



CRHIAM
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/1523A0001



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



UNA MIRADA NACIONAL DEL AVANCE DE LA IMPLEMENTACIÓN DE COSECHAS DE AGUAS LLUVIAS

Javiera Gutiérrez / Felipe Barriga / Gloria Gómez / Amaya Álvez
Leonardo Fernández / Gladys Vidal

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

Versión impresa ISSN 0718-6460

Versión en línea ISSN 0719-3009

Directora:

Gladys Vidal Sáez

Comité editorial:

Sujey Hormazábal Méndez

María Belén Bascur Ruiz

Serie:

Una mirada nacional del avance de la implementación de cosechas de aguas lluvias. Javiera Gutiérrez, Felipe Barriga, Gloria Gómez, Amaya Álvez, Leonardo Fernández y Gladys Vidal. Abril 2025.

Agradecimientos:

Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería, (CRHIAM)

ANID/FONDAP/1523A0001

Victoria 1295, Barrio Universitario,

Concepción, Chile.

Teléfono +56-41-2661570

www.crhiam.cl

Este documento debe citarse como:

Gutiérrez, J., Barriga, F., Gómez, G., Álvez, A., Fernández, L., Vidal, G. 2025.

Una mirada nacional del avance de la implementación de cosechas de aguas lluvias. Serie Comunicacional CRHIAM, Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería (ANID/FONDAP/1523A0001). ISSN 0718-6460 (versión impresa), ISSN 0719-3009 (versión online), No. 90, 42pp. Disponible en: <https://www.crhiam.cl/publicaciones/series-comunicacionales/>



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



UNA MIRADA NACIONAL DEL AVANCE DE LA IMPLEMENTACIÓN DE COSECHAS DE AGUAS LLUVIAS

Javiera Gutiérrez / Felipe Barriga / Gloria Gómez / Amaya Álvez
Leonardo Fernández / Gladys Vidal

SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM

PRESENTACIÓN

El Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería -Centro Fondap CRHIAM- está trabajando en el tema de "Seguridad Hídrica", entendida como la "capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política" (ONU-Agua, 2013).

La "Serie Comunicacional CRHIAM" tiene como objetivo potenciar temas desde una mirada interdisciplinaria, con la finalidad de difundirlos a los tomadores de decisiones públicos, privados y a la comunidad general. Estos textos surgen como un espacio de colaboración colectiva entre diversos investigadores ligados al CRHIAM como un medio para informar y transmitir las evidencias de la investigación relacionada a la gestión del recurso hídrico.

Con palabras sencillas, esta serie busca ser un relato entendible por todos y todas, en el que se exponen los estudios, conocimiento y experiencias más recientes para aportar a la seguridad hídrica de los ecosistemas, comunidades y sectores productivos. Agradecemos el esfuerzo realizado por nuestras y nuestros investigadores, quienes han trabajado de forma mancomunada y han puesto al servicio de la comunidad sus investigaciones para aportar de forma activa en la búsqueda de soluciones para contribuir a la generación de una política hídrica acorde a las necesidades del país.

Dra. Gladys Vidal
Directora de CRHIAM

DATOS DE INVESTIGADORES



Javiera Gutiérrez

Bioingeniera.
Ingeniero de Apoyo CRHIAM.



Felipe Barriga

Bioingeniero.
Diplomado en Análisis y Gestión del Ambiente,
Universidad de Concepción.
Ingeniero de Apoyo CRHIAM.



Gloria Gómez

Bioingeniera.
Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental
(GIBA-UdeC),
Facultad de Ciencias Ambientales,
Universidad de Concepción.



Amaya Álvez

Abogada.
Doctora en Derecho,
Universidad de York, Canadá.
Profesora Titular Depto. Derecho Público
Universidad de Concepción.
Investigadora Asociada CRHIAM.



Leonardo Fernández

Licenciado en Educación.
Profesor de Educación Física,
Diplomado en Ergonomía.
Co fundador Cosecha Agua.
Diplomado en Recursos Hídricos para el
Desarrollo Sustentable, CRHIAM,
Universidad de Concepción.

**Gladys Vidal**

Doctora en Ciencias Químicas.
Programa en Biotecnología Ambiental,
Universidad Santiago de Compostela, España.
Profesora Titular Facultad de Ciencias Ambientales,
Universidad de Concepción.
Directora CRHIAM.

RESUMEN

El cambio climático, el aumento de la población mundial y el crecimiento de las temperaturas están intensificando el estrés hídrico, reduciendo tanto la cantidad como la calidad del agua dulce disponible para consumo humano y riego agrícola. En 2016, el 52% de la población global vivía en zonas con escasez hídrica, y se estima que esta cifra aumentará a un 57% para 2050. De acuerdo con el Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 de la ONU, tres de cada diez personas no tienen acceso a servicios de agua potable seguros. Esta situación evidencia la necesidad urgente de diversificar las fuentes de agua y desarrollar tecnologías que permitan enfrentar esta crisis.

Una de las principales fuentes de consumo de agua es la agricultura, que utiliza el 70% del total extraído desde ríos, lagos y acuíferos, generando una presión significativa sobre los ecosistemas acuáticos. Frente a este escenario, los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) surgen como una alternativa viable. Estos sistemas permiten recolectar agua durante eventos de lluvia intensa para uso doméstico o agrícola, conservando el recurso, disminuyendo la escorrentía y ayudando a mitigar inundaciones.

Estudios indican que una captación eficiente desde techos puede reducir la escorrentía en hasta un 90%. Además, al evitar que el agua de lluvia entre en contacto con superficies contaminadas, se reduce la posibilidad de arrastre de sedimentos, basura y productos químicos hacia cursos de agua. En zonas urbanas con suelos impermeabilizados y en áreas con difícil acceso al agua, la cosecha de lluvia se presenta como una solución efectiva, que además podría contribuir a reducir costos y aliviar la presión sobre acuíferos subterráneos cada vez más demandados.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático, el aumento de las temperaturas a nivel mundial y el crecimiento exponencial de las poblaciones, potencian el estrés hídrico sobre las fuentes de agua para consumo humano y riego agrícola tradicional, reduciendo la cantidad y la calidad del agua dulce disponible (Dawadi y Ahmad, 2019). En 2016, el 52% de la población mundial vivía en zonas de escasez hídrica, y se prevé que este porcentaje aumente a casi un 57% para 2050 (Boretti y Rosa, 2019).

Según el Objetivo de Desarrollo Sostenible N°6 descrito por la Organización de Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015), 3 de cada 10 personas en el mundo carecen de acceso a servicios de agua potable seguros. Es por esto que, se hace imperante diversificar la matriz hídrica y desarrollar nuevas tecnologías que permitan diversificar las fuentes de agua potable con el objetivo de disminuir las brechas que impone la escasez hídrica. Desde la perspectiva de la demanda del recurso hídrico para actividades tan ampliamente explotadas como la agricultura, la ONU indica que el 70% de todas las aguas extraídas desde ríos, lagos y acuíferos se utilizan para riego, lo cual demuestra la presión que genera esta actividad sobre el ciclo del agua y los ecosistemas acuáticos.

Una forma de diversificar la matriz hídrica es utilizar los denominados Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) para posibles usos domésticos y/o riego. Esta tecnología además de capturar agua de eventos de precipitación extrema, también conserva el agua dulce y reduce la escorrentía de aguas pluviales (Steffen *et al.*, 2013). Un estudio australiano demostró que la captación de agua de lluvia recolectada eficientemente desde un techo podría reducir la escorrentía de aguas lluvias hasta en un 90% (Tom *et al.*, 2013; Morgado *et al.*, 2022), factor importante para contribuir a mitigar los impactos de las inundaciones en zonas donde las precipitaciones son cada vez más intensas. Por su parte, la escorrentía superficial de agua lluvia puede arrastrar sedimentos, basura y productos químicos hasta los cursos de agua locales, traducándose en una inminente contaminación (Li *et al.*, 2009). Sin embargo, si se evita este proceso mediante la captación de aguas previo al contacto con el suelo, principalmente en centros urbanos donde la impermeabilización del sue-

lo es importante, se podrían reducir los posibles efectos que causan los contaminantes transportados por el agua de lluvia hacia los cuerpos de agua naturales.

En este sentido, la cosecha del agua lluvia también puede ser una fuente alternativa de agua para la ciudad y puede contribuir a reducir el costo asociado al consumo, especialmente para zonas que no tienen agua de fácil acceso (fuentes de aguas lejanas) o terrenos en áreas urbanas donde la impermeabilización de tierras impide la recarga de acuíferos subterráneos, los cuales están siendo altamente presionados para suplir las demandas de agua tanto para consumo como para la actividad agrícola (Morgado *et al.*, 2022).

SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS (SCALL)

Los sistemas de cosecha o aprovechamiento de las aguas lluvias, se reconocen como la práctica de aumentar la disponibilidad de agua para uso doméstico, animal o agrícola. Estos sistemas se han utilizado desde los inicios de la civilización como tal, principalmente por las poblaciones que se establecieron en zonas áridas o semiáridas, donde la disponibilidad de aguas superficiales es escasa. Por esta razón, la captación de aguas lluvias se utilizó como una fuente de agua para los cultivos agrícolas y ganadería. Dentro de los ejemplos más antiguos, se encuentran los descubiertos en el desierto de Negev, entre Israel y Jordania. Estos sistemas que datan de 4.000 años, consistían en el desmonte de lomeríos, es decir, un conjunto de colinas, para así encausar la escorrentía superficial a las tierras de cultivo. Cabe destacar que el aumento en las necesidades hídricas, dado por el aumento de la densidad poblacional, ha impulsado un avance tecnológico en los sistemas de aprovechamiento de agua, utilizando actualmente aguas superficiales y subterráneas para suplir las necesidades básicas del ser humano que impulsan el desarrollo y su supervivencia (Suárez *et al.*, 2006; Oweis,2017).

