superficies de captación que se asocian a techumbres de vivienda. Se observaron algunas adaptaciones para poder instalar canaletas en los aleros de las casas, sin embargo, esto representa un desafío mayor toda vez que algunas de las viviendas presentan construcciones rusticas sin suficiente espacio para la adecuada instalación de una canaleta adaptaciones que se deben considerar como por ejemplo en situaciones como las que se observa en la Fotografía 12.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 12. Techumbre que requeriría intervención para ser utilizada en un SCALL.

Por otra parte, se observaron techos construidos exclusivamente para proporcionar una superficie captante (Fotografía 13). Sin embargo, los SCALL deberían privilegiar el uso de estructuras ya existentes, como techos de casas, invernaderos o bodegas, para recolectar agua de lluvia, esto reduce significativamente los costos, permitiendo que los fondos que se ahorrarían producto de la no construcción de un techo exclusivo se puedan invertir en sistemas complementarios más beneficiosos, como un sistema de riego robusto, ERNC, un invernadero o incluso una bodega. Por lo tanto, salvo necesidades específicas de ubicación, es más razonable adaptar e incluso mejorar las estructuras existentes, lo cual podría ser una ayuda de alto impacto para el agricultor (por ejemplo, adaptar/mejorar techo de vivienda) que invertir en nuevas construcciones dedicadas exclusivamente a la captación de agua.

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 13. Superficie captante exclusiva para SCALL.

Entonces, la mejor recomendación para maximizar la eficiencia sería asociar un sistema de captación y acumulación de aguas lluvias con la construcción de un invernadero, utilizando el techo del invernadero como superficie de captación (Fotografía 14).

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 14. Sistema combinado invernadero – SCALL.

6.1.2 Conducción de las aguas

a) *Canaletas*

En cuanto al material de las canaletas, es altamente recomendable seleccionar uno que sea duradero y resistente a la corrosión. El aluminio, el acero inoxidable y el PVC son opciones recomendables, cada una con sus propias ventajas en términos de peso, costo y resistencia a condiciones climáticas adversas. En particular, debido a su alta presencia en el mercado, se recomendaría el uso de canaletas de PVC poniendo especial cuidado en que éstas presenten filtro para rayos UV.

b) *Prefiltros en canaletas*

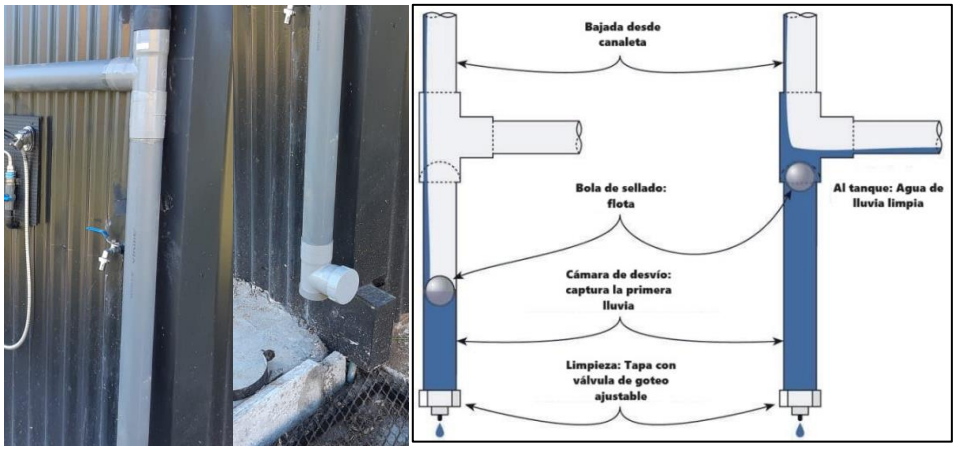
Mantener las canaletas en los sistemas de captación requiere una atención especial en zonas donde hay una alta presencia de hojas de árboles y otros contaminantes. Muchos autores recomiendan la utilización de cubiertas protectoras en áreas donde las canaletas están expuestas a una gran cantidad de hojas y posibles contaminantes como el polvo o partículas industriales, aunque no se han encontrado grandes proveedores en Chile esta podría ser construida por un hojalatero. Estas cubiertas ayudan a prevenir que los desechos ingresen en las canaletas, reduciendo la frecuencia con la que se necesita limpiarlas y manteniendo la calidad del agua recolectada.

c) *Filtros en bajantes*

Es altamente recomendable instalar filtros entre las canaletas y las tuberías bajantes. Estos filtros juegan un papel importante en la prevención del ingreso de desechos y contaminantes en el sistema de almacenamiento de agua. Entre las tecnologías de filtrado comunes, se encuentran los filtros de malla, los filtros de hojas y los separadores de sedimentos. Estos sistemas están

diseñados para capturar desechos más grandes, como hojas y ramas, mientras permiten que el agua fluya hacia el sistema de almacenamiento.

En relación con las "primeras aguas" (agua proveniente de las primeras lluvias después de un periodo seco), estas suelen contener un nivel más alto de contaminantes, ya que arrastran la suciedad y los residuos acumulados en los techos y en las superficies de captación. Por lo tanto, es deseable separar y eliminar estas aguas antes de que entren al sistema de almacenamiento principal. Una de las soluciones más efectivas para este problema es la instalación de un dispositivo de descarga de primeras lluvias o un sistema de desvío de primeras aguas. Estos sistemas pueden ser de autoconstrucción (Figura 6) o bien pueden ser comerciales (Fotografía 15).



Fuente: Elaboración propia.

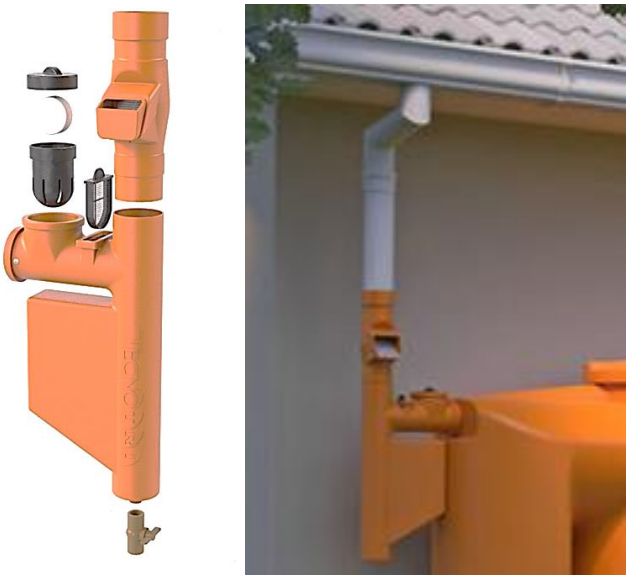
Figura 6. Representación del desvío de "primeras aguas".

Fuente: https://www.rainharvest.com/rain-harvesting-pty-4-inch-first-flush.asp.