Diseños de captadores de aguas lluvia

Puesto que la mayoría de las técnicas de captación de aguas lluvias tienen un origen ancestral, estas han sido optimizadas para aumentar su eficiencia, principalmente enfocado en el manejo de los suelos y el agua captada, construcción y manejo de las obras hidráulicas, conducción, almacenamiento y distribución del agua lluvia.

Podemos encontrar cuatro formas principales de captación de aguas lluvia: microcaptación, macrocaptación, captación de agua atmosférica y captación desde techos de vivienda o estructuras impermeables (FAO, 2013).

La **macrocaptación**, consiste en la captación de la escorrentía superficial que se genera en grandes áreas contiguas o apartadas de la zona de almacenamiento y/o utilización, para derivarla a zonas de cultivo o estructuras de almacenamiento como estanques o embalses. Esta técnica requiere de conocimiento hidrológico de la escorrentía superficial, el tipo de suelo y las diferentes fallas geográficas que se encuentren en el sector destinado para la captación. Por esta razón, la macrocaptación debe contar con estructuras de contención y conducción de las aguas, tales como, canales, surcos, acequias, entre otras. Esta técnica es muy utilizada en sectores áridos o semiáridos donde es necesario captar la mayor cantidad de agua lluvia posible.

Por su parte, la **microcaptación** o **captación *in situ***, al igual que la macrocaptación, consiste en captar la escorrentía superficial, su principal diferencia se debe a la forma de captación del agua, puesto que se realiza en áreas contiguas a las zonas de siembra para así, infiltrar esta agua y aprovecharla en los cultivos. Esta técnica, requiere de áreas con pendientes, escasa vegetación y suelos menos permeables, con el fin de que las estructuras de contención deriven la escorrentía directamente al lugar exacto donde se quiere infiltrar, evitando la pérdida de agua captada.

Otra técnica de captación de agua lluvia, utilizada principalmente en zonas desérticas y áridas es la **captación de agua atmosférica** de manera pasiva. A pesar de que no se considera una forma de captación de aguas lluvia por sí misma, sí capta el vapor de agua de la atmósfera produci-

do por la condensación. Se considera una forma simple de captación de agua, puesto que en la mayoría de los casos solo necesita la exposición de una malla tipo Raschel a las masas de aire con niebla, quienes retendrán el agua suspendida en el ambiente (Bautista-Olivas *et al.*, 2011).

Por último, la forma más utilizada de cosecha de aguas lluvia, es la **captación desde techos de vivienda o estructuras impermeables**, este sistema recibe la denominación de **Sistemas de Captación de Aguas Lluvias por Techo (SCALLT)**. Los SCALLT se caracterizan por la recolección de aguas lluvia a través de los techos o superficies de viviendas, establecimientos educacionales, públicos y urbanos, donde a través de un sistema de cañerías, el agua es almacenada en diversos tipos de estanques.

COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SCALLT

Como su nombre lo indica y se muestra en la Figura 1, la captación de precipitaciones se lleva a cabo a través de estructuras como techos o superficies impermeables que son utilizadas para interceptar el flujo fluvial, conducirlo mediante una red de canaletas, filtrarlo, desinfectarlo y almacenarlo para su posterior utilización. El modelo de captación de techo es la alternativa más económica y viable de ejecutar, puesto que requiere cuidados mínimos, como, por ejemplo, limpieza de techo y canaletas receptoras, además, de la separación de las llamadas primeras aguas, es decir, las primeras lluvias de la temporada, que podrían contener suciedades o desechos restantes, principalmente, contenidos en los medios de captación.

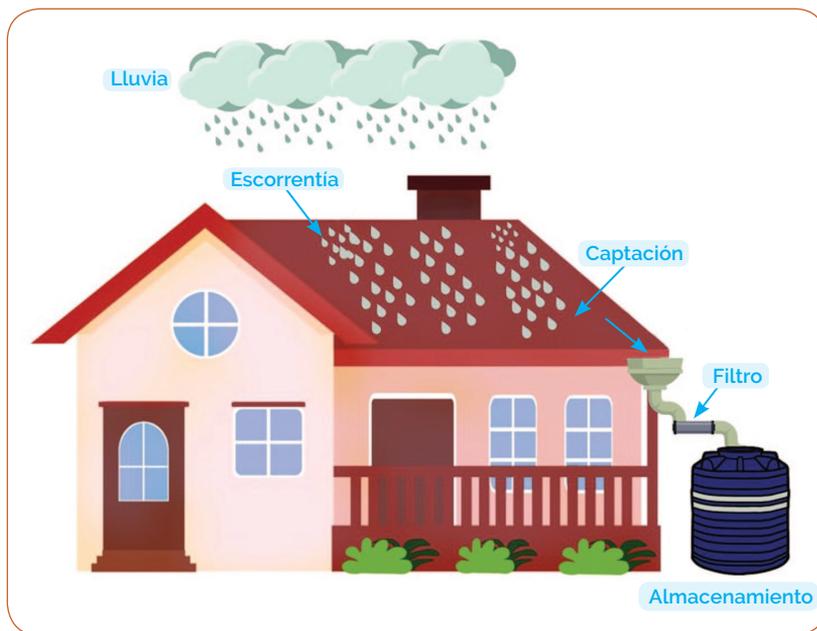


Figura 1.

Composición general de un SCALLT. Fuente: Elaboración propia.

En general, esta tecnología se compone de 5 procesos fundamentales para su óptimo funcionamiento como se puede observar en la Figura 2, estas etapas son:

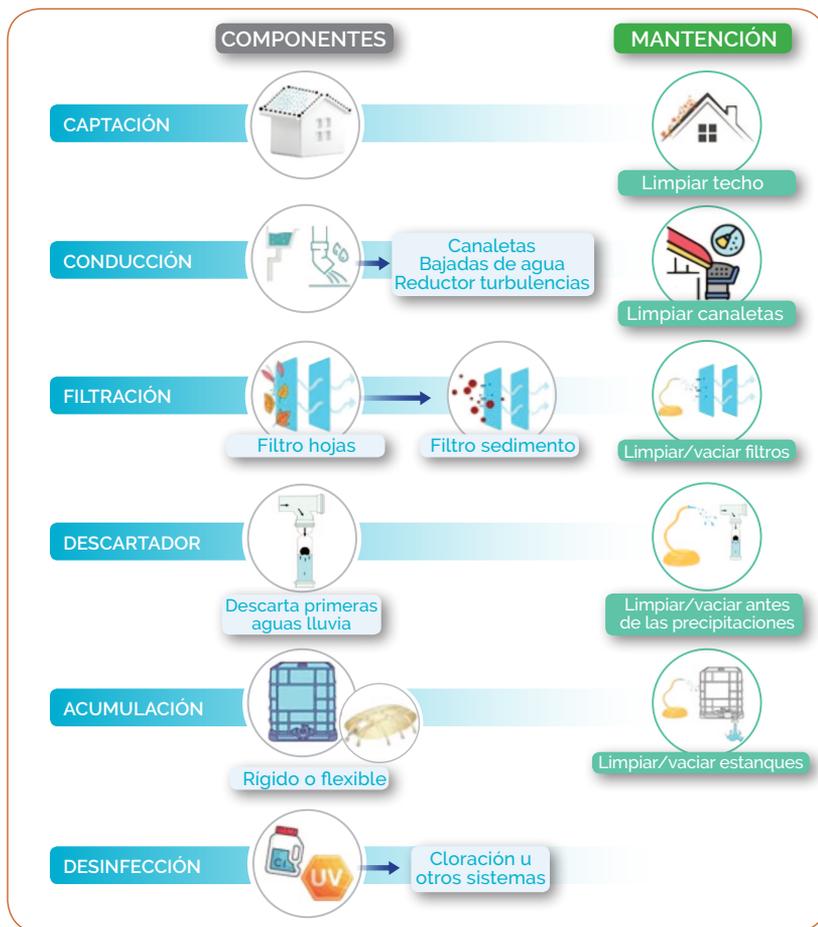


Figura 2.

Procesos y componentes de un SCALLT. Fuente: Elaboración propia.

Captación: Consiste en la colección de las precipitaciones, la cual se realiza en las superficies impermeables/techumbres donde se instaló el sistema. Por gravedad, dada la inclinación que presentan estas superficies, la precipitación escurrirá hacia los demás componentes. Preferentemente, el techo para captar aguas lluvias –debe ser de materiales tales como zinc o tejas.

Conducción: Corresponde a la red de canaletas, bajadas de aguas lluvias, tuberías, entre otros, que reciben la precipitación captada por el techo, para trasladarla hacia el tanque de almacenamiento. Para este proceso, se prefiere el uso de materiales de PVC, puesto que es sencillo de utilizar y manejar, es resistente a los rayos UV, y puede ser cubierto con aislantes térmicos para hacer frente a las temperaturas bajas.

Filtración: Los filtros en los SCALL, se utilizan para remover partículas en suspensión, pero también disminuyen las características microbiológicas y fisicoquímicas, mejoran el olor y sabor del agua y reducen la concentración de compuestos químicos.

Existen varios tipos de filtros que pueden ser utilizados en los SCALL, primeramente, debe implementarse los **macrofiltros** o filtros de primeras aguas, su función, es captar las primeras precipitaciones, y separar sólidos tales como hojas, tierra, desechos animales, que se han acumulado en la superficie de captación desde la última precipitación registrada que, al precipitar nuevamente, son arrastrados al sistema de captación. Este filtro se ubica en las bajadas de las canaletas a una altura accesible para facilitar su limpieza. En algunos SCALL, se utiliza un segundo filtro, correspondiente a **microfiltro**, conocido como filtro en línea o filtro de barrera de sedimento. Este microfiltro se encarga de retener las pequeñas partículas que puedan encontrarse en las aguas, suelen ubicarse entre el macrofiltros y el estanque de captación de primeras aguas. Sin embargo, este filtro, también puede ubicarse luego del tanque de almacenamiento, antes del punto de utilización de las aguas captadas.

Descartador de primeras aguas: Corresponde a un contenedor, ubicado de manera contigua al tanque de almacenamiento, que recibe las primeras descargas de precipitaciones que escurren desde la superficie de captación, evitando que aguas contaminadas puedan llegar al tanque de almacenamiento. Cuando el descartador haya alcanzado su límite de almacenamiento, las aguas retomarán su cauce en dirección al tanque de almacenamiento, procurando así evitar el paso de los sólidos sedimentables que no quedaron retenidos en el primer filtro. Es importante vaciar y lavar este descartador antes de la temporada de precipitaciones,

Acumulación o almacenamiento: El agua lluvia captada, que ya ha pasado por la etapa de conducción y filtración, finalmente, es destinada a los

estanques de almacenamiento. Estos estanques pueden variar tanto en forma como en tamaño, encontrándose tanques desde los 2.800 L hasta los 30.000 L para viviendas o pequeñas comunidades. Dentro de sus características se destaca la impermeabilidad, válvula de venteo (permite la gestión adecuada de aire), rebosadero que proporciona la liberación controlada de las aguas lluvias, para así no colapsar el sistema, un sistema de sello capaz de bloquear la entrada de contaminantes y de luz solar, además de estructuras de salida y drenaje del agua. A su vez, estos estanques pueden variar en configuración, es decir, pueden conectarse en serie para aumentar la capacidad de captación de precipitación por parte de los SCALLT.

Dentro de los estanques más utilizados se encuentran los **rígidos** y los **flexibles**, existiendo también los estanques **subterráneos**. Los estanques rígidos pueden ser de distinto tamaño. En su interior se ubican las piezas que facilitan la decantación y desinfección, como la válvula de venteo y el rebalsador. Por su parte, los estanques flexibles, también conocidos como "guateros" o "almohadas" están compuestos de plástico dúctil muy resistente, son resistente a la penetración de rayos UV, lo que impide la proliferación de microorganismos y algas. Además, es de fácil manejo, puesto que puede ser enrollado en su totalidad. Como consideración, este tipo de estanque debe contar con un terreno totalmente plano para su colocación. Por último, los estanques subterráneos, deben ser de paredes totalmente impermeables y estar recubiertos por una capa de plástico para evitar la infiltración de las aguas lluvias.

Desinfección: El proceso de desinfección, es necesario para eliminar bacterias, patógenos y microorganismos. Dentro de los tipos de desinfección, los más comunes son la cloración mediante tabletas mediante un sistema de dosificación de cloro, cloración líquida mediante solución de hipoclorito de sodio, desinfección mediante luz ultravioleta (UV) y también la desinfección solar. Otra forma de desinfección es la pasteurización, donde el agua es calentada entre 50°C y 70°C, este método elimina o inactiva los microorganismos por las altas temperaturas.

Cabe destacar, los SCALLT también pueden precisar la utilización de bombas manuales o eléctricas para impulsar y/o conducir el agua (CNR, 2017; CRHIAM, 2021).

CONSIDERACIONES DE DISEÑO

La construcción de un SCALLT depende de diversos factores, entre ellos destacan la pluviometría de la zona, es decir, los milímetros de aguas lluvia caídas; las cuales en el caso de Chile pueden obtenerse en la Dirección General de Aguas (DGA), metros cuadrados de la superficie impermeable y su nivel de escorrentía, consumo de agua, entre otros. Una vez establecidos estos requerimientos es posible continuar con la construcción de un SCALLT. El proyecto de diseño puede abordarse según la necesidad de agua de la población o según la superficie impermeable disponible. Para poder modelar estos datos es necesario realizar una serie de cálculos y para llevarlos a cabo es necesario determinar los siguientes parámetros:

Precipitación promedio mensual (Ppm): Se necesita tener la información del promedio mensual de precipitaciones de los últimos 5 años como mínimo. Donde **pm_i** corresponde a la sumatoria de la precipitación promedio de un mes en específico durante la cantidad de años a evaluar, mientras que **n** corresponde al número de años a evaluar.

$$Ppm = \frac{pm_1 + \dots + pm_n}{n}$$

Demanda (D): Corresponde a la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades de la población donde se instalará el SCALLT. Para responder a esa interrogante, encontramos que **D_i (m³)** indica la demanda de agua mensual, **Nu** representa a la cantidad de personas a proveer de agua, **Nd** corresponde al número de días del mes en particular a estudiar, mientras que **Dot (L/persona·día)** es la cantidad de agua que utiliza una persona de la población al día.

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Volumen de estanque de almacenamiento (A): Como se veía anteriormente, dentro de los componentes de los SCALLT, uno de los más relevantes es el estanque de almacenamiento, siendo clave conocer las dimensiones con las que debería contar. Para el cálculo, se deben considerar la **Ppm** mencionada anteriormente, **Ce** que corresponde al coeficiente de escorrentía, esto significa la fracción de agua de las pre-

precipitaciones que genera escorrentía superficial, en este caso, sobre la superficie impermeable de captación. Cada material presenta su propio coeficiente de escorrentía, por ejemplo, el Zinc que corresponde a uno de los materiales más utilizados posee un coeficiente de 0.9. Por último, se debe considerar el área de captación del techo **Ac** (m²).

$$A_i = \frac{P_{pm} \times C_e \times A_c}{1000}$$

Volumen de acumulación de precipitaciones: Para calcular el volumen efectivo de precipitaciones acumuladas, se debe tener en cuenta la relación mostrada en la Figura 3, donde se relaciona el área de la superficie impermeable de captación versus la cantidad de precipitaciones (mm), bajo la constante que **1 mm de precipitación = 1 L/m²**. Cabe destacar que siempre se deben considerar las pérdidas de carga, por lo que esta relación se calcula con un 80% de eficiencia.

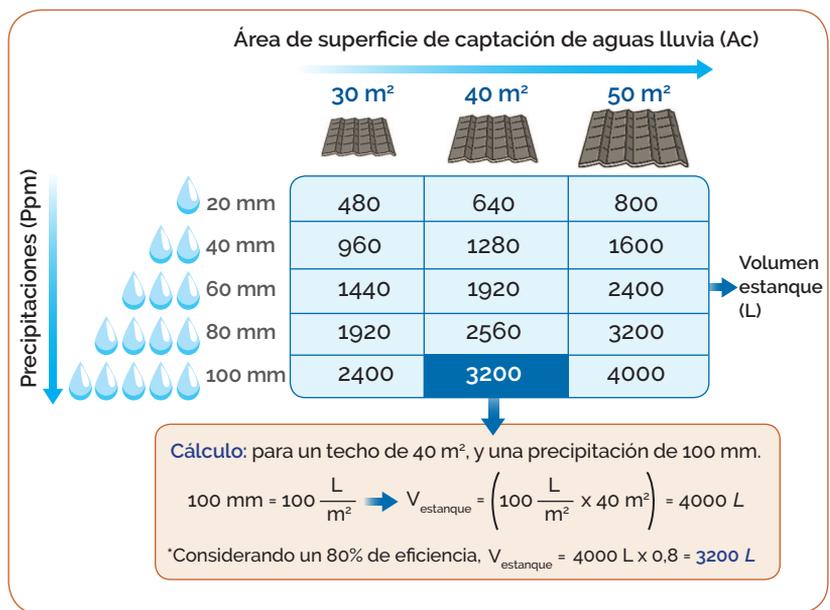


Figura 3.

Volumen de agua cosechada en relación a precipitaciones y área de superficie de captación.

Fuente: Elaboración propia.

BENEFICIOS Y OPORTUNIDADES QUE OFRECEN LOS SCALLT

A diferencia de lo que se podría pensar, los SCALLT no solo son beneficiosos en regiones de escasez hídrica, sino que también dependen de condiciones locales, principalmente de oferta y demanda de agua, pudiendo entregar beneficios a nivel urbano y rural.

Sistemas de captación de aguas lluvias en ambientes urbanos

La urbanización ha aumentado la cobertura impermeable desencadenando una reducción en la infiltración. Este cambio antrópico al ciclo del agua, genera una menor infiltración afectando directamente la recarga de acuíferos, propiciando riesgos de inundación y aludes asociados a los periodos de lluvia, los cuales se han visto aumentados por los efectos el cambio climático, dado que las precipitaciones tienen una mayor intensidad en menores periodos de tiempo (Gardner y Vieritz, 2010).