Fotografía 15. Filtro comercial de primeras aguas.

d) *Filtro de aguas lluvias*

Este tipo de filtros se instalan interrumpiendo la tubería de bajada. Su funcionamiento es similar al de primeras aguas, sin embargo, incorpora otros elementos filtrantes, como el uso de mallas. Se ha encontrado al menos un proveedor local para esta tecnología (Fotografía 16), filtro que intenta combinar el efecto de separador de hojas que tiene la malla Coanda y la separación de primeras aguas, desechando los sedimentos más gruesos.



Fuente: https://www.ecocontenedores.cl/2021/11/12/recuperacion-de-agua-lluvia-o-pluvial/.

Fotografía 16. Filtro aguas lluvias.

e) *Aislamiento térmico de tuberías y válvulas*

En zonas donde las temperaturas caen por debajo del punto de congelación, el aislamiento térmico de las tuberías y válvulas se vuelve relevante para prevenir el congelamiento del agua. El agua congelada en las tuberías interrumpe el flujo hacia y desde el acumulador, y puede causar daños serios al sistema, incluyendo la ruptura de tuberías y válvulas.

6.1.3 Acumulador

La elección del tipo de estanque depende de varios factores, tales como la capacidad requerida, las condiciones del terreno, el clima, y el presupuesto disponible. La Tabla 2 presenta un cuadro comparativo que muestra las ventajas y desventajas de diversos tipos de estanques de acumulación.

Tabla 2. Comparativo de estanques acumuladores comunes visualizados en terreno.

Tipo de Estanque	Ventajas	Desventajas
Estanques verticales plásticos	Fáciles de instalar y transportar; Resistentes a la corrosión; Económicos	Limitados en capacidad; Pueden requerir una base sólida; Menos duraderos que otros materiales
Estanques tipo australiano	Capacidad de almacenamiento grande; duraderos; menor evaporación del agua (siempre que se utilice cubierta)	Requieren mantenimiento regular; Riesgo de corrosión; Más costosos de construir
Estanques enterrados revestidos con geomembrana	Protección contra la contaminación (si usan mallas protectoras); Estética del paisaje; Ahorro de espacio	Costosos de instalar; Riesgo de daños a la geomembrana; Requieren excavación
Cisternas Flexibles	Flexibles en ubicación y tamaño; Fáciles de desmontar y trasladar;	Vulnerables a daños físicos; Requieren una superficie nivelada; Menos durabilidad
Estanque Autosoportante	No requieren estructura rígida; Fáciles de instalar; Se adaptan a diferentes volúmenes de agua.	Necesitan vigilancia para evitar desbordamientos; Sensibles a daños físicos; Limitados en ubicaciones con vientos fuertes

Fuente: Elaboración propia.

En términos de las consideraciones por clima, la elección del estanque adecuado debe tener algunas consideraciones que se muestran en la Tabla 3.

En relación con el dimensionamiento de los sistemas, este dependerá directamente del balance hídrico que se realice en el predio especifico y la disponibilidad de superficies captantes. Sin embargo, se deben tener en consideración el seleccionar acumuladores con dimensiones adecuadas al predio. Se debe poner especial atención en la diferencia de altura entre la altura del techo que se desea utilizar y la altura de llenado del estanque, es decir, si selecciona un estanque con una altura de 3 metros y el techo que se desea utilizar es de 2 metros, el estanque tendrá un volumen muerto considerable.

Los estanques de acumulación de aguas lluvias que están enterrados y/o tienen una "superficie libre de agua" requieren consideraciones especiales en cuanto a su protección y mantenimiento.

Otra componente que considerar es que los estanques verticales una vez llenos, pueden ejercer una presión considerable sobre el suelo debido a su peso. Se recomienda que al instalar estos sistemas se considere previamente la compactación del suelo e incluso una construcción de un radier de cemento que proporcione una base firme y nivelada que asegura la distribución uniforme del peso del estanque, previniendo el hundimiento o desplazamiento del suelo.

Tabla 3. Consideraciones climáticas en la elección del estanque.

Tipo de Estanque	Vientos Extremos	Radiación Solar y Luz Solar Directa	Nieve	Temperaturas Extremas	Aplicabilidad a regiones
Estanques verticales plásticos	Requieren sistemas de anclaje robustos para evitar el desplazamiento o daño. Idealmente enterrados o semienterrados	Susceptibles a la degradación por UV; necesitan protección o materiales resistentes a la luz solar directa.	Pueden requerir estructuras de soporte en áreas con nieve pesada.	Medidas de aislamiento pueden ser necesarias para evitar el congelamiento en temperaturas bajas.	Se debe evitar su instalación en regiones que tengan altas velocidades de viento y estanque quede expuesto (por ejemplo, Región de Magallanes) o bien, de instalarse deben seguirse las recomendaciones de fabricantes en términos de anclaje.
Tanques tipo australiano	Diseño y materiales resistentes a vientos fuertes; pueden requerir cimientos sólidos.	El recubrimiento puede incrementar la temperatura del agua almacenada en días soleados; considerar ubicaciones sombreadas o aislamiento.	Necesitan diseño estructural para soportar acumulaciones de nieve.	Las temperaturas extremas pueden afectar la temperatura del agua almacenada, siendo necesario considerar medidas para mantenerla dentro de un rango adecuado.	Aplicable en todas las regiones, sin embarco es menos recomendable desde el extremo sur de la región de los lagos (continental) hasta magallanes en zonas donde exista una alta carga de nieve, debido al aumento de costos en estructuras robustas que soporten estas cargas.
Acumulador excavado en suelo y revestido con geomembrana	Protegidos de vientos extremos por su ubicación en el suelo.	Para evitar la proliferación de algas, se sugiere el uso de malla Raschel; sin embargo, la malla puede dañarse con la nieve y podría requerirse refuerzos con alambres.	La nieve puede dañar la malla Raschel; se recomienda considerar refuerzos con alambres para su protección.	El riesgo de congelamiento es menor, beneficiándose de la inercia térmica del suelo. Sin embargo, es esperable que la capa superior límite se congele con temperaturas bajo cero.	Evitar su uso en zonas de nieve o temperaturas bajo cero (principalmente región de Aysén-Magallanes).
Cisternas flexibles	Deben ubicarse estratégicamente para minimizar la exposición a vientos extremos. En estado "vacío" pueden sufrir daños. Se sugiere cerco cortaviento.	Los materiales deben ser resistentes a UV y diseñados para minimizar el calentamiento por sol directo.	Su flexibilidad permite cierta adaptabilidad a la nieve, pero con limitaciones en acumulaciones pesadas (podría provocar vaciado de estanque).	Flexibles frente a variaciones de temperatura; considerar el riesgo de congelamiento en climas fríos.	Aplicable en todas las regiones.
Estanques autosoportantes	Capacidad para resistir vientos fuertes gracias a su diseño y materiales, sin embargo, en estado "vacío" pueden sufrir daños. Se sugiere cerco cortaviento.	Requieren protección o materiales específicos para mitigar los efectos negativos de la radiación solar y el calentamiento.	El diseño debe incluir la capacidad de soportar el peso de la nieve sin deformarse.	Deben implementarse medidas para prevenir problemas de congelamiento en temperaturas extremas.	Debido a ser propensos a congelamientos, se debe evitar en regiones del extremo sur (Aysén-Magallanes).