En este contexto, la utilización de SCALLT en zonas urbanas propicia la reducción del estrés hídrico contrarrestando los efectos del cambio climático, puesto que mitiga las inundaciones, disminuyendo el flujo de escorrentía. Un estudio realizado en la cuenca de Cholls Creek en California (EE. UU), reveló que un sistema domiciliario puede reducir la escorrentía de un 13,1% a un 9,3%. A su vez, se demostró que la utilización de SCALLT puede reducir la escorrentía entre un 1% y 17 % dependiendo de la situación hídrica de la ciudad, donde los mayores porcentajes de disminución se registraron en ciudades semiáridas (Steffen *et al.*, 2013; Walsh *et al.*, 2014).

Dentro de los beneficios urbanos de los SCALLT, se encuentra la recarga de aguas a nivel superficial o subterráneo para hacer frente a la impermeabilización de los suelos. Relevante fue el estudio hecho por Shrestha (2010), quien utilizó aguas lluvias captadas para recargar un pozo proveniente de un acuífero, obteniendo que la recarga con aguas lluvias mejoró la calidad de agua del pozo, disminuyendo la concentración de nitratos presentes. Cabe destacar que la recarga artificial de acuíferos requiere suelos permeables.

En la Figura 4, se muestran más ventajas de la utilización de SCALLT en ambientes urbanos de uso no potable, puesto que estas aguas pueden ser utilizadas para riego ornamental, lavado de vehículos y calles, recarga de inodoro y agua para lavandería. Se estima, que la utilización de SCALLT a nivel urbano, puede disminuir la demanda de agua potable entre 12% y 79%, estos porcentajes dependen principalmente de la cantidad de precipitaciones anuales, nivel socioeconómico y capacidad de captación de aguas (Hermann y Schimida., 2000; Vieira y Ghisi, 2016; Gado y El-Agha, 2020).

Un estudio realizado por Santos y Taveira-Pinto (2013), concluyó que una vivienda de 4 personas con un SCALLT instalado, puede ahorrar entre 45 y 68 m³ de agua al año. Además, la utilización de SCALLT aumenta la vida útil de los sistemas de distribución centralizada de agua reduciendo la demanda, lo que conlleva a una disminución en el uso de recursos para aumentar la infraestructura hídrica de las ciudades disminuyendo la presión sobre la red de alcantarillado (Rodrigues de Sá Silva *et al.*, 2022).

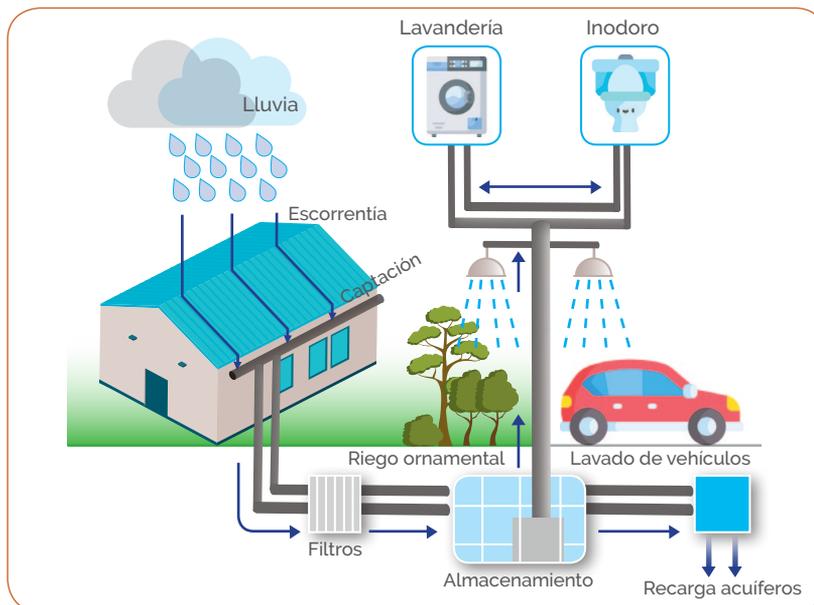


Figura 4.

Usos de aguas lluvias en ambientes urbanos.

Fuente: Elaboración propia.

Sistemas de captación de aguas lluvias en contextos rurales

A diferencia de las zonas urbanas, las necesidades hídricas en los sectores rurales se encuentran menos cubiertas. En estas localidades, el desarrollo de la agricultura y ganadería es fundamental para la subsistencia y solvencia económica, por lo que el agua es un bien preciado que sustenta sus necesidades tanto domésticas como para el desarrollo de estas actividades. Según las estimaciones del Banco Mundial, la población rural en el mundo se constituye por 3,43 mil millones de personas, lo que corresponde al 44% de la población mundial y la superficie dedicada a cultivo alcanza los 275 millones de hectáreas, aumentando un 1,3% anual. Para el año 2050, la producción de alimentos debe aumentar en al menos un 70%, lo que se traduce en un aumento del consumo de recursos hídricos a nivel global de un 53% (Velasco-Muñoz *et al.*, 2019; Banco mundial, 2023).

La captación de aguas lluvias en ambientes rurales, se practica principalmente, en áreas donde la lluvia es insuficiente para mantener cultivos, o donde el suministro de agua es inestable. Por lo tanto, el principal uso de las aguas lluvias es complementario, pues se basa en recolección y almacenamiento para periodos de escasez y para la etapa de crecimiento de los cultivos donde consumen mayor cantidad de agua. Siendo el riego complementario o suplementario su mayor índice de utilización. Las aguas lluvias captadas, suelen ser utilizadas para consumo humano en zonas rurales, cabe destacar que para esto son necesarios tratamientos y sistemas de desinfección correspondientes. Al igual que en la urbe, en las zonas rurales, el agua también puede ser utilizada para saneamiento (Qadir *et al.*, 2007; Baguma y Loiskandl., 2010).

Oweis y Hachum (2006) estimaron que en regiones áridas donde se realiza captación de aguas lluvias, se destinan a riego de cultivos entre un 30-50% del volumen total cosechado, lo cual es relevante en el escenario de crisis hídrica acentuado por el cambio climático. Debido a que el 44% de los cultivos a nivel mundial se encuentran en regiones áridas, para el 2050, se estima que 1.800 millones de personas deban abandonar sus lugares de orígenes por el avance de la desertificación, la ausencia de fuentes de agua, y, por tanto, la degradación de las tierras cultivables que ha registrado una velocidad de desertificación 35 veces superior a la

histórica. Por estas razones, la captación de aguas lluvias en zonas rurales donde su principal actividad productiva es la agricultura, es una fuente de recursos hídricos que debe aportar al menos como complemento de los sistemas de aguas convencionales o para suplirlos (WWDR, 2009).

UTILIZACIÓN DE SCALLT EN EL MUNDO

La necesidad de nuevas fuentes agua en las décadas recientes por la acción de la crisis climática, han propiciado la búsqueda de tecnologías que permitan obtener y optimizar los recursos hídricos. Bajo este concepto, los SCALLT han cobrado fuerza en zonas áridas y semiáridas además de las zonas urbanas (Preeti *et al.*, 2019; Khan *et al.*, 2021).

SCALLT en Australia

Australia es uno de los continentes más secos del mundo, presentando precipitaciones anuales inferiores a 600 mm, llegando incluso a límites de 300 mm, además de ser uno de los mayores consumidores de agua potable en el mundo alcanzando los 696.900 millones de metros cúbicos al año 2021 (ABS, 2012). Dadas estas razones, el país ha tomado medidas para frenar la crisis hídrica como la restricción del suministro hídrico, asignando un mayor costo asociado al uso de agua y reembolsos monetarios por parte del estado a los consumidores, lo que ha llevado a buscar nuevas fuentes de aguas como lo son los SCALLT.

En Australia, uno de cada cuatro hogares, han adoptado los sistemas de captación de aguas lluvias, lo que significa una acumulación de aproximadamente 177.000 millones de litros de agua, correspondiente al 9% del uso residencial de agua en zonas urbanas. Este porcentaje aumenta en las zonas rurales, donde un 63-70% del agua residencial proviene de SCALLT, lo que equivale a 109.000 millones de litros de agua, que son obtenidos mediante SCALLT (Khan *et al.*, 2021).

Estas medidas se han llevado a cabo desde los años 90, cuando se incrementó la crisis hídrica en el país a través de beneficios estatales para la construcción de captadores, como también el reembolso de dinero por

ahorro de aguas municipales. Los principales usos de las aguas lluvia son no potables, es decir descarga de inodoros, lavandería, redes de extinción de incendios, enfriamiento de aguas y ornamental. Cabe destacar que en ciudades como Queensland, Victoria y la región de Australia meridional exigen la instalación de SCALLT en viviendas nuevas y ampliaciones desde los 50 m² de superficie impermeable (100 m² en el caso de Queensland) (Chubaka *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2021)

SCALLT en Alemania

Uno de los países pioneros de Europa en comenzar con la captación y utilización de aguas lluvias fue Alemania. El uso de SCALLT se masificó en los hogares a partir de la década del 1980, principalmente para ser usada a nivel agrícola y ornamental. La instalación de SCALLT se llevó a cabo con la finalidad de cuidar los recursos hídricos, aumentar las tasas de infiltración, mejorar los problemas asociados a la escorrentía en zonas urbanas, descentralizar el consumo de agua y fomentar la protección de acuíferos y humedales, esto, a pesar de que Alemania cuenta con una tasa de precipitación en promedio de 600 mm a 800 mm al año, con una distribución uniforme en el territorio y no se considera un país afectado por estrés hídrico (Schuetze, 2013; Reinstädtler, 2021). Dentro de los sistemas de SCALLT instalados, resalta el ubicado en el aeropuerto de la ciudad de Frankfurt, considerado el más grande del país, siendo capaz de captar 100 m³ de aguas lluvias con un área de captación de 26.800 m². Otro ejemplo es la Universidad Técnica de Darmstadt, cuyo sistema de captación de aguas lluvias, combinado con un tratamiento de aguas residuales, supone el 80% del agua utilizada en la universidad, siendo sólo el 20% restante cubierto por sistemas de agua potable convencional (Schuetze, 2013). Al año 2010, Alemania contaba con un SCALLT en el 35% de las nuevas construcciones, lo que ha aumentado progresivamente en el tiempo. A su vez, 1,5 millones de SCALL se encuentran instalados en edificios, mientras que 1,6 millones se encuentran en domicilios unifamiliares correspondiendo al 4% de la población. Estos captadores se encuentran suministrando agua para descargas de inodoro, riego ornamental y lavandería (Schuetze, 2013).

SCALLT en Estados Unidos

En Estados Unidos, al igual que en la mayoría de los países, la captación de aguas lluvias tiene como fin complementar la utilización de agua sub-

terránea y fuentes superficiales de agua dulce, para fines principalmente agrícola (riego), doméstico o sanitario, comercial e industrial. Los SCALLT, son usados en 15 estados, siendo Texas donde más se utilizan. Se estima que más de 1 millón de personas se ven beneficiadas con la captación de aguas lluvias en el país. En 2016, Rostad *et al.*, concluyeron que la utilización de SCALLT en un área de captación, de 100 m² y un estanque de almacenamiento de 5.000 L, puede reducir la demanda de agua potable y escorrentía en un 65% y 75%, respectivamente. Se estima que los condados que utilizan SCALLT, pueden ahorrar un 50% de agua potable. Thomas *et al.* (2014), indicaron que el 90% del agua proveniente de los captadores de aguas lluvia es utilizada para irrigación, mientras que el método de desinfección más utilizado es el tratamiento UV (70%) (Thomas *et al.*, 2014; Ennenbach *et al.*, 2018; Brodt, 2020).

SCALLT en Brasil

En Brasil, en el año 2015 ya existía un déficit de un 36,7% de agua potable por disminución de fuentes de agua. Por su extensión geográfica, las diferencias climáticas dificultan la gestión hídrica haciendo que la cosecha de agua se vea favorecida principalmente en las zonas semiáridas las cuales corresponden al 53% del país. En las zonas urbanas, la utilización de SCALLT tiene por objetivo disminuir la escorrentía y suplir el uso no potable. Al analizar los establecimientos que disponen de sistemas de captación, tanto las casas y edificios domiciliarios, escuelas, oficinas y edificios públicos se observa que predomina el uso no potable de las aguas lluvias, siendo de un 46,6%, 53,9%, 59,6% y 77,0%, respectivamente. Por el contrario, en los establecimientos ligados al turismo como hoteles, estos porcentajes se revierten, donde los usos potables de las aguas lluvias alcanzan un 82,8%.

En la amazonía brasileña, la obtención de agua potable es precaria, al no existir tratamientos de las aguas residuales, las fuentes superficiales tales como ríos y lagunas se encuentran con altos niveles de contaminación, generando serios problemas de salud a la población que se abastece de esas aguas para su consumo. Lo anterior, sumado a las condiciones climáticas de la zona, donde precipita el 60% del año, ha promovido la implementación de SCALLT utilizando sistemas de filtrado con recursos de la zona como carbón de semillas de açai, una especie de árbol ampliamente cultivado en la región amazónica y que constituye el 70% de los

ingresos económicos de las localidades selváticas. Otro ejemplo de utilización de SCALLT se la universidad de Pernambuco, específicamente en el Instituto Agronómico, donde, además, se complementó la tecnología de SCALLT con los techos verdes, es decir, como se aprecia en la Figura 5, la totalidad o una parte de un techo es cubierto por vegetación en un medio apropiado, aportando al drenaje e irrigación de las precipitaciones. Esta forma de captar aguas lluvias, disminuye la concentración de sólidos disueltos totales, puesto que la vegetación en el techo funciona como un filtro biológico (Campisano *et al.*, 2017; Farrel *et al.*, 2021; Melo *et al.*, 2022).

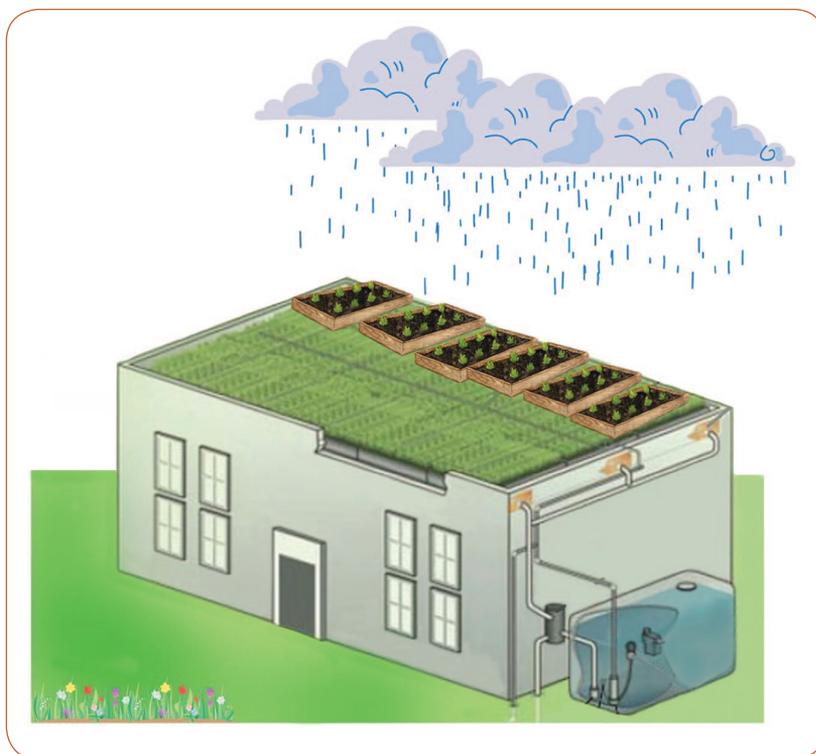


Figura 5.

Tecnología combinada de SCALLT y techos verdes.
Fuente: Elaboración propia.

SCALLT EN CHILE

Debido a que Chile cuenta con una oferta hídrica relativamente estable en las zonas urbanas, los SCALLT se pueden considerar una tecnología nueva en relación a su uso en otros países, debido principalmente a la disminución de las precipitaciones en el país e incremento de eventos extremos de lluvias. El primer estudio sobre el tema fue realizado el año 2006, en la localidad de Romeralsillo ubicada en la Región de Coquimbo (Pizarro *et al*, 2015). Este proyecto se mantuvo activo hasta el año 2009, a partir de ese punto, los SCALLT tomaron fuerza y han sido promovidos por distintos fondos estatales provenientes desde instituciones como la Comisión Nacional de Riego (CNR), el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), gobiernos regionales, empresas privadas y fundaciones.

Los SCALLT, se han implementado en mayor medida desde la Región de O'Higgins a la Región de Los Lagos. En regiones áridas del norte del país, estos sistemas no se utilizan, pues las precipitaciones en algunos sectores no superan los 0,1 mm al año, haciendo inviable la implementación de SCALLT, sin embargo, en estas geografías sí se utilizan otros sistemas de captación de agua atmosférica, almacenando agua a través de atrapadores de niebla.

En la Figura 6, se observa la relación que existe entre el nivel de precipitaciones promedio anuales (DGA, 2024) y los SCALLT instalados en diferentes regiones, desde Maule a Los Lagos, destacando que estos sistemas se encuentran en las regiones del país donde se registra la mayor cantidad de precipitaciones anuales. De los 195 SCALLT registrados, un 35,9% del total se encuentra en la Región de Los Lagos, principalmente en sectores rurales dedicados a la pequeña y mediana agricultura.