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, es muy recomendable instalar una válvula de paso antes del filtro, se puede cerrar temporalmente el flujo de agua del estanque hacia el filtro durante el proceso de limpieza o mantenimiento. Esto evita la pérdida innecesaria de agua contenida en las tuberías y reduce la cantidad de agua que se desperdicia.

6.1.4 Cabezal de control

En terreno se encontraron algunos sistemas que consideraban "riego gravitacional", sin embargo, la diferencia de altura entre el acumulador y el sistema de riego contaba con diferencias de altura de 30 centímetros. Por tanto, para aquellos sistemas que consideren un riego gravitacional se debe tener especial consideración en determinar una diferencia de cota adecuada. Un diseño adecuado debe considerar los cálculos hidráulicos necesarios para que el sistema funcione de manera adecuada, por esto, la diferencia de cota mínima que debe considerar el cálculo de altura dinámica total (ADT):

$$ADT = P_e + H_f + H_r + \Delta Z \qquad [1]$$

Donde:

P_e = presión de entrada requerida en el lateral de riego.

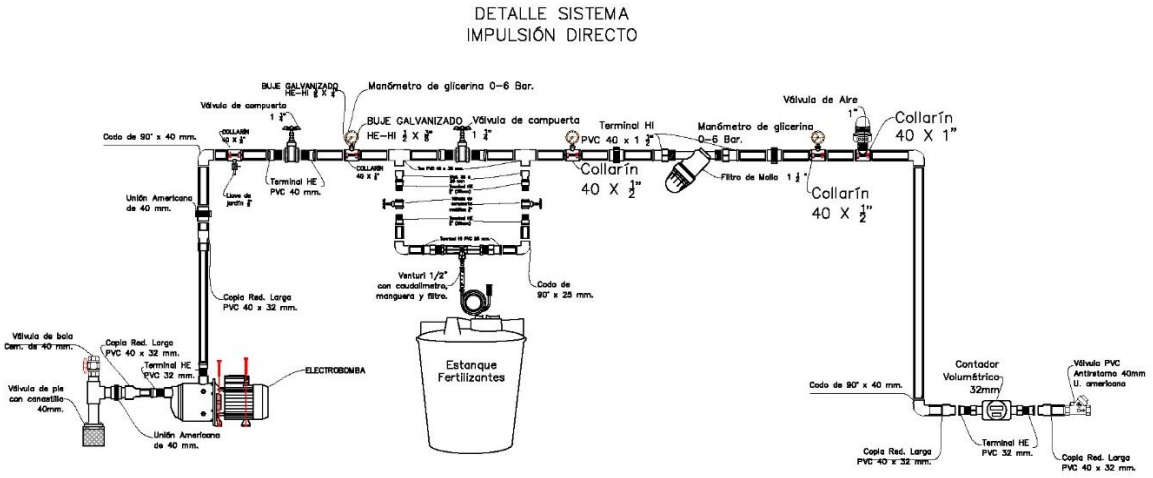
H_f = perdidas de carga regulares.

H_r = pérdidas de carga singulares (o por accesorios).

ΔZ = Diferencia de cota entre espejo de agua y sector crítico de riego.

Por tanto, ADT debe ser suplido ya sea por una diferencia de cota al tratarse de riego gravitacional o bien, con el uso de una bomba que otorgue presión al sistema.

El cabezal de control debe considerar todos los elementos básicos para asegurar una correcta operación del sistema. El dimensionamiento específico depende directamente de los requerimientos de altura dinámica total del sistema, sin embargo, por lo general se obtendrá uso de electrobombas de baja potencia (0,5 a 1 hp). Un esquema de los elementos que se recomienda considerar en el cabezal de control se muestra en la Figura 7.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Recomendación de elementos para cabezal de control.

a) Filtros

Como se observa en la figura anterior, el sistema debe considerar al menos un filtro y sería recomendable posicionar un segundo filtro luego de la inyección de fertilizantes para retener fertilizante que no hayan sido diluido por completo en la solución.

b) Fertirriego

Se sugiere la instalación de un sistema de inyección de fertilizante adecuado para la escala productiva, es decir, un inyector no superior a ½ pulgada, asociado a lo menos a un estanque de 60 litros para mezcla. La Figura 7 muestra un esquema recomendado de instalación.

c) Tablero de control

Respecto a las instalaciones eléctricas necesarias para la operación del sistema, se debe considerar un tablero de control con los elementos mínimos de protección del sistema.

d) Programador

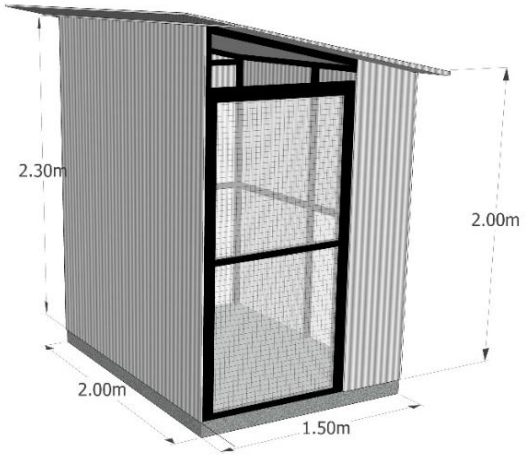
Un desafío común es la implementación de programadores de riego, dado la falta de familiaridad y conocimiento por parte de los agricultores sobre cómo utilizarlos adecuadamente. Esta barrera puede llevar a un subuso o mal uso de estos dispositivos, afectando la eficiencia del riego. Una estrategia para superar este obstáculo es el uso de instrumentos didácticos simples y accesibles.

6.1.5 Caseta de riego

Se recomienda la construcción de una caseta de riego que proteja todos los elementos del sistema de riego, construida en material resistente, como fierro o Metalcon. La Figura 8 se muestra una

sugerencia de caseta para implementar. La caseta debe ser capaz de albergar todos los elementos y permitir al operador del sistema manipular todos los elementos correctamente.

En la zona extremo sur donde ocurren temperaturas extremas y existe un alto riesgo de congelamiento de los elementos, se debe considerar en la caseta un revestimiento térmico interior y considerar el revestimiento completo de la caseta dejando algunas ranuras para la ventilación (en el centro, se sugiere privilegiar la ventilación).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8. Caseta de riego sugerida para SCALL.

6.1.6 Red de distribución

Se detectaron sistemas de riego que no poseían las tuberías de distribución enterradas. Esto es importante ya que, al enterrarlas, aparte de extender la vida útil de las tuberías se contribuye a la prevención de accidentes, la protección contra roturas y daños, y la minimización del riesgo de congelamiento en climas fríos.