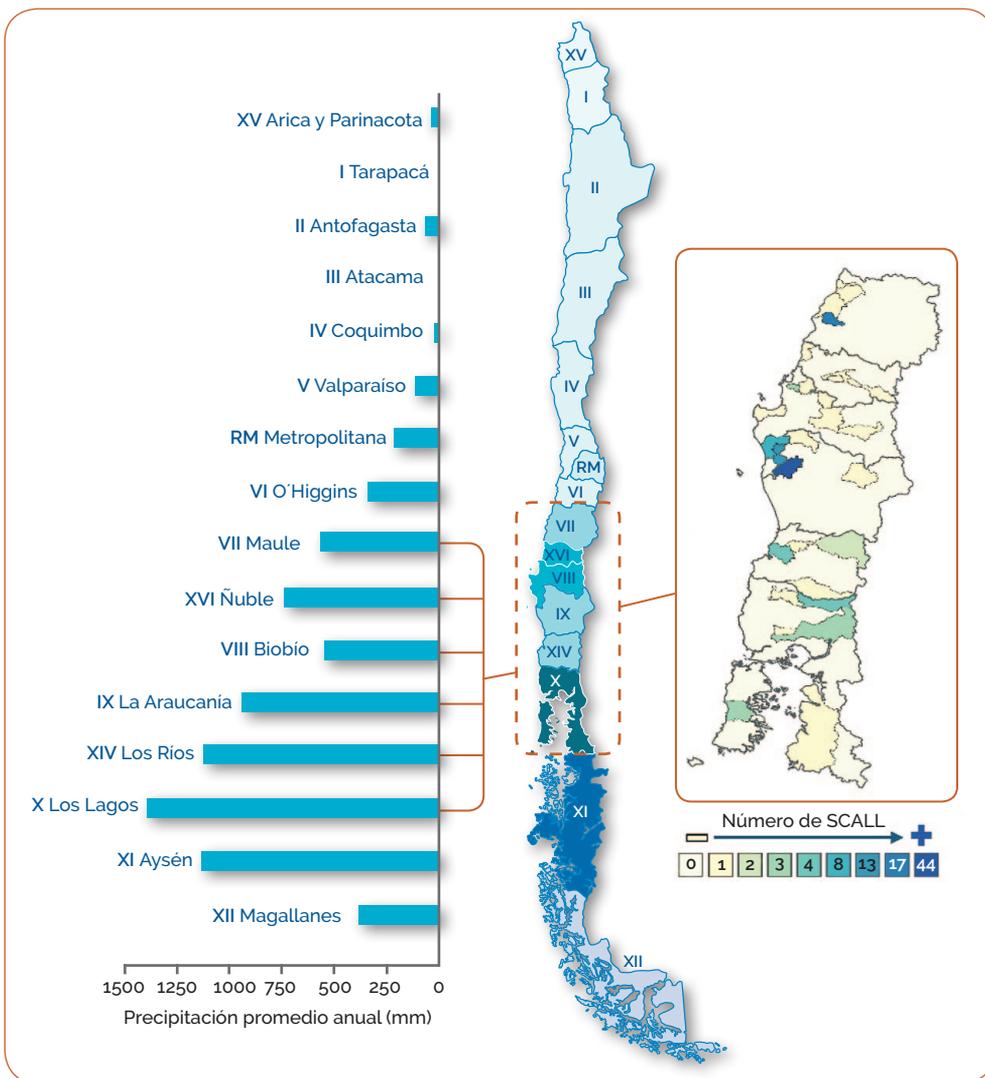


Figura 6.

Precipitaciones y ubicación de SCALLT.

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la distribución de usos de aguas lluvia captadas, se observa que 102 de los 195 SCALLT analizados destinan sus aguas a uso domiciliario no potable, es decir para inodoro y lavandería y, en algunos casos, contando con el debido tratamiento, es utilizada con fines potables para consumo. Para este último fin, además de contar con los sistemas de filtros debe considerarse un proceso de desinfección tal como la cloración. Los sistemas que incorporen el método de desinfección antes señalado deben asegurar una concentración de cloro mínima de 0,2 mg/L y una máxima e ideal de 2 mg/L, en el agua que se extrae en el punto de utilización. Dentro de los usos del agua captada, como se muestra en la Figura 7, corresponden al uso domiciliario, seguido del rubro agropecuario, empleado principalmente en conjunto con invernaderos y sistemas de riegos automáticos y finalmente educativos.

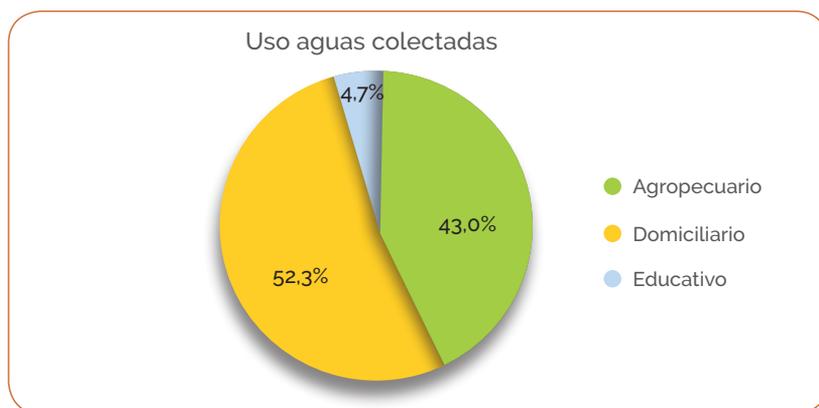


Figura 7.

Usos mayoritarios de aguas lluvias cosechadas en Chile.
Fuente: Elaboración propia.

Los sistemas de SCALLT requieren una mantención y limpieza rigurosa y recurrente, evitando así, la proliferación de microorganismos y acumulación de residuos sólidos. Cabe destacar que, en Chile, para utilizar el agua lluvia captada para consumo humano, su calidad debe cumplir las normativas vigentes de agua potable (NCH 409) y si se destina a riego u otras actividades, tales como recreación o estética deben poseer una calidad permisible según la NCH 1.333. Es importante destacar que en el caso de utilizar aguas lluvias cosechadas sin tratamientos para riego ornamental, debe indicarse de forma clara en el punto de uso, que el agua es de origen no potable.

Otro punto importante sobre los SCALLT instalados en Chile, es el tipo de estanque a utilizar, como se observa en la Figura 8, los estanques de captación más utilizados con un 65,12%, corresponden al tipo rígido superficial, los cuales favorecen el ahorro de espacio en comparación a los estanques flexibles para los cuales se requiere emparejar el terreno de instalación y los cuales deben considerar al menos 15 m² para su operación. Además, se recomienda que este tipo de estanque se encuentre cubierto para evitar el contacto con contaminantes y proteger de daños al material. En la Figura 8, se indica también, los usos que se le da al agua captada en relación a los estanques y las regiones en las que se encuentran los SCALLT.

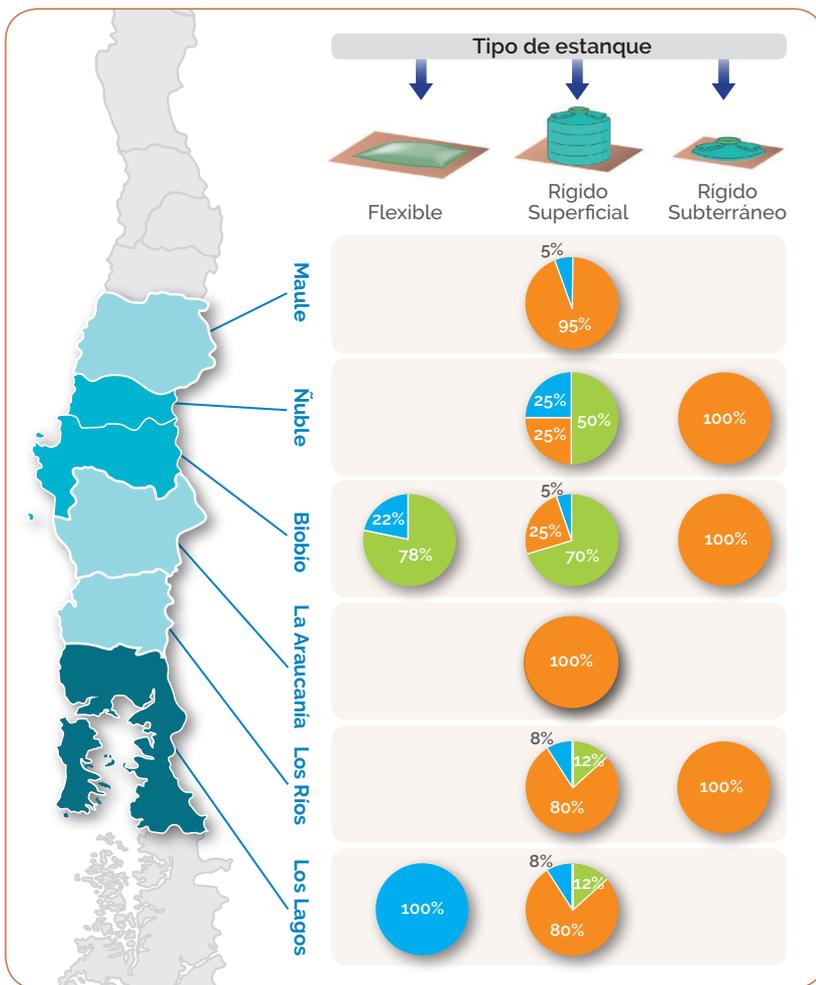


Figura 8.

Relación entre tipo de estanque y uso de las aguas lluvias cosechadas en diferentes regiones del país. Donde ■ corresponde a uso domiciliario, ■ agropecuario y ■ educativo.

Fuente: Elaboración propia.

Un punto importante respecto a los captadores de aguas lluvia es el financiamiento, en el país la instalación se ha llevado a cabo principalmente por programas estatales, donde los SCALLT son financiados total o parcialmente por el Estado. Respecto a los valores un sistema completo se encuentra entre los \$780.000 y \$1.800.000, es importante resaltar que los proyectos sociales, asociados al estado y fundaciones son libres de pago por parte de los beneficiarios, las empresas dedicadas a la construcción e instalación de SCALLT, deben asumir costos de traslado y mano de obra que no se ven contempladas en las obras estatales y sociales apoyadas por fundaciones.

En la Figura 9 se ilustra la distribución del origen de financiamiento para la instalación de SCALLT entre el estado y privados. Cabe destacar que el trabajo de algunas fundaciones está directamente relacionado con fondos gubernamentales al igual que cuentan con el apoyo de privados de diversas áreas.

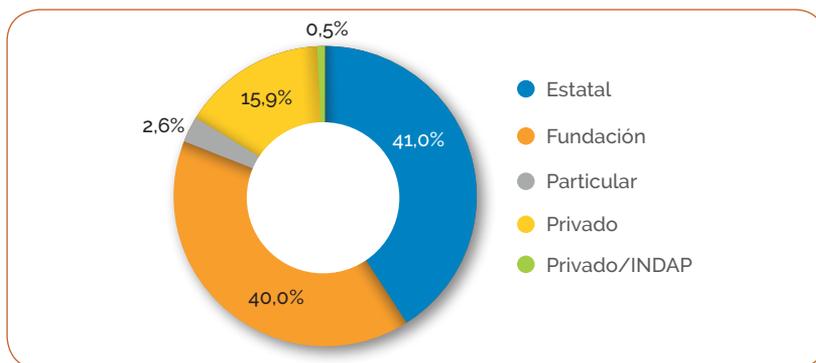


Figura 9.

Origen de financiamiento para SCALLT instalados en Chile.
Fuente: Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP).

REGULACIÓN DE AGUAS LLUVIAS EN CHILE

La regulación de la cosecha de aguas lluvias en Chile ha tenido un desarrollo limitado en comparación con otros países. Históricamente, los tres principales Códigos de Aguas (1951, 1969 y 1981 con sus reformas) han permitido que los propietarios de terrenos aprovechen las aguas lluvias que caen en sus predios, incluyendo la captación de aguas que corren por caminos públicos.

La normativa vigente en esta materia se estructura en varios niveles: a nivel constitucional, la Constitución de 1980 reconoce los derechos de propiedad sobre las aguas, es decir, "los derechos de los particulares sobre las aguas". El desarrollo posterior de las obligaciones internacionales del Estado de Chile, los instrumentos interpretativos de estas obligaciones en materia de derechos humanos, y la jurisprudencia, han llevado a la incorporación progresiva al catálogo de derechos fundamentales del denominado "derecho humano al agua y al saneamiento", el cual implica el "derecho de todos a disponer de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para el uso personal y doméstico" (Comité DESC, 2002).

Este enfoque del agua y la importancia para la comunidad se formalizó en la reforma al Código de Aguas promulgada en 2022 mediante la Ley 21.435. Esta reforma también introdujo la recarga artificial de acuíferos con aguas lluvias y la consideración de estas como parte del Plan Estratégico de Recursos Hídricos para cada cuenca del país.

Además, la Ley 19.525 de 1997 regula la evacuación y drenaje de aguas lluvias en áreas urbanas, asignando responsabilidades entre el Ministerio de Obras Públicas y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

A nivel reglamentario, el Decreto 50 del Ministerio de Obras Públicas de 2015 detalla las exigencias para la captación de aguas lluvias en proyectos de acueductos, mientras que el Decreto 735 de 1969 del Ministerio de Salud regula los servicios de agua para consumo humano, estableciendo parámetros técnicos para asegurar la calidad del agua. Recientemente, se ha propuesto una modificación a esta normativa para incluir referen-

cias explícitas a la cosecha de aguas lluvias como una fuente alternativa de agua para consumo humano, en el contexto de la escasez hídrica.

Por último, las normas técnicas que regulan la calidad del agua en Chile incluyen la NCh 409/1. Of2005, que establece los requisitos para el agua potable, y la NCh 1333.Of1978, que define los criterios de calidad del agua según su uso específico, como el riego o el consumo humano. La Superintendencia de Servicios Sanitarios es la autoridad encargada de fiscalizar estas normativas (CRHIAM, 2022).

Este conjunto normativo refleja un enfoque legal que, aunque históricamente centrado en la propiedad y el uso individual de las aguas lluvias, ha comenzado a incorporar consideraciones más amplias relacionadas con la sostenibilidad y el derecho humano al agua, especialmente en un contexto de creciente crisis hídrica y climática en el país.

CONSIDERACIONES SOBRE LOS SCALLT EN CHILE

Dadas las condiciones climatológicas y geográficas del país, sumado al cambio climático, crisis hídrica y sequía sostenida, la gestión de las aguas lluvias, presenta una nueva fuente de agua que podría aminorar los efectos del déficit hídrico.

Bajo esta lógica, es imperativo que existan normativas y regulaciones relacionadas directamente a las precipitaciones y sus usos, incluyendo derechos de aguas, conducción de aguas lluvias, recarga de acuíferos, captación y reutilización.

Pese a que en las grandes zonas urbanas no se presenta déficit hídrico, las precipitaciones generan anegamiento, mayor presión en los sistemas de alcantarillado, predisposición a deslizamientos y aludes. La captación de aguas lluvias en zonas urbanizadas, podría aminorar la presión sobre el recurso hídrico, utilizándose para la recarga de acuíferos, riego de áreas verdes y limpieza de espacios públicos, entre otros.

También es importante avanzar en la gestión y puesta en marcha de las llamadas ciudades verdes, aumentando la vegetación, cambiando gradualmente la matriz energética, promoviendo el reciclaje y economía circular, y principalmente, generando un cambio respecto al medio ambiente, su cuidado y protección, bajo este último punto destaca la gestión hídrica, teniendo en consideración no desperdiciar recursos como lo son las aguas lluvias.

Los SCALLT son sistemas de fácil construcción, operación y mantención, no obstante, deben ser mantenidos cuidadosamente para maximizar su desempeño y evitar una posible contaminación de las aguas captadas. Dada la simpleza de los sistemas, existe un aumento de instalaciones particulares, en muchos casos de manera autogestionada, sin contar con la supervisión de expertos, lo que se puede traducir en un diseño que no sea apto para el lugar de instalación, tratamientos deficientes, y finalmente un riesgo para salud humana. Es necesario recalcar, que siempre se debe contar con el apoyo de expertos en la materia, evitando así, problemas futuros. Bajo este tópico sería necesario que se haga un balance de todos los SCALLT instalados en el país, principalmente los autogestionados, esto debido a que su mayor uso es doméstico y de riego agrícola de pequeña escala, significando una preocupación latente respecto a la salud humana y animal.

Finalmente, la generación de material educativo e informativo respecto a la captación de aguas lluvias es primordial, además, es necesario generar un cambio de paradigma respecto a los recursos hídricos, conocerlos, reconocerlos y preservarlos.



CONCLUSIONES

El uso de Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (SCALL) en Chile se está consolidando como una tecnología clave para enfrentar la creciente escasez hídrica, especialmente en regiones del centro y sur del país donde las precipitaciones son compatibles con su implementación, destacando, además, zonas rurales dedicadas a la pequeña y mediana agricultura que no cuentan con acceso agua potable.

Aunque históricamente el país ha gozado de una oferta hídrica relativamente estable en zonas urbanas, el cambio climático ha generado la necesidad de diversificar las fuentes de agua, incorporando soluciones sostenibles como los SCALL, los cuales han contado con respaldo de fondos estatales y privados para su instalación. Sin embargo, aún existen desafíos normativos y técnicos, como la necesidad de garantizar la calidad del agua captada para consumo humano y mejorar la gestión sanitaria de estos sistemas. La educación sobre la captación de agua de lluvia, junto con el apoyo de expertos, es fundamental para asegurar su correcta implementación y contribuir al desarrollo de ciudades más sostenibles y resiliente ante la crisis climática.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de la Fundación Amulén por su colaboración en la entrega de datos e información clave para el desarrollo de esta Serie. Asimismo, agradecemos el compromiso y voluntad de la Fundación para compartir sus conocimientos, destacando su contribución social al aportar en la disminución de la brecha de acceso a agua potable y saneamiento.

REFERENCIAS

- Baguma, D. & Loiskandl, W. 2010. Rainwater harvesting technologies and practises in rural Uganda: a case study. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15, 355-369. <https://doi.org/10.1007/s11027-010-9223-4>
- Bautista-Olivas, A., Tovar-Salinas, J., Palacios-Velez, O., & Mancilla-Vera, O. 2011. La humedad atmosférica como fuente opcional de agua para uso doméstico. *Agrociencia*, 45(3), 293-301. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30219764003>
- Banco Mundial. 2023. Grupo Banco Mundial Datos. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.AGRI.ZS?end=2023&start=2023&view=bar>
- Boretti, A. & Rosa, L. 2019. Reassessing the projections of the world water development report. *NPJ Clean Water*, 2(1), 1-6. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0039-9>
- Brodt, S. 2020. *Modeling Residential Rainwater Harvesting Potential in the USA*. Tesis doctoral, Harvard University. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2480641327?pq-origsite=gscholar&fromopenview=true&sourcetype=Dissertations%20%20Theses>
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M., Friedler, E., DeBusk, K., Fisher-Jeffes, L., Ghisi, E., Rahman, A., Furumai, H., & Han, M. 2017. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water research*, 115, 195-209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- Chubaka, C., Whiley, H., Edwards, J., & Ross, K. 2018. Microbiological values of rainwater harvested in Adelaide. *Pathogens*, 7(1), 21. <https://doi.org/10.3390/pathogens7010021>