6.1.7 Líneas de riego

Comúnmente los sistemas de riego asociados a los SCALL se vinculan a cintas de riego, sin embargo, se recomienda que se consideren líneas de emisores de mayor duración. Cuanto más gruesa sea la pared de la línea de goteo, más resistente será al daño externo o la presión del sistema. Ofrecerá una mayor resistencia a los daños físicos y permitirá operar el sistema con rango más amplio de presiones. Por lo que se recomienda usar espesores de pared iguales o mayores a 0,9 mm.

6.1.8 Nodos de control o válvulas sectoriales

Los nodos de control deben tener los elementos mínimos para operar el sistema. Todo nodo de control debería considerar a lo menos: Válvula de compuerta, válvula de bola, válvula de aire, manómetro (o toma manométrica).

En el caso de los nodos automáticos, se recomienda considerar, de igual manera, una válvula de bola manual, con el fin de no interrumpir el riego ante una posible falla del programador o solenoide (sobre todo, en aquellas zonas donde se dificulta conseguir una válvula solenoide por ser zonas remotas).

6.1.9 Uso de ERNC

Es recomendable la incorporación de sistemas ERNC para proporcionar de energía eléctrica al sistema. Se debe considerar que generalmente los tiempos de riego asociados a los SCALL son menores, debido a las pequeñas superficies de explotación, usualmente se dedican 2 a 3 horas al día, esto provoca que los requerimientos energéticos sean menores y por tanto se requiera un sistema fotovoltaico pequeño, cercano a 1kW de potencia, sin embargo, cuando se requiere que el sistema sea Ongrid, la capacidad mínima recomendada por los instaladores es de 1,5 kW, debido a la disponibilidad de mercado de inversores de esta potencia versus los de 1 kW que son más difícil de conseguir.

6.1.10 KIT de reparaciones

En cada proyecto de riego, se recomienda considerar un "Kit de reparación". Estos elementos deben ser del mismo diámetro y medidas que el proyecto de riego y el sistema SCALL.

6.2 Invernaderos

La ubicación y orientación del invernadero deben ser cuidadosas para asegurar su eficiencia y durabilidad. Es esencial situarlo en suelos nivelados, sin riesgo de encharcamientos, para prevenir la asfixia de raíces y el deterioro de las plantas, además de reducir la humedad interna. Es importante que el invernadero esté en zonas protegidas de vientos fuertes, pero con brisas suaves, para evitar daños estructurales y mantener una temperatura adecuada. La orientación ideal debe considerar los vientos dominantes y maximizar la captación de luz solar, siendo la dirección este-oeste recomendada en otoño-invierno y norte-sur en verano. La cercanía a la vivienda del agricultor es crucial para la atención rápida de emergencias, y se debe evitar ubicarlos en zonas de niebla o polvorientas para mantener la luminosidad.

La ventilación es un aspecto constructivo esencial en los invernaderos. Las estructuras deben tener suficientes superficies de ventilación con mecanismos de apertura y cierre eficientes para regular la temperatura y humedad interna. La ventilación en la parte alta del invernadero es ventajosa para

permitir la salida del aire caliente y húmedo. Se recomienda el uso de lucarnas y ventanas superiores, así como ventanas laterales que permitan la entrada de aire fresco y la renovación constante del aire interno.

El control de la temperatura interna es fundamental para el desarrollo óptimo de las plantas. Es necesario mantener temperaturas superiores a las externas durante períodos fríos y temperaturas frescas durante horas de alta irradiación. La elección del tipo de cubierta del invernadero, como el polietileno simple o doble con tratamiento térmico, influye significativamente en la capacidad de mantener temperaturas adecuadas. La ventilación diaria es crucial para evitar excesos de humedad y altas temperaturas, y el uso de termómetros y higrómetros facilita el control preciso del ambiente interno.

La materialidad del invernadero es un factor clave para su durabilidad y eficiencia. El uso de materiales resistentes y duraderos, como el policarbonato alveolar, es altamente recomendable. Este material ofrece una mayor durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas adversas en comparación con los plásticos comunes. El policarbonato alveolar mantiene sus propiedades de transmisión de luz durante más tiempo y proporciona un mejor aislamiento térmico, reduciendo los costos de calefacción en climas fríos. Aunque la inversión inicial en policarbonato alveolar es mayor, su durabilidad y los beneficios a largo plazo lo hacen una opción rentable. Es esencial contar con un marco de soporte robusto y una instalación adecuada para maximizar la vida útil y la efectividad del policarbonato alveolar. Además, es necesario realizar un mantenimiento regular, incluyendo la limpieza y revisión periódica de la estructura para detectar y reparar cualquier daño o desgaste.

La construcción de invernaderos en zonas con altas velocidades de viento o cargas de nieve debe considerar refuerzos adicionales y materiales de cubierta de mayor calidad para asegurar la estabilidad y durabilidad de la estructura. El uso de Metalcon para las estructuras, en lugar de madera, es recomendable debido a su mayor durabilidad y resistencia a deformaciones. En zonas propensas a altas velocidades de viento, es crucial reforzar las fijaciones y utilizar materiales de mayor resistencia para evitar daños en la estructura del invernadero.

6.2.1 Sistemas productivos de hidroponía y NFT

La asociación de sistemas de cultivo hidropónico, específicamente la Técnica de Película de Nutrientes (NFT), con sistemas de acumulación de aguas lluvias, podría resultar beneficioso de aplicar en estos sistemas.

6.3 Optimización del diseño.

Actualmente en Chile, el documento más frecuentemente utilizado para el dimensionamiento de sistemas SCALL es el "Anexo 6. Sistemas de acumulación de aguas lluvias" (https://www.cnr.gob.cl/programa-pequena-agricultura/instructivos-anexos-y-formatos/). Si bien este documento ha sido orientativo por muchos años para el dimensionamiento de sistemas, tiene algunas falencias que se deben considerar a la hora de diseñar un SCALL. La implementación de este tipo de proyectos depende principalmente de un balance hídrico regido por las condiciones climáticas específicas del sitio y el patrón de distribución del consumo. El desempeño de los SCALL también dependerá del alcance de su uso (por ejemplo, doméstico, potable o no potable, riego). Y, por otra parte, la viabilidad económica directa del SCALL depende del equilibrio entre la inversión, costos de operación y mantenimiento del sistema. Este equilibrio es una función no lineal de la cantidad potencial de agua de lluvia disponible, la cantidad efectiva de agua de lluvia que se utiliza para diferentes propósitos y el costo de las fuentes alternativas de agua.

Se desarrolló el modelo conceptual y la metodología de un prototipo que permite mensualmente simular de acuerdo con: una superficie de captación, una capacidad dada de acumulación y superficies de cultivos bajo invernadero y al aire libre, y hasta cuándo la cantidad de agua acumulada cumple los requerimientos hídricos de los cultivos en un año. También puede estimar que volumen de acumulación sería necesario, para una condición área de captación y cultivos dada, o qué volumen de acumulación permite capturar toda el agua generada por el SCALLs. La plataforma se propone como una herramienta que permita ayudar a un mejor dimensionamiento de los sistemas SCALLs y los sistemas de riego asociados.

El prototipo se puede consultar en: https://erick98gtm.users.earthengine.app/view/prototipo-app

6.4 Desarrollo de un manual de diseño, operación y mantención de los SCALL

Los hallazgos con relación al análisis de los distintos elementos componentes de los sistemas de captación y acumulación de aguas lluvias se tradujeron en un manual de recomendaciones de diseño, técnicas y de operación y mantención para el mejoramiento de los sistemas actualmente en funcionamiento y para aquellas nuevas estructuras que se financien a futuro haciendo más eficiente su uso para los agricultores (Figura 9).

Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Manual de diseño, operación y mantención de SCALL.

7 IMPACTO ECONOMICO

El análisis del impacto económico de los sistemas de captación y almacenamiento de aguas lluvias (SCALL) se realizó para cada distrito agroclimático. Se identificaron diversos diseños de SCALL según el tipo de estanque, capacidad y tipo de riego. Los principales cultivos bajo invernadero y al aire libre se determinaron según la presencia declarada por los agricultores. Se incluyeron fichas técnicas de costos y producción para los cultivos representativos, detallando la superficie cultivada, producción promedio, costos de producción, ingresos y utilidad, diferenciando entre costos explícitos e implícitos para calcular la utilidad contable y económica. La rentabilidad se evaluó mediante el Valor Actual Neto (VAN) considerando una tasa de descuento del 6% y una vida útil del proyecto a 10 años, complementado con análisis de sensibilidad para identificar los cambios necesarios en la disponibilidad de agua o en los márgenes brutos para la rentabilidad. Se comparó la situación de los agricultores antes y después de la instalación del SCALL, destacando mejoras en producción y calidad de vida, incluyendo beneficios como la mejora en la alimentación familiar y la generación de ingresos adicionales. El costo del agua almacenada se analizó según el tipo de estanque y la región, y se realizó un balance hídrico para calcular la disponibilidad de agua para riego. Los resultados regionales mostraron una variabilidad en la rentabilidad de los proyectos, identificando porcentajes de agricultores que no usaban el SCALL, rentabilidad positiva y negativa, y el potencial de mejora con mayor disponibilidad de agua. El análisis general resaltó la

variabilidad en los resultados y las razones principales detrás de la rentabilidad insatisfactoria de muchos proyectos, así como los beneficios sociales y económicos derivados de la implementación de los SCALL.

8 ASOCIATIVIDAD Y VINCULACIÓN

El estudio sobre la asociatividad de pequeños agricultores que utilizan sistemas SCALL desarrolló una propuesta de vinculación en tres etapas: identificación de brechas, alternativas de vinculación y presentación de resultados.

Identificación de brechas: Se analizaron encuestas para identificar las necesidades en infraestructura, producción y comercialización. Los agricultores destacaron problemas como la falta de sistemas de riego tecnificado, la necesidad de nuevas fuentes de agua, mejoras en invernaderos y acceso a herramientas y capacitación.

Se propusieron programas y proyectos para superar estas brechas en:

- Producción: Programas de capacitación y asesorías técnicas, como el Programa de Desarrollo Local (PRODESAL) y el Programa de Desarrollo Territorial Indígena (PDTI).
- Inversión y Comercialización: Programas de financiamiento y apoyo como el Programa de Obras Menores de Riego (PROMR) y el Programa de Riego Intrapredial (PRI).
- Asociatividad: Programas para fomentar la organización y cooperación entre agricultores, como el Programa de Alianzas Productivas (PAP) y el Programa de Asociatividad Económica (PAE).
- Otros: Programas específicos para abordar brechas de género, enfermedades y apoyo familiar, como el Programa Mujer Emprende de SERNAMEG.

La Tabla 4 presenta un resumen de las actividades de vinculación comunitaria en las distintas macroregiones abordadas en el estudio. Este análisis abarca las regiones de O'Higgins, Maule, Ñuble, Biobío, Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén y Magallanes, con el objetivo de identificar las principales brechas, fortalezas y propuestas de intervención. Estas actividades buscan promover el fortalecimiento de las capacidades productivas de los agricultores, mejorar el uso de los sistemas SCALL y fomentar la asociatividad para facilitar el acceso a mercados y programas de fomento productivo.

Tabla 4. Resumen del diagnóstico general de los agricultores.

Macrorregión	Diagnóstico general	Brechas	Fortalezas	Propuestas de Vinculación
O'Higgins, Maule, Ñuble y Biobío	Los agricultores han avanzado en el almacenamiento de agua por SCALLs, pero hay posibilidades de mejora en implementación de técnicas y sistemas de riego. Las zonas de secano presentan riesgo de incendio en verano. 49% de los agricultores solo produce para autoconsumo, 51% además vende y de estos, 47% vende más de la mitad de su producción. El mayo medio de comercialización es en el predio	Falta de técnicas de riego y productivas. Poca preparación para eventos de desastres naturales. Falta de fuentes de Agua Invernaderos deteriorados Edad avanzada de los agricultores No cuentan con trasporte Problemas de comercializar sus productos. Tienen desconfianza de las asociaciones con otros.	Incorporación de almacenamiento de agua para fines productivos. Importante cantidad de sistemas de riego. La mayoría de los SCALLs están operativos. Producen hortalizas y flores y algunos no tienen problemas de comercialización. Algunos participan en iniciativas de PRODESAL, mercado INDAP o feria municipal. Hay interés por asociarse con otros y observan beneficios con estos. Posibilidades de Mercados establecidos en las comunas y Mercado INDAP.	Capacitación a técnicos y agricultores en temas de tecnología en riego. Capacitación en formación de asociaciones. Asistencia en producción en invernaderos. Acercamiento hacia programas y concurso de fomento. Vincularse a Mercados INDAP o ferias comunales. Capacitación en línea en SERCOTEC y FIA.
La Araucanía, Los Ríos, Los Lagos	Se tiene mayor potencial de almacenamiento de agua debido a las altas precipitaciones. Han avanzado en invernaderos más robustos. 39% de los agricultores solo produce para autoconsumo, 61% además vende y de estos, 62% vende más de la mitad de su producción.	Requieren mayor volumen de estanques de almacenamiento. Falta de capacitación en mantenimiento y reparación de los sistemas. Falta de fuentes de Agua. Invernaderos deteriorados. Edad avanzada de los agricultores. No cuentan con trasporte.	Invernaderos robustos, de mayor resistencia. Gran porcentaje de instalación de sistema de riego. Posibilidad de extender período de riego. Producen hortalizas y flores. La mayoría de los SCALLs están operativos.	Ofrecer programas de asistencia técnica. Utilización de energía fotovoltaica Capacitación a técnicos y agricultores en temas de tecnología en riego. Capacitación en formación de asociaciones. Asistencia en producción en invernaderos. Acercamiento hacia programas y concurso de fomento.