- CNR. 2017. *Instalación de sistemas de recolección, acumulación y aprovechamiento de aguas lluvias y sistema productivo, provincia de Chiloé*, Comisión Nacional de Riego, Chile. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/98bc8cd0-20ad-43a2-8f38-0ef2e-10df92d>
- Comité DESC - Comité De Derechos Económicos, Sociales Y Culturales de Naciones Unidas. 2002. Observación general N° 15: El derecho al agua (artículos 11 y 12 del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales). 29° periodo de sesiones Ginebra, 11 a 29 de noviembre de 2002.
- CRHIAM. 2021. Sistema de cosecha de aguas lluvia. Manual educativo y de mantenimiento. Disponible en: <https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2023/02/Manual-Cosecha-de-Aguas-Lluvia.pdf>
- CRHIAM. 2023. Estudio comparado de la regulación de cosecha de aguas lluvias. Disponible en: https://www.crhiam.cl/wp-content/uploads/2022/09/N%C2%BA44_Serie-comunicacional-CRHIAM-Estudio-comparado-de-la-regulaci%C3%B3n-de-cosecha-de-aguas-lluvias.pdf
- Dawadi, S. & Ahmad, S. 2013. Evaluating the impact of demand-side management on water resources under changing climatic conditions and increasing population. *Journal of Environmental Management*, 114, 261-275. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.015>
- DGA. 2024. Informe Hidrológico Semana, agosto 2024 Gobierno de Chile. Santiago, Chile. Disponible en: https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/informacionhidrologica/Informe%20HidroMeteorologico%20Semanal/Informe_semanal_12_08_2024.pdf
- Ennenbach, M. W., Concha Larrauri, P., & Lall, U. 2018. Countyscale rainwater harvesting feasibility in the United States: Climate, collection area, density, and reuse considerations. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 54(1), 255-274. <http://dx.doi.org/10.1111/1752-1688.12607>

- FAO. 2013. *Captación y almacenamiento de agua lluvia*. Santiago, FAO.87-90 pp. <https://www.fao.org/4/i3247s/i3247s.pdf>
- Farrell, A., Swan, A., & Mendes, R. 2021. Rainwater Harvesting in the Rainforest: A Technical and Socioeconomic Review of Community Approaches in Brazil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1. 196. <https://doi.org/10.3390/w10040471>
- Farrenya R., Gabarrella X., & Rieradevall J. 2021. Cost-efficiency of rain-water harvesting strategies in dense mediterranean neighbourhoods resources. *Conservation and Recycling*, 55. 686-694. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911000103>
- Farreny, R., Morales.Pinzón, T., Guisasola, A., Taya, C., Reiradevall, J., & Gabarrel, X. 2011. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research*, 45(10), 3245-3254. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.03.036>
- Gado, T. A., & El-Agha, D. E. 2020. Feasibility of rainwater harvesting for sustainable water management in urban areas of Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(26), 32304-32317. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.13108.42881>
- Gardner, T., & Vieritz, A. 2010. The role of rainwater tanks in Australia in the twenty first century. *Architectural Science Review*, 53(1), 107-125. <http://dx.doi.org/10.3763/asre.2009.0074>
- Herrmann, T., & Schmida, U. 2000. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban water*, 1(4), 307-316. [http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00024-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00024-8)
- INIA. 2021. Ficha técnica nº 3. *Aguas lluvias*, Gobierno de Chile. Santiago, Chile. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/66775?show=full>

- Khan, Z., Alim, M. A., Rahman, M. M., & Rahman, A. 2021. A continental scale evaluation of rainwater harvesting in Australia. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105378. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105378>
- Li, H., Sharkey, L.J., Hunt, W.F. & Davis, A.P. 2009. Mitigation of impervious surface hydrology using bioretention in North Carolina and Maryland. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(4), 407-415. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1084-0699\(2009\)14:4\(407\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1084-0699(2009)14:4(407))
- Morgado, M.E. Hudson, C., Chattopadhyay, S., Ta, K., East, C., Purser, N., Allard, S., Ferrie, M.D., Sapkota, A., Sharma, M., & Rosenberg, R. 2022. The effect of a first flush rainwater harvesting and subsurface irrigation system on *E. coli* and pathogen concentrations in irrigation water, soil, and produce. *Science of The Total Environment*, 843, 156976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156976>
- Naciones Unidas. 2015. Objetivos de Desarrollo Sostenible - Objetivo 6: Agua Limpia y Saneamiento. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- ONU: 2002. Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (CESCR), Observación general N° 15: *El derecho al agua*, 11 - 12. <https://www.refworld.org/es/leg/coment/cescr/2003/es/39347>
- Oweis, T. 2017. Rainwater harvesting for restoring degraded dry agropastoral ecosystems: a conceptual review of opportunities and constraints in a changing climate. *Environmental Reviews*, 25(2), 135-149. <http://dx.doi.org/10.1139/er-2016-0069>
- Oweis, T & Hachum, A. 2006. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity of dry farming systems in West Asia and North Africa, *Agricultural Water Management*. 80,1-3, 57-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.004>

- Pizarro, R., Urbina, F., Vallejos, C., Guzmán, J., Tapia, J., Sangüesa, C., Campos, D., Pino, J., Saens, R., & Tigero, T. 2016. Diseño y Construcción de Sistemas de Captación de Aguas Lluvias (SCALL): una experiencia de 3 años. *Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental*, Universidad de Talca. Chile. ISBN 978-956-329-070-7.
- Preeti, P., Jakhar, S., & Rahman, A. 2019. Rainwater harvesting in Australia using an Australia-wide model: A preliminary analysis. *Proc. Int. Conf. on Water and Environmental Engineering*. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1022/1/012069>
- Qadir, M., Sharma B.R., Bruggeman, A., Choukr-Allah, R., & Karajeh, F. 2007. Non-conventional water resources and opportunities for water augmentation to achieve food security in water scarce countries. *Agricultural Water Manager*, Elsevier, vol 87 (1), 2–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.018>
- Reinstädler, S. 2021. Social, Economic, and Political Dimensions of Water Harvesting Systems in Germany: Possibility, Prospects, and Potential. *Handbook of Water Harvesting and Conservation: Case Studies and Application Examples*, 429-441. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119776017>
- Rodrigues de Sá Silva, A. C. R., Mendonça, A., Parrella, J.A., & Nogueira, M. 2022. Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 76. 103475. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2021.103475>
- Rostad, N., Foti, R., & Montalto, F. 2016. Harvesting rooftop runoff to flush toilets: Drawing conclusions from four major US cities. *Resources, Conservation and Recycling*, 108, 97-106. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.009>
- Schuetze, T. 2013. Rainwater harvesting and management–policy and regulations in Germany. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(2), 376-385. <http://dx.doi.org/10.2166/ws.2013.035>

- Steffen, J., Jensen, M., Pomeroy, C., & Burian, S. 2013. Water supply and stormwater management benefits of residential rainwater harvesting in US cities. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 49(4), 810-824. <https://doi.org/10.1111/jawr.12038>
- Suárez, J., García, M., & Mosquera, R. 2006. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. *VI SEREA-Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua João Pessoa (Brasil)*. Disponible en: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BALLEN%20et%20al.%202006.%20Historia%20de%20los%20sist%20de%20aprovechamiento%20agua%20lluvia.pdf
- Thomas, R., Kiristis, M., Lye, D., & Kinney, K. 2014. Rainwater harvesting in the United States: a survey of common system practices. *Journal of Cleaner Production*, 75, 166-173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.073>
- Tom, M., Mccarthy, D., Fletcher, TD., Farrel, C., Williams, N., & Milenkovic, K. 2013. Turning (storm) water into food; the benefits and risks of vegetable raingardens. In: Bertrand-Krajewski, J.-L., Fletcher, T. (Eds.), 8th International Novatech Conference, 23-27th June 2013. GRAIE, Lyon France, pp. 1-10. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03303512/document>
- Velasco-Muñoz, J. F., Aznar-Sánchez, J., Batlles-delaFuente, A., & Fidelibus, M. 2019. Rainwater harvesting for agricultural irrigation: An analysis of global research. *Water*, 11(7), 1320. <http://dx.doi.org/10.3390/w11071320>
- Vieira, A. S., & Ghisi, E. 2016. Water-energy nexus in low-income houses in Brazil: the influence of integrated on-site water and sewage management strategies on the energy consumption of water & sewerage services. *Journal of Cleaner Production*, 133, 145-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.104>

- Walsh, T. Pomeroy, CA., & Burian, SJ. 2014. Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed. *Journal of Hydrology*, 508, 240-253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.038>
- WWDR. 2009. Water in a changing world: the United Nations world water development report 3. Paris, UNESCO. 80 – 91 pp. Disponible en: <https://www.ircwash.org/sites/default/files/WWAP-2009-Water.pdf>



CRHIAM
CENTRO DE RECURSOS HÍDRICOS PARA LA AGRICULTURA Y LA MINERÍA
ANID/FONDAP/1523A0001



Universidad de Concepción



SERIE COMUNICACIONAL CRHIAM



UNA MIRADA NACIONAL DEL AVANCE DE LA IMPLEMENTACIÓN DE COSECHAS DE AGUAS LLUVIAS



Universidad de Concepción



UNIVERSIDAD
DE LA FRONTERA



Universidad del Desarrollo
Universidad de Excelencia