Macrorregión	Diagnóstico general	Brechas	Fortalezas	Propuestas de Vinculación
		Problemas de comercializar sus productos. Tienen desconfianza de las asociaciones con otros.		Vincularse a Mercados INDAP o ferias comunales. Capacitación en línea en SERCOTEC y FIA.
Aysén, Magallanes	Hay zonas con sistemas más rústicos y principalmente para autoconsumo y otras con invernaderos robustos con actividades comerciales. 76% de los agricultores solo produce para autoconsumo, 24% además vende y de estos, 25% vende más de la mitad de su producción	Escaso conocimiento en reparación y mantención de SCALLs. Más de la mitad de los SCALLs en estado no operativo o destruidos Falta de fuentes de Agua Invernaderos deteriorados. Edad avanzada de los agricultores. -No cuentan con trasporte. -Problemas de comercializar sus productos. -Tienen desconfianza de las asociaciones con otros	Mayor disponibilidad de agua por precipitaciones. Producen hortalizas y flores	Programas de asesoramiento en el uso, mantención y reparación de SCALLs. Capacitación a técnicos y agricultores en temas de tecnología en riego. Capacitación en formación de asociaciones. Asistencia en producción en invernaderos. Acercamiento hacia programas y concurso de fomento. Vincularse a Mercados INDAP o ferias comunales. Capacitación en línea en SERCOTEC y FIA

Fuente: Elaboración propia.

9 RELACIONAMIENTO COMUNITARIO

La Tabla 5 muestra una síntesis de las principales actividades de relacionamiento comunitario llevadas a cabo en el marco del proyecto. Estas actividades abarcan desde reuniones iniciales de coordinación, caracterización del territorio y encuestas a agricultores, hasta entrevistas con actores clave y reuniones con la Comisión Regional de Riego (CRR). Cada una de estas acciones estuvo orientada a involucrar a los actores relevantes, recabar información y fomentar la asociatividad y colaboración entre los beneficiarios del proyecto y las instituciones involucradas en sistemas SCALLs.

Tabla 5. Síntesis de actividades de relacionamiento comunitario

Actividad	Aspectos Relevantes
Reuniones de coordinación y presentación en el Territorio	Las primeras actividades fueron de coordinación y presentación en el territorio del proyecto. Se identificaron y catalogaron actores relevantes en el territorio, especialmente aquellos involucrados en la gestión de riego y los SCALLs. Se solicitaron catastros de pequeños agricultores beneficiarios de estos sistemas a varias instituciones, como INDAP, CONADI y los Gobiernos Regionales, detallando los números de solicitud para cada región. Dado que el proyecto abarcaba más de 200 comunas, se planificaron sesiones ampliadas on-line para difundir los alcances del estudio, involucrando a equipos profesionales y autoridades de distintas áreas.
Caracterización Social del Territorio	La caracterización social del territorio consideró revisión de información secundaria y de información primaria, obtenida de entrevistas y reuniones con actores claves que participan en la gestión del riego e involucrado con los sistemas de acumulación de aguas lluvia. Se determinaron las muestras con un análisis de distribución espacial de: división político-administrativa de la región, distritos agroclimáticos y ubicación de proyectos SCALL. Y dentro del distrito agroclimático se veló porque cada comuna quedase representada.
Aplicación de encuesta Base	Se realizaron un total de 510 encuestas a agricultores/as desde la región de O´Higgins hasta Magallanes con el objetivo de diagnosticar el funcionamiento y operación de los SCALLs. En el que se recogió la información de antecedentes del agricultor/a y del predio, información del SCALL, caracterización de la captación de agua, la conducción y la distribución, caracterización de la acumulación, de la protección, sistemas de entrega de agua, riego y sus componentes, mantenciones, calidad del agua, invernaderos, temporada de riego, manejo de cultivos, mano de obra y los problemas que enfrenta con el SCALL, además de su comercialización y asociatividad.
Aplicación de encuesta telefónica	Se realizó una encuesta telefónica a 84 agricultores/as interesados/as en emprender y que contaban con medio de comunicación telefónica, de un total de 275 que indicaban que si comercializaban sus productos. Con el objetivo de obtener información del interés de los agricultores/as de asociarse o agruparse con sus vecinos del rubro productivo que presentan y de las brechas en producción y comercialización que presentan.
Aplicación de entrevistas	En total se realizaron 32 entrevistas semi estructuradas entre las regiones de O´Higgins y Magallanes a agricultores/as, líderes de asociaciones o agrupaciones y profesionales de organismos públicos asociados y dirigentes de asociaciones. A modo de diagnosticar el interés y la percepción que existe entre los/as agricultores/as y actores de área agrícola y las posibilidades de vinculación.
Actividad de presentación de resultados y cierre	Se realiza el día 29 de octubre en instalaciones de CNR, actividad de presentación de resultados. Esto, con el fin de sociabilizar los principales resultados del estudio con los principales actores involucrados en la gestión de SCALLs. La sesión es de carácter hibrido, es decir, presencial en oficinas de Santiago y online para regiones.
Reunión con Comisión Regional de Riego (CRR)	Se realizan reuniones para informar sobre los resultados principales del estudio básico. Estas presentaciones se realizan tras la aprobación de los principales productos del estudio y son programadas con cada oficina de los Seremi de Agricultura, en coordinación con la Comisión Nacional de Riego (CNR), dado que las CRR (Comisiones Regionales de Riego) no tienen un calendario fijo. Además de los Seremi de Agricultura, participan otras entidades gubernamentales como las Seremis del Ministerio de Obras Públicas y del Ministerio de Desarrollo Social, junto con directores regionales de diversas agencias.

Fuente: Elaboración propia.

10 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

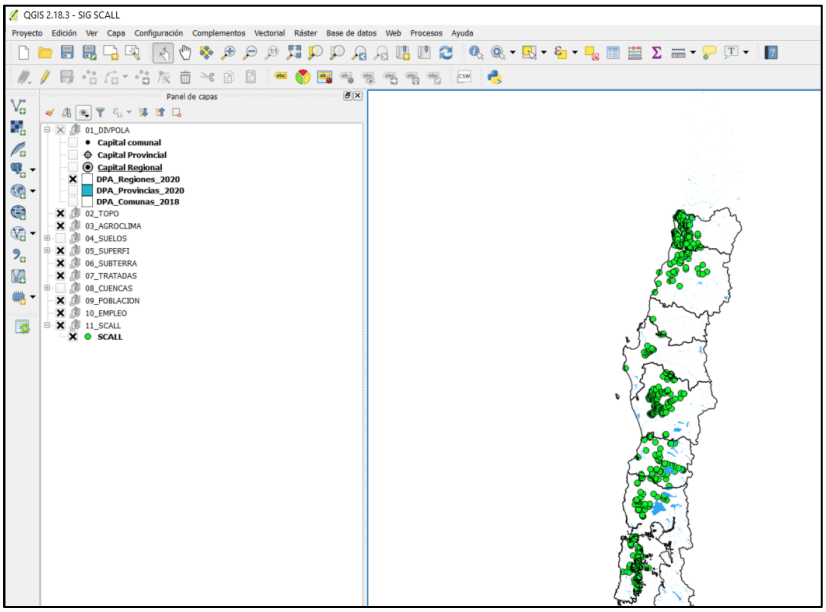
Se ha desarrollado un Sistema de Información Geográfica en el programa de código libre "QGIS" (Figura 10). Para el desarrollo del presente estudio, a medida que se ejecutaron las diferentes etapas, se generó información espacializada, la que fue poblando este completo sistema de información geográfico.

Las coberturas se generaron en formato Shape (.shp) independientes compuestos de los elementos gráficos y su ubicación espacial, además de una completa base de datos con la información correspondiente al levantamiento de información y análisis que se realicen.

El SIG fue desarrollado a nivel regional y la información básica que se presenta considera datos de: superficie total, cuerpos actuales de agua (ríos, esteros, lagunas, embalses, tranques, etc.), las características de los distintos tipos de suelo, agricultores, infraestructura de riego, entre otros aspectos técnicos y legales que fueron de interés para la Consultoría.

Toda georreferenciación se realizó en coordenadas UTM (Datum SIRGAS), sobre una base de imágenes satelitales.

Una vez terminadas las actividades de ingreso de información a la base de datos del SIG se procedió a verificar la consistencia de la información de asociaciones de elementos gráficos y alfanuméricos, de contenido de texto asociado a elementos gráficos, de concordancia entre coberturas gráficas, etc.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Visualización del SIG en plataforma Qgis 2.18.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este estudio se identificaron y analizaron un total de 3,407 Sistemas de Captación y Acumulación de Aguas Lluvias (SCALL) distribuidos en diversas regiones del país. Para evaluar su desempeño y características técnicas, económicas y sociales, se realizaron 510 encuestas detalladas con un error permisible muestral del 4%. Estas encuestas se distribuyeron por región de acuerdo con la presencia proporcional de SCALL y, dentro de cada región, se asignaron de manera que se lograra la mayor representatividad posible abarcando la mayor cantidad de comunas con presencia de SCALL.

Se considera que las encuestas aplicadas fueron representativas de los distintos sectores y permitieron identificar tendencias a nivel regional en cuanto a los estilos de construcción, materialidades y capacidades técnicas de los agricultores. Sin embargo, debido a la falta de información en algunas comunas, en varios casos solo fue posible visitar un SCALL por comuna, lo que limita el análisis de tendencias a nivel comunal. Es importante destacar que, aunque se aplicaron 510 encuestas en el territorio, el territorio abarca 212 comunas, lo que genera subrepresentación en algunas de ellas. Por este motivo, si se requiere un análisis más detallado a nivel comunal, será necesario aplicar un mayor número de encuestas en cada comuna específica para obtener resultados robustos y representativos de cada área geográfica.

Por otro lado, la compilación de una base de datos georreferenciada completa presentó múltiples desafíos. Uno de los principales problemas fue el acceso limitado a la información debido a las políticas de ciertas instituciones públicas. Además, muchas bases de datos carecían de georreferenciación, lo que dificultó la evaluación en algunos territorios. Como resultado, en varias comunas no se pudo acceder a información precisa sobre la ubicación de los SCALL. Por ejemplo, en comunas como Purén y Panguipulli no se disponía de georreferencias de los beneficiarios, lo que afectó la cobertura total del estudio.

11.1 Conclusiones.

Durante el estudio de los SCALL, se identificaron algunas diferencias entre regiones sobre la implementación y desempeño de estos sistemas. Por ejemplo, las regiones de Los Lagos y O'Higgins mostraron la mayor cantidad de SCALL operativos, sin embargo, Los Lagos presentó SCALL robustos con sistemas de acumulación mayores asociados comúnmente a invernaderos revestidos con policarbonato alveolar, mientras que O'Higgins presentó sistemas SCALL pequeños, asociado a superficies autocaptantes con acumuladores desde los 5000 L. En regiones como Ñuble y Aysén se encontraron una menor cantidad de sistemas operativos, lo cual puede deberse a la escasa disponibilidad de financiamiento o apoyo técnico.

Las regiones como Los Ríos y Los Lagos tuvieron resultados óptimos en cuanto a la acumulación de agua, mientras que otras áreas, como Maule u O'Higgins, enfrentaron problemas relacionados con el diseño de los sistemas, lo que impactó negativamente su rendimiento.

El diagnóstico realizado muestra una eficiencia variable en la captación y almacenamiento, con regiones como Los Ríos y Los Lagos mostrando resultados óptimos, mientras que otras áreas

enfrentan problemas de fugas, deterioro de los estanques y algunos problemas constructivos. La acumulación de agua presenta desafíos similares en las distintas regiones analizadas. Los estanques plásticos a nivel de suelo son comunes, pero a menudo se instalan sin un tratamiento adecuado del terreno, lo que provoca hundimientos y roturas en las tuberías. La variabilidad en la calidad de los componentes utilizados en los SCALL fue un problema recurrente. Los sistemas en regiones con condiciones climáticas más extremas, como fuertes vientos o heladas, mostraron fallas prematuras debido a la insuficiente robustez de las estructuras.

La calidad del agua es una debilidad transversal en todas las regiones para todos los sistemas debido a la falta de elementos filtrantes específicos para estos sistemas. La mayoría de los sistemas utilizan filtros de malla inadecuados, que requieren un alto mantenimiento y se obstruyen fácilmente. La falta de limpieza regular de las techumbres y canaletas contribuye a la acumulación de contaminantes en los estanques de almacenamiento.

En cuanto al riego, aunque muchos sistemas están técnicamente bien equipados, la falta de conocimiento sobre su operación y mantenimiento es un problema común. Los agricultores no suelen aplicar los tiempos de riego necesarios ni realizar la mantención adecuada de los sistemas, como la limpieza de filtros o el descole de laterales. La dependencia de métodos tradicionales de riego y la falta de tecnificación en algunos casos limitan la eficiencia del uso del agua.

En relación con los invernaderos asociados a los SCALL, la mayoría son estructuras rústicas con techos de plástico que necesitan ser reemplazados cada pocos años, principalmente regiones desde O'Higgins a Ñuble. Entre la región de La Araucanía a Los Lagos se identificaron una mayor cantidad de invernadores robustos, con materialidades resistentes, sin embargo, la falta de ventilación adecuada y la ausencia de instrumentos para el control del clima interno son problemas comunes en todas las regiones.

El análisis del impacto económico de los sistemas SCALL muestra una variabilidad significativa en su rentabilidad, dependiente de factores regionales y específicos de cada agricultor. Los estudios de sensibilidad indican que para que los SCALL sean rentables, es crucial aumentar el margen bruto de producción en promedio en un 52% o bien, asegurar que el sistema proporcione al menos el 41% de la demanda hídrica anual. Esto sugiere que mejoras en la eficiencia productiva, optimización de costos, acceso a mercados con mejores precios y aumento de la capacidad de almacenamiento de agua son esenciales. La reposición de insumos como plásticos y cintas también impacta de manera significativa en los costos y la rentabilidad del proyecto, por lo que, los sistemas deben implementarse con sistemas de calidad que no requieran constantes inversiones de parte de los agricultores.

Se evidencia que la infraestructura existente para la captación, conducción, filtración, acumulación y riego las regiones analizadas requieren mejoras. Sin embargo, Los SCALL han tenido un impacto positivo en la economía rural, mejorando la disponibilidad de agua para riego y aumentando la productividad agrícola. Los agricultores que han implementado estos sistemas han reportado una reducción en los costos operativos asociados con el suministro de agua. En resumen, los SCALL tienen el potencial de ser soluciones viables y rentables para mejorar la seguridad hídrica y la

productividad agrícola, siempre y cuando se implementen mejoras en la eficiencia, manejo del agua, uso de materiales duraderos y apoyo continuo en capacitación y financiamiento.

11.2 Recomendaciones.

Se recomienda fortalecer la coordinación interinstitucional mediante la creación de un protocolo de intercambio de información entre las instituciones públicas y organismos encargados de la evaluación de proyectos, como el presente estudio. Este protocolo debería establecer directrices claras para el acceso y uso de datos, priorizando la generación de bases de datos georreferenciadas y compartidas que cumplan con estándares de calidad y privacidad.

En cuanto a las recomendaciones para la mejora de los sistemas SCALL se enfocan en optimizar su diseño e implementación para maximizar la rentabilidad y eficiencia. Se identificaron varios problemas de diseño e instalación en distintas regiones, los cuales requieren atención para asegurar el éxito de estos sistemas.

- **Dimensionamiento del sistema:** Se recomienda que el dimensionamiento del sistema SCALL se base en un balance hídrico preciso del predio a lo menos, a una escala mensual, asegurando que la capacidad de almacenamiento sea adecuada para cubrir la demanda hídrica de los cultivos. Se deben realizar cálculos hidráulicos detallados para asegurar que el sistema de riego funcione eficientemente, ya sea por gravedad o mediante el uso de bombas.
- **Captación**: Se debe priorizar la optimización y uso de techumbres existentes para la captación de agua, en lugar de invertir en nuevas superficies captantes exclusivas. Solo se recomienda invertir en superficies captantes exclusivas cuando exista superficie suficiente, principalmente en ladera. O bien, esta estructura ayude a proteger el acumulador de eventos externos, por ejemplo, cargas de nieve que puedan vaciar el acumulador.
- **Sistema de filtrado:** La implementación de filtros adecuados en el sistema de captación y distribución es crítica. Es crucial instalar separadores de primeras aguas que requieran poca mantención para descartar el agua inicial de las lluvias.
- **Acumuladores de agua:** Es fundamental seleccionar acumuladores adecuados en función de las necesidades específicas del predio y las condiciones climáticas de la región. Los estanques verticales plásticos deben ser instalados sobre bases niveladas y firmes, preferiblemente de concreto, para evitar hundimientos y garantizar la estabilidad. En regiones con altas velocidades de viento, se deben implementar eslingas de sujeción para asegurar los estanques. Además, los estanques tipo australiano y las cisternas flexibles pueden ser opciones viables, cada uno con sus propias ventajas y consideraciones específicas de instalación y mantenimiento.
- **Casetas de riego:** Se deben dimensionar y construir casetas de riego de dimensiones adecuadas es para proteger los componentes del sistema de riego, como bombas, filtros y tableros de control. Estas casetas deben ser construidas con materiales duraderos como Metalcon o fierro, y deben contar con un revestimiento térmico en regiones con climas extremos para evitar el congelamiento de los equipos.
- **Componentes del riego:** Se debe considerar en la inversión inicial sistemas de riego duraderos, por ejemplo, cintas o líneas de riego de espesores mayores que garanticen una mayor vida útil

de la línea de riego. En zonas extremas, se debe considerar la implementación de sistemas de aislación térmica en tuberías y componentes sensibles para prevenir el congelamiento. Materiales aislantes como el poliuretano y las mantas térmicas pueden ser utilizados para proteger las tuberías y asegurar un flujo continuo de agua durante el invierno.

- **Elementos de protección y control eléctrico:** Es indispensable contar con un tablero de control eléctrico bien diseñado que incluya los elementos mínimos para la operación. Esto, debidamente resguardado en un armario metálico resistente que proteja los componentes de las condiciones ambientales y posibles daños.
- **Uso de energías renovables:** La incorporación de sistemas de ERNC es clave para reducir los costos operativos de un SCALL. Un sistema fotovoltaico de alrededor de 1 ~1,5 kW suele ser suficiente para las necesidades energéticas de riego a pequeña escala, considerando que los tiempos de riego son cortos.
- **Invernaderos:** Se recomienda que la construcción de los invernaderos sea considerara en la inversión inicial del proyecto utilizando elementos robustos. Utilizar cubiertas de policarbonato alveolar sería recomendable debido a su durabilidad y capacidad de transmisión de luz. En términos estructurales se recomienda el uso de Metalcom para la estructura soportante o acero galvanizado. Se recomienda también, la instalación de iluminación en los invernaderos que proporcionen buena visibilidad y permitan trabajar después del anochecer.
- **Programas de capacitación a agricultores:** La capacitación continua y el apoyo técnico a los agricultores son esenciales para garantizar la operación y el mantenimiento eficiente de los sistemas SCALL. Los programas de capacitación deben incluir el manejo adecuado de los sistemas de riego, la operación de filtros y sistemas de bombeo, y la interpretación de datos de demanda de agua para tomar decisiones de riego oportuno. También es importante capacitar a los agricultores en el uso y mantenimiento de tecnologías de energías renovables.
- **Programas de capacitación a extensionistas rurales:** Debido a que los extensionistas rurales son el principal punto de contacto con los agricultores y actúan como asesores expertos en sistemas productivos, se consideran un vector clave para la transferencia de conocimiento. Por lo tanto, se recomienda fortalecer sus capacidades a través de programas de capacitación integral en temas como sistemas de riego, gestión del agua, y el uso de herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) para la georreferenciación y análisis de recursos hídricos.

En resumen, para mejorar la eficiencia y rentabilidad de los sistemas SCALL, es necesario asegurar un dimensionamiento adecuado del sistema. Además de considerar en el dimensionamiento sistemas robustos de sistemas de filtrado, casetas de riego adecuadas, invernaderos que tengan larga duración, elementos de protección eléctrica, uso de energías renovables, y acumuladores de agua. Finalmente, se deben considerar programas de capacitación continua a los agricultores con el fin de garantizar la sostenibilidad y éxito de estos sistemas.